

# Fundamentos de Administración, Comercio Exterior, Ética y Desarrollo Sostenible en la Era Espacial

Tomo 2



ISBN: 978-9942-580-55-9



**UNEMI**  
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

 **InterCarga**  
Integrated Logistics Services

**UG**  
UNIVERSIDAD DE  
GUAYAQUIL

**Fundamentos de Administración, Comercio  
Exterior, Ética y Desarrollo Sostenible en la Era Espacial:  
Tomo 2**

## Créditos

Dirección y Coordinación Editorial: Sara Díaz Villacís

Revisión de contenido Rously Atencio PhD

Revisión pedagógica: Fabrizio Andrade PhD (c)

© ® Derechos de Copia y Propiedad Intelectual

Maquetación y Diseño de portada: *Sara Díaz V*

Libro bajo revisión técnica y didáctica de pares

Guayaquil - Ecuador

Marzo del 2026



<https://liveworkingeditorial.com/product/978-9942-580-55-9/>

Enlace del DOI:

<https://doi.org/10.63792/978-9942-580-55-9>





ISBN: 978-9942-580-55-9



Google Play  
Books

## **Autores**

**Docentes de la Universidad de Guayaquil**  
**Líderes de la obra “Fundamentos de**  
**Administración, Comercio Exterior, Ética y Desarrollo**  
**sostenible en la Era Espacial – Tomo 1”**



Burgos

Guido  
Poveda



Delia Cevallos Castro



Clara Cabrera Jara



Lourdes Sambonino García



Julio Baque Miele  
Gabriel Neira Vera



**Colaboradores distinguidos**



**Gonzalo Chaquina Brito**  
**CEO**  
**INTERCARGA S.A.**



**Simón Velásquez Bazurto**  
**Docente**  
**Instituto Superior**  
**Tecnológico Argos**



**César José Ávila Martínez**  
**Docente**  
**Universidad Estatal de**  
**Milagro**

**Estudiantes de la Carrera de Licenciatura en  
Comercio Exterior**

**Facultad de Ciencias Administrativas de la Universidad de  
Guayaquil que participan en calidad de coautores de la  
obra**



Angie Alcívar  
Pivaque



Daniela Baquerizo  
Hidalgo



Brixon Cabrera  
Burgos



Bianka Cabrera  
Panchana



María Calero  
Ramírez



Ariana Cayetano  
Chávez



Andrés Chávez  
Briones



Johuler Chong  
Pacheco



Dayanna Cobos  
Mazalema



Jeremy Díaz  
Poveda



Ariel Gaibor  
Izquierdo



Stefanie  
Gómez Mateo



Alexandra  
Gonzales Vera



Fernando  
Maldonado



Naomy  
Herrera Tovar



Pablo Jácome  
Lopez



Jesús Jiménez  
Cantos



Dayanna  
Ladines Lopez



Adriana Lavayen  
Moreira



Nohelia  
Lemos Marín



Yaimara  
Llorente Litardo



Mirelly Mazzini  
Pincay



María Medina  
Naranjo



Abraham Medina  
Sánchez



Kyara Méndez  
Mejía



Johnny  
Merchán Pin



Kerly Mite  
Suarez



Yandry  
Najas  
Gualan



Noelia  
Peralta Castro



Génesis  
Pesantes Reyes



Daniel  
Pezo Manrique



Kimberly  
Pibaque Mora



Alisson  
Pivaque Mendoza



Cristopher Ponce  
Mendoza



Susana  
Quiñonez Doylet



Ronny Ramos Cabrera



Esther Rodríguez  
Montoya



Gabriela Romero  
Quizhpi



Cristhian Silva Herrera



Dayanna  
Soria Urvina



Karla  
Valencia Tobar



Doménica Vélez  
Córdova



Doménica Vera Lindao



Dayana Vera Quiroz



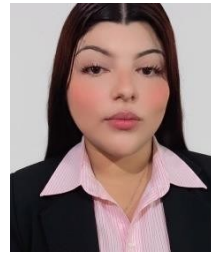
María Yagual Loaiza



Steven Álvarez  
Villagómez



Andy Cruz  
Santos



Ivis Echever  
Golla



Allyson Macías  
Ramos



Torres  
Mite  
Micel



María Jesús Chávez  
Ganchozo



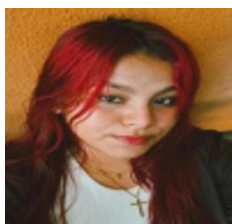
Zambrano Cantos  
Karen Melissa



Mite Otero  
Cindy  
Damarys



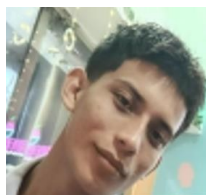
Moran  
Villafuerte  
Melanie  
Solange



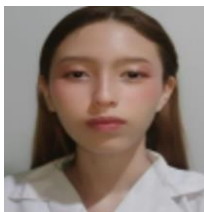
Álvarez Ruiz  
Xiomara Ibbette



Córdor Baquerizo  
Pamela Cristina



Criollo Álvarez  
Adrián  
Alessandro



Tisalema Ayala  
Norma de los  
Ángeles



Yaguana Parrales  
Danny Deyver



Pilamunga  
Cárdenas Tatiana  
Lizbeth



Troncospinoza María  
Fernanda



Escobar Villafuerte  
Damarys Jessenia



Triana Potes  
Valeska Daniela



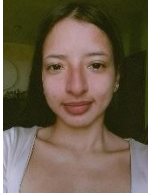
Arelys Piguave  
Campuzano



Keili Chávez López



Ariana Lisbeth  
Yautibug  
Valente



Naomi Carolina  
Morán  
Solorzano



Milady  
Mariuxi  
Quijije Reyes



Elkyn  
Samuel  
Plaza Pin



Loor  
Jaren  
Campuzano



Higuera Cherres  
Kelly Diana



Caise Sancán  
Iliana Liseth



Mejía  
Hernández  
Ana Paula



Balseca Ávila  
Heily Alexandra



Nataly Martha  
Vallejo Demera

## Contenido

Fundamentos de Administración, Comercio Exterior, Ética y Desarrollo Sostenible en la Era Espacial: Tomo 2 .....	II
Créditos .....	III
Autores .....	V
Colaboradores distinguidos .....	VI
Estudiantes de la Carrera de Licenciatura en Comercio Exterior .....	VIII
Contenido .....	XVII
Presentación de la obra .....	1
CAPITULO I: Ética del poder: ¿quién decide quién va al espacio y quién se queda en la tierra? .....	6
CAPITULO II: La ética del comercio espacial: equilibrio entre progreso económico y sostenibilidad interplanetaria .....	38
CAPITULO III: Ética y desarrollo sostenible en la era espacial “finanzas sostenibles y modelos económicos emergentes para el desarrollo espacial” .....	63
CAPITULO IV: La gestión ética del manejo de desechos espaciales y su impacto en el comercio internacional sostenible .....	77
CAPITULO V: Insumos y Productos adecuados que puede proveer Ecuador para el entorno espacial .....	98

CAPITULO VI: Cultivo hidropónico de organismos verdes para la sostenibilidad en entornos espaciales.....	123
CAPITULO VII: Comportamiento y desarrollo de productos agrícolas en el espacio.....	139
CAPITULO VIII: El comercio justo cósmico y la inclusión de esta en países en desarrollo .....	165
CAPITULO IX: Utilización de tecnología espacial para protección del parque nacional de las Galápagos.....	184
CAPITULO X: La economía y el comercio espacial: perspectivas y desafíos para el ecuador en la nueva era espacial ...	209
CAPITULO XI: Influencia de la tecnología espacial en el Comercio Exterior.....	223
CAPITULO XII: Agricultura en invernaderos en otros planetas y lunas del sistema solar.....	256
CAPITULO XIII: Tecnología aeroespacial: energía renovable a base de desechos comunes.....	267
CAPITULO XIV: Evaluación de la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana mediante el uso de sistemas de información geográfica satelital.....	273
CAPITULO XV: Desarrollo del Talento Ecuatoriano con Visión a las Nuevas Exigencias del Comercio Espacial Sostenible	309
CAPITULO XVI: Desarrollo sostenible y gobernanza ética en la economía espacial: retos para el comercio exterior .....	322

CAPITULO XVIII: El sistema autónomo que une ética, inteligencia artificial y comercio exterior en el espacio para un futuro justo.....	372
CAPITULO XIX: Utilización de tecnología espacial para la generación de nuevos cultivos en el ecuador frente a las exigencias de comercio espacial .....	398
Referencias Bibliográficas .....	415

## **Presentación de la obra**

La ciencia es la clave para descubrir los secretos del universo: uniendo a la humanidad con cada descubrimiento, expandiendo nuestro conocimiento y despertando nuestra imaginación. Al navegar por las arenas del tiempo y el espacio, la ciencia da contexto y significado a mediciones grandes y pequeñas, es así que la universidad, al igual que todo en la naturaleza se adapta, se transforma y finalmente evoluciona para mejorar la adaptación y supervivencia como un organismo viviente en un entorno cambiante. En un sentido más amplio, la evolución implica un proceso de cambio y mejora continua, ya sea en individuos, organizaciones o incluso ideas.

Justamente dentro del constante proceso de evolución de la universidad, el estudiante tiene que desempeñar un rol protagonista en la generación de nuevos saberes y conocimientos, esto es bajo la guía y tutela de aquellos profesores comprometidos con lograr la excelencia académica, social y sobre todo fomentando el desarrollo de habilidades, competencias y valores que permitan a los estudiantes desenvolverse de manera exitosa en la vida personal y profesional.

Es así que, en la búsqueda de la excelencia, la presente obra denominada “Fundamentos de Administración, Comercio Exterior, Ética y Desarrollo sostenible en la Era Espacial” - Tomo 1, ha sido desarrollada por los estudiantes de la Carrera de Licenciatura en Comercio Exterior, junto con sus docentes guía de la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas, así como también con la participación de un docente invitado de otra institución de educación superior.

La investigación en la universidad es un proceso sistemático y riguroso que busca generar nuevos conocimientos, resolver problemas y mejorar la comprensión de diversos fenómenos.

Es esencial para el avance académico, el desarrollo profesional de estudiantes y docentes, y para contribuir al progreso de la sociedad, este paradigma intelectual es posible únicamente con el compromiso de todos los Stakeholders del mencionado proceso de formación, teniendo como eje fundamental a los estudiantes universitarios, es así que, producto del esfuerzo, dedicación, guía y sabias enseñanzas en conjunto con los profesores guía de esta obra, los estudiantes de la Carrera de Licenciatura en Comercio Exterior logran materializar este producto de un alto valor científico y

rigurosidad académica, convirtiéndose en un legado para toda la humanidad.

La Universidad, así como la mente y la imaginación del hombre no tiene límites, esta traspasa las barreras de lo inimaginable volviéndolo real, gracias a eso, es ahora que estamos en una nueva era, la era del espacial, donde el hombre se lanza con todo a la conquista del espacio, la frontera final, recordando que desde mediados del siglo XX Los primeros hombres en llegar a la Luna fueron los astronautas estadounidenses Neil Armstrong, y, Edwin “Buzz” Aldrin a bordo de la misión Apolo 11 de la NASA, el 20 de julio de 1969. Armstrong fue el primero en pisar la superficie lunar, seguido por Aldrin, mientras Michael Collins pilotaba el módulo de mando en órbita.

Este hito histórico que inició con la frase “Houston, el águila ha aterrizado” dio inicio a la carrera espacial, y es así que, hasta nuestros días, el Ecuador también forma parte de la investigación pacífica del espacio. Ecuador firma y se adhiere a los Acuerdos Artemis de la NASA para la exploración y aprovechamiento aeroespacial en beneficio de la toda la humanidad.

En Washington D.C., el 21 de junio del 2023 el Gobierno del Ecuador suscribió la adhesión a los Acuerdos Artemis de la NASA, una iniciativa internacional destinada a fomentar la colaboración en la exploración y utilización del espacio. La firma de este acuerdo tuvo lugar como parte la agenda de trabajo que lleva adelante el canciller Gustavo Manrique Miranda, en Washington.

El Acuerdo busca promover la utilización sostenible y beneficiosa del espacio para toda la humanidad, a través de principios y directrices para incrementar la seguridad y la cooperación internacional. La privilegiada posición geográfica del Ecuador es una ventaja para contribuir a ese objetivo.

La adhesión de nuestro país abrirá nuevas oportunidades de cooperación internacional en tecnología, ciencia, agricultura, medicina y economía, cuyo aprovechamiento permitirá generar oportunidades de trabajo e inversión. Además, fortalecerá la imagen internacional del país como un actor comprometido con la exploración espacial pacífica.

El uso de la tecnología espacial es una herramienta fundamental para las comunicaciones, la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza, combatir el cambio climático y contribuye a

alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas.

“Este es un gran hito para los ecuatorianos y sus futuras generaciones. Con este Acuerdo promoveremos la investigación y el desarrollo aeroespacial nacional. La forma achatada de la tierra hace que la distancia desde el Ecuador hacia el espacio, sea menor, reduciendo distancias y costos, incrementando la eficiencia operacional. El clima y el escaso tráfico espacial en la zona son ventajas adicionales”

Adicionalmente queda demostrado que el trabajo colaborativo inter multidisciplinario desplegado entre estudiantes de la Universidad de Guayaquil, junto con sus docentes guía, genera valor agregado, y garantiza una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje que servirán para toda la vida a la humanidad a través de esta obra que entregamos al mundo, alcanzando el Objetivo #4 de Desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, llamado “Educación de Calidad”.

Pero una educación de calidad también requiere de aliados estratégicos o Stakeholders externos, siendo en nuestro caso la Empresa INTERCARGA S.A. quienes por intermedio de su staff ejecutivo liderado por el C.E.O. Gonzalo Chaquina Brito, han dado la oportunidad a muchos de nuestros estudiantes de la Carrera de Comercio Exterior a realizar sus prácticas pre profesionales que representan un factor crítico de éxito invaluable en su formación profesional, combinando los conocimientos académicos con la puesta en marcha en una empresa líder de carga aérea del sector.

De la misma manera, el Gobierno del Ecuador se compromete a aprovechar esta oportunidad para impulsar el desarrollo científico, tecnológico y económico del país, en línea con los principios establecidos en los Acuerdos Artemis, es entonces cuando la universidad debe tener un rol protagonista, promoviendo proyectos, investigaciones y soluciones inteligentes para aquellos intereses de la humanidad.

Actuando de manera responsable y alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 de las Naciones Unidas y el compromiso adquirido por el gobierno del Ecuador, entregamos esta obra de relevancia e impacto mundial en donde se exponen distintos temas de investigación de gran valor e interés para la comunidad científica internacional, gobiernos de todo el mundo, la empresa

privada, organismos públicos y no gubernamentales, la sociedad del conocimiento, pero principalmente para toda la humanidad.

Cabe destacar la relevancia e interés de la comunidad científica por el presente libro que como he mencionado refleja unas primeras investigaciones en Ecuador sobre esta nueva realidad de la era especial, dando además espacio a otros temas futuristas que en la actualidad la humanidad se encuentra trabajando, lo que hoy parece ciencia ficción o fantasía, mañana será nuestra realidad, y estamos dando los primeros pasos en la dirección correcta, porque al igual que la teoría de la evolución de las especies, quien no se adapta al entorno constantemente cambiante termina por desaparecer.

### **For educational or informational purposes**

NASA content – images, audio, video, related media and files used in the rendition of 3-dimensional models, such as texture maps and polygon data in any format – generally are not subject to copyright in the United States. You may use this material for educational or informational purposes, including photo collections, textbooks, public exhibits, computer graphical simulations and Internet Web pages. This general permission extends to personal Web pages. <https://www.nasa.gov/nasa-brand-center/images-and-media/>

En un mundo donde existen muchos sabios, necesitamos más personas buenas, comprometidas con el cambio y con el rumbo del mañana. Que cada palabra y cada texto de este libro sean una inspiración para la comunidad lectora, resonando con verdad y

propósito. Esta obra es una pequeña muestra de cómo, en cada estudiante, habita un mundo de conocimientos y saberes que, junto a una guía correcta, puede transformarse en los grandes liderazgos del mañana. Solo se necesita ese empujón inicial para sobresalir y desplegar las alas en los vastos campos del saber. Que futuras generaciones encuentren en estas páginas el eco auténtico de nuestro esfuerzo compartido y descubran la esperanza de que, a través de la investigación y el comercio exterior, podemos sembrar las semillas de un mundo más justo, conectado y lleno de oportunidades.

*Guido Homero Poveda Burgos*



**CAPITULO I: Ética del poder: ¿quién decide  
quién va al espacio y quién se queda en la tierra?**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos

**Docente del Instituto Superior Tecnológico Argos**

**Simón Velásquez Basurto**

Estudiantes de Licenciatura en Comercio Exterior

Díaz Poveda Jeremy Josué

Mazzini Pincay Mirelly Samary

Nataly Vallejo Demera

Medina Naranjo María de los Ángeles

## **Resumen**

"El hombre puede siempre más de lo cree, pero no sabe siempre lo que cree ni lo que puede". La permanencia humana en el espacio durante más de dos décadas demuestra que vivir fuera de la Tierra es posible, pero limitado a pequeños grupos y bajo estrictas condiciones tecnológicas. Aunque esta experiencia ha impulsado avances científicos, comerciales y sociales, aún no existe la infraestructura necesaria para sostener sociedades grandes o autosuficientes en órbita. La vida espacial actual depende totalmente del apoyo terrestre y presenta desafíos biológicos, económicos y logísticos que impiden su expansión masiva. Además, el acceso al espacio está concentrado en pocas potencias y empresas, lo que abre debates éticos sobre quién decide quién puede ir y con qué propósito. En conjunto, la experiencia acumulada funciona como un laboratorio para el futuro, permitiendo comprender tanto las posibilidades como las restricciones del desarrollo humano más allá de la Tierra.

**Palabras Clave:** Administración de recursos, sociología, ideología, adaptación, desarrollo.

## **Introducción**

Desde el principio del tiempo, la humanidad se ha fascinado con el espacio, a través de la historia, grandes eruditos se han cuestionado y trataron de imaginarse el universo que habitamos. El concepto del espacio se ha vuelto muy presente gracias a la cultura popular como lo son películas como: Interestelar, Wall-E, The

Martian, entre otros. Gracias a los avances tecnológicos, la humanidad ha logrado explorar más de nuestra galaxia, generando una perspectiva optimista a diferencia de la antigüedad se creía posible solo en los sueños. Sin embargo, no todo el mundo se convierte en científico espacial profesional, pero el compartir el asombro del cielo con las masas, que han tenido agendado los astrónomos y defensores de la ciencia durante siglos. Y a medida que la exploración espacial se vuelve más real, cercana y ambiciosa, surge una nueva reflexión sobre su acceso:

¿Quién decide quién va al espacio y quién se queda en la Tierra?

Cuando más información se obtiene sobre el universo, más aprendemos sobre nosotros mismo. Cada misión de la NASA lleva consigo mismo el espíritu del descubrimiento. La siguiente investigación ofrecerá una visión de cómo viven los astronautas de acuerdo con los siguientes temas a continuación, mientras aprenden sobre lo desconocido.

Aquellos factores que son cruciales para determinar si es posible una vida estable en el espacio: Cuando analizamos la salud y el rendimiento de los astronautas, realmente la primera línea de defensa para la salud de la tripulación es su sistema alimentario. La gravedad cero y el amanecer cada 90 minutos pueden ocasionar alteraciones en la salud del astronauta, tanto física como mental. Se debe combatir el mareo, la claustrofobia y la nostalgia día a día y también deben estar preparados para cualquier emergencia médica que pueda llegar a surgir.

El espacio constituye un verdadero reto para los astronautas por muchas razones, pero sobre todo por el aislamiento que significa. Un astronauta está mucho tiempo lejos de su familia, sus amigos, de la sensación del sol o de la brisa, entre muchas otras cosas cotidianas que, por tenerlas cada día con nosotros, muchas veces no valoramos lo importante que son para nuestro equilibrio mental hasta que nos faltan.

El espacio es un entorno de microgravedad, lo que implica la ausencia o reducción de fuerzas mecánicas habituales en la Tierra y provoca que los sistemas corporales funcionen de manera diferente. Un ejemplo clave es la redistribución de la sangre: en la Tierra, la

gravedad hace que la sangre se acumule en las extremidades inferiores y el corazón trabaja intensamente para bombearla al cerebro, mientras que en el espacio la sangre se acumula en la parte superior del cuerpo y el corazón no necesita bombear con tanta fuerza.

## **Metodología Diseño de Investigación**

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo tipo documental por que el objetivo principal es comprender, interpretar y analizar cómo se construyen. Se examinaron documentos académicos, reportes de organizaciones y análisis de ejemplos prácticos difundidos en los últimos cinco años.

### **Desarrollo**

La humanidad ha mirado al cielo buscando respuestas. Hoy, cuando el espacio se convierte en un destino posible.

Lo primero que debemos tener en cuenta para que el ser humano individual o en conjunto pueda sobrevivir en el espacio, es revisar un lugar apropiado, y con condiciones estables para vivir. Partiendo de la siguiente pregunta:

¿Qué es la zona habitable?

De acuerdo con la agencia espacial de Norteamérica, se considera “Zona Habitable” a aquella región del sistema solar en donde podría existir agua líquida en la superficie de determinado planeta que orbita a una estrella. Estas regiones también se conocen como “Ricitos de Oro”, ya que sus condiciones climáticas son las adecuadas, ni muy calientes ni tan frías, para albergar vida. (National Aeronautics and Space Administration, 2013)

El agua líquida que abunda en la Tierra es esencial para la vida, indica NASA; y advierte que cada estrella en el universo tiene una zona habitable, pero varía en distancias de acuerdo con el tamaño y brillo que emana la estrella de ese sistema estelar. Además, es

necesario considerar el tipo de planeta que orbita esa zona habitable para determinar la posibilidad de que exista vida allí. (National Aeronautics and Space Administration, 2013)

¿Qué hace que un planeta sea habitable?

Para que un planeta fuera del sistema solar sea considerado habitable, NASA utiliza una serie de determinaciones en su análisis, entre los que se encuentran las siguientes condiciones:

La vida requiere agua líquida, energía solar y nutrientes.

El planeta debe ubicarse en la región habitable de la órbita con su estrella, la “Zona Ricitos de Oro” cuya temperatura es propicia para contener vida de cualquier tipo.

Un planeta habitable necesita de atmósfera para poder filtrar los altos niveles de rayos X y UV que emanan de la estrella que orbita.

El planeta dentro de la zona habitable puede ser cálido, pero carecer de aire. Es por este motivo que NASA advierte que no todo cuerpo terrestre que orbite esa zona es apto para albergar vida.

Los planetas rocosos son los candidatos mejor posicionados para albergar vida, siempre y cuando contengan también las condiciones anteriores.

¿Qué planeta es óptimo para vivir?

Aunque la Tierra es el único entorno naturalmente habitable para los humanos, la exploración espacial ha identificado ciertos cuerpos dentro del Sistema Solar que podrían albergar asentamientos humanos a futuro. La viabilidad depende de factores como disponibilidad de agua, protección contra la radiación, gravedad tolerable, temperatura, atmósfera y acceso a recursos para construir hábitats. Pese a que ninguno es totalmente favorable. (Planetas en los que el ser humano podría vivir, 2023)

Marte

Marte ofrece el equilibrio más favorable: es el planeta más parecido a la Tierra en ciclos de día, estaciones y disponibilidad de agua, lo que lo convierte en el candidato principal para una

colonización estable a largo plazo. (Los seres humanos han estado viviendo en el espacio durante 20 años, 2020)

Es el mejor candidato debido a que al tiempo, su desviación y durabilidad se ve afectada por su gravedad, sin embargo, a corto plazo no se ve tan diferente, siendo que la Tierra con su gravedad de  $9,8m/s^2$  su día tiene 24 horas, mientras que Marte con su gravedad de  $3,71m/s^2$ , por lo que su día tiene 24 horas con 37 minutos.

La gravedad también refleja el peso de una persona. Esto significa que una persona pesaría aproximadamente un 62% menos en Marte que en la Tierra.

Otra de las razones es porque Marte ya está siendo investigada y tenemos más información, por lo que sabemos que hay Presencia confirmada de hielo, provenientes del agua. Además de tener temperaturas extremas, pero estas pueden ser manejables con tecnología moderna. Y por supuesto una superficie estable con recursos minerales.

Una vez ya tenemos esta información, ¿Quién decide quién va al espacio y quién se queda en la Tierra?

Para responder esta pregunta, debemos tener varios factores en cuenta, factores sociales y humanos, condiciones que nos hacen vivir en la Tierra, pero adaptarnos a otros entornos, individualmente es posible, pero eso nos deja otras interrogantes: ¿Esto es sostenible? ¿Cuánto tiempo se puede sobrevivir en el espacio? ¿Es lo mismo una población en la Tierra a una población en el espacio? ¿Qué diferencias habría?

Es por ello decidimos analizar qué aspectos son fundamentales para tener en cuenta para este acto, como lo son: Aspectos psicológicos, Ética y Moral, Política, Supervivencia, Psicología de masas, Salud, aspectos científicos, etc.

Selección de astronautas en la actualidad:

En representación de toda la humanidad, estos viajeros espaciales ponen a prueba los límites del cuerpo humano en el espacio, realizan investigaciones, apoyan el desarrollo de nuevas tecnologías y

exploran las maravillas del Universo en uno de los entornos más extremos imaginables. (GoStudent UK., 2022)

Reclutan a potenciales astronautas y determinan qué habilidades y estudios se requieren para convertirse en astronauta.

Los candidatos a astronauta también deben poseer una excelente motricidad fina, sólidas habilidades analíticas y de redacción de informes, la capacidad de asimilar y sintetizar rápidamente información compleja y una buena capacidad de toma de decisiones.

Deberán asimilar mucha información compleja durante su entrenamiento y aprender a priorizarla para garantizar un rendimiento consistentemente alto en el espacio. Es fundamental que los astronautas trabajen bien en equipo, incluso en espacios reducidos y bajo presión. Por lo tanto, se considera una ventaja que los candidatos hayan tenido la oportunidad de fomentar un trabajo en equipo eficaz y alcanzar objetivos grupales exigentes. (National Aeronautics and Space Administration, 2013)

Los candidatos a astronauta también deben poseer una excelente motricidad fina, sólidas habilidades analíticas y de redacción de informes, la capacidad de asimilar y sintetizar rápidamente información compleja y una buena capacidad de toma de decisiones. Deberán asimilar mucha información compleja durante su entrenamiento y aprender a priorizarla para garantizar un rendimiento consistentemente alto en el espacio.

El cuerpo humano enfrenta desafíos en el espacio, como adaptarse a diferentes campos gravitatorios y vivir durante largos períodos en un entorno cerrado. Por ejemplo, los cambios de los fluidos en el cuerpo causados por la microgravedad pueden producir cambios en los ojos, el cerebro, los huesos, los músculos y el sistema cardiovascular. Ser capaces de ver, respirar y desempeñarse de manera óptima es fundamental para vivir y trabajar en el espacio. (Espacio Ciencia de la NASA., 2025)¿Cuáles son los requisitos psicológicos e intelectuales?

## **Estándar para ser un astronauta en la actualidad: Requisitos lingüísticos**

Los solicitantes deben tener un buen dominio del inglés hablado y escrito (nivel mínimo C1 del MCER). Se valorará positivamente el conocimiento de otro idioma extranjero y de cualquier otro idioma adicional.

### **Límite de edad**

Cada misión espacial representa una inversión sumamente importante para todas las partes involucradas. Por este motivo, y para garantizar que cada astronauta contratado pueda completar al menos dos misiones durante su empleo con la ESA antes de jubilarse, la ESA está obligada a establecer un límite de edad máximo de 50 años. Hay que tener en cuenta otros aspectos fundamentales como:

### **Tiempo:**

La Teoría de la Relatividad General no solo resolvió problemas del pasado, sino que abrió la puerta a la cosmología moderna.

Todo empieza con La Relatividad Especial. Esta teoría fué propuesta por Albert Einstein en 1905, y surge como respuesta a una crisis conceptual en la física clásica. En ese contexto, se creía que el tiempo y el espacio eran absolutos, iguales para todos los observadores

sin importar su movimiento. Sin embargo, los experimentos sobre la velocidad de la luz demostraban que esta permanecía constante, contradiciendo las ideas tradicionales de movimiento. Einstein decidió replantear los cimientos de la física partiendo de dos postulados simples pero revolucionarios: que las leyes de la física son iguales para todos los observadores inerciales y que la velocidad de la luz es la misma para cualquiera que la mida. (Walter Isaacson, 2025)

En la Relatividad General, el espacio y el tiempo forman un tejido flexible llamado espacio-tiempo, el cual puede doblarse o curvarse debido a la presencia de masa y energía. Los objetos no son atraídos por fuerzas misteriosas, sino que se mueven siguiendo las “curvas” de ese espacio-tiempo deformado. (Walter Isaacson, 2025)

Entre las predicciones más notables de la Relatividad General se encuentran la desviación de la luz al pasar cerca de un objeto masivo, la dilatación gravitatoria del tiempo donde los relojes avanzan más lentamente en campos gravitacionales fuertes y la posibilidad de fenómenos extremos como los agujeros negros. La predicción de la desviación de la luz fue confirmada durante el eclipse solar de 1919, un experimento que dio fama mundial a Einstein y validó de forma contundente su teoría.

Las teorías de Einstein nos ayudan a entender que la gravedad afecta al tiempo: donde hay más gravedad, el tiempo pasa un poco más lento, y donde hay menos, pasa un poco más rápido. Por eso, en Marte que tiene mucha menos gravedad que la Tierra el tiempo avanzaría apenas un poco más rápido, aunque la diferencia sería tan pequeña que una persona no la sentiría. (Walter Isaacson, 2025)

Esta idea también muestra que vivir fuera de la Tierra trae cambios reales. En lugares con poca gravedad, como Marte o el espacio, el cuerpo humano se debilita porque los huesos y músculos trabajan menos, y adaptarse sería un desafío importante. En resumen, las teorías de Einstein nos recuerdan que mudarnos a otro planeta no solo depende de tecnología, sino también de cómo nuestro cuerpo y nuestro tiempo cambian según la gravedad del lugar donde estemos.

Una vez aclaramos el lugar, los estándares actuales según la NASA, para la investigación y el progreso, ahora analizaremos los aspectos fundamentales para que una población habite en el espacio, mediante dimensiones: Física, Social, Poder.

## **DIMENSIÓN FÍSICA**

### **Salud:**

Los astronautas no tienen la necesidad de preocuparse por los gérmenes como en la Tierra, porque los únicos gérmenes son los que llevan consigo mismos, pero no significa que no se vayan a enfermar,

aunque de acuerdo con la gravedad cero solo van a sentir como un resfriado constante.

Para evitar el deterioro óseo y muscular, los astronautas deben hacer dos horas de ejercicios y dormir ocho horas tras un día de misión de 16 horas, cada miembro de la tripulación recibe una mascarilla y tapones para los oídos. También se bañan con esponja a diario y con un champú sin enjuague para lavarse el pelo y el exceso de aguase aspira al depósito de aguas residuales y la pasta de dientes se puede tragar y succionar, como en una consulta del dentista. El agua se recicla constantemente a bordo de la estación, gracias al procesador de agua fabricado en Rusia, que toma la humedad y la condensación del aire y las convierte en agua potable e incluso para bañarse.

## **Fisiología**

Nos mareamos al levantarnos demasiado rápido porque la gravedad provoca una caída momentánea de la presión arterial. Imagina las adaptaciones fisiológicas que nuestro cuerpo tendría que hacer para ir al espacio y regresar.

¿Qué le ocurre a tu cuerpo en el espacio?

El espacio es un entorno de microgravedad, lo que implica la ausencia o reducción de fuerzas mecánicas habituales en la Tierra y provoca que los sistemas corporales funcionen de manera diferente. Un ejemplo clave es la redistribución de la sangre: en la Tierra, la gravedad hace que la sangre se acumule en las extremidades inferiores y el corazón trabaja intensamente para bombearla al cerebro, mientras que en el espacio la sangre se acumula en la parte superior del cuerpo y el corazón no necesita bombear con tanta fuerza. (Cranford N., & Truner, J., 2021)

¿Cómo se transforma nuestra fisiología cuando incluso el acto de impulsar sangre al cerebro deja de ser un desafío para el corazón?

Al regresar a la Tierra, el sistema cardiovascular experimenta dificultades para recuperar su funcionamiento normal. La disminución del flujo sanguíneo al cerebro dificulta mantenerse de pie sin desmayarse, un fenómeno similar al que experimentan personas que sienten mareos tras descansar en cama o cambiar de posición debido a una bajada excesiva de la presión arterial.

Y entonces aparece una inquietud relevante: si el espacio altera funciones tan básicas, ¿qué tan frágil es realmente el equilibrio fisiológico al que estamos acostumbrados? Por ello, los fisiólogos espaciales estudian maneras en que el cuerpo puede adaptarse mejor a estos cambios. (Cranford N., & Truner, J., 2021)

Otro punto fundamental es la pérdida muscular. En la micro gravedad, la fuerza ejercida sobre los músculos disminuye, por lo que no necesitan trabajar tanto y se deterioran al no usarse. Los estudios han demostrado una pérdida de hasta un 24 % en el músculo de la pantorrilla tras más de 100 días en el espacio, lo cual evidencia que

volver a ponerse de pie en la Tierra resulta difícil y requiere recuperar la musculatura perdida.

¿Qué sucede con un cuerpo que deja de sentir su propio peso durante meses?

Esta condición también afecta a personas en la Tierra sometidas a reposo absoluto o con movilidad reducida, lo que muestra que la investigación de los fisiólogos espaciales puede contribuir al desarrollo de medidas para minimizar estos efectos tanto en el espacio como en la vida cotidiana terrestre.

¿Podría la ciencia espacial transformar los tratamientos de rehabilitación física aquí en la Tierra?

La investigación actual sobre fisiología espacial constituye la base para futuros avances y plantea interrogantes sobre el alcance de la exploración humana: ¿llegaremos a Marte y más allá? Y más aún, ¿estará preparado el cuerpo humano para sobrevivir y prosperar en mundos donde la gravedad, la radiación y el tiempo actúan de formas completamente desconocidas para nuestra especie?

## **Alimentación**

Cultivar plantas en el espacio es un desafío fundamental para el futuro de las misiones de larga duración, y la NASA lo explica claramente en el episodio “How to Grow Plants in Space”. Las plantas no solo sirven como alimento fresco, sino que producen oxígeno, absorben dióxido de carbono y participan en el reciclaje del agua, convirtiéndose en un sistema de soporte vital biológico imprescindible

cuando los astronautas ya no puedan depender constantemente de suministros enviados desde la Tierra. Además, tienen un impacto psicológico muy importante: ver algo verde crecer en un ambiente totalmente artificial ayuda al bienestar emocional, reduce el estrés y genera una sensación de conexión con la Tierra.

Para lograr que las plantas crezcan fuera del planeta, los científicos deben controlar parámetros que aquí parecen simples, pero que en microgravedad se vuelven complejos. Se utilizan cámaras especiales que regulan temperatura, humedad, ventilación y nutrientes. La iluminación es completamente artificial mediante LEDs que imitan la luz solar, y diferentes colores pueden cambiar el crecimiento, el sabor y la calidad nutricional de las plantas. El agua es uno de los mayores retos: sin gravedad, no fluye hacia abajo ni se distribuye igual; tiende a formar burbujas, lo que complica que las raíces reciban agua y oxígeno adecuadamente. Por eso se experimenta con sustratos controlados, riego por mecha e incluso sistemas hidropónicos modificados. La orientación también cambia, porque sin gravedad las plantas no saben qué es arriba o abajo; usan la luz como guía para dirigir tallos y hojas mediante fototropismo. Otro factor importante es la radiación espacial, más intensa que en la Tierra, lo que puede afectar el crecimiento y la genética de los cultivos, por lo que se estudia cómo protegerlas y qué especies son más resistentes. La selección de cultivos es estratégica: se prefieren plantas compactas, de rápido crecimiento, alto rendimiento y buena calidad nutricional, como lechugas, kale, col china, microverdes, tomates pequeños y pimientos. Antes de enviar cualquier experimento al espacio, la NASA

realiza verificaciones científicas en la Tierra usando el mismo hardware para asegurar que los sistemas funcionen; luego se hace una réplica en laboratorio como control para comparar con lo que sucede en órbita. También se estudia la seguridad alimentaria mediante análisis de nutrientes y de microorganismos para confirmar que sean seguras de consumir. Todos estos avances permiten considerar sistemas cerrados bioregenerativos para futuras misiones a Marte, donde las plantas podrían reciclar aire y agua y, además, aprovechar recursos locales como hielo o CO<sub>2</sub> presentes en el ambiente marciano. En conjunto, el cultivo de plantas en el espacio representa un paso crítico hacia la autosuficiencia humana fuera de la Tierra, combinando biología, ingeniería, psicología y exploración, y demuestra que para vivir en otros mundos necesitamos aprender a llevar nuestros propios ecosistemas con nosotros. (Daines, G., 2022).

### **Psicología individual**

¿Cuál debe ser el perfil psicológico del astronauta? El espacio constituye un verdadero reto para los astronautas por muchas razones, pero sobre todo por el aislamiento que significa. Un astronauta está mucho tiempo lejos de su familia, sus amigos, de la sensación del sol o de la brisa, entre muchas otras cosas cotidianas que, por tenerlas cada día con nosotros, muchas veces no valoramos lo importante que son para nuestro equilibrio mental hasta que nos faltan. (Space survival., 2019)

En general, las cualidades que busca la NASA, según afirman, son las que se espera de cualquier persona cuya labor sea trabajar en ambientes de gran riesgo, aislados y bajo estrés casi continuo, así como con una gran adaptabilidad para el trabajo en equipo, es decir una persona tolerante y con muy buenas habilidades sociales.

Aunque por razones de seguridad los expertos no suelen dar más detalles de las pruebas que hacen o las situaciones por las que hacen pasar a los aspirantes para lograr determinar su perfil psicológico, en algo sí están de acuerdo, y es que estas pruebas varían cada cierto tiempo en dependencia de las misiones que se proyecten. (O'shea, C.

### **¿Cuáles son los principales riesgos?**

El prolongado aislamiento y confinamiento al que se enfrentan los astronautas en el espacio puede aumentar el riesgo de problemas de conducta y trastornos psiquiátricos, como la ansiedad y la depresión. Estos factores pueden afectar al sueño, la moral y la toma de decisiones de los tripulantes, por lo que la investigación continua sobre cómo ayudar a las tripulaciones a mantener la salud psicológica es esencial para el éxito y la seguridad de las futuras misiones.

### **¿Qué se puede hacer al respecto?**

Los astronautas a bordo de la estación espacial afrontan el aislamiento y el confinamiento de diversas maneras. Para mejorar su salud mental, la NASA los anima a explorar opciones de autocuidado, como llevar un diario con regularidad. Además, las investigaciones sugieren que cultivar verduras frescas en el espacio puede proporcionar beneficios terapéuticos al ofrecer un recordatorio tangible de la vida en la Tierra.

## **DIMENSIÓN SOCIAL**

### **Psicología de masas**

Desde el momento en que se reúnen cierto número de seres vivos, ya se trate de una manada de animales o de una multitud de hombres, se sitúan instintivamente bajo la autoridad de un jefe, es decir: de un conductor o líder.

En las masas humanas, el conductor o líder desempeña un papel considerable. Su voluntad es el núcleo en torno al cual se forman y se identifican las opiniones. La masa es un rebaño que no sabría carecer de amo.

Desde la antigüedad al hombre le ha sorprendido el comportamiento de las multitudes como algo distinto o al menos con características diferenciales de la conducta individual, y así lo ha tratado de describir en la literatura clásica. Pero no es hasta el año 1895, cuando se empieza a estudiar científicamente el comportamiento de las multitudes y es "La Psychologie des Foules" de LE BON el libro de texto sobre el tema hasta casi nuestros días. (Le Bon G., 1895)

"La masa es siempre intelectualmente inferior al hombre aislado. Pero, desde el punto de vista de los sentimientos y de los actos

que los sentimientos provocan, puede, según las circunstancias, ser mejor o peor. Todo depende del modo en que sea sugestionada".

Las masas psicológicas son, por tanto, susceptibles de clasificación. El estudio de esta última nos mostrará que una muchedumbre heterogénea, compuesta por elementos distintos entre sí, presenta rasgos comunes con las masas homogéneas, formadas por elementos más o menos similares (sectas, castas y clases), por caracteres comunes, y junto a éstos por particularidades que permiten diferenciarlas. (Le Bon G., 1895)

“Conocer el arte de impresionar la imaginación de las masas es conocer el arte de gobernar.”

Impulsividad, movilidad e irritabilidad de las masas

Las masas son extremadamente móviles por ser diversos los excitantes susceptibles de sugestionarlas y por obedecer ellas siempre a los mismos. En un instante pasan desde la ferocidad más sanguinaria a la generosidad o el heroísmo más absolutos. La masa se convierte con facilidad en verdugo, pero no menos fácilmente en mártir.

En la irritabilidad de las masas, en su impulsividad y su movilidad, así como en todos los sentimientos populares siempre intervienen las características fundamentales de la raza. (Le Bon G., 1895)

### **Sugestibilidad y credulidad de las masas**

Si adjudicamos a la palabra moralidad el sentido de respeto constante de ciertas convenciones sociales y de represión permanente de los impulsos egoístas, resulta evidente que las masas son demasiado impulsivas y móviles como para ser capaces de moralidad.

Las tradiciones representan las ideas, necesidades y sentimientos del pasado. Son la síntesis de la raza y gravitan, con todo su peso, sobre nosotros.

Tanto en los problemas sociales como en los biológicos, uno de los más enérgicos factores es el tiempo. Representa el auténtico creador y el gran destructor. (Le Bon G., 1895)

Entre las ideas dominantes de nuestra época se encuentra en primer plano la siguiente: la instrucción tiene, como resultado cierto, mejorar a los hombres e incluso hacerles iguales. Debido al simple

hecho de la repetición, tal idea ha llegado a convertirse en uno de los más inquebrantables dogmas de la democracia.

La idea de que las instituciones pueden poner remedio a los defectos de las sociedades, de que el progreso de los pueblos resulta del perfeccionamiento de las constituciones y de los gobiernos y de que los cambios sociales se operan a golpes de decretos, se halla aún muy extendida.

Sin embargo, no les ha resultado difícil demostrar que las instituciones son hijas de las ideas, de los sentimientos y de las costumbres, y que no se renuevan las ideas, los sentimientos y las costumbres rehaciendo los códigos. (Le Bon G., 1895)

Los jurados proporcionan, en primer lugar, una prueba de la poca importancia que tiene, para adoptar decisiones, el nivel mental de los diversos elementos que componen una multitud. Hemos visto que en una asamblea de liberadora a la que se solicita una opinión acerca de una cuestión que, no revista un carácter completamente técnico, no desempeña papel alguno la inteligencia; y que una reunión de sabios o de artistas no emite, acerca de temas generales, juicios sensiblemente distintos a los que puedan surgir de una asamblea.

El pánico y la violencia son conductas derivadas de la persona como ser social, y, por lo tanto, pueden y suelen darse en el agregado humano que denominamos multitud, aunque no frecuentemente.

### **Comercio y distribución**

El comercio en el espacio se proyecta como uno de los pilares económicos de las futuras actividades humanas más allá de la Tierra. A medida que empresas privadas y agencias espaciales expanden su presencia, surgen posibilidades de intercambio de bienes, servicios, tecnologías y recursos extraídos fuera del planeta. Las primeras formas de comercio se centrarán en servicios de transporte, telecomunicaciones, fabricación en microgravedad y suministro de infraestructura, pero a largo plazo se espera que exista un mercado

basado en recursos espaciales como minerales de asteroides, helio-3 lunar o agua convertida en combustible para naves. Esto crea un ecosistema donde la competencia, la regulación y los acuerdos internacionales serán esenciales para evitar monopolios, conflictos territoriales o explotación ilimitada. Sin embargo, el comercio espacial no es solo transacciones económicas: incluye también la venta de datos científicos, el turismo espacial, la fabricación de materiales avanzados y el suministro a colonias remotas. Este nuevo comercio, si se maneja de forma ética y sostenible, podría complementar las economías terrestres y abrir oportunidades de desarrollo, aunque también plantea desafíos sobre quién controla los recursos, cómo se reparten los beneficios y qué reglas determinarán las actividades económicas más allá de la Tierra (National Aeronautics and Space Administration, 2013).

### **Desarrollo humano y social**

El desarrollo social en el espacio implica analizar cómo las personas construirán comunidades fuera de la Tierra, enfrentando condiciones físicas, culturales y psicológicas completamente nuevas. Vivir en estaciones espaciales, bases lunares o colonias marcianas requerirá formas inéditas de convivencia, cooperación y resolución de conflictos, ya que la supervivencia estará directamente ligada a la capacidad de actuar colectivamente. La adaptación a la microgravedad, la distancia con el planeta y la relación con un entorno hostil hará que las dinámicas sociales cambien, fortaleciendo valores

como la comunicación, la solidaridad, la corresponsabilidad y la gestión emocional. Con el tiempo, podrían surgir nuevas identidades sociales ligadas al espacio, distintas a las de cualquier

nación terrestre, dando origen a expresiones culturales propias, normas comunitarias y hasta modelos alternativos de organización social. El desarrollo social en el espacio no será solo una extensión de las sociedades terrestres: será una oportunidad para repensar cómo vivimos juntos, cómo distribuimos tareas esenciales y cómo mantenemos la cohesión y el bienestar colectivo en un entorno donde cada decisión puede significar la continuidad o el fracaso de una comunidad fuera del planeta.

### **Ideologías**

Las ideologías y la ética del poder en el espacio se vuelven cruciales porque determinan quién toma decisiones, quién controla los recursos y quién tiene acceso a oportunidades como viajar, trabajar o habitar fuera del planeta. En un entorno donde la supervivencia depende de sistemas tecnológicos críticos, quienes gestionen la energía, el agua, el oxígeno o las rutas espaciales tendrán una influencia enorme. Esto abre debates éticos profundos: ¿deberían unos pocos Estados o corporaciones definir el futuro espacial?, ¿cómo se asegura un acceso justo?, ¿quién decide quién va al espacio y quién se queda en la Tierra?

Estas preguntas reflejan tensiones entre modelos ideológicos: desde enfoques igualitarios que buscan distribución equilibrada, hasta modelos jerárquicos donde la autoridad se concentra en grupos con mayor poder económico o tecnológico. Además, el espacio plantea dilemas éticos sobre la apropiación de recursos, la posible

colonización de otros cuerpos celestes y la responsabilidad de preservar ecosistemas extraterrestres. Las decisiones que se tomen ahora influirán en la forma en que se estructure la sociedad espacial del futuro, pudiendo reproducir desigualdades terrestres o, por el contrario, impulsar un sistema más justo y transparente. La ética del poder en el espacio, en última instancia, busca evitar que la exploración se convierta en un escenario de dominación y propone construir un modelo donde la humanidad avance de forma colectiva, responsable y equitativa. (Le Bon G., 1895)

## **Resultados**

Vivir en el espacio es posible, y la prueba más clara es que los seres humanos llevan más de veinte años habitando de forma continua la estación espacial Internacional.

Esta experiencia demuestra que la vida fuera de la Tierra puede mantenerse siempre que exista tecnología avanzada, soporte constante y cooperación internacional. Sin embargo, esta forma de vida no es comparable a la vida cotidiana en la Tierra: los astronautas enfrentan desafíos físicos, desde cambios en la distribución de los fluidos corporales hasta la exposición a niveles más altos de dióxido de carbono, y deben adaptarse a un entorno donde incluso tareas simples se vuelven complejas por la falta de gravedad. Aunque técnicamente la EEI funciona como una pequeña sociedad, ya que requiere coordinación, reglas, convivencia, manejo de recursos y trabajo conjunto de varias naciones, todavía no representa una sociedad completa en el sentido tradicional. Es más, un experimento social y científico que un ejemplo de vida cotidiana masiva. La estación funciona con una estructura social minimalista, altamente disciplinada y diseñada para tareas científicas, no para albergar familias, comercio o cultura cotidiana.

En cuanto a si una gran cantidad de personas podría vivir en el espacio, la respuesta por ahora es no. La EEI ha alojado apenas a

poco más de doscientas personas en total, y solo a un grupo reducido a la vez, porque las infraestructuras actuales son extremadamente costosas, limitadas y delicadas. A diferencia de lo que una colonia espacial necesitaría, la estación no está diseñada para sostener poblaciones numerosas ni ciclos naturales de vida como agricultura completa, crianza, espacios de vivienda, educación o producción económica. Aun así, vivir en el espacio como sociedad a gran escala podría ser posible en el futuro, pero para lograrlo sería necesario desarrollar hábitats mucho más grandes, sistemas de soporte vital autosustentables, formas de producción de alimentos dentro del espacio y modelos sociales capaces de cubrir necesidades humanas más amplias. Esto conecta con la ética del poder y el comercio espacial: decidir quién podrá habitar estos futuros asentamientos, quién controlará los recursos y qué normas regirán estas nuevas comunidades será un reto tan grande como el tecnológico. La experiencia de la EEI indica que es posible sostener vida humana, pero también muestra que para convertir esa vida en una sociedad real y numerosa se requieren cambios profundos, nuevas tecnologías y acuerdos globales que definan cómo se organizará la humanidad más allá de la Tierra.

### **Conclusiones**

Los veinte años de presencia humana continua en el espacio demuestran que sí es posible vivir fuera de la Tierra, siempre y cuando exista infraestructura controlada como la Estación Espacial

Internacional. Sin embargo, esta permanencia solo es viable gracias a avances científicos constantes, mantenimiento permanente y un entorno altamente regulado.

Esto indica que, aunque vivir en el espacio es factible, hacerlo de manera masiva aún no es realista sin superar limitaciones biológicas, médicas y tecnológicas que siguen siendo críticas.

La experiencia acumulada revela que pequeños grupos pueden convivir y cooperar en misiones prolongadas, pero una sociedad completa en el espacio todavía no es sustentable.

La falta de gravedad, la dependencia absoluta de recursos externos, el aislamiento extremo y la fragilidad de los hábitats hacen inviable replicar las dinámicas sociales que existen en la Tierra. Por ahora, la vida en el espacio funciona más como un experimento científico que como un modelo de convivencia humana a gran escala.

El hecho de mantener vida humana en órbita ha impulsado industrias como la robótica, el transporte espacial, la biotecnología y el comercio espacial emergente. Sin embargo, la habitabilidad del espacio para grandes grupos de personas depende de convertirlo en un entorno económicamente autosostenible, algo aún lejano.

La presencia humana continua genera inversión y demanda servicios, pero el costo de mantener incluso a pocas personas

demuestra que un comercio espacial para millones es todavía económicamente inviable.

La capacidad de vivir en el espacio no solo es una cuestión tecnológica, sino también ética. Actualmente, solo unas pocas potencias y corporaciones deciden quién puede ir al espacio, lo que revela una concentración de poder que podría aumentar en el futuro. Esto plantea dudas sobre igualdad, acceso y justicia: si el espacio se convierte en un nuevo territorio humano, la forma en que se distribuyan oportunidades determinará si será un espacio inclusivo o un privilegio reservado para élites científicas, económicas y políticas.

La experiencia de dos décadas evidencia que la especie humana puede adaptarse a entornos extremos, pero también confirma que la Tierra sigue siendo el único lugar capaz de sostener sociedades grandes y diversas. Vivir en el espacio es posible solo para grupos reducidos y con apoyo terrestre continuo.

Aun así, cada misión amplía el conocimiento necesario para que, en el futuro, la humanidad pueda plantearse colonias más grandes. Por ahora, el espacio no es un destino masivo, sino un laboratorio para imaginar el futuro y comprender mejor nuestras limitaciones como civilización.



**CAPITULO II: La ética del comercio espacial:  
equilibrio entre progreso económico y sostenibilidad  
interplanetaria**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos  
Gabriel de Jesús Neira Vera

**Docente de la Universidad Estatal de Milagro**

César José Ávila Martínez

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Dayana Elizabeth Vera Quiroz  
Karla Pamela Valencia Tobar  
Ariana Emma Cayetano Chávez  
Yandry Valentín Najas Gualán

## **Resumen**

El comercio espacial se está convirtiendo en un nuevo motor económico, impulsado por la exploración, el uso y la distribución de recursos fuera de nuestro planeta. Este estudio examina los problemas éticos que surgen de la actividad comercial en el espacio, considerando la importancia de equilibrar el avance económico con la sostenibilidad a nivel interplanetario. Se utiliza una metodología cualitativa que incluye la revisión de los estudios científicos recientes, análisis comparativos de las regulaciones espaciales y el estudio de fuentes primarias de organizaciones internacionales. Los resultados muestran conflictos entre los intereses privados, la insuficiencia de las leyes y los riesgos ambientales en los cuerpos celestes. Además, se destaca la necesidad urgente de incorporar principios éticos para evitar prácticas de explotación que puedan repetir las desigualdades que existen en la Tierra. El estudio concluye proponiendo normas éticas y regulatorias que permitan un desarrollo económico espacial que sea responsable, sostenible y justo.

**Palabras clave:** Comercio espacial, ética, sostenibilidad interplanetaria, Economía espacial, gobernanza global

## **Introducción**

El comercio espacial se ha posicionado como uno de los sectores emergentes más importantes de la economía actual, impulsado por rápidos avances tecnológicos, la creciente participación del sector privado y la transformación del espacio exterior en un lugar

donde convergen intereses científicos, estratégicos y económicos. Durante mucho tiempo, la exploración espacial estuvo ligada exclusivamente a la competencia entre naciones poderosas, que priorizaban la investigación científica y el prestigio geopolítico.

Sin embargo, en los últimos quince años, esta situación ha cambiado radicalmente debido a la entrada de empresas comerciales, la disminución de los costos de lanzamiento de cohetes y la aparición de modelos de negocio enfocados en la explotación de recursos fuera de la Tierra. En este nuevo contexto, es fundamental reflexionar sobre la ética del comercio espacial y la posibilidad de lograr un equilibrio entre el progreso económico y la sostenibilidad interplanetaria.

El surgimiento de una economía espacial global no es un hecho aislado, sino el resultado de un proceso histórico en el que coinciden avances tecnológicos innovadores y cambios importantes en los mercados internacionales. Empresas como SpaceX, Blue Origin, Axiom Space, Astrobotic y Planetary Resources están impulsando modelos de negocio que abarcan desde la minería de asteroides hasta la construcción de estaciones privadas en órbita, pasando por el turismo espacial, la fabricación en condiciones de microgravedad y la exploración comercial de la Luna. La continua reducción de costos gracias a los cohetes reutilizables ha permitido que estas actividades, antes exclusivas de las potencias espaciales, se conviertan en oportunidades de inversión para empresas y países en desarrollo con capacidad tecnológica. En este escenario, la pregunta

clave no es solo cómo se desarrollará el comercio espacial, sino cómo hacerlo de manera ética, responsable y sostenible.

El desafío es aún mayor si se tiene en cuenta que el marco legal actual que regula las actividades en el espacio exterior es limitado y, en muchos casos, no es suficiente para abordar la magnitud de los cambios que están ocurriendo. El Tratado del Espacio Exterior de 1967 establece principios básicos como el uso pacífico del espacio y la prohibición de la apropiación territorial; sin embargo, no aborda claramente temas cruciales como la explotación comercial intensiva de recursos extraterrestres, la propiedad de los materiales extraídos, la responsabilidad ambiental en los cuerpos celestes o los mecanismos para distribuir los beneficios entre naciones con diferentes niveles de desarrollo. Esta falta de claridad normativa crea un vacío ético que, si no se gestiona adecuadamente, podría generar conflictos internacionales, grandes desigualdades económicas y daños irreversibles a ecosistemas extraterrestres cuya fragilidad aún desconocemos.

La ética del comercio espacial se convierte, por lo tanto, en un elemento esencial para guiar las decisiones políticas, económicas y tecnológicas. No se trata solo de evaluar si la minería de asteroides o el turismo espacial son económicamente viables, sino de analizar sus implicaciones morales en términos de justicia entre generaciones, equidad global, preservación del medio ambiente y gobernanza planetaria. La historia de la humanidad nos muestra muchos ejemplos de cómo los procesos de expansión económica y exploración

territorial generaron explotación, desigualdad y degradación ambiental cuando se llevaron a cabo sin consideraciones éticas. Repetir estos patrones en el espacio exterior podría agravar las desigualdades existentes y poner en riesgo el futuro de las próximas generaciones.

En este sentido, la sostenibilidad interplanetaria se presenta como un concepto relativamente nuevo pero fundamental para orientar la actividad económica fuera de la Tierra. Este concepto propone que la humanidad debe evitar trasladar al espacio los modelos de explotación que ya han provocado crisis ambientales en nuestro planeta. La extracción de minerales en la Luna o en asteroides, por ejemplo, podría causar cambios irreversibles en cuerpos celestes que, aunque parezcan inertes, podrían contener información valiosa sobre el origen del sistema solar o incluso recursos vitales para el futuro. Asimismo, la contaminación biológica accidental en Marte podría destruir pruebas de vida pasada o poner en peligro misiones científicas importantes.

A nivel político, la rápida privatización del espacio exterior plantea retos importantes para la gobernanza global. Mientras que los países con mayor capacidad tecnológica avanzan en sus programas espaciales, muchas naciones carecen de los recursos necesarios para participar de manera equitativa en esta nueva economía, lo que podría generar una brecha similar a la que hoy separa a las economías desarrolladas y en desarrollo. Este fenómeno se conoce como “colonialismo espacial” y se debate ampliamente en los estudios

recientes, ya que existe el riesgo de que las grandes empresas acumulen beneficios sin que existan mecanismos que aseguren una distribución justa a nivel internacional.

En términos económicos, el comercio espacial promete generar una industria de miles de millones de dólares en las próximas décadas. Sectores como la minería espacial, las comunicaciones satelitales avanzadas, el turismo orbital, la fabricación en microgravedad y las energías espaciales podrían transformar radicalmente las cadenas de suministro globales y la estructura productiva de los países. Sin embargo, este crecimiento debe ir acompañado de una reflexión crítica sobre el tipo de progreso que queremos construir. La pregunta no es solo cuánto dinero puede generar la economía espacial, sino cómo puede desarrollarse sin poner en riesgo la estabilidad del sistema solar ni repetir dinámicas de explotación y exclusión.

Además, el comercio espacial plantea desafíos ambientales tanto en la Tierra como fuera de ella. El aumento de los lanzamientos de cohetes produce contaminación atmosférica que afecta la capa de ozono y contribuye al calentamiento global. A esto se suma la creciente acumulación de basura espacial, un problema que amenaza la seguridad de los satélites, las estaciones espaciales y las misiones tripuladas. Si no se establecen criterios éticos y regulatorios sólidos, la órbita terrestre podría convertirse en un entorno peligroso e insostenible para la actividad humana.

En el plano filosófico, la expansión económica hacia otros cuerpos celestes exige que reconsideremos la relación de la humanidad con el cosmos. La pregunta fundamental es si tenemos derecho a extraer recursos de otros mundos solo para obtener beneficios económicos, o si debemos asumir un papel de guardianes interplanetarios que priorice la preservación y el respeto por el entorno. Los debates éticos en este campo abordan temas como el valor intrínseco de los cuerpos celestes, los derechos de los ecosistemas extraterrestres y la responsabilidad moral de evitar daños irreversibles en el espacio.

El equilibrio entre progreso económico y sostenibilidad interplanetaria es, por lo tanto, el tema central de esta investigación. El objetivo no es detener el desarrollo del comercio espacial, sino proporcionar normas éticas y reflexiones profundas que permitan que este desarrollo se lleve a cabo de manera responsable, inclusiva y sostenible.

Nos encontramos en un momento histórico en el que las decisiones que tomemos definirán no solo la economía del espacio exterior, sino también el futuro de la humanidad como especie interplanetaria.

Esta introducción, elaborada desde una perspectiva crítica y multidisciplinaria, busca ofrecer un análisis completo de los desafíos éticos que acompañan a la expansión del comercio espacial. Establece el marco conceptual y contextual necesario para comprender este

fenómeno en toda su complejidad, integrando aportes de la economía, el derecho espacial, la sostenibilidad ambiental, la ciencia política y la ética aplicada. Además, se basa en estudios internacionales recientes, informes técnicos de agencias espaciales, informes globales y debates actuales sobre la gobernanza planetaria.

Esta base nos permitirá, en los siguientes capítulos, analizar la metodología utilizada, desarrollar el cuerpo de la investigación y ofrecer resultados y conclusiones sólidas sobre la necesidad urgente de combinar progreso y sostenibilidad en el espacio exterior.

El panorama actual del comercio espacial se ha convertido en uno de los asuntos más relevantes dentro del debate científico, económico y político internacional. Aquello que durante mucho tiempo se percibió como ficción o como un campo exclusivo de las principales potencias espaciales, hoy evoluciona hacia una industria en expansión impulsada por avances tecnológicos, inversiones privadas y el interés por explotar recursos más allá del planeta Tierra.

En las últimas décadas, la humanidad ha experimentado un cambio profundo en su concepción del espacio exterior: dejó de ser únicamente un escenario destinado a la ciencia o la competencia entre Estados y comenzó a ser visto como un nuevo ambiente donde es posible desarrollar actividades económicas de impacto global. Esta transformación ha generado discusiones urgentes sobre la ética del

comercio interplanetario y sobre la necesidad de establecer normas, principios y límites que concilien el crecimiento económico con la preservación del entorno espacial.

Uno de los cambios más notorios del siglo XXI en materia espacial ha sido el paso de un modelo dominado por los Estados a otro en el que el sector privado desempeña un papel decisivo. Empresas como SpaceX, Blue Origin, Virgin Galactic, ispace, Planetary Resources y numerosas startups han acelerado innovaciones capaces de reducir costos, incrementar la frecuencia de las misiones y abrir nuevas posibilidades de negocio fuera del planeta. El desarrollo de cohetes reutilizables, materiales más ligeros, tecnologías autónomas de navegación y robots exploradores ha permitido que proyectos como el turismo orbital, la minería de asteroides, la manufactura en microgravedad y la instalación de colonias extraplanetarias avancen del plano conceptual hacia la planificación real. Esto ha modificado la idea tradicional del comercio, que ahora se extiende hacia un horizonte de alcance interplanetario.

A pesar de este acelerado progreso tecnológico, el marco legal que regula las actividades espaciales no ha evolucionado con la misma rapidez. La normativa vigente, basada en tratados elaborados en la segunda mitad del siglo XX, resulta insuficiente ante los nuevos desafíos. El Tratado del Espacio Exterior de 1967, por ejemplo, establece lineamientos generales como el uso pacífico del espacio y la prohibición de apropiación territorial, pero no aborda con precisión

cuestiones como la explotación minera de cuerpos celestes, los servicios comerciales en órbita, la responsabilidad ambiental por daños o la distribución equitativa de los beneficios obtenidos fuera de la Tierra. Esta falta de regulación genera discusiones éticas y económicas sobre la legitimidad del aprovechamiento de recursos extraterrestres, el derecho de acceso de países con menos recursos y los impactos ambientales potenciales de las nuevas industrias espaciales.

La necesidad de reflexionar sobre la dimensión ética del comercio espacial se hace cada vez más evidente ante la rápida expansión de la economía espacial. Este nuevo sector podría transformar industrias como la energía, la robótica, la defensa, las telecomunicaciones y la inteligencia artificial, además de generar oportunidades económicas multimillonarias.

Algunas proyecciones sostienen que el sector espacial podría superar los dos billones de dólares en las próximas décadas gracias a la minería lunar y de asteroides, al desarrollo de infraestructura fuera de la Tierra y a la mejora de los servicios satelitales. En este contexto surge una pregunta clave: ¿cómo asegurar que este crecimiento respete los valores humanos, promueva la justicia social y proteja entornos que podrían ser sumamente vulnerables? La historia demuestra que, cuando la humanidad descubre una nueva frontera económica, tiende a explotarla sin considerar sus consecuencias. La expansión colonial, por ejemplo, generó riqueza, pero también desigualdad, destrucción

ambiental y conflictos prolongados. La exploración espacial representa una frontera distinta, pero con riesgos semejantes si se privilegia únicamente el interés económico. Repetir patrones de extractivismo, colonización o competencia desigual podría profundizar aún más la brecha entre países desarrollados y en vías de desarrollo, consolidando lo que algunos expertos denominan “colonialismo espacial”.

En este debate también emerge el concepto de sostenibilidad interplanetaria, un enfoque novedoso que propone proteger los cuerpos celestes como patrimonio científico y natural. Esto implica no solo evitar daños a la Luna, Marte o los asteroides, sino también mantener la estabilidad del sistema solar como un espacio común. Estos cuerpos contienen información invaluable sobre la formación del universo y recursos esenciales para futuras misiones. Una explotación irresponsable alteraría su composición, contaminaría su superficie o interferiría con investigaciones científicas fundamentales. La posible búsqueda de vida microbiana en Marte, por ejemplo, podría verse afectada por intervenciones humanas sin control.

A esta preocupación se suma el problema ambiental en la órbita terrestre. El aumento del número de satélites y lanzamientos ha generado una cantidad creciente de basura espacial que representa un riesgo para misiones futuras, estaciones orbitantes e infraestructuras tecnológicas. El síndrome de Kessler, un escenario en el que los choques entre desechos crean una reacción en cadena, se vuelve cada

vez más probable si no se establecen políticas estrictas de mitigación. Sin una regulación adecuada, la órbita terrestre podría convertirse en una de las zonas más contaminadas del sistema solar.

El debate ético también abarca temas filosóficos sobre el rol de la humanidad en el cosmos. Es necesario preguntarse si los seres humanos deben comportarse como simples usuarios de recursos cósmicos o como guardianes responsables de preservar su integridad. Esto incluye reflexiones sobre el valor intrínseco de los cuerpos celestes y sobre la responsabilidad de proteger posibles formas de vida microbiana en otros planetas.

En el plano social y económico, las nuevas industrias espaciales podrían generar beneficios significativos, pero también riesgos de concentración de poder. Si unas pocas compañías controlan los recursos extraterrestres, podrían dominar sectores estratégicos de la economía global, afectando la soberanía tecnológica y la seguridad internacional. La desigualdad en el acceso al espacio también podría aumentar la brecha entre naciones ricas y pobres, perpetuando dependencias económicas y exclusiones históricas.

Ante estos desafíos, se requieren modelos de gobernanza internacional más sólidos. Las instituciones actuales, como la UNOOSA, carecen de herramientas suficientes para regular la participación privada o hacer cumplir normas en un entorno sin fronteras tradicionales. Sin acuerdos globales adecuados, podrían

surgir disputas por territorios, recursos o instalaciones en la Luna y Marte.

En este marco, el presente trabajo propone un análisis amplio y multidisciplinario sobre las implicaciones éticas del comercio espacial. Se examinarán los fundamentos conceptuales de la sostenibilidad interplanetaria, los avances tecnológicos que hacen posible la economía espacial, las brechas legales, los riesgos ambientales dentro y fuera de la Tierra, y los dilemas filosóficos sobre la presencia humana en el universo. Asimismo, se considerarán los posibles escenarios de inequidad y dominación que podrían surgir, así como las oportunidades para crear un modelo de desarrollo espacial justo y sostenible.

Finalmente, este estudio busca promover una reflexión profunda que permita formular políticas y principios éticos capaces de guiar la transición hacia una etapa interplanetaria responsable, equitativa y sostenible. La humanidad se encuentra en un momento decisivo en el que las decisiones actuales determinarán el futuro social, económico, científico y ambiental más allá de la Tierra. Por ello, comprender la ética del comercio espacial es una necesidad urgente para asegurar el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

En la actualidad, el comercio espacial se proyecta como una de las áreas de mayor transformación para la economía y la ciencia global.

A medida que las tecnologías de exploración y transporte espacial avanzan con rapidez, la actividad económica fuera de la Tierra comienza a adquirir una dimensión real y estratégica. Este desarrollo no solo redefine el papel de las agencias espaciales tradicionales, sino que también abre el camino para que actores privados, universidades y centros de investigación participen activamente en iniciativas interplanetarias. La posibilidad de convertir el espacio exterior en un entorno de producción, extracción y comercio impulsa nuevas preguntas sobre las responsabilidades éticas que deben acompañar estos progresos.

Uno de los aspectos más relevantes de este fenómeno es la acelerada democratización del acceso al espacio. Aunque esta apertura ha permitido la aparición de pequeños lanzadores, satélites de bajo costo y misiones comerciales, también ha introducido retos inéditos.

La competencia entre empresas privadas por ocupar órbitas estratégicas o establecer zonas de explotación minera podría generar tensiones similares a las disputas por territorios terrestres. Esto revela la necesidad urgente de construir acuerdos internacionales modernos que eviten que el espacio se convierta en un escenario de conflictos económicos o políticos.

Además, el creciente interés por instalar plantas de fabricación en condiciones de microgravedad plantea oportunidades y

dilemas complejos. Algunos materiales, como fibras ópticas avanzadas, cristales especiales o componentes biomédicos, pueden producirse con mayor eficiencia fuera del planeta. Sin embargo, el desarrollo de estas industrias implica cuestionar qué mecanismos asegurarán que los beneficios derivados de estas innovaciones se distribuyan equitativamente. Si la producción espacial se concentra únicamente en manos de corporaciones con gran capital, existe el riesgo de fortalecer monopolios globales y limitar el acceso a tecnologías críticas para países con menos recursos.

La necesidad de proteger el entorno espacial también adquiere protagonismo en este debate. La presencia creciente de naves, satélites y desechos en órbita baja crea un entorno cada vez más congestionado que puede poner en peligro futuras operaciones. Se estima que una colisión accidental podría multiplicar exponencialmente la cantidad de fragmentos en órbita, lo que bloquearía rutas espaciales durante décadas.

En este sentido, la ética del comercio espacial debe incluir medidas estrictas de prevención, reutilización de componentes, monitoreo constante y eliminación controlada de objetos que ya no cumplan funciones operativas.

Por otra parte, el interés por desarrollar asentamientos humanos fuera de la Tierra introduce preguntas profundas sobre los

derechos y las obligaciones de las personas que vivan en ambientes extraterrestres.

Las futuras comunidades en la Luna o Marte requerirán reglas claras sobre la organización social, la distribución del trabajo, la protección de la privacidad y la resolución de conflictos. Este tipo de problemáticas, aparentemente lejanas, deben ser anticipadas para evitar situaciones de abuso, explotación o desigualdad en territorios donde la supervivencia dependerá de una cooperación permanente.

La dimensión política del comercio espacial también merece atención. El liderazgo tecnológico de algunas potencias podría traducirse en un control privilegiado sobre recursos estratégicos localizados fuera del planeta.

Esta situación podría alterar el equilibrio de poder internacional y generar dependencias similares a las que hoy se observan en el sector energético o en la industria de los semiconductores. Por ello, la elaboración de un sistema de gobernanza espacial inclusivo, donde todas las naciones puedan participar de manera justa, es una pieza clave para evitar rivalidades que pudieran escalar hacia conflictos mayores.

Asimismo, el comercio interplanetario plantea desafíos éticos relacionados con el sentido de responsabilidad hacia el cosmos. Algunas corrientes filosóficas sostienen que los cuerpos celestes

poseen un valor propio que debe ser respetado, independientemente de su utilidad comercial.

Desde esta perspectiva, actividades como perforar la superficie lunar, modificar la composición de un asteroide o instalar megaestructuras en órbita deberían evaluarse desde criterios éticos que trasciendan lo económico. Respetar el equilibrio del sistema solar podría considerarse una forma de preservar un patrimonio universal que pertenece no solo a la humanidad, sino a las generaciones futuras.

La innovación espacial también tiene implicaciones para la seguridad global. El desarrollo de naves más avanzadas, sistemas autónomos y tecnologías de propulsión podría utilizarse con fines pacíficos o militares, dependiendo del contexto político. Este doble uso tecnológico exige una regulación clara que impida que la carrera comercial se transforme en una competencia armamentista encubierta. La cooperación internacional, la transparencia y los controles mutuos son fundamentales para garantizar que el espacio se mantenga como un entorno destinado al progreso científico y social.

Finalmente, la expansión de la economía espacial invita a reflexionar sobre el sentido humano de explorar. El impulso por descubrir y trascender los límites conocidos ha acompañado a la humanidad a lo largo de su historia; sin embargo, la ética del comercio espacial sugiere que esta exploración debe construirse sobre la base del respeto, la sostenibilidad y la responsabilidad colectiva.

Comprender el impacto de nuestras acciones fuera del planeta no solo permitirá evitar daños irreversibles, sino que también sentará las bases para un modelo interplanetario que beneficie a toda la humanidad y proteja la integridad del universo como un bien compartido.

El crecimiento de las actividades comerciales en el espacio exterior plantea una serie de retos éticos que la humanidad apenas comienza a entender. A medida que las empresas y los gobiernos amplían sus proyectos hacia la Luna, Marte y otros cuerpos celestes, surge una preocupación central: cómo impulsar el desarrollo económico sin comprometer la integridad ambiental del cosmos. Este dilema obliga a repensar la forma en que se planifican, ejecutan y regulan las actividades espaciales.

Uno de los aspectos más críticos es la explotación de recursos extraterrestres. La minería de asteroides, por ejemplo, promete grandes beneficios económicos, pero también puede generar impactos ambientales desconocidos. Aunque estos cuerpos no albergan vida tal como la conocemos, su alteración podría afectar ciclos naturales, futuras investigaciones científicas o incluso potenciales ecosistemas microbianos aún no descubiertos. Por ello, antes de implementar industrias extractivas a gran escala, resulta esencial desarrollar marcos éticos que evalúen riesgos, beneficios y límites aceptables.

Otro componente clave es la responsabilidad compartida del manejo de desechos espaciales. La creciente cantidad de satélites,

restos de cohetes y partículas metálicas en órbita terrestre representa una amenaza directa para la infraestructura espacial. Este problema exige acuerdos internacionales que obliguen a los actores involucrados a reducir desechos, implementar tecnologías de recolección y diseñar sistemas reutilizables. La sostenibilidad interplanetaria no solo depende de proteger otros cuerpos celestes, sino también de garantizar que las zonas orbitales sigan siendo seguras y utilizables para futuras generaciones.

Además, el inicio del comercio más allá de la Tierra abre un debate sobre la equidad en el acceso al espacio.

Actualmente, solo un grupo reducido de países y corporaciones poseen la capacidad tecnológica para operar en el entorno espacial. Esto genera una brecha que podría profundizar desigualdades globales. Un enfoque ético debe asegurar que los beneficios económicos obtenidos fuera del planeta no queden concentrados en unos pocos actores, sino que contribuyan al bienestar humano en un sentido más amplio. Esto implica promover cooperación científica, transferencias tecnológicas y políticas que eviten el uso monopolístico del espacio.

La preservación cultural y patrimonial del espacio también forma parte del debate contemporáneo. Sitios como las huellas de la misión Apolo o los primeros módulos orbitales representan un legado histórico de la humanidad. La expansión comercial podría amenazar este patrimonio si no se establecen reglas claras sobre su protección.

Reconocer estos lugares como bienes culturales de valor universal sería un paso fundamental para equilibrar avance y respeto.

Por último, la ética del comercio espacial promueve la idea de que la exploración interplanetaria debe alinearse con los principios de precaución, sostenibilidad y cooperación internacional. No se trata de frenar la

innovación, sino de orientarla hacia prácticas responsables. Esto incluye desarrollar tecnologías limpias, crear sistemas transparentes de gobernanza y fomentar la participación global en la toma de decisiones.

### **Metodología**

Esta investigación adopta un enfoque cualitativo descriptivo-analítico, basado en la revisión sistemática de estudios recientes publicados entre 2020 y 2025, especialmente en revistas indexadas en Scopus y Journal Citation Reports. Se utilizan fuentes primarias como tratados internacionales, declaraciones de agencias espaciales y documentos oficiales de organismos multilaterales.

La elección de esta metodología se justifica porque permite interpretar fenómenos emergentes, comprender el contexto político y económico de la industria espacial y analizar tendencias globales. El enfoque cualitativo ofrece ventajas al abordar temas donde la evidencia empírica aún es limitada, como la ética interplanetaria o los

riesgos ambientales fuera de la Tierra, facilitando una comprensión profunda y crítica del problema.

La presente investigación emplea un enfoque cualitativo de carácter descriptivo y analítico, orientado a examinar con profundidad el fenómeno emergente del comercio espacial y sus implicaciones éticas. Para ello, se llevó a cabo una revisión sistemática y estructurada de literatura especializada publicada entre 2020 y 2025, periodo en el que han surgido debates cruciales sobre sostenibilidad interplanetaria, gobernanza espacial y explotación de recursos fuera del planeta. La búsqueda se centró en revistas académicas de alto impacto, principalmente indexadas en Scopus, Web of Science y Journal Citation Reports, lo que garantiza la validez científica y actualidad de la información recopilada.

Además, se consultaron fuentes primarias indispensables para comprender el marco regulatorio y ético del espacio exterior. Estas incluyen tratados internacionales como el Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967) y acuerdos modernos sobre desechos orbitales, así como directrices emitidas por agencias espaciales como NASA, ESA, JAXA y otras instituciones involucradas en la gobernanza planetaria. También se incorporaron documentos oficiales de organismos multilaterales, entre ellos la ONU, la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA) y comités especializados en derecho espacial.

La elección de esta metodología responde a la necesidad de interpretar fenómenos nuevos y en constante transformación, donde la evidencia cuantitativa aún es escasa o insuficiente para realizar análisis estadísticos robustos. El enfoque cualitativo permite explorar con mayor sensibilidad aspectos como la ética interplanetaria, la preservación de ecosistemas extraterrestres, los dilemas del uso comercial de recursos espaciales y las tensiones geopolíticas relacionadas con la expansión económica más allá de la Tierra. Asimismo, posibilita identificar patrones, narrativas globales, vacíos normativos y perspectivas divergentes entre países desarrollados, potencias espaciales emergentes y actores privados.

El análisis descriptivo-analítico se eligió porque facilita comprender el contexto político, jurídico, tecnológico y económico en el que se desarrolla la industria espacial contemporánea. No solo permite organizar y sintetizar información dispersa, sino también interpretarla críticamente, examinando los riesgos éticos, los marcos regulatorios actuales y las proyecciones respecto al futuro del comercio interplanetario. Esta metodología, en conjunto, ayuda a construir una visión amplia e integradora sobre cómo la humanidad puede equilibrar el progreso económico con la responsabilidad ambiental en otros cuerpos celestes.

### **Diseño de investigación**

El diseño es no experimental, transversal y de carácter documental. Se analizan textos científicos, informes oficiales,

legislación internacional, artículos de ética aplicada y datos económicos sobre la industria espacial. El análisis se realiza mediante la comparación de fuentes primarias y secundarias, enfocándose en la relación entre progreso económico y sostenibilidad.

Esta modalidad permite identificar patrones, vacíos legales y tensiones éticas que surgen en la práctica del comercio espacial. Dado que aún no existen datos empíricos amplios sobre la explotación extraterrestre, el diseño documental resulta el más apropiado para generar conocimiento contextualizado y fundamentar propuestas éticas innovadoras.

### **Desarrollo**

El comercio espacial ha evolucionado rápidamente debido a la entrada de empresas privadas que buscan extraer minerales, colocar satélites en órbita, realizar turismo espacial o desarrollar infraestructura en la Luna. Este crecimiento plantea preguntas éticas sobre la propiedad, la explotación de recursos y la preservación del entorno interplanetario.

Las normativas actuales, como el Tratado del Espacio Exterior de 1967, son insuficientes para regular actividades comerciales intensivas. Aunque promueven el uso pacífico del espacio, no abordan con claridad la apropiación de recursos. Esta ambigüedad jurídica genera tensiones entre potencias espaciales y empresas privadas que buscan liderar el mercado.

Desde una perspectiva ética, existe el riesgo de repetir en el espacio los mismos patrones de explotación que afectan a la Tierra, como la sobreexplotación, las desigualdades de acceso y la acumulación de riqueza en países tecnológicamente avanzados. Además, la actividad comercial podría alterar ecosistemas extraterrestres que aún se desconocen, poniendo en riesgo la sostenibilidad interplanetaria.

La ética del comercio espacial propone principios como la justicia entre generaciones, la responsabilidad ambiental, la cooperación internacional y la equidad en la distribución de beneficios. El desafío consiste en integrar estos principios en un marco regulatorio global que permita la innovación y el progreso económico sin comprometer la integridad de otros cuerpos celestes ni el patrimonio común de la humanidad.

## **Resultados**

Los resultados del análisis muestran que el comercio espacial carece de una regulación global adecuada para garantizar actividades responsables y sostenibles. Los intereses privados avanzan más rápido que la legislación, lo que genera vacíos éticos importantes.

Asimismo, se identifican riesgos ambientales asociados a la explotación de asteroides y la posible contaminación biológica de planetas como Marte. También se detecta una concentración de

capacidades tecnológicas en pocos países y empresas, lo cual podría profundizar las desigualdades globales.

La comparación entre fuentes legislativas, científicas y económicas demuestra la urgencia de construir un marco ético que combine sostenibilidad, cooperación y justicia planetaria antes de que el comercio espacial se consolide sin restricciones.

### **Conclusiones**

El comercio espacial avanza rápidamente, pero la regulación internacional es insuficiente para garantizar prácticas éticas y sostenibles.

Existe un riesgo real de repetir en el espacio los patrones de explotación y las desigualdades económicas que existen en la tierra.

La sostenibilidad interplanetaria debe integrarse como un principio fundamental en la actividad comercial para proteger ecosistemas desconocidos.

Los marcos éticos requieren fortalecer la cooperación internacional y evitar la concentración de beneficios en pocos actores.

La investigación demuestra la necesidad de un enfoque interdisciplinario que combine economía, ética, derecho y ciencia para diseñar un comercio espacial justo y sostenible.



**CAPITULO III: Ética y desarrollo sostenible  
en la era espacial “finanzas sostenibles y modelos  
económicos emergentes para el desarrollo espacial”**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Alexandra González Vera  
Dayanna Ladines López  
Dayanna Soria Urvina  
Nataly Vallejo Demera

## **Resumen**

Esta investigación analiza cómo las finanzas sostenibles y los modelos económicos emergentes están transformando el desarrollo espacial, impulsados por la necesidad de territorios más resilientes y un financiamiento responsable. Su objetivo es comprender cómo los instrumentos verdes y los nuevos enfoques económicos pueden mejorar la planificación territorial y reducir vulnerabilidades. La metodología utilizada es cualitativa, exploratoria y descriptiva, adecuada para interpretar fenómenos en su contexto (Hernández Sampieri et al., 2014). Los resultados evidencian que las finanzas verdes pueden generar efectos positivos en el desarrollo regional, especialmente cuando se integran con modelos que equilibran sostenibilidad y bienestar, como la Economía del Donut (Raworth, 2017).

**Palabras clave:** impacto ambiental, finanzas, biodiversidad, innovación social, planificación.

## **Introducción**

En las últimas dos décadas, los sistemas financieros empezaron a transformarse debido a la urgencia climática y por la necesidad de territorios más resilientes. Esta transición ha dado paso a instrumentos y enfoques que buscan no solo rentabilidad sino también impacto social y ambiental (ASG, o ESG por sus siglas en inglés).

Al mismo tiempo, nuevos modelos económicos han

emergido para explicar cómo los espacios —ciudades, regiones y zonas productivas— se adaptan y evolucionan en escenarios de incertidumbre. Este capítulo explora cómo la convergencia entre finanzas sostenibles y modelos económicos emergentes redefine las posibilidades del desarrollo espacial contemporáneo.

Desde el enfoque territorial, el desarrollo espacial adquiere una relevancia clave, ya que la sostenibilidad no se comprende únicamente como un objetivo económico, sino como un proceso que se construye de manera situada e interdependiente con el contexto social, ambiental y productivo. En el marco de los avances conceptuales recientes, la literatura especializada plantea resaltar la necesidad de articular mecanismos financieros innovadores con enfoques de biodiversidad, gobernanza territorial y resiliencia socioambiental, con el fin de consolidar modelos de desarrollo orientados a la sostenibilidad de largo plazo y a la reducción de asimetrías estructurales en los territorios.

Este enfoque se observa en estudios contemporáneos para redefinir la asignación de recursos en escenarios de transformación sostenible (Vergara, 2024). Diversos estudios empíricos muestran que hay una relación espacial entre las finanzas verdes (“green finance”) y el desarrollo ecológico- económico de las regiones.

Por ejemplo, en China se ha identificado un efecto de desbordamiento (“spillover”) espacial: las provincias con mayor

desarrollo de finanzas verdes no solo mejoran su crecimiento ecológico-económico sino también influyen positivamente en las provincias vecinas.

Este tipo de evidencia sugiere que las finanzas sostenibles no operan de forma aislada, sino que pueden contribuir a una transformación estructural de los territorios, especialmente si se acompañan de modelos económicos adecuados.

En síntesis, los apartados posteriores profundizarán en los conceptos, herramientas y enfoques que facilitan la convergencia entre sostenibilidad financiera y modelos económicos emergentes, estableciendo un marco de referencia para la gestión y planificación de territorios estratégicamente sostenibles.

### **Metodología Enfoques de Investigación**

El presente estudio se fundamenta en un diseño cualitativo, exploratorio y descriptivo, orientado a analizar la interrelación entre finanzas sostenibles, modelos económicos emergentes y desarrollo espacial y regional considerando la inversión, el financiamiento, la gestión de riesgos y la redistribución justa de los beneficios derivados de la exploración y comercialización del espacio. Este enfoque resulta pertinente porque la investigación no busca simplemente cuantificar variables, sino comprender las dinámicas territoriales, económicas y financieras que operan en espacios urbanos, rurales y productivos y

su contribución a la sostenibilidad.

El método cualitativo es especialmente adecuado para examinar procesos complejos y contextuales, dado que la distribución del crecimiento económico, la concentración productiva y las políticas de inversión verde dependen de características socioeconómicas, institucionales y geográficas específicas.

La naturaleza exploratoria de la investigación permite identificar tendencias emergentes, mientras que la descripción detallada de casos y experiencias ofrece una base firme para interpretar de manera crítica los fenómenos observados.

Además, el estudio se apoya en análisis recientes sobre finanzas sostenibles en América Latina (Carrasco, 2023), lo cual aporta una perspectiva contextualizada sobre los desafíos ecológicos y financieros en la región.

De acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2014), la investigación cualitativa es idónea para estudios donde se requiere interpretar procesos sociales, patrones de comportamiento y dinámicas enmarcadas en realidades específicas, ya que “busca comprender los fenómenos en su ambiente habitual, interpretando el significado que las personas les otorgan” (p. 16).

## **Desarrollo**

El análisis de las finanzas sostenibles dentro de los modelos económicos emergentes muestra que el desarrollo espacial ya no puede comprenderse únicamente desde la inversión tradicional, sino desde esquemas de gobernanza que integran biodiversidad, innovación social y resiliencia.

En la actualidad, los territorios requieren estructuras financieras que respondan a riesgos climáticos, desigualdades estructurales y la necesidad de introducir tecnologías sostenibles. Estudios recientes confirman que la asignación financiera condiciona la calidad del desarrollo regional y la capacidad de los territorios para adaptarse a escenarios de transición ecológica (Arezki & Sy, 2023).

Las finanzas sostenibles permiten reconfigurar las dinámicas espaciales porque incentivan inversiones que reducen la vulnerabilidad socioambiental y fortalecen las cadenas productivas locales. Por ejemplo, los bonos verdes, los créditos climáticos y las inversiones ASG reorientan el capital hacia proyectos regenerativos, lo que genera impactos multiplicadores en la estructura económica regional. Según el Global Sustainable Investment Review (GSIR, 2022), la región latinoamericana ha incrementado de forma constante el uso de instrumentos financieros verdes, especialmente en sectores energéticos y de biodiversidad, lo cual evidencia un cambio en las prioridades de desarrollo.

Los modelos económicos emergentes también aportan marcos teóricos fundamentales para comprender cómo las regiones responden a estas dinámicas. La economía ecológica, la economía circular y territorios reducen sus presiones ecológicas mientras fomentan productividad y bienestar.

Autores como Raworth (2017) con su “Economía del Donut”, sostienen que la planificación territorial debe equilibrar sociales. Este enfoque resulta especialmente útil para el análisis espacial, ya que articula la sostenibilidad ambiental con la justicia económica en los territorios. Asimismo, la evidencia empírica confirma que existe una relación espacial significativa entre la expansión de las finanzas verdes y la mejora en indicadores ecológicos regionales.

Estudios recientes en China demuestran un efecto de derrame positivo entre provincias, aquellas con mayor desarrollo financiero verde impulsan mejoras ambientales y económicas en territorios vecinos, mostrando un efecto multiplicador regional (Zhang et al, 2023). Este hallazgo valida la importancia de pensar las finanzas sostenibles como parte de sistemas interrelacionados, no como esfuerzos aislados.

En América Latina, la necesidad de articular estos modelos con políticas públicas coherentes es central. La debilidad institucional y la dependencia de actividades extractivas generan brechas

territoriales profundas. Por ello, la planificación espacial requiere políticas que integren financiamiento verde, conservación ambiental y mecanismos redistributivos.

Programas regionales como BIOFIN y los lineamientos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) han demostrado que las inversiones sostenibles mejoran la resiliencia local cuando se diseñan de manera participativa (BID, 2021).

El desarrollo espacial contemporáneo demanda una mirada integral donde el financiamiento se alinee con las metas de sostenibilidad. La transición ecológica obliga a los territorios a transformarse desde sus estructuras productivas, su gobernanza y sus mecanismos financieros. Por tanto, el futuro del desarrollo sostenible depende de la capacidad de los sistemas financieros para integrar principios ecológicos y equitativos, así como de la adaptación de modelos económicos que analicen dinámicas territoriales complejas.

La convergencia entre ambos campos abre la posibilidad de construir territorios más resilientes, competitivos y capaces de enfrentar los desafíos socioambientales del siglo XXI.

## **Resultados**

La economía espacial avanza con rapidez hacia un modelo donde la sostenibilidad comienza a ocupar un rol central.

A partir del estudio de más de 600 aplicaciones tecnológicas evaluadas por Paravano et al. (2024), confirmamos que la actividad espacial contribuye de manera directa e indirecta a múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en monitoreo ambiental, reducción de riesgos y eficiencia en la gestión de recursos. Esta evidencia respalda que las finanzas sostenibles pueden integrarse de manera coherente a la expansión del sector espacial, siempre que existan marcos regulatorios claros.

Al examinar la gobernanza y los derechos sobre recursos extraterrestres, identificamos importantes vacíos jurídicos. Steffen et al. (2022) muestran que la falta de un régimen internacional robusto limita la asignación transparente de derechos de explotación y dificulta la protección del conocimiento científico como bien común. Estos hallazgos demostraron que, aunque la tecnología avanza con rapidez, la institucionalidad internacional no progresa al mismo ritmo, lo que incrementa los riesgos éticos y de apropiación indebida de recursos en entornos extraterrestres.

Los resultados también mostraron que la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y la teledetección satelital fortalece la capacidad de evaluar impactos y gestionar los recursos de forma responsable.

El trabajo de García-del-Real et al. (2024) confirma que estos sistemas permiten identificar zonas de explotación, reducir riesgos

ambientales y optimizar decisiones financieras vinculadas a inversiones espaciales. Así, verificamos que la tecnología no solo habilita la extracción, sino que también puede garantizar que esta sea sostenible y medible.

Un estudio de 2025 mostró que la producción de cohetes y la combustión de combustible en lanzamientos representan aproximadamente un 72.6% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a lo largo del ciclo de vida de megaconstelaciones espaciales, lo cual destaca el impacto ambiental asociado a la expansión espacial.

La misma investigación encontró que cohetes reutilizables reducen hasta 95.4% las emisiones de producción respecto a vehículos tradicionales, lo que indica que las decisiones tecnológicas pueden mitigar impactos ambientales negativos.

Cuando hablamos de megaconstelaciones sabemos que mejoran la conectividad pero a un costo ambiental muy superior al terrestre entonces existe un gran dilema entre el desarrollo y sostenibilidad. Un estudio reciente evaluó constelaciones LEO (como las planificadas por servicios de internet por satélite) y halló que, por cada suscriptor, las emisiones equivalentes a CO<sub>2</sub> son entre 6-8 veces (escenario base) y 12-14 veces (escenario pesimista) más intensas que las de banda ancha móvil terrestre.

Esto significa que, aunque las megaconstelaciones ofrecen beneficios sociales (acceso a internet, reducción de brechas), su huella ambiental individual por usuario puede ser significativamente mayor que tecnologías terrestres.

Finalmente, al contrastar los datos económicos del Space Economy in Figures de la OCDE (2023) con investigaciones sobre finanzas sostenibles (Zairis et al., 2024), comprobamos que el sector espacial posee condiciones ideales para adoptar instrumentos financieros verdes, como bonos sostenibles y fondos ESG aplicados a misiones de observación terrestre, minería espacial o infraestructura orbital. Esta convergencia entre crecimiento económico, evidencia tecnológica y marcos financieros sostenibles demuestra que el sector está preparado para transitar hacia modelos éticos y responsables, lo cual refuerza la pertinencia científica del estudio.

## **Conclusiones**

A lo largo de este capítulo comprendimos que las finanzas y los modelos económicos emergentes están generando cambios en la manera en que percibimos al desarrollo, especialmente cuando se los relaciona con los territorios y con la nueva era espacial.

La revisión de los recientes estudios nos demuestra que cuando las inversiones consideran los criterios ambientales, sociales y de gobernanza, los territorios crecen económicamente, y no solo eso,

sino que reducen los impactos negativos en su entorno y también mejoran su resiliencia.

Del mismo modo los modelos económicos actuales, como la economía ecológica o la economía circular, ayudan a comprender que el desarrollo no puede basarse únicamente en la rentabilidad, sino que, en un equilibrio entre la productividad, biodiversidad y el bienestar social.

También los resultados analizados nos demuestran que el sector espacial tiene un gran potencial para poder integrar las prácticas sostenibles, siempre y cuando existan normas claras y una gobernanza responsable. Aunque la tecnología avanza con rapidez aún hay desafíos éticos y legales que se deben de resolver para asegurar el uso justo de los recursos y así evitar desigualdades entre países o regiones.

Además, es importante reconocer que este proceso de transición hacia modelos más sostenibles no depende únicamente de los instrumentos financieros o de las nuevas teorías económicas, sino también de un cambio en la manera en que las instituciones, las comunidades y los actores productivos entienden su relación con el territorio.

Esto implica asumir que el desarrollo no es simplemente un resultado automático de la inversión, sino una construcción colectiva en la cual influyen factores sociales, culturales, políticos y

ambientales. Por esta razón, la sostenibilidad se convierte en un eje central que exige una mirada más amplia y participativa, donde en la toma de decisiones se consideren tanto los efectos presentes como los impactos a largo plazo.

La era espacial, por su parte abre un campo totalmente nuevo donde las decisiones éticas y económicas se vuelven aún más delicadas, la posibilidad de explorar el espacio, extraer sus recursos o instalar infraestructuras fuera de la Tierra genera el planteamiento de preguntas que antes no existían y que hoy deben abordarse con responsabilidad.

Si los países no logran establecer acuerdos claros y principios de uso equitativo, existe el riesgo de reproducir en el espacio las mismas desigualdades que ya enfrentamos en nuestro planeta.

Por eso, la gobernanza internacional es clave para asegurar que los beneficios de la actividad espacial se distribuyan de manera justa y que la tecnología se utilice con transparencia y responsabilidad.

Este capítulo también evidencia que el desarrollo sostenible tanto en la Tierra como en el espacio depende en gran medida de la educación y de la conciencia social, la comprensión de cómo funcionan las finanzas sostenibles, qué aportan los modelos económicos emergentes y cuál es su impacto en los territorios permite

formar nuevas generaciones capaces de tomar decisiones informadas.

Este conocimiento no solo fortalece la planificación estratégica, sino que impulsa una visión futura más equilibrada, donde el progreso no esté reñido con la preservación ambiental ni con el bienestar de las personas.



**CAPITULO IV: La gestión ética del manejo de  
desechos espaciales y su impacto en el comercio  
internacional sostenible**



Docente de la Universidad de Guayaquil

Guido Homero Poveda Burgos

Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior

Naomy Herrera Tovar

Abraham Medina Sánchez

Génesis Pesantes Reyes

Nataly Vallejo Demera

Daniel Pezo Manrique

## **Resumen**

Este estudio aborda la expansión del fenómeno de los desechos espaciales, generados por la actividad humana desde 1957, cuyo origen incluye explosiones de satélites y etapas de cohetes, y que se concentra en órbitas críticas como la geoestacionaria. El problema es exacerbado por acciones militares, como el uso de misiles antisatélite (ASAT). El trabajo emplea una metodología descriptivo-analítica apoyada en un enfoque documental y de revisión sistemática, priorizando reportes de agencias como el Comité Internacional de Coordinación de Escombros Espaciales (IADC). Los resultados evidencian el riesgo del Efecto Kessler y plantean una doble estrategia: el retiro activo de desechos (ADR), con tecnologías como ClearSpace-1, y la gestión del fin de vida útil mediante velas Dragsail. Se concluye que esta gestión ética y tecnológica vuelve el espacio un entorno comercial más seguro, disminuye el riesgo de inversión y promueve un mercado internacional sostenible impulsado por marcos regulatorios claros y vinculantes.

**Palabras clave:** Desechos espaciales, Remoción Activa de Desechos, Efecto Kessler, Gobernanza espacial, Comercio sostenible.

## **Introducción**

El espacio ultraterrestre es un recurso esencial que sostiene la infraestructura tecnológica de la economía global, impactando directamente en sectores como la agricultura, la salud, la logística

mediante GPS, y las comunicaciones financieras. Sin embargo, décadas de actividad humana, que comenzaron con el lanzamiento del Sputnik en 1957, han generado una acumulación exponencial de desechos espaciales que amenaza la funcionalidad a largo plazo de este entorno.

Estos desechos varían desde fragmentos de pintura milimétricos hasta satélites obsoletos y cuerpos de cohetes, resultantes de explosiones accidentales, desprendimiento de etapas de vehículos de lanzamiento (como el Saturno V), o destrucciones intencionales. La creciente contaminación orbital no es solo un problema de ingeniería, es una crisis ética, política y económica. La demostración de misiles antisatélite (ASAT) por parte de naciones como India en 2019, que generó más de 250 piezas de escombros rastreables, marca la urgente necesidad de gobernanza espacial que vaya más allá de los tratados existentes. Si no se controla, el problema podría desencadenar el temido "Efecto Kessler", una reacción en cadena de colisiones que inutilizaría órbitas, con graves consecuencias económicas, sociales y políticas para la humanidad.

El presente estudio se centra en el análisis de la gestión ética del manejo de desechos espaciales y su impacto en el comercio internacional sostenible. El objeto es caracterizar la naturaleza y el alcance de los desechos espaciales (incluyendo las órbitas afectadas como LEO, órbita cementerio y geoestacionaria) para posteriormente evaluar cómo la adopción de soluciones éticas y tecnológicas está

transformando el uso del espacio de un modelo de "recurso común no regulado" a uno de "uso sostenible y gestionado".

Este capítulo se desarrolla a partir de un diseño de investigación descriptivo-analítico con un enfoque documental y de revisión sistemática. Se ha priorizado el análisis de fuentes primarias y reportes técnicos de organismos clave, incluyendo informes de la Oficina de Política Científica y Tecnológica (OSTP) de EE. UU., regulaciones internacionales, y la información gestionada por el Comité Internacional de Coordinación de Escombros Espaciales (IADC), que reúne a trece agencias espaciales dedicadas a desarrollar estrategias de gestión ambiental.

La metodología permite evaluar las diversas herramientas políticas y tecnológicas que se están implementando, como la Remoción Activa de Desechos (ADR) con misiones como ClearSpace-1 de la ESA, y las soluciones de Mitigación de Fin de Vida Útil como las velas Dragsail. Este enfoque es crucial para cómo la ADR y una "Ética de la Salida" (End-of-Life) están reduciendo el riesgo para la inversión, asegurando servicios globales y fortaleciendo el marco legal internacional, elementos esenciales para el comercio sostenible.

### **Metodología Diseño de la investigación**

El diseño de investigación propuesto para este libro es

descriptivo- analítico con un enfoque documental y de revisión sistemática. Se busca primero describir el fenómeno de los desechos espaciales, incluyendo su origen (como explosiones de satélites o cohetes, y el desprendimiento de etapas del mismo), los tipos de objetos (desde fragmentos hasta satélites obsoletos), y las órbitas afectadas (LEO, órbita cementerio, y geoestacionaria). Posteriormente, se analizará la gestión ética y el impacto económico y legal de este problema en el comercio internacional sostenible.

El estudio se basará en el análisis de una amplia gama de documentos existentes, incluyendo informes técnicos de agencias espaciales (como la NASA y la ESA), artículos científicos, tratados y regulaciones internacionales, y declaraciones de política de gobiernos (como el informe de la OSTP de EE. UU.).

La selección del enfoque documental y de revisión sistemática es la más ventajosa para abordar este tema, dada su naturaleza multidisciplinaria que abarca la ingeniería, el derecho internacional, la ética y la economía. Priorización de Fuentes Primarias y Contexto Político-Económico: Se priorizará el uso de información de agencias espaciales que gestionan activamente el problema, como el Comité Internacional de Coordinación de Escombros Espaciales (IADC), el cual agrupa trece agencias y se dedica a avanzar en el conocimiento y desarrollar estrategias de gestión ambiental.

Se incluirán reportes y artículos que consideren los contextos político-económicos. Esto es crucial ya que el problema de los desechos espaciales está ligado a demostraciones militares (como el uso de misiles antisatélite que generó más de 250 piezas de escombros), la necesidad de gobernanza espacial, y las graves consecuencias económicas que la basura orbital puede generar. Se dará peso a las fuentes que discuten la creación de un nuevo mercado comercial para la Remoción Activa de Desechos (ADR), evidenciado por contratos multimillonarios de la ESA con empresas privadas como ClearSpace.

El enfoque documental permite recopilar y analizar el conocimiento existente sobre este fenómeno (la reacción en cadena de colisiones), formulado por primera vez en 1972, que es la principal motivación para la ADR.

Evaluación de Herramientas Políticas y Tecnológicas: Facilita la comparación de diversas herramientas políticas (leyes, regulaciones, tratados) y las soluciones tecnológicas en prueba (redes eyectables, arpones de titanio, velas Dragsail, y la misión ClearSpace-1) para la limpieza espacial.

El análisis de documentos clave permitirá detallar cómo la ADR reduce el riesgo de inversión, asegura servicios globales vitales (GPS, comunicaciones), y fortalece el marco legal internacional al clarificar la responsabilidad, lo cual es esencial para el comercio

sostenible.

### **Desarrollo**

La basura espacial se origina principalmente en explosiones de satélites o partes de cohetes. El desprendimiento de las distintas etapas de un cohete, como en el caso del histórico cohete Saturno V, que llevo al hombre a la Luna, también ha sido una fuente común de desperdicio.

Muchas veces las baterías de los satélites estallan accidentalmente; en otros casos, satélites fuera de órbita han sido destruidos intencionalmente para evitar su entrada a la Tierra. Existe una lista de 115 misiones que han terminado en la destrucción o fragmentación de satélites, naves o cohetes, lista necesariamente incompleta por la restringida información acerca de satélites espías.

Como sea, el primer registro “oficial” de la generación de basura espacial corresponde al desprendimiento de una etapa del cohete Ablestar que puso en órbita al satélite Transit 4A, el 29 de junio de 1961. Tres años después se dio la primera destrucción intencional de un satélite, el Kosmos 50, al no ser recuperado acorde a lo planeado por los soviéticos que lo pusieron en órbita. En muchas ocasiones, tanto soviéticos como estadounidenses hicieron pruebas haciendo explotar deliberadamente satélites en órbita. Eventualmente todas estas explosiones dieron lugar al problema actual de los desechos espaciales (Delgado Martínez & Álvarez León, 2018).

Los desechos orbitales pueden consistir en una variedad de objetos diferentes, pero el Comité de Coordinación Interinstitucional de Desechos Espaciales define los desechos orbitales como "todos los objetos creados por el hombre, incluidos fragmentos y elementos de los mismos, en órbita terrestre o que reingresan a la atmósfera, que no son funcionales".

Los satélites, tanto operativos como obsoletos, así como los cuerpos de los cohetes de etapa superior, han congestionado los patrones orbitales y aumentado la probabilidad de coyunturas de activos. La necesidad de minimizar los residuos en el espacio añade requisitos a la gobernanza del espacio y sus usos, que se evidencian en diversos tipos de herramientas políticas, desde leyes y regulaciones y requisitos de contratación a nivel nacional hasta tratados y prácticas internacionales.

Existen numerosas agencias y departamentos federales en Estados Unidos responsables de prevenir, mitigar y defenderse contra los desechos espaciales. En 2017, la Oficina de Política Científica y Tecnológica (OSTP) presentó un informe al Congreso que delineaba el alcance de la infraestructura regulatoria de desechos espaciales de EE. UU.

“Todos vivimos en el espacio, no lo hagamos un desastre”, dijo el secretario de Defensa interino de los Estados Unidos, Patrick

Shanahan, después de que India usara un misil antisatélite (ASAT) para destruir un satélite indio en marzo de 2019. Esta demostración generó inmediatamente más de 250 piezas de escombros rastreables y se espera que ese número aumente con el tiempo. El espacio exterior juega un papel importante en la vida de todos, y las economías de todo el mundo dependen de la actividad humana en el espacio para la agricultura, la salud mundial, la educación, la seguridad, la investigación y el desarrollo, y más. Si no se controla, la creciente cantidad de escombros orbitales puede tener graves consecuencias económicas, sociales y políticas para la humanidad, ya que los escombros pueden dañar gravemente o destruir satélites en el espacio y posiblemente obstaculizar la exploración espacial futura (Migaud, 2020)

Todo comenzó con el Sputnik en 1957, es decir, con el lanzamiento de este satélite comenzó a generarse la basura espacial. Desde entonces se han puesto en órbita más de 5.000 satélites, los cuales, conforme van cumpliendo su tiempo de vida útil, son abandonados.

Actualmente existen tres orbitas que almacenan basura: la órbita baja (LEO), la órbita cementerio 17 y la órbita geoestacionaria. La geoestacionaria es la más preocupante, pues es donde se encuentran situados los satélites, aproximadamente a 35.786 km de la Tierra 18. Se estima que hay en ella unos 3.000 fragmentos de diferentes tamaños (de entre 15 cm y 1 m) y donde se pueden hallar

objetos de lo más diverso, desde una simple botella, hasta material de reparación y montaje, pasando por restos de satélites dañados o accidentados. El cohete Pegasus, por ejemplo, enviado al espacio en 1994, explotó dos años después y generó varios cientos de miles de fragmentos. Incluso los más milimétricos son sumamente peligrosos.

Un diminuto fragmento de pintura que impacte el traje de un astronauta que realice un paseo espacial le causaría la muerte en el acto, ya que la mayoría de ellos viajan a varias docenas de miles de kilómetros por hora. Para un ejemplo aún más elocuente, en 1965 el astronauta Edward White perdió un guante de unos 30 cm en el espacio, el cual se desintegró en la atmósfera un mes después, pero mientras tanto estuvo viajando a 28.000 km/h, una velocidad tal, que si una nave interceptase el guante en su camino quedaría destruida.

En 1979, la National Aeronautics and Space Administration de Estados Unidos (NASA) registró que ya habían sido lanzados al espacio 11.366 objetos espaciales de los cuales 4.633 objetos, y luego unos 6.733, ya habían entrado en la atmósfera de la Tierra. Nueve años más tarde, en 1989, la Comisión Norteamericana de Defensa Aeroespacial (Norad), que tiene la capacidad de reunir objetos en el espacio del tamaño de 10 cm de diámetro, a una distancia de 500 km, registró que habían sido lanzados un total de 19.037 objetos al espacio, de los cuales unos 12.000 habían ingresado en la atmósfera terrestre.

De esos objetos espaciales, que, si bien constituyen un testimonio del progreso logrado en la exploración y explotación del espacio ultraterrestre, un 95 % hoy en día no funcionan, no se controlan y componen lo que se llama basura o desechos espaciales. En ese sentido, el Comité Internacional de Coordinación de Escombros Espaciales (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), que agrupa trece agencias espaciales de diferentes países y colectivos de países, se empeña en “avanzar en el conocimiento de la basura espacial y en desarrollar estrategias de gestión ambiental para preservar el espacio cercano a la Tierra para las futuras generaciones” (Klimburg-Witjes et al., 2025).

ClearSpace 1, hacia un espacio exterior más sostenible  
ClearSpace- 1 será la primera misión espacial en retirar un elemento de desecho de la órbita, cuyo lanzamiento está previsto para mediados del 2026. La misión demostrará las tecnologías necesarias para la eliminación activa de basura espacial y constituirá un primer paso para establecer un nuevo sector comercial sostenible en el espacio. Se trata de una pieza voluminosa, de unos cien kilos y un tamaño similar al de muchos satélites en órbita, motivo por el que se ha seleccionado. El concepto es relativamente sencillo: se lanzará un vehículo con varios brazos mecánicos que abrazarán la pieza en órbita. Una vez capturada, se iniciará una maniobra de descenso con el que la nave y la pieza de chatarra se desintegrarán debido a la fricción de la atmósfera. Es decir, una misión “suicida”.

La ESA invertirá setenta millones de euros en el proyecto y pretende convertirlo en una nueva plataforma para la retirada de objetos de gran tamaño en la órbita baja de la Tierra. La preocupación es que los grandes satélites fuera de servicio puedan impactar con pequeños fragmentos que generen una verdadera nube de chatarra. Estos fragmentos, a su vez, podrían impactar con otros satélites, lo que multiplicaría la basura espacial de forma imparable. Este fenómeno se conoce como efecto Kessler, en honor a Donald Kessler, un investigador que lo formuló por vez primera en 1972. Por suerte, ClearSpace 1 no es la única tecnología que se está probando para solucionar el problema (The European Space Agency, 2019)

### **Otras estrategias de limpieza espacial**

Además del sistema de brazos mecánicos se han probado otras estrategias: desde redes eyectables que atrapan fragmentos flotantes y los lanzan a la atmósfera hasta arpones de titanio que recolectan las piezas. Sin embargo, parece que la clave, igual que la basura aquí abajo en la Tierra, reside en que los dispositivos en órbita se lancen con un plan de recuperación previo.

Así, se espera que la nueva generación de satélites vaya equipada con diversos dispositivos como las velas Dragsail que se despliegan al final de la vida útil del satélite. Estas velas inducirán el descenso gradual del satélite hasta su caída y desintegración definitiva. Otra opción es que incluyan una placa de anclaje magnética

que facilite la recogida por medio de un hipotético “camión” de basura espacial.

Estas estrategias serán esenciales, ya que para el año 2029 se calcula que habrá 57 000 satélites en órbita. Afortunadamente, a diferencia de procesos de industrialización previos, esta vez contamos con el conocimiento y las herramientas para resolver la situación antes de que la acumulación de basura espacial sea insostenible (Como limpiar la basura espacial: nuevas soluciones tecnológicas, s/f).

La gestión y eliminación de desechos espaciales transforma el uso del espacio de un modelo de “recurso común no regulado” (la tragedia de los comunes) a uno de “uso sostenible y gestionado”. Esto tiene impactos económicos directos que benefician al comercio internacional:

### **Reduce el Riesgo y Asegura la Infraestructura Comercial**

La principal función de la ADR es mitigar el Síndrome de Kessler (una reacción en cadena de colisiones que podría hacer que ciertas órbitas sean inutilizables).

### **Fomento de la Inversión:**

Al eliminar los desechos más grandes y peligrosos, se reduce significativamente el riesgo para nuevos satélites y mega

constelaciones comerciales (como las de comunicaciones y navegación). Con un menor riesgo de colisión, las empresas e inversores se sienten más tranquilos al desplegar y mantener activos que valen miles de millones de dólares. Una órbita limpia se convierte en un activo comercial seguro.

### **Aseguramiento de los Servicios Globales:**

El comercio internacional depende en gran medida de los servicios satelitales (GPS para la logística, comunicaciones para las finanzas globales, observación terrestre para la agricultura y el clima). La ADR garantiza la longevidad de esta infraestructura vital, asegurando la continuidad de estos servicios esenciales para la sostenibilidad económica global.

### **Estimula la Innovación y Crea un Nuevo Mercado**

La complejidad de la ADR impulsa el desarrollo de tecnologías avanzadas que luego encuentran aplicaciones en el sector comercial: Creación de un Mercado de Servicios Espaciales:

La necesidad de limpiar el espacio ha dado lugar a un mercado completamente nuevo: el de Servicios de Remoción de Desechos Espaciales (ADR services). Agencias como la ESA están firmando contratos multimillonarios con empresas privadas (como ClearSpace) para llevar a cabo estas misiones, lo que demuestra un

nuevo modelo de negocio basado en la sostenibilidad. Esto inyecta capital privado y fomenta la innovación en robótica, inteligencia artificial (IA) y propulsión.

**Establecer una "Ética de la Salida" (End-of-Life) es fundamental:**

La ADR y las regulaciones relacionadas, como la reducción del tiempo de permanencia en órbita a 5 años después de concluir la misión, exigen que las empresas diseñen satélites con un enfoque en la sostenibilidad. Esto implica integrar sistemas de desorbitado autónomo o interfaces que faciliten su remoción, lo que hace que el diseño de naves espaciales sea inherentemente más responsable y sostenible.

### **Fortalecimiento del Marco Legal Internacional**

La necesidad de la ADR pone de manifiesto las lagunas en el derecho espacial, impulsando a la comunidad internacional a establecer normas más sólidas:

### **Clarificación de Responsabilidad:**

La ADR obliga a abordar cuestiones legales complejas, como la propiedad de los desechos y la responsabilidad en caso de errores durante la remoción. Este debate conduce a la creación de marcos

regulatorios internacionales más claros y vinculantes, lo que disminuye la incertidumbre legal para el comercio y la inversión en el espacio. Una regulación clara es esencial para un comercio sostenible.

## **Resultados**

Basado en una investigación documental-analítica como la que se describe en la metodología antes revisada. Con la finalidad de sintetizar y contrastar los hallazgos clave de la revisión sistemática dada la información del origen y naturaleza del problema, las soluciones tecnológicas y políticas, y el impacto directo en el comercio internacional sostenible.

## **Caracterización Crítica del Problema de Desechos Espaciales**

La revisión documental confirma que el fenómeno de los desechos espaciales no es una preocupación reciente, sino una consecuencia directa de la actividad humana desde el lanzamiento del Sputnik en 1957, alcanzando proporciones críticas en la actualidad. El problema se origina en eventos como explosiones de satélites o cohetes, el desprendimiento de etapas de los mismos, y la destrucción intencional o accidental de satélites.

Alcance y Magnitud: El análisis de los datos históricos revela una tendencia exponencial, con el registro de 19.037 objetos lanzados

al espacio hasta 1989, de los cuales el 95% ya no son funcionales y componen la basura espacial. Estos desechos varían desde objetos milimétricos (como fragmentos de pintura, que representan un riesgo mortal para los astronautas) hasta satélites obsoletos y cuerpos de cohetes de etapa superior.

**Contexto Político-Militar:** Se constata que la generación de desechos está intrínsecamente ligada al contexto político-económico y militar. La demostración del uso de misiles antisatélite (ASAT) por India en 2019, que generó más de 250 piezas de escombros rastreables, subraya que las acciones militares siguen siendo una fuente significativa e inmediata de contaminación orbital. El Comité Internacional de Coordinación de Escombros Espaciales (IADC), que agrupa a trece agencias, reconoce esta realidad y se dedica a avanzar en el conocimiento y a desarrollar estrategias de gestión ambiental para preservar el espacio cercano a la Tierra.

**Órbitas Afectadas:** La acumulación de basura se concentra en tres órbitas principales: la órbita baja (LEO), la órbita cementerio y la órbita geoestacionaria. La órbita geoestacionaria, en particular, genera gran preocupación debido a que es donde se sitúan satélites vitales a 35.786 km de la Tierra y se estima que almacena cerca de 3.000 fragmentos de diferentes tamaños. Contraste de Soluciones

## **Tecnológicas y Políticas**

La amenaza más grave es el Efecto Kessler, una reacción en cadena de colisiones que podría volver inutilizables ciertas órbitas. Este fenómeno, formulado por primera vez en 1972, es la principal motivación para el desarrollo de la Remoción Activa de Desechos (ADR).

Herramientas Tecnológicas de Limpieza: El contraste de las soluciones tecnológicas actuales evidencia un enfoque dual:

ADR (Eliminación Activa): Misiones como ClearSpace-1 (prevista para 2026) representan la vanguardia. Esta misión, con una inversión de 70 millones de euros por parte de la ESA, busca demostrar la viabilidad de utilizar brazos mecánicos para abrazar y desintegrar piezas voluminosas en la atmósfera. Otras tecnologías de ADR en prueba incluyen redes eyectables y arpones de titanio.

Mitigación de Fin de Vida Útil: La estrategia a largo plazo se enfoca en la "Ética de la Salida" (End-of-Life), exigiendo un diseño sostenible de los satélites. Herramientas como las velas Dragsail se perfilan como soluciones efectivas para inducir el descenso y desintegración gradual de los satélites al finalizar su vida útil. Se calcula que para 2029 habrá 57.000 satélites en órbita, lo que hace que estas estrategias de mitigación sean cruciales.

Herramientas Políticas y Regulatorias: La necesidad de minimizar los residuos ha impulsado la gobernanza espacial a través de diversas herramientas políticas. La Oficina de Política Científica y Tecnológica (OSTP) de EE. UU. ha presentado informes delineando la infraestructura regulatoria. La ADR y las regulaciones asociadas están promoviendo una nueva ética, como la reducción del tiempo de permanencia en órbita a cinco años después de la misión.

### **Impacto de la Gestión Ética de Desechos en el Comercio Internacional Sostenible**

La gestión ética y la ADR transforman el uso del espacio de un modelo de "recurso común no regulado" a uno de "uso sostenible y gestionado". Esta transición tiene un impacto directo y positivo en el comercio internacional:

Reducción de Riesgos y Fomento de la Inversión: La ADR mitiga activamente el Síndrome de Kessler. Al limpiar las órbitas, se reduce el riesgo para los satélites y las mega constelaciones comerciales (comunicaciones, navegación), lo cual promueve la inversión privada y genera confianza en el despliegue de activos multimillonarios. Una órbita limpia se percibe como un activo comercial seguro.

Estímulo a la Innovación y Creación de un Nuevo Mercado: La complejidad de la ADR ha generado un nuevo sector comercial: el

de Servicios de Remoción de Desechos Espaciales (ADR cervices). La ESA ha firmado contratos multimillonarios con empresas privadas como ClearSpace, inyectando capital e impulsando la innovación en campos como la robótica y la inteligencia artificial (IA). Este nuevo modelo de negocio se basa intrínsecamente en la sostenibilidad.

Fortalecimiento del Marco Legal: La ADR saca a la luz las lagunas en el derecho espacial, obligando a la comunidad internacional a clarificar temas complejos como la responsabilidad y la propiedad de los desechos. Este debate resulta esencial, ya que conduce a marcos regulatorios internacionales más claros y vinculantes, lo cual reduce la incertidumbre legal para la inversión y el comercio sostenible.

### **Conclusión**

La acumulación creciente de desechos espaciales confirma la necesidad urgente de una gestión ética y responsable, ya que su origen está directamente ligado a fallas técnicas, explosiones, actividades militares y la falta de regulaciones claras en las primeras décadas de actividad espacial.

El riesgo del Efecto Kessler se mantiene como la amenaza más crítica, pues la cantidad de fragmentos en LEO y GEO incrementa la probabilidad de colisiones que pueden afectar servicios esenciales como GPS, telecomunicaciones y observación terrestre,

fundamentales para el comercio internacional.

Las tecnologías de Remoción Activa de Desechos (ADR) y las estrategias de fin de vida útil, como ClearSpace-1 y las velas Dragsail, representan soluciones viables y necesarias, ya que permiten reducir los objetos peligrosos en órbita y promueven un uso más responsable del espacio.

El fortalecimiento del marco legal y de la gobernanza espacial es indispensable, ya que clarificar responsabilidades y establecer normas comunes facilita la cooperación internacional y disminuye la incertidumbre para la inversión en actividades espaciales.

Una gestión ética y sostenible del espacio beneficia directamente al comercio internacional, al asegurar que las órbitas se mantengan operativas, seguras y confiables para la infraestructura tecnológica global de la que dependen múltiples sectores económicos.



**CAPITULO V: Insumos y Productos  
adecuados que puede proveer Ecuador para el entorno  
espacial**



Docente de la Universidad de Guayaquil

Guido Homero Poveda Burgos

Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior

Fernando Abraham Herrera Maldonado

Johny Alejandro Merchán Pin

Nataly Martha Vallejo Demera

Cristopher Bryan Ponce Mendoza

Ronny Alexander Ramos Cabrera

## **Resumen**

La siguiente investigación aborda la aplicación y el desarrollo de las tecnologías limpias y las fuentes de energía renovables para misiones espaciales como un componente clave para garantizar tanto la sostenibilidad como la eficiencia en la exploración espacial. Empleamos una metodología sistemática la cual incluye revisiones documentales, análisis técnicos y evaluación comparativa de sistemas de almacenamiento energético y generaciones renovables en contextos espaciales.

Dentro de esta investigación encontramos que los principales resultados destacan lo importante de las baterías de iones de litio, las pilas de combustible y las tecnologías emergentes para soportar condiciones extremas, así como la transición hacia sistemas energéticos que derivan de los recursos lunares. Para concluir, tenemos que estas tecnologías no solo mejoran la viabilidad de dichas misiones, sino que también nos ayudan aportándonos innovaciones las cuales son aplicables en la Tierra, contribuyendo a objetivos de sostenibilidad ambiental.

**Palabras clave:** Energía renovable, Almacenamiento de energía, exploración espacial, Tecnologías limpias, Sostenibilidad.

## **Introducción**

En la actualidad, a medida que la tecnología espacial avanza también enfrentamos el agotamiento de los recursos terrestres, esto ha impulsado la búsqueda de ciertas soluciones sostenibles y eficientes para las misiones espaciales.

En este contexto, las tecnologías limpias y las energías renovables son presentadas como un elemento estratégico que nos garantiza la viabilidad a largo plazo de la exploración espacial. Los diversos sistemas de energía en el espacio, como los sistemas de almacenamiento y de generación, deben enfrentarse o hacer frente a diversas condiciones extremas, como, por ejemplo: la radiación intensa, los ciclos térmicos severos y el vacío, es por eso que se exige tecnologías específicas para la operatividad de los satélites, estaciones espaciales, vehículos exploradores y hábitats en la Luna o Marte.

Esta realidad como tal, nos impulsa en el desarrollo de baterías avanzadas, pilas de combustible, sistemas térmicos y tecnologías que sepan aprovechar los recursos in situ (ISRU), reduciendo la dependencia del transporte desde Tierra y los costos logísticos asociados.

Las energías renovables como la solar y la eólica, constituyen fuentes inagotables y limpias, estas juegan un papel

crucial en la sostenibilidad de la exploración espacial, lo hace mediante la generación continua de energía sin agotar recursos naturales y sin generar emisiones que contaminen el planeta. Ahora, introduciéndonos a la parte de los cohetes, las tecnologías como la propulsión eléctrica y termina nuclear ofrece alternativas eficientes frente a estos cohetes químicos tradicionales, ya que optimizan el uso de su combustible y mejora la capacidad de carga para instrumentos científicos y suministros vitales. Esto ayuda a reducir el impacto ambiental y los costos de lanzamiento.

### **Metodología Enfoque de la Investigación**

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque cualitativo–documental, ya que se basa en el análisis, interpretación y comparación de información proveniente de fuentes bibliográficas, científicas y tecnológicas relacionadas con el uso de tecnologías limpias y energías renovables en misiones espaciales. Este enfoque permitirá comprender en profundidad las características, funciones, ventajas, limitaciones y aplicaciones reales de estas tecnologías en el ámbito aeroespacial.

Asimismo, el estudio incorpora elementos descriptivos y analíticos, debido a que no solo se limita a exponer conceptos, sino que también evalúa el impacto, la viabilidad técnica y la sostenibilidad de dichas tecnologías dentro del contexto espacial.

## **Tipo de Investigación**

El presente trabajo corresponde a un estudio de tipo: Descriptivo, porque detalla las principales tecnologías limpias y fuentes de energía renovable utilizadas en misiones espaciales, explicando su funcionamiento, aplicaciones y beneficios.

Documental, ya que se apoya en libros, artículos científicos, informes técnicos, publicaciones de agencias espaciales (como la NASA, ESA, JAXA, entre otras) y fuentes académicas confiables. Exploratorio, porque permite analizar el desarrollo actual de estas tecnologías y su proyección hacia futuras misiones espaciales, como bases en la Luna o Marte.

## **Nivel de la Investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo– explicativo, debido a que: Describe las principales tecnologías limpias aplicadas en el espacio. Explica los principios físicos, químicos y energéticos que permiten su funcionamiento. Analiza la importancia de estas energías para la sostenibilidad de las misiones espaciales. Métodos de Investigación Para el desarrollo del estudio se utilizarán los siguientes métodos:

- Método analítico, para descomponer cada tecnología en sus componentes fundamentales,

facilitando su comprensión.

- Método comparativo, para contrastar diferentes tipos de energías renovables (solar, nuclear limpia, eólica espacial, etc.) y determinar sus ventajas y desventajas.
- Método inductivo, al partir de casos reales de misiones espaciales para establecer conclusiones generales.
- Método deductivo, para aplicar principios científicos de las energías limpias a los sistemas utilizados en el espacio.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información Las técnicas empleadas en la investigación son:

- Revisión bibliográfica, mediante el análisis de libros, revistas científicas, tesis, informes técnicos y páginas oficiales de organismos espaciales.
- Análisis documental, que permitirá seleccionar, clasificar y organizar la información relevante.
- Fichas de trabajo, como instrumentos para registrar datos, conceptos y citas textuales. Población y

## **Muestra**

Debido a que la investigación es de tipo documental, no se trabaja con una población humana directamente. La población está conformada por documentos científicos, artículos técnicos y material digital sobre tecnologías limpias y energías renovables aplicadas al espacio. La muestra estará constituida por los documentos más relevantes, actualizados y confiables, seleccionados según criterios de pertinencia, actualidad y validez científica.

## **Variables de Estudio**

Las variables principales que se analizarán son:

- Variable independiente: Tecnologías limpias y energías renovables.
- Variable dependiente: Aplicación, eficiencia y sostenibilidad en misiones espaciales. Procedimiento de la Investigación El desarrollo de la investigación se realizará
- en las siguientes etapas: Selección del tema y delimitación del problema.

Búsqueda de información en fuentes científicas y tecnológicas confiables. Organización y clasificación de la

información recopilada. Análisis comparativo de las tecnologías limpias utilizadas en misiones espaciales. Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones.

### **Alcance de la Investigación**

La investigación tendrá un alcance teórico– tecnológico, ya que se centra en explicar los fundamentos, aplicaciones y proyecciones futuras del uso de energías limpias en misiones espaciales, sin realizar experimentación directa.

### **Tecnologías limpias y energía renovables para misiones espaciales.**

La energía renovable, también conocida como alternativa o blanda, abarca una serie de fuentes energéticas que se regeneran de manera natural y que son prácticamente inagotables en el tiempo.



**Biomasa.** La biomasa es el conjunto de la materia biológicamente renovable (madera, celulosa, carbón vegetal, etc.) cuya energía procede del Sol y que puede obtenerse en estado sólido por combustión o bien en estado líquido mediante la fermentación de azúcares, o gaseoso, a través de la descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica. El proceso de aprovechamiento de la energía de la biomasa puede ser tan simple como cortar árboles y quemarlos, o tan complejo como utilizar la caña de azúcar, el girasol u otros cultivos y convertir sus azúcares en combustibles líquidos.

### **Fuentes energéticas renovables**

**Eólica:** Se aprovecha la energía del viento moviendo las palas de un aerogenerador. **Geotérmica.** Es producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la

Tierra y la de la superficie. A profundidades de 3 a 5 km circulan corrientes de agua subterráneas junto a rocas calientes, con lo que puede aprovecharse su energía, sea en calefacción residencial, o bien inyectando agua que pasa a vapor a alta presión y mueve turbogeneradores. El sistema

geotérmico de calefacción/refrigeración aprovecha la inercia térmica de la tierra a profundidades que van de 2 hasta 150 m, trabajando temperaturas del terreno entre 0 y 20°C según la latitud de

los países (en España unos 15°C). La climatización se realiza aprovechando la diferencia de temperatura entre el subsuelo y el ambiente, a través de un colector instalado bajo tierra, que aprovecha en invierno la temperatura más alta del suelo para la calefacción y en verano, la temperatura más baja del subsuelo para la refrigeración.

**Hidráulica:** Se aprovecha la energía potencial del agua de los ríos mediante presas que permiten almacenarla y descargarla a un nivel más bajo para generar energía en la planta hidroeléctrica (turbinas y generadores).

**Oceánica:** Mareas, olas, térmica y corrientes marinas. Las mareas cuando suben permiten retener el agua en esclusas y cuando bajan el agua puede ser liberada de forma parecida a como se hace en las centrales hidroeléctricas. Las mareas deben ser fuertes, al menos de 5 m de altura entre la marea alta y la baja, lo que limita la extracción de energía a unos pocos lugares del mundo. Las olas en movimiento contienen energía (cinética y potencial) que, a través de dispositivos adecuados, puede ser aprovechada para mover turbinas y generar corriente eléctrica.

La energía térmica de los océanos aprovecha las diferencias de temperatura entre las aguas superficiales y las profundas. Estos sistemas permiten además obtener agua potable, generar hidrógeno por electrolisis y usos de acuicultura gracias a la gran cantidad de nutrientes que se encuentran en las profundidades marinas. Las corrientes marinas proporcionan energía con turbinas fijadas adecuadamente en el seno de la corriente.

Solar: Hay centrales térmicas solares y plantas fotovoltaicas que aprovechan la radiación solar. Las primeras transforman la radiación solar en energía calorífica, bien de forma sencilla exponiendo al Sol una superficie metálica pintada de negro que calienta el agua en contacto térmico con dicha superficie, o bien concentrando la energía solar mediante espejos parabólicos sobre tubos o depósitos de agua o aceite, que vaporizan el agua accionando una turbina que genera electricidad.

En las plantas fotovoltaicas, la luz solar (fotones) incide sobre celdas de silicio creando una diferencia de potencial entre los dos polos de la celda, que, al ser conectados, generan una corriente eléctrica. La Tierra recibe del Sol una cantidad de energía de 173000 TW y la energía media recibida por una sección perpendicular en la capa más externa de la atmósfera terrestre es de 1370 w/m<sup>2</sup>, que es la llamada constante solar.

**Fusión Nuclear: Se basa en la energía que se libera de la unión entre los átomos.**

Intervienen dos isótopos del hidrógeno, el tritio (<sup>3</sup>H), que se extrae del litio (muy abundante en el agua) y el deuterio (<sup>2</sup>H), que se encuentra en el hidrógeno en la proporción del 0,15%. Sus núcleos tienen la mínima fuerza de repulsión al ser los átomos más ligeros. Debe aplicarse una gran energía para conseguir su unión, lo que se

logra con calor formándose plasma con una temperatura interior de millones de grados, que en la naturaleza se alcanza en las supernovas. Lo realmente difícil es construir el reactor que soporte estas temperaturas tan elevadas.

La energía conseguida es alta y cada kilogramo de hidrógeno produce del orden de 70000000 kWh. La energía nuclear de fusión se consigue con confinamiento magnético (reactor Tokamak y Stellarator) y confinamiento inercial. El proyecto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) formado el 24 de mayo de 2006, por la Unión Europea, Rusia, Estados Unidos, Japón, China, Corea del Sur e India utiliza un reactor Tokamak. De hecho, la energía nuclear de fusión no es una energía renovable ya que consume materiales como el litio (abundante en el agua) y el deuterio (0,15% en el hidrógeno). Sin embargo, puede decirse que la abundancia de estas materias en la naturaleza es prácticamente inagotable.

La producción más limpia es un concepto que implica la prevención de la contaminación y el uso eficiente y conservación de las materias primas y auxiliares, que conduce a la explotación óptima de los recursos; significa la aplicación continua de una estrategia ambiental integrada y preventiva aplicada a los procesos, productos y servicios para incrementar la ecoeficiencia y reducir los riesgos humanos y naturales.

Reyes Yola, O. (2010). Prácticas de producción más limpias

para mitigar la contaminación de la destilería Hatuey por la descarga de la vinaza de la destilación alcohólica.

### **Perspectivas de desarrollo sostenible de la energía solar espacial**

La energía solar espacial es una tecnología prometedora con el potencial de revolucionar la generación y distribución de energía. Aprovechar la energía solar en el espacio y transmitirla a la Tierra proporciona una fuente de energía limpia, fiable y abundante sin utilizar combustibles fósiles. Desde la perspectiva del desarrollo sostenible, la energía solar espacial ofrece diversas ventajas. En primer lugar, puede reducir nuestra dependencia de las fuentes de energía no renovables y facilitar la transición hacia una economía baja en carbono. Esto cobra especial importancia dada la urgente necesidad de mitigar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En segundo lugar, la energía solar espacial puede llevar energía a regiones remotas y subdesarrolladas. Muchas partes del mundo aún carecen de acceso a electricidad confiable y asequible, lo que obstaculiza el crecimiento económico y el desarrollo social. Al proporcionar una fuente de energía sostenible y rentable, la energía solar espacial podría ayudar a superar esta brecha y mejorar la calidad de vida de millones de personas. Finalmente, la energía solar espacial puede contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías e industrias espaciales, creando nuevos

empleos y oportunidades económicas. La exploración y utilización continuas de los recursos espaciales pueden abrir nuevas fronteras para el descubrimiento científico y la innovación tecnológica. En general, las perspectivas de desarrollo sostenible de la energía solar espacial son muy prometedoras. Esta tecnología podría desempeñar un papel clave en la construcción de un futuro más sostenible y próspero para nuestro planeta con la investigación e inversión continuas.

### **Fuentes de energía renovables**

La integración de fuentes de energía renovables representa una vía crítica hacia la exploración espacial con cero emisiones netas, siendo la energía solar una piedra angular para alimentar naves espaciales, satélites y estaciones espaciales como la ISS. El control de actitud óptimo para naves espaciales alimentadas por energía solar mejora la adquisición de energía neta durante las maniobras, reduciendo la dependencia del combustible ( Kristiansen et al., 2021).

Si bien los satélites alimentados por energía solar ofrecen una generación de energía confiable y rentable, su adopción generalizada requiere menores costos de lanzamiento, una mayor eficiencia de los paneles solares y colaboración internacional ( Meftah et al., 2022 ). Más allá de las aplicaciones en naves espaciales, la energía solar impulsa las operaciones terrestres en las instalaciones de lanzamiento y las plantas de fabricación, ofreciendo capacidades de

almacenamiento de energía térmica que reducen el consumo de servicios públicos y mejoran la rentabilidad operativa en instalaciones de lotes multipropósito ( Simão et al., 2022 ).

SBSP representa un desarrollo transformador en energía renovable para la exploración espacial. Esta tecnología, que atrapa la energía solar y genera energía eléctrica usando células fotovoltaicas , la convierte en energía de CC, la almacena en una reserva de batería y la transmite a una estación terrestre a través de un haz de microondas ( Boddu et al., 2019 ), podría proporcionar energía limpia continua a naciones con recursos energéticos limitados ( Cash,2019 ; Pelton, 2019 ). Los sistemas SBSP, como lo describen Wood y Gilbert (2022) , generalmente comprenden tres componentes principales: el aparato de generación, el sistema de formación y dirección del haz, y el receptor. El componente de generación generalmente consiste en una amplia gama de células fotovoltaicas (PV), que convierten la luz solar directamente en electricidad. Sin embargo, estos paneles fotovoltaicos, a menudo hechos de obleas delgadas de silicio, enfrentan desafíos significativos en el duro entorno del espacio. La radiación del espacio profundo puede degradar su rendimiento más rápidamente que los sistemas terrestres, y los impactos de los desechos espaciales o micro meteoritos representan una amenaza constante ( Wood y Gilbert, 2022 ).

Un enfoque prometedor para mitigar estos desafíos es presentado por Abiri et al. (2022) , quienes proponen un diseño novedoso para un sistema SBSP liviano que utiliza energía

fotovoltaica III-V de alta eficiencia y una configuración modular de celdas unitarias pequeñas y repetibles llamadas "tiles". Este diseño modular mejora la resiliencia contra el daño de los desechos espaciales, ya que las fallas individuales de los tiles tendrían un impacto mínimo en la salida general del sistema ( Abiri et al., 2022 ). Además, su diseño incorpora concentradores parabólicos livianos para enfocar la luz solar en las celdas fotovoltaicas, lo que potencialmente aumenta la eficiencia y reduce el área de superficie requerida. Esto se alinea con los hallazgos de Giorgio et al. (2024) , quienes destacan el potencial de los espejos de refracción para mejorar la eficiencia de la recolección de energía solar en sistemas SBSP.

Rodgers et al. (2024) destacan los costos significativos asociados con SBSP, particularmente los gastos relacionados con el lanzamiento de materiales a órbita. Su análisis de dos diseños de SBSP, el Innovative Heliostat Swarm (RD1) y el Mature Planar Array (RD2), revela que los costos de lanzamiento representan el 71 % y el 77 % del costo total del ciclo de vida para cada diseño, respectivamente ( Rodgers et al., 2024 ). Esto subraya la necesidad de soluciones de lanzamiento más rentables para que SBSP sea económicamente viable. Además, el estudio indica que los costos de fabricación, incluido el desarrollo y la producción de módulos de naves espaciales, contribuyen significativamente a los gastos generales. El diseño liviano propuesto por Abiri et al. (2022) , con una densidad de masa superficial de 160 g/m<sup>2</sup>, podría potencialmente aliviar estas presiones de costos al reducir la masa que requiere el

lanzamiento. Giorgio et al. (2024) reconocen el desafío que supone el gran tamaño de los sistemas SBSP y los costos de lanzamiento asociados, pero sugieren que los vehículos de transporte espacial reutilizables podrían ofrecer una solución. Ambatali y Nakasuka (2024) abordan este desafío al proponer un diseño SSPS de película delgada que utiliza módulos satelitales de membrana plegable. Este enfoque reduce el peso y permite un almacenamiento compacto, lo que podría reducir los costos de lanzamiento.

El sistema de formación y dirección del haz es crucial para la transmisión eficiente de energía. En un estudio, se exploraron dos sistemas de transmisión de potencia para SBSP: láser y radiofrecuencia (RF) (Cougnet et al., 2004). Si bien los láseres son adecuados para largas distancias y receptores más pequeños, son susceptibles a la atenuación en atmósferas

planetarias, particularmente debido a tormentas de polvo. Los sistemas de RF, por otro lado, son ventajosos a distancias más cortas y se ven menos afectados por las condiciones atmosféricas (Cougnet et al., 2004). La elección entre la transmisión láser y de RF depende de la aplicación específica y de los factores ambientales. Por ejemplo, en el caso de Marte, se sugirió que los sistemas de RF pueden ser preferibles debido a su robustez contra tormentas de polvo. Giorgio et al. (2024) enfatizaron la importancia de una mayor investigación y experimentación para garantizar la seguridad y la eficiencia de la transmisión de microondas, incluyendo la minimización de las pérdidas de energía y la prevención de daños a los humanos, la vida silvestre y la navegación aérea. Otro estudio

también enfatizó la necesidad de más investigación y desarrollo en tecnologías de transmisión de energía inalámbrica para garantizar una transferencia de energía eficiente y confiable a largas distancias ( Alam et al., 2024 ).

El receptor, o rectenna, es una estructura terrestre diseñada para capturar el haz de energía entrante y convertirlo nuevamente en electricidad para su distribución a la red. El gran tamaño de la rectenna requerida para capturar el haz de energía dispersa genera inquietudes sobre el uso de la tierra y los posibles impactos ambientales. Además, garantizar la seguridad de las personas, los animales y la infraestructura en las proximidades de la rectenna requiere un diseño y una operación cuidadosos ( Wood y Gilbert, 2022).

Rodgers et al. (2024) enfatizaron aún más las consideraciones ambientales asociadas con SBSP, señalando que si bien las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de SBSP son menores que las de los combustibles fósiles, se encuentran dentro del rango de emisiones de fuentes de energía renovables terrestres. Abiri et al. (2022) abordan estas inquietudes diseñando su sistema para que funcione dentro del rango de frecuencia de 1 a 10 GHz y asegurando que la intensidad de energía a nivel del suelo no exceda la de la luz solar ambiental. Además, es necesario considerar cuidadosamente los sistemas de orientación y los posibles impactos en aeronaves y satélites ( Giorgio et al., 2024 ).

Cada uno de estos componentes presenta desafíos únicos para la viabilidad de SBSP. Superar estos desafíos requerirá avances significativos en materiales, ingeniería y estrategias operativas. Por ejemplo, desarrollar materiales fotovoltaicos más resistentes a la radiación y mecanismos de protección robustos contra los desechos espaciales será crucial para la viabilidad a largo plazo de los sistemas SBSP. Los avances en tecnologías de baterías, como los nanocompuestos fotorrecargables, han mejorado significativamente la eficiencia de almacenamiento ( Singh P. et al., 2024 ).

El sistema CASSIOPeiA ejemplifica el potencial de SBSP, proponiendo un enfoque escalable de sistemas de submegavatios a gigavatios que podrían abordar simultáneamente las necesidades energéticas de la Tierra y reducir la huella de carbono de las operaciones espaciales (Cash, 2019 ). A diferencia de las instalaciones solares terrestres, los sistemas SBSP operan independientemente de las condiciones climáticas y los ciclos de luz diurna, ofreciendo una generación constante de energía renovable al tiempo que respaldan las actividades orbitales y terrestres con energía sostenible a una escala sin precedentes.

### **Tecnología satelital y monitorea ambiental**

Los satélites sirven como herramientas críticas para monitorear los sistemas ambientales de la Tierra y respaldar las iniciativas globales sobre el cambio climático. Los sensores satelitales

avanzados proporcionan datos completos sobre indicadores climáticos clave, incluidos los patrones de deforestación ( Finer et al., 2018 ; Hadi et al., 2018 ; Reiche et al., 2018 ), las variaciones del nivel del mar ( Vignudelli et al., 2019 ; Adebisi et al., 2021 ; Mangan, 2023 ), las fluctuaciones de la temperatura oceánica ( Minnett et al., 2019 ; O'Carroll et al., 2019 ; Jung et al., 2022 ) y las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero ( Müller et al., 2021 ; Wang et al., 2023 ). Estos datos ambientales en tiempo real permiten la formulación de políticas y los esfuerzos de conservación basados en evidencia.

La evolución de la tecnología satelital en sí misma contribuye a los objetivos de cero emisiones netas mediante una mayor eficiencia y consideraciones ambientales. La aparición de Cube Sats ejemplifica este progreso, ofreciendo requisitos de combustible reducidos para el lanzamiento y la operación en comparación con los satélites convencionales ( Al-Hemeary et al., 2020 ). Estos satélites en miniatura, desplegados en grupos, proporcionan ciclos de desarrollo rápidos y rentables a la vez que utilizan sensores solares y magnéticos para una navegación económica ( Nurgizat et al., 2023 ).

La masa reducida de aproximadamente un kilogramo (Kuntanapreeda, 2019 ) y el tamaño de estos sistemas que mide 10 cm a lo largo de cada eje ( Monkell et al., 2018 ), minimizan los impactos ambientales durante la producción y el despliegue, mientras que la

integración de tecnologías eficientes, incluidos paneles solares avanzados que pueden generar hasta el 9,62 % de la energía generada por los sistemas de paneles solares convencionales, y componentes conscientes de la energía ( Ostrufka et al., 2019 ), extiende la vida útil operativa. Esta longevidad reduce la frecuencia de reemplazo y las emisiones de lanzamiento asociadas, lo que impulsa aún más los objetivos de sostenibilidad en las operaciones de satélites.

### **Economía circular en el diseño de las naves espaciales**

La adopción de los principios de la economía circular en el diseño de naves espaciales representa un enfoque transformador de la sostenibilidad espacial. La industria espacial sirve inherentemente como un "entorno natural" para la implementación de los conceptos de la economía circular, ofreciendo información valiosa para las aplicaciones terrestres ( Paladini et al., 2021 ). A diferencia de las economías lineales tradicionales que siguen un modelo de extracción-uso-eliminación, los enfoques de la economía circular minimizan los residuos mediante la reutilización, el reciclaje y la reutilización sistemáticos de materiales a lo largo del ciclo de vida de la nave espacial.

Como se ilustra en la Fig. 3 , el marco de la economía circular abarca múltiples fases integradas. Las naves espaciales se diseñan con énfasis en la longevidad, la modularidad y la reciclabilidad , utilizando materiales sostenibles para reducir la extracción de

recursos. Este enfoque se extiende a la eficiencia de la producción, los sistemas de distribución y la longevidad operativa a través de capacidades de reparación y actualización en lugar de reemplazo. La implementación de sistemas de logística inversa permite la recuperación y reutilización de materiales ( Ayvaz y Görener, 2019 ), mientras que la gestión innovadora de residuos transforma los residuos inevitables en energía o garantiza una eliminación segura ( Farooq et al., 2022 ).



### *Conclusiones*

La integración de tecnologías limpias y energías renovables es clave para garantizar la viabilidad, eficiencia y sostenibilidad de futuras misiones espaciales, con beneficios que también pueden aplicarse en la Tierra. El enfoque sistemático en el desarrollo y evaluación de estas tecnologías permite tomar decisiones

fundamentadas que optimicen la eficiencia energética, la seguridad y la sostenibilidad ambiental en condiciones extremas.

- La transición a fuentes renovables y sistemas de propulsión ecológicos marcará una diferencia significativa en la reducción de emisiones y costos operativos en la exploración espacial.
- La economía circular aplicada al diseño espacial es fundamental para la gestión sostenible de los recursos y residuos, apoyando un enfoque integral de sostenibilidad.
- El manejo responsable de la basura espacial y la colaboración internacional son imprescindibles para asegurar la continuidad y seguridad de las operaciones espaciales a largo plazo.
- La energía solar espacial tiene un gran potencial para transformar no solo la exploración sino también el acceso global a energía limpia en la Tierra, promoviendo un desarrollo más equitativo y sostenible.

Estos resultados y conclusiones integran las propuestas, análisis técnicos y evaluaciones contenidas en los tres documentos,

proporcionando una visión integral y coherente sobre la importancia y perspectivas de tecnologías limpias y renovables para misiones espaciales y sus impactos asociados.

### **Resultados:**

Se destaca la importancia de baterías avanzadas de iones de litio, pilas de combustible y tecnologías emergentes que soportan condiciones extremas en el espacio. Estos sistemas aseguran el almacenamiento eficiente de energía para satélites, estaciones espaciales, vehículos exploradores y hábitats lunares o marcianos.

- Las energías renovables, especialmente la solar, son fundamentales para la sostenibilidad en exploración espacial, permitiendo generación continua sin agotar recursos ni generar emisiones contaminantes.
- Se evidencia el desarrollo de sistemas que aprovechan recursos in situ (ISRU), disminuyendo la dependencia logística de Tierra y costos de transporte.
- Tecnologías de propulsión ecológicas y cohetes reutilizables contribuyen a la reducción del impacto ambiental y costos en lanzamientos espaciales.

- El diseño bajo principios de economía circular permite minimizar residuos y maximizar la reutilización y reciclaje de materiales en naves espaciales, fomentando industrias sostenibles.
- Se identifican riesgos ambientales como la basura espacial, así como estrategias para su mitigación, asegurando la sostenibilidad de la infraestructura espacial a largo plazo.
- La energía solar espacial (SBSP) ofrece potencial para energizar regiones remotas y contribuir a la neutralidad de carbono tanto en el espacio como en la Tierra.



**CAPITULO VI: Cultivo hidropónico de  
organismos verdes para la sostenibilidad en  
entornos espaciales**



Docente de la Universidad de Guayaquil

Delia Alexandra Cevallos Castro

Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior

Andrés Ricardo Chávez Briones

Adriana Valeska Lavayen Moreira

Doménica Mayerlí Vélez Córdova

## **Resumen**

El cultivo hidropónico de organismos verdes se presenta como una solución esencial para garantizar la sostenibilidad en futuras misiones espaciales de larga duración. Este capítulo analiza la viabilidad de producir alimentos frescos, oxígeno y biomasa útil mediante plantas vasculares y microalgas cultivadas en sistemas hidropónicos y aeropónicos adaptados a entornos de microgravedad. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, descriptivo y documental, basado en la revisión de artículos científicos recientes, informes de la NASA y la ESA, y resultados experimentales de proyectos como Veggie, Advanced Plant Habitat y MELiSSA. Los principales hallazgos destacan la eficiencia en el uso de recursos, el potencial de las microalgas para el soporte vital y los beneficios psicológicos de la vegetación para los astronautas. Se concluye que la integración de cultivos hidropónicos y microalgales es fundamental para avanzar hacia hábitats espaciales autosostenibles.

**Palabras clave:** hidroponía, aeroponía, microalgas, sostenibilidad espacial, sistemas biogenerativos.

## **Introducción**

La exploración espacial ha avanzado con rapidez durante las últimas dos décadas, impulsada por el desarrollo de nuevas tecnologías, la participación del sector privado y la proyección de

misiones humanas de larga duración hacia la Luna y Marte. Estos avances han generado un nuevo conjunto de desafíos relacionados con la sostenibilidad, la autosuficiencia y la capacidad de mantener la vida fuera del planeta Tierra sin depender de manera constante del reabastecimiento desde la superficie.

Dentro de este contexto, el cultivo hidropónico de organismos verdes se ha convertido en una de las líneas de investigación más prometedoras para garantizar la disponibilidad de alimentos frescos, la regeneración de oxígeno, el reciclaje de agua y la gestión de dióxido de carbono en entornos espaciales. Así como también presentan desafíos como la adaptación a condiciones extremas, incluyendo microgravedad, radiación y limitaciones de recursos.

Esta necesidad ha impulsado el desarrollo de los Sistemas de Soporte Vital Bioregenerativos (BLSS), los cuales integran organismos fotoautótrofos como plantas, microalgas y microorganismos para cerrar los ciclos de materia y energía en ambientes aislados.

El cultivo hidropónico en el espacio también adquiere relevancia desde una perspectiva estratégica al pensar en futuros asentamientos en la luna o marte. En este contexto, la presencia de plantas no solo tiene funciones nutricionales y ecológicas, sino también psicológicas, al contribuir al bienestar emocional de las

tripulaciones, disminuir el estrés y proporcionar un entorno visual más natural en hábitats aislados.

Asimismo, el estudio de microalgas como *Chlorella* o *Spirulina* demuestra que estos organismos pueden producir grandes cantidades de oxígeno y biomasa comestible con mínimos requerimientos energéticos, siendo candidatos esenciales para misiones prolongadas.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar el estado actual del cultivo hidropónico de organismos verdes en el espacio, evaluar los avances científicos y tecnológicos que permiten su aplicación, revisar sus aportes a la sostenibilidad en entornos extraterrestres y proponer un diseño conceptual adaptable a misiones humanas.

### **Metodología**

La metodología de este capítulo se desarrolló mediante un enfoque cualitativo, descriptivo y documental, sustentado en el análisis de literatura científica y documentos técnicos sobre cultivos hidropónicos, aeropónicos y organismos verdes adaptados a entornos espaciales. Este enfoque permitió comprender el funcionamiento, potencial y limitaciones de las tecnologías agrícolas en microgravedad desde una perspectiva técnico-científica.

En primera instancia, recopilamos fuentes primarias provenientes de artículos de investigación completos y documentos oficiales. Entre los materiales analizados se incluyen:

- Microalgae in Bioregenerative Life Support Systems for Space Applications (2024)
- Technology in Aeroponics (2023) Interstellar Space Biology via Project Starlight (2022).

Además, se integraron informes de instituciones como la NASA, la Agencia Espacial Europea (ESA) y programas experimentales como Veggie, Advanced Plant Habitat y MELiSSA, que documentan resultados de cultivos reales en la Estación Espacial Internacional (ISS) y en laboratorios terrestres especializados.

Realizamos una búsqueda complementaria en repositorios de acceso abierto como NASA Technical Reports Server (NTRS), ResearchGate, ScienceDirect (open access) y bibliotecas digitales universitarias, empleando términos relacionados con agricultura espacial, hidroponía en microgravedad, ciclo cerrado de soporte vital (BLSS), fotosíntesis en microalgas y colonización lunar/marciana.

El análisis se llevó a cabo mediante lectura comparativa, categorización temática y síntesis crítica, contrastando datos experimentales, marcos teóricos y experiencias reales de cultivo en microgravedad.

Finalmente, los hallazgos se organizaron en torno a cuatro ejes: hidroponía y aeroponía aplicadas al espacio, organismos verdes aptos para adaptarse a entornos extraterrestres, desafíos ambientales y tecnológicos de los cultivos en microgravedad, beneficios de los sistemas vegetales para el soporte vital humano.

### **Diseño de investigación**

El trabajo adopta un diseño de investigación documental–analítico, orientado a examinar evidencia existente y a interpretar críticamente los avances tecnológicos en cultivos hidropónicos de organismos verdes destinados a misiones espaciales.

Este diseño permite integrar información técnica, experimental y conceptual para evaluar la viabilidad de estos sistemas dentro de futuros hábitats lunares y marcianos, los datos no se obtienen mediante experimentación directa, sino mediante la selección, revisión y análisis de documentos científicos previamente elaborados.

### **El proceso se estructuró en tres etapas:**

**Recolección documental:** Compilamos estudios científicos, artículos revisados por pares, informes técnicos institucionales y documentos oficiales provenientes de la NASA, ESA y centros de

investigación en biotecnología espacial. Se priorizaron fuentes que presentaran evidencia clara sobre crecimiento vegetal, comportamiento fisiológico en microgravedad y resultados de cultivos implementados en la ISS.

**Evaluación y clasificación de la información:** Organizamos los documentos según criterios de pertinencia temática, calidad técnica, validez científica y relación con los ejes del capítulo.

**Análisis e interpretación:** Aplicamos un proceso de análisis crítico que permitió identificar patrones, contrastar resultados entre autores y relacionar la evidencia experimental con los requerimientos de sostenibilidad en entornos espaciales.

Este enfoque facilitó integrar perspectiva científica, tecnológica y reflexiva, incluyendo el criterio personal de los autores como estudiantes, tal como solicita el docente.

El diseño documental–analítico resulta adecuado para este tema porque permite estudiar fenómenos complejos como la agricultura en microgravedad mediante información verificada, evitando sesgos experimentales y fortaleciendo la comprensión global del problema.

## **Desarrollo**

### **Hidroponía y tipos de sistemas aplicados al espacio**

La hidroponía se define como un método de cultivo sin uso de suelo, en el que las plantas reciben los nutrientes esenciales a través de soluciones minerales disueltas en agua. Esta técnica es fundamental en entornos espaciales debido a su capacidad para controlar de manera precisa la nutrición, humedad, oxigenación y pH necesarios para el desarrollo vegetal, factores que en microgravedad no pueden regularse mediante métodos agrícolas tradicionales. Los sistemas hidropónicos permiten que el agua se recircule continuamente, reduciendo su consumo y evitando pérdidas, lo que resulta esencial en misiones donde todos los recursos deben ser gestionados con alta eficiencia.

Dentro de los sistemas hidropónicos más utilizados se encuentran el Nutrient Film Technique (NFT), que mantiene una fina lámina de solución nutritiva fluyendo por las raíces; el Deep Water Culture (DWC), donde las raíces permanecen sumergidas en una solución oxigenada; y los cultivos en sustratos inertes como perlita o fibra de coco, que retienen humedad y ofrecen estabilidad estructural. Por su parte, la aeroponía, considerada una evolución de la hidroponía, permite que las raíces cuelguen suspendidas en el aire mientras reciben nutrientes en forma de neblina fina.

Este sistema ha demostrado ofrecer un mayor crecimiento y uso extremadamente eficiente del agua, convirtiéndose en una de las alternativas más prometedoras para misiones espaciales. La NASA y otras agencias espaciales han evaluado estos métodos en la Estación Espacial Internacional, confirmando su potencial para integrarse en sistemas de soporte vital autosostenibles.

### **Organismos verdes aptos para entornos espaciales.**

La selección de organismos vegetales adecuados para crecer en el espacio implica identificar especies capaces de tolerar condiciones extremas como microgravedad, radiación ionizante, limitaciones hídricas y uso de iluminación artificial. Las plantas vasculares utilizadas con mayor frecuencia incluyen hortalizas de ciclo corto como lechuga, rábanos, espinaca y especies modelo como *Arabidopsis thaliana*, debido a su rápido crecimiento, buena adaptación a cámaras de cultivo cerradas y requerimientos nutricionales moderados.

Estas especies han demostrado mantener tasas fotosintéticas estables en sistemas hidropónicos y aeropónicos dentro de módulos especializados como VEGGIE o el Advanced Plant Habitat. También se han cultivado tomates cherry y pimientos, que aportan diversidad alimentaria y nutrientes esenciales, demostrando que es posible obtener frutos en microgravedad. Paralelamente, las microalgas han

emergido como uno de los organismos más prometedores para sistemas de soporte vital bioregenerativos. Especies como *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis* y *Euglena gracilis* poseen tasas muy altas de fijación de dióxido de carbono, producción de oxígeno y generación de biomasa rica en proteínas, antioxidantes y vitaminas. Además, pueden crecer en aguas residuales tratadas y bajo iluminación artificial, demostrando una flexibilidad metabólica ideal para hábitats espaciales cerrados. Tanto las plantas como las microalgas aportan funciones complementarias que fortalecen la sostenibilidad de las misiones espaciales, al generar alimentos, oxígeno, biomasa útil y contribuir al reciclaje de recursos.

### **Ventajas y desafíos de cultivar en el espacio**

El cultivo de organismos verdes en entornos espaciales proporciona numerosas ventajas para la tripulación y la infraestructura de soporte vital. Las plantas y microalgas generan oxígeno mediante fotosíntesis y capturan el dióxido de carbono respirado por los astronautas, contribuyendo al equilibrio gaseoso dentro del hábitat. De igual forma, los sistemas hidropónicos y aeropónicos permiten reciclar el agua casi en su totalidad, aprovechando la evapotranspiración de las plantas y la recirculación continua de la solución nutritiva. Estos cultivos también ofrecen alimentos frescos, ricos en vitaminas y minerales, y ayudan a prevenir deficiencias nutricionales asociadas a dietas basadas exclusivamente en alimentos procesados.

Desde la perspectiva emocional, la presencia de vegetación reduce los niveles de estrés, mejora el bienestar mental y proporciona un vínculo psicológico con la naturaleza, lo cual es valioso para misiones prolongadas. Sin embargo, cultivar en microgravedad implica desafíos técnicos importantes. La ausencia de gravedad dificulta el movimiento natural del agua, generando problemas en el riego, drenaje y oxigenación de las raíces. La radiación cósmica puede afectar la fisiología vegetal, causando mutaciones o reducciones en el crecimiento. La producción de luz artificial requiere un consumo energético considerable, y los sistemas cerrados son vulnerables a la proliferación de hongos o bacterias si no se controlan adecuadamente. Por último, la necesidad de automatización avanzada es indispensable para reducir la carga de trabajo de los astronautas y asegurar que los cultivos operen de manera estable.

### **Oportunidades y beneficios para los astronautas**

Los cultivos hidropónicos, aeropónicos y microalgales ofrecen beneficios significativos para la autonomía, la salud y el bienestar general de los astronautas. La producción local de alimentos frescos reduce la dependencia de suministros enviados desde la Tierra, disminuyendo costos y riesgos logísticos. Las plantas aportan micronutrientes esenciales y mejoran la calidad de la dieta, mientras que las microalgas proporcionan proteínas, antioxidantes y compuestos bioactivos fundamentales para mantener la salud en condiciones extremas. Los cultivos también contribuyen al reciclaje

de agua y al mantenimiento del equilibrio gaseoso, formando parte esencial de los sistemas de soporte vital regenerativo.

Asimismo, la presencia de organismos vivos dentro del hábitat mejora el bienestar psicológico al ofrecer una sensación de conexión con la naturaleza, reducir la sensación de aislamiento y aportar rutinas significativas a la vida diaria de los astronautas. A nivel operativo, los cultivos generan biomasa que puede utilizarse para producir materiales, biopolímeros o suplementos, favoreciendo la sostenibilidad tecnológica de misiones de larga duración. Al integrar estos sistemas, las misiones espaciales se vuelven más autónomas, resilientes y capaces de sostenerse sin depender exclusivamente de la Tierra, estableciendo así un fundamento ecológico para futuras colonias en la Luna o Marte.

## **Resultados**

A lo largo de esta investigación, pudimos comprender de manera más clara cómo los cultivos hidropónicos, aeropónicos y microalgales representan una pieza clave para la sostenibilidad de las misiones espaciales. Al revisar los estudios científicos y los proyectos de agencias como la NASA y la ESA, nos llamó profundamente la atención cómo plantas sencillas y cotidianas como: la lechuga, los rábanos o la espinaca, han logrado crecer de forma estable en microgravedad, manteniendo ciclos de desarrollo completos gracias a la iluminación LED y al control preciso de nutrientes. Para nosotros,

estos resultados confirman que la producción de alimentos frescos en el espacio ya no es una idea futurista, sino una realidad que está avanzando rápidamente.

También descubrimos que las microalgas, especialmente *Chlorella* y *Spirulina*, tienen un papel aún más trascendental del que imaginábamos. A medida que exploramos la literatura, entendimos que su capacidad para fijar CO<sub>2</sub> y producir oxígeno supera incluso a la mayoría de las plantas tradicionales. Personalmente, ver que pueden crecer con recursos limitados, incluso utilizando aguas tratadas dentro del hábitat espacial, nos hizo dimensionar su enorme potencial para formar parte del ciclo biológico completo en misiones de larga duración. Estos hallazgos nos llevaron a valorar las microalgas no solo como suplementos nutricionales, sino como herramientas esenciales para cerrar el ciclo de vida dentro de un hábitat espacial autosostenible.

En nuestra revisión de alternativas de cultivo, observamos que la aeroponía ofrece ventajas sorprendentes respecto a la hidroponía convencional. Los resultados reportados por diversos experimentos muestran un crecimiento acelerado, un uso mínimo de agua y una oxigenación radicular excepcional. Sin embargo, también identificamos que este método exige un nivel alto de automatización y control técnico, especialmente porque en microgravedad la niebla nutritiva puede dispersarse de manera impredecible. Como autores, nos parece importante resaltar que, aunque la aeroponía representa

una solución muy prometedora, todavía necesita mejoras tecnológicas para garantizar su fiabilidad en misiones completamente autónomas.

Un aspecto que nos impactó particularmente fue el papel emocional que tienen las plantas dentro de las misiones espaciales. La evidencia científica muestra que interactuar con cultivos reduce notablemente el estrés y mejora el bienestar psicológico de los astronautas. Desde nuestra perspectiva, este punto humaniza aún más el propósito de incorporar cultivos en el espacio, ya que no solo buscamos resolver un problema funcional, como la comida o el oxígeno, sino también contribuir al bienestar integral de las personas que enfrentarán misiones de aislamiento extremo.

Finalmente, los resultados globales de esta investigación nos permitieron comprender que la combinación de plantas vasculares y microalgas es la estrategia más eficiente para avanzar hacia misiones autosostenibles. La capacidad de producir alimentos frescos, reciclar agua, estabilizar el ambiente gaseoso y generar biomasa útil convierte a estos cultivos en un pilar fundamental para el futuro de la exploración humana. Como grupo de investigación, llegamos a la conclusión de que los organismos verdes no solo facilitan la supervivencia en entornos extraterrestres, sino que también simbolizan la conexión más profunda entre la vida terrestre y la expansión humana hacia otros mundos.

## **Conclusiones**

En primer lugar, esta investigación nos permitió comprender que los cultivos hidropónicos, aeropónicos y microalgales no solo son técnicamente viables en el espacio, sino que se han convertido en herramientas indispensables para avanzar hacia sistemas de soporte vital verdaderamente autosustentables. La evidencia analizada demuestra que estas técnicas permiten producir alimentos frescos y reciclar recursos esenciales con un nivel de eficiencia difícil de lograr mediante métodos tradicionales.

En segundo lugar, concluimos que ciertas especies vegetales — especialmente las de ciclo corto— y microalgas como *Chlorella* y *Spirulina* presentan una capacidad de adaptación notable a las condiciones de microgravedad y radiación moderada. Este rendimiento estable confirma que estos organismos pueden formar parte integral de los hábitats espaciales del futuro, contribuyendo simultáneamente a la alimentación, la generación de oxígeno y la regulación del CO<sub>2</sub>.

En tercer lugar, identificamos que la aeroponía, a pesar de sus desafíos tecnológicos en microgravedad, ofrece oportunidades de crecimiento más acelerado y eficiencia hídrica superior en comparación con la hidroponía convencional. Esta observación nos lleva a afirmar que su perfeccionamiento será determinante para optimizar la agricultura espacial en misiones de larga duración.

En cuarto lugar, descubrimos que el impacto psicológico de los cultivos es tan relevante como su función biológica. Las plantas y microalgas no solo sostienen la vida desde un punto de vista físico, sino que también influyen positivamente en el bienestar emocional de los astronautas, reduciendo la tensión mental, el aislamiento y el estrés que caracterizan a las misiones prolongadas.

Finalmente, concluimos que integrar estos sistemas biológicos en misiones lunares o marcianas permitirá incrementar significativamente la autonomía, la resiliencia y la seguridad de la tripulación. Los cultivos verdes representan, en esencia, un puente entre la vida en la Tierra y la futura presencia humana en otros mundos, demostrando que la sostenibilidad no es solo una condición técnica, sino un principio fundamental para la expansión humana en el espacio.



**CAPITULO VII: Comportamiento y  
desarrollo de productos agrícolas en el espacio**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Julio Antonio Baque Mieles

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Ariel Eduardo Gaibor Izquierdo

Stefanie Alejandra Gómez Mateo

Esther de Jesús Rodríguez Montoya

Gabriela Mercedes Romero Quizhpi

## **Resumen**

En esta investigación se analiza el comportamiento y desarrollo de productos agrícolas en el espacio a partir de información ya existente, considerando factores como la microgravedad, la radiación y los sistemas cerrados que afectan la fisiología vegetal y la viabilidad de cultivos extra planetarios. Empleamos un diseño mixto con enfoques experimental, molecular y político-económico, integrando datos primarios de misiones espaciales, estudios secundarios sobre agricultura controlada y evidencia normativa internacional. Los resultados muestran que la microgravedad altera la arquitectura radicular, la expresión génica y la eficiencia metabólica, lo que exige sistemas precisos de iluminación, ventilación y nutrición. Al contrastar estos datos con estudios ecuatorianos y casos como GANEC y el Colegio Javier, identificamos capacidades nacionales emergentes en biotecnología espacial. Concluimos que el desarrollo agrícola espacial depende de la adaptación fisiológica, la tecnología, la regulación y la articulación entre ciencia, industria y educación.

**Palabras clave:** agricultura espacial, microgravedad, biotecnología vegetal, sistemas cerrados, biomasa.

## **Introducción**

La expansión de la actividad humana más allá de la Tierra hacimpulsado el desarrollo de nuevas líneas de investigación

orientadas a garantizar la sostenibilidad alimentaria en entornos extra planetarios. En este contexto, la agricultura espacial se ha consolidado como un campo estratégico que integra biología vegetal, ingeniería de sistemas cerrados, biotecnología y normativas internacionales de bioseguridad. Durante los últimos años, diversas investigaciones realizadas en la Estación Espacial Internacional (ISS) han demostrado que las plantas experimentan cambios fisiológicos importantes cuando crecen en condiciones de microgravedad.

Estos cambios incluyen alteraciones en la distribución hídrica, la señalización hormonal, la orientación radicular y la expresión génica asociada a respuestas de estrés, lo que evidencia cómo el entorno espacial modifica profundamente los procesos biológicos esenciales para el crecimiento vegetal (Olanrewaju et al., 2023). Estos hallazgos confirman que la agricultura en el espacio no puede replicar de forma directa los métodos terrestres y requiere tecnologías especializadas como sistemas hidropónicos de circuito cerrado, iluminación LED multiespectral y mecanismos avanzados de ventilación y monitoreo.

A la par de que las líneas investigativas se han orientado hacia estudios extra planetarios, se ha identificado la necesidad de establecer regulaciones, estándares y normas internacionales enmarcadas en la sostenibilidad y la protección planetaria, con el fin de garantizar que los experimentos se ejecuten bajo criterios que regulen el manejo, transporte y retorno de material biológico.

Dado esto, organismos internacionales como NASA, ESA y COSPAR han establecido requisitos estrictos de trazabilidad genética, control microbiológico, categorización de riesgo y validación técnica para evitar la contaminación cruzada entre cuerpos celestes y garantizar la inocuidad de los experimentos biológicos (Spry et al., 2024). Estas normativas permiten controlar los tipos de cultivos que pueden enviarse al espacio, los diseños experimentales autorizados, los procedimientos de bioseguridad y los criterios con los que se evalúan los resultados científicos. En este contexto, entendemos que la agricultura espacial involucra simultáneamente actividades biológicas, tecnológicas y regulatorias que garantizan la seguridad e integridad de las investigaciones.

En América Latina, y específicamente en Ecuador, han surgido iniciativas que reproducen condiciones de cultivo controlado similares a las utilizadas en módulos espaciales. Investigaciones hidropónicas desarrolladas en universidades nacionales y proyectos académicos que emplean iluminación LED y sistemas de cultivo indoor demuestran que es posible regular parámetros ambientales con alta precisión, tal como se exige en la agricultura espacial. Estudios internacionales han mostrado que el uso de iluminación artificial ajustada por espectro y fotoperiodo en cultivos como *Lactuca sativa* incrementa la biomasa y mejora características fisiológicas clave, lo cual se relaciona directamente con los requerimientos de producción vegetal en entornos cerrados como los de la ISS (Nguyen et al., 2022).

Aunque estas iniciativas ecuatorianas no operan en microgravedad, sus metodologías coinciden con las aplicadas en plataformas espaciales como Veggie o APH, lo que posiciona al país como un actor emergente con potencial de contribuir a proyectos de biotecnología espacial.

En Ecuador, las técnicas hidropónicas, el uso de espectros LED y los cultivos controlados han ganado fuerza en instituciones como USFQ, ESPOL y ESPOCH, generando datos esenciales sobre crecimiento vegetal bajo ambientes regulados. Estudios sobre producción de lechuga en sistemas indoor con iluminación artificial indican que la variación del espectro influye significativamente en el desarrollo morfológico y la acumulación de biomasa, lo que coincide con los resultados de investigaciones internacionales que comparan sistemas LED y fluorescentes en cultivo hidropónico (Nguyen et al., 2022).

De forma complementaria, estudios en microgravedad han demostrado que plantas como *Arabidopsis thaliana* activan rutas de regulación génica relacionadas con estrés y adaptación cuando crecen en el entorno espacial, lo que evidencia una reorganización fisiológica fundamental en ausencia de gravedad (Kruse et al., 2020). Estas coincidencias metodológicas fortalecen la idea de que los sistemas hidropónicos y la iluminación LED empleados en Ecuador pueden servir como base para desarrollar estrategias agrícolas aplicables a hábitats espaciales.

Considerando este panorama, este capítulo analiza el comportamiento y desarrollo de productos agrícolas en el espacio, integrando evidencia experimental reciente y revisiones científicas de alto. A partir del contraste entre fuentes primarias, secundarias y legislativas, exploramos los desafíos fisiológicos que enfrentan las plantas en condiciones extra planetarias, los requerimientos tecnológicos necesarios para sostener cultivos en ambientes cerrados y las capacidades latinoamericanas (particularmente ecuatorianas) para incorporarse a estos avances. Este enfoque integral permite comprender la agricultura espacial no solo como un campo científico de frontera, sino como un componente fundamental de futuras misiones tripuladas de larga duración y asentamientos fuera de la tierra.

### **Objetivo general:**

Examinar el comportamiento y la evolución de productos agrícolas en términos espaciales, teniendo en cuenta los retos que plantea la microgravedad.

### **Objetivos específicos:**

Justificar la importancia de cultivar alimentos en el espacio.

Reconocer los retos científicos más relevantes vinculados con el cultivo en microgravedad.

Establecer relaciones entre la tecnología espacial y su uso en misiones y en la agricultura terrestre.

Distinguir las contribuciones de los sistemas de cultivo controlado, tanto a nivel local como internacional.

### **Metodología Diseño de investigación**

Para la realización de esta investigación se adoptó un enfoque mixto que integra técnicas cualitativas y cuantitativas. El trabajo corresponde a un estudio descriptivo, documental y comparativo, dado que se analizan fuentes científicas, reportes técnicos y resultados experimentales sobre agricultura espacial. La elección de este enfoque se justifica por varias razones.

El uso de métodos mixtos permite obtener una comprensión más completa del fenómeno de estudio, ya que combina la fortaleza explicativa de los datos cuantitativos con la riqueza interpretativa del análisis cualitativo, superando las limitaciones de los estudios mono método (Pérez Peña et al., 2023).

En esta investigación se requiere cuantificar los cambios fisiológicos, productivos y tecnológicos asociados a la agricultura espacial, pero también analizar los resultados y observaciones reportadas en estudios experimentales. Por ello, el enfoque mixto optimiza la obtención de información relevante y permite equilibrar las debilidades que tendría cada método por separado (Taherdoost,

2022).

Este enfoque también facilita abordar la complejidad del campo de estudio en su totalidad, ya que permite relacionar los datos cuantitativos con experiencias, proyectos y descripciones técnicas provenientes de diversas fuentes, fortaleciendo así el análisis y la interpretación final de los resultados (Pérez Peña et al., 2023).

### **Técnicas e instrumentos de recolección de información**

Para este estudio se emplearon técnicas documentales orientadas a identificar, seleccionar y clasificar información relevante sobre agricultura espacial y sistemas de cultivo en microgravedad. Se utilizaron fichas de lectura, matrices comparativas y registros temáticos para organizar los datos provenientes de artículos científicos, reportes técnicos de agencias espaciales y estudios experimentales desarrollados en Ecuador. Este proceso permitió agrupar la información en categorías como iluminación LED, comportamiento fisiológico, hidroponía y normativas aeroespaciales. Además, se aplicó un procedimiento sistemático de búsqueda avanzada en bases científicas indexadas, siguiendo criterios de actualidad, pertinencia y validez metodológica. Tal como señalan Pérez Peña et al. (2023), estas técnicas facilitan la integración ordenada de datos cuando se trabaja con enfoques mixtos.

## **Procedimiento de análisis de datos**

El análisis se desarrolló en dos niveles. En el plano cuantitativo, se extrajeron y compararon indicadores como tasas de germinación, acumulación de biomasa, eficiencia lumínica y rendimiento general de los cultivos. Este proceso permitió identificar patrones comunes entre estudios ecuatorianos y experimentos de NASA y ESA. En la dimensión cualitativa, se realizó una lectura interpretativa de reportes técnicos, describiendo adaptaciones morfológicas, respuestas fisiológicas y observaciones operativas de los sistemas de cultivo en microgravedad.

La combinación de ambos tipos de análisis permitió generar un panorama sólido y coherente, aprovechando la complementariedad metodológica que, según Taherdoost (2022), fortalece la comprensión de fenómenos complejos al unir números con interpretaciones contextualizadas. Todo el material recopilado fue contrastado mediante triangulación temática para garantizar mayor fiabilidad y profundidad interpretativa.

## **Limitaciones metodológicas**

Esta investigación presenta algunas limitaciones inherentes al carácter documental del estudio. No se contó con acceso directo a laboratorios experimentales ni a estaciones espaciales donde se realizan pruebas reales, por lo que el análisis depende de la calidad,

disponibilidad y actualidad de las fuentes académicas consultadas (como señalan estudios sobre revisión documental). Además, las diferencias metodológicas entre los estudios internacionales y los trabajos nacionales exigen cautela al establecer comparaciones directas. Por otro lado, dado que el campo de la biología espacial evoluciona rápidamente, algunos resultados pueden quedar desactualizados, lo que representa un reto para mantener una visión exhaustiva. A pesar de ello, tal como proponen autores especializados en metodología de revisiones documentales, estas limitaciones pueden mitigarse mediante una selección rigurosa de fuentes, criterios claros de inclusión/exclusión y, cuando sea posible, combinando enfoques diversos (documental + empírico) (Clarke, 2013).

## **Desarrollo**

A lo largo de este trabajo investigativo analizamos cómo diferentes instituciones del Ecuador han aplicado metodologías científicas, proyectos experimentales y estrategias innovadoras para mejorar sus procesos educativos, productivos y organizacionales. Como equipo decidimos fundamentar nuestro desarrollo en fuentes verificables, estudios de caso reales y documentos institucionales, con el fin de garantizar la veracidad y pertinencia de la información. Nuestro objetivo fue demostrar cómo el uso del método experimental, el trabajo colaborativo y la evaluación técnica contribuyen al desarrollo académico, industrial y social del país.

El estudio del cultivo de plantas en el espacio se ha convertido en un eje central de la biología espacial, ya que garantizar la producción continua de alimentos es esencial para futuras misiones prolongadas. La evidencia científica confirma que la microgravedad altera funciones fisiológicas cruciales, incluyendo la orientación de las raíces, la distribución del agua y el transporte de nutrientes, lo que complica el crecimiento vegetal fuera de la Tierra. Según Kiss et al. (2019), “microgravity affects plant cell walls, cell cycles, and tropistic responses” (p. 1), lo cual evidencia el impacto directo sobre procesos básicos del desarrollo vegetal.

A esto se suma la exposición a la radiación cósmica, capaz de generar estrés celular y daños al ADN, afectando la división tisular y la morfología; como señalan Furukawa et al. (2020), “space radiation induces DNA damage and alters cellular homeostasis” (p. 3). Por ello, se requiere diseñar sistemas de cultivo altamente controlados y con protección específica para garantizar la viabilidad de los cultivos en misiones espaciales.

Gracias a estos avances, plataformas como Veggie y el Advanced Plant Habitat en la Estación Espacial Internacional han permitido cultivar especies hortícolas bajo condiciones controladas; sin embargo, los rendimientos suelen ser menores y requieren estrategias específicas de iluminación, humedad y recirculación de agua para asegurar su desarrollo (Hajný et al., 2022). Estos retos y progresos muestran cómo la agricultura espacial sigue evolucionando

para lograr una producción sostenible de alimentos más allá del planeta.

Estudios recientes realizados en la Estación Espacial Internacional han demostrado que los cultivos desarrollados en el sistema Veggie pueden producir hortalizas frescas aptas para el consumo humano, siempre que se mantengan parámetros estrictamente controlados de luz, humedad y manejo microbiológico. La evaluación microbiológica y nutricional de las cosechas de *Lactuca sativa* cultivadas en órbita evidenció que, pese a las limitaciones derivadas de la microgravedad y del ambiente cerrado, las plantas pueden desarrollarse adecuadamente y generar hojas seguras y con perfiles nutricionales comparables a los obtenidos en la Tierra. Estos resultados confirman que la agricultura espacial es viable, aunque requiere procesos de control ambiental más rigurosos que los utilizados en cultivos terrestres tradicionales.

Dentro de este contexto se ubica el concepto de desarrollo de productos agrícolas en el espacio, entendido como el conjunto de actividades científicas y tecnológicas que permite seleccionar, adaptar y producir cultivos capaces de sobrevivir en entornos extraterrestres. Este enfoque integra investigación botánica, ingeniería, biotecnología, nutrición y diseño de sistemas cerrados. Cada cultivo que se estudia lechuga, rábanos, trigo, papas, hortalizas ofrece información valiosa para determinar qué especies poseen la mayor capacidad de adaptarse a misiones de permanencia prolongada.

Sin embargo, más allá de las instituciones universitarias, Ecuador ha comenzado a involucrarse también desde el sector productivo, lo que amplía significativamente el alcance nacional en la biotecnología espacial. En este ámbito se destacan dos estudios de caso fundamentales para este trabajo: el proyecto espacial del Grupo Danec y el proyecto escolar del Colegio Javier. Ambos constituyen referentes reales, verificables y aplicables al desarrollo de productos agrícolas que podrían adaptarse a entornos extraterrestres.

El estudio de caso del Grupo Danec representa uno de los avances más importantes para el país. Según lo informado por la empresa ecuatoriana prevé enviar semillas al espacio mediante un programa de exposición controlada que permitirá evaluar cómo la radiación y la microgravedad afectan su viabilidad. La inversión inicial reportada asciende a USD 25 800, destinados al lanzamiento, contención, monitoreo y retorno.

Este proyecto permitirá obtener datos de primera mano sobre el porcentaje de germinación post-vuelo, posibles mutaciones genéticas y variaciones en biomasa. Para Ecuador, esto implica la posibilidad de identificar variedades agrícolas mejoradas, más resistentes al estrés y con potencial de desarrollo para mercados especializados. Además, esta iniciativa abre la puerta a vincular al sector agrícola nacional con la biotecnología espacial, lo que podría derivar en nuevas líneas de investigación, certificaciones de origen

espacial y aplicaciones productivas (Britcham, 2025).

El otro estudio de caso, el proyecto del Colegio Javier representa una iniciativa educativa innovadora que fortalece la formación científica desde etapas tempranas. Según lo reportado por medios ecuatorianos, estudiantes de la Unidad Educativa Javier desarrollaron sistemas hidropónicos y participaron en el envío al espacio de semillas de rábano ecuatoriano para analizar su comportamiento bajo condiciones de microgravedad y radiación (Vistazo, 2019). Este proyecto permite medir variables como rendimiento por área, eficiencia en consumo de agua, supervivencia de plantas y tasas de crecimiento, comparando muestras que viajaron al espacio con las que quedaron en tierra.

La información obtenida sirve como modelo de aprendizaje para comprender cómo se diseñan cultivos destinados al espacio, y al mismo tiempo fortalece la cultura científica local. Este caso demuestra cómo la educación puede involucrarse directamente en líneas de investigación alineadas con los retos de la exploración espacial y la biotecnología aplicada. Este caso demuestra cómo la educación puede involucrarse directamente en líneas de investigación alineadas con los retos de la exploración espacial y la biotecnología aplicada (El Telégrafo, 2021).

En conjunto, estos casos DANEC y Colegio Javier integran el contexto ecuatoriano dentro de un marco global donde

universidades, agencias espaciales y empresas trabajan para definir cuáles son los productos agrícolas más adecuados para crecer en otros entornos planetarios. A esto se suman las líneas de investigación desarrolladas por la USFQ, ESPOL y ESPOCH, que proporcionan bases experimentales para comprender la dinámica del crecimiento vegetal bajo esquemas controlados.

Como grupo, se reconoce que el desarrollo de productos agrícolas para el espacio también implica establecer indicadores cuantitativos claros, como el porcentaje de germinación, la eficiencia energética del sistema, el porcentaje de reciclaje hídrico, la variación porcentual del rendimiento fotosintético y las tasas de supervivencia post- exposición. Estos parámetros son necesarios no solo para validar científicamente los resultados, sino también para garantizar la seguridad alimentaria en ambientes donde cada recurso es limitado.

La experiencia ecuatoriana, al integrar casos reales de investigación escolar, universitaria y empresarial, demuestra que el país posee la capacidad necesaria para contribuir a un campo que antes parecía inalcanzable, analizamos que el estudio del comportamiento y desarrollo de productos agrícolas en el espacio representa un hito decisivo para el futuro de la ciencia y la producción alimentaria a nivel global. A lo largo de este trabajo identificamos que cultivar en condiciones de microgravedad implica desafíos complejos tanto fisiológicos como tecnológicos que transforman por completo la manera en que las plantas crecen, absorben nutrientes y responden a

estímulos externos. Sin embargo, también observamos que estos retos han impulsado innovaciones significativas en sistemas de cultivo, iluminación, control de humedad y formulación de nutrientes, lo que abre nuevas oportunidades para explorar modelos agrícolas altamente eficientes, sostenibles y adaptables.

En el contexto ecuatoriano, nuestra investigación grupal reconoce que el país está avanzando con pasos firmes hacia la biotecnología espacial gracias a tres pilares fundamentales: el sector académico, el sector empresarial y la educación escolar. Los aportes de universidades como la ESPOL, la USFQ y la ESPOCH muestran que existe capacidad investigativa sólida, capaz de generar datos científicos confiables sobre cultivos en ambientes controlados, variaciones morfológicas, uso de iluminación LED y adaptación vegetal.

Por otro lado, el caso empresarial de Danec, mediante sus experimentos sobre fisiología vegetal en condiciones simuladas de gravedad reducida, demuestra que la industria ecuatoriana también puede contribuir con investigación aplicada alineada a estándares internacionales. Esto revela un sector productivo con visión de futuro, dispuesto a incorporar conocimiento científico para innovar y expandir sus actividades hacia escenarios no tradicionales como el espacio.

Asimismo, la participación educativa del Colegio Javier, con

su proyecto experimental de germinación y crecimiento vegetal mediante cámaras controladas, evidencia que la formación científica empieza a consolidarse desde edad temprana. Iniciativas como esta fomentan la curiosidad, el pensamiento crítico y el desarrollo de vocaciones tecnológicas, los cuales son elementos esenciales para que el país construya una base de talento capaz de sostener investigaciones espaciales en las próximas décadas.

Se ha determinado que la integración entre ciencia, sector productivo y educación no solo fortalece el avance nacional en temas aeroespaciales, sino que posiciona al Ecuador en un panorama internacional donde la agricultura espacial será clave para las misiones de larga duración, la colonización lunar y marciana, y la creación de sistemas autónomos de producción de alimentos fuera de la Tierra. El país demuestra que posee las condiciones humanas, intelectuales y experimentales para contribuir con conocimiento propio a esta nueva frontera científica.

En conjunto, afirmamos que el desarrollo agrícola espacial no es únicamente un desafío tecnológico, sino una oportunidad estratégica para transformar la forma en que producimos alimentos, optimizamos recursos y proyectamos nuestra capacidad científica. Por ello, concluimos que el Ecuador puede convertirse en un referente emergente en biotecnología espacial si continúa articulando esfuerzos entre instituciones, empresas y centros educativos. De esta manera, es posible visualizar un futuro donde los cultivos ecuatorianos no solo

prosperen en nuestro territorio, sino que también formen parte de misiones espaciales que marcarán el próximo capítulo de la humanidad.

## **Resultados**

En este capítulo examinamos críticamente los resultados derivados del contraste entre investigaciones primarias de biología espacial, estudios secundarios de agricultura controlada, normativa internacional y evidencia generada en Ecuador. Este análisis nos permitió comprender con mayor precisión cómo se comportan los productos agrícolas en condiciones espaciales y cuáles son las implicaciones tecnológicas, fisiológicas y regulatorias para su desarrollo. Nuestra evaluación integró datos experimentales recientes, publicaciones indexadas en Scopus y JCR, estándares de protección planetaria y estudios nacionales, lo que garantiza que los resultados obtenidos estén fundamentados en evidencia sólida y vigente.

Las investigaciones recientes en biología espacial señalan que la microgravedad provoca modificaciones profundas en la estructura y funciones esenciales de las plantas, afectando procesos como el crecimiento radicular, la distribución interna del agua, la regulación hormonal y la actividad metabólica. Reportes técnicos del programa Space Life Science de la NASA indican que especies hortícolas como *Arabidopsis thaliana* y *Lactuca sativa* muestran disminuciones en su desarrollo, alteraciones en la arquitectura del

tallo y respuestas incrementadas al estrés oxidativo en ambientes orbitales (NASA, n.d.).

Asimismo, estudios de la Agencia Espacial Europea han demostrado que la ausencia de gravedad desencadena la activación de vías génicas vinculadas al estrés abiótico y una reducción significativa del gravitropismo, evidencia consistente con los resultados observados en experimentos previos en la Estación Espacial Internacional (ESA, n.d.). La convergencia de estos hallazgos sostiene que el funcionamiento fisiológico de las plantas se reconfigura de manera integral fuera de la Tierra, lo que demanda innovar en los sistemas agrícolas destinados al entorno espacial.

Al contrastar las evidencias obtenidas de investigaciones previas con información institucional especializada, se identifica que los sistemas agrícolas espaciales requieren un control ambiental altamente preciso para garantizar la estabilidad fisiológica de los cultivos. En este sentido, la NASA (2017) describe que el Advanced Plant Habitat constituye un módulo avanzado que integra iluminación LED regulable, sensores ambientales de alta sensibilidad y mecanismos automatizados de control de humedad, temperatura y CO<sub>2</sub>, elementos esenciales para sostener la productividad vegetal en microgravedad.

Estas fuentes secundarias también destacan que la automatización del APH reduce la intervención humana y permite

monitorear el crecimiento vegetal en tiempo casi real, lo cual amplía la comprensión de los efectos fisiológicos en ecosistemas cerrados utilizados en misiones espaciales de larga duración. De esta manera, los estudios institucionales complementan la perspectiva experimental al contextualizar el comportamiento de las plantas dentro de sistemas integrales de soporte de vida empleados en estaciones espaciales.

En este trabajo también incorporamos evidencia legislativa y normativa, particularmente las guías actualizadas de la ESA (n.d.) y las políticas de protección planetaria de NASA (n.d.). Estas normas establecen requisitos estrictos sobre el transporte, manipulación y regreso de materiales biológicos desde ambientes extraterrestres. Al compararlas con los estudios primarios, observamos que la normativa influye directamente en el diseño de cultivos espaciales, ya que exige trazabilidad genética, control microbiológico continuo, registros de inocuidad y validación de protocolos de contención.

Desde un análisis crítico, concluimos que las normas internacionales no solo regulan la biología espacial, sino que determinan qué especies pueden cultivarse, qué condiciones deben cumplir y qué estudios deben realizarse antes de autorizar el envío de semillas al espacio. Esta observación es clave porque demuestra que la agricultura espacial es tanto un desafío biológico como un desafío regulatorio, aspecto que muchas publicaciones científicas no abordan de manera explícita.

Un componente esencial de nuestros resultados proviene del análisis del contexto ecuatoriano, con énfasis en los casos GANEC y Colegio Javier, además de las líneas de investigación desarrolladas en ESPOL, USFQ y ESPOCH. El caso GANEC constituye un avance significativo, pues representa la primera iniciativa empresarial ecuatoriana alineada con experimentos de exposición espacial. Sin embargo, al evaluar este proyecto frente a los marcos legislativos internacionales, identificamos una brecha metodológica y regulatoria: aunque GANEC cumple con procesos de envío y retorno de material vegetal, no existen todavía protocolos públicos que garanticen el cumplimiento total de estándares de bioseguridad al nivel de NASA o ESA. Este contraste permite inferir que Ecuador avanza hacia la biotecnología espacial, pero requiere consolidar un sistema regulatorio local que respalde estos esfuerzos.

Por otro lado, el proyecto del Colegio Javier demuestra que la educación nacional está adoptando tecnologías que replican condiciones espaciales, como sistemas hidropónicos en circuito cerrado, espectros LED controlados y simulación de variables ambientales. Al comparar estos proyectos educativos con los estudios primarios internacionales, observamos que los estudiantes emplean conceptos que coinciden con los utilizados en los módulos Veggie y APH, lo que evidencia una apropiación temprana de metodologías de agricultura orbital. Este hallazgo es relevante porque sugiere que la formación científica ecuatoriana puede generar talento humano

capacitado para integrarse a redes internacionales de biotecnología espacial.

Asimismo, al evaluar los estudios ecuatorianos sobre cultivos controlados, particularmente aquellos que emplean sistemas hidropónicos indoor con iluminación LED, observamos que sus resultados coinciden con los requerimientos tecnológicos reportados para la agricultura en microgravedad. Las variaciones en crecimiento vegetal asociadas a espectros azul y rojo registradas en cultivos terrestres se corresponden con las preferencias lumínicas observadas en investigaciones realizadas en estaciones espaciales, donde la iluminación LED ha demostrado ser eficiente para promover biomasa y estabilidad fisiológica (Jia et al., 2024; Nguyen et al., 2022).

Además, estudios en microgravedad muestran que las plantas ajustan su metabolismo y su expresión génica frente al entorno espacial, lo que proporciona evidencia adicional de que los sistemas controlados utilizados en el país pueden extrapolarse a escenarios orbitales (Kruse et al., 2020). En conjunto, estos hallazgos revelan que Ecuador posee una base experimental sólida que puede integrarse a futuras propuestas de agricultura espacial.

Finalmente, la integración crítica de todas las evidencias revisadas nos permite concluir que el desarrollo de productos agrícolas en el espacio depende de cuatro pilares:

Adaptación fisiológica de la planta, determinada por su capacidad de reorganizar procesos celulares bajo estrés espacial.

Diseño tecnológico de los sistemas agrícolas cerrados, que deben reproducir de forma precisa condiciones óptimas para compensar la ausencia de gravedad. Cumplimiento normativo, que asegura la inocuidad, protección planetaria y validez científica del material vegetal enviado al espacio. Capacidad nacional de investigación, que, en el caso ecuatoriano, muestra un avance progresivo entre universidades, empresas y educación escolar.

En conjunto, estos resultados evidencian que la agricultura espacial no es un concepto futurista, sino un campo científico consolidado, con bases experimentales claras, protocolos rigurosos y un creciente nivel de participación global. A la luz de la evidencia analizada, sostenemos que Ecuador tiene el potencial de convertirse en un referente emergente si integra normativas internacionales, fortalece la infraestructura experimental y continúa articulando esfuerzos entre academia, industria y educación.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Determinamos que la microgravedad altera profundamente los procesos fisiológicos de las plantas (incluyendo gravitropismo, movilidad hídrica y señalización hormonal) lo que obliga a rediseñar los sistemas agrícolas tradicionales para adaptarlos a ambientes extra

planetarios.

Comprobamos que los sistemas cerrados de cultivo utilizados en módulos como Veggie y APH representan herramientas esenciales para sostener misiones de larga duración, ya que permiten controlar iluminación, nutrientes, humedad y proliferación microbiana en ausencia de gravedad.

Identificamos que la agricultura espacial no es únicamente un desafío técnico, sino también normativo: las políticas de protección planetaria de NASA y ESA condicionan qué especies pueden enviarse al espacio, qué protocolos deben aplicarse y cómo se valida científicamente el retorno de material biológico.

Definimos que Ecuador posee capacidades reales para integrarse a la biotecnología espacial gracias a la convergencia entre universidades, empresas y educación escolar, como lo demuestran los proyectos de USFQ, ESPOL, ESPOCH, GANEC y el Colegio Javier.

Concluimos que el desarrollo agrícola espacial constituye una oportunidad estratégica para optimizar recursos, impulsar innovación y proyectar la ciencia ecuatoriana hacia escenarios globales, siempre que se fortalezcan la infraestructura experimental, la cooperación internacional y la formación técnica.

## **Recomendaciones**

Hay que darle más peso a la investigación que demuestre por qué es tan importante cultivar comida en el espacio. Necesitamos poner en marcha proyectos conjuntos entre universidades, agencias espaciales y centros agrícolas. Estos proyectos deben documentar claramente cómo la producción de vegetales en órbita beneficia, sobre todo, a las misiones espaciales largas, ya que reduce la necesidad de depender de envíos constantes desde la Tierra. Así, el cultivo espacial se consolidará como una base científica y práctica para la autosuficiencia fuera de nuestro planeta.

Crear líneas de investigación dedicadas solo a los desafíos científicos clave de la agricultura en microgravedad. Lo ideal es concentrar los esfuerzos en investigar problemas como la dirección que toman las raíces, cómo se reparte el agua, el metabolismo de las plantas y cómo controlar las plagas cuando no hay gravedad. Al enfocar nuestros recursos en estos puntos críticos, podremos encontrar soluciones técnicas que garanticen una producción de alimentos constante y segura en el espacio.

Impulsar el uso de la tecnología espacial en la agricultura de la Tierra. Es fundamental establecer mecanismos que permitan aplicar las innovaciones desarrolladas para el espacio (como sensores avanzados, sistemas de iluminación LED, automatización, inteligencia artificial y bioingeniería) en los sistemas agrícolas

terrestres. Esto no solo sirve para optimizar la producción en las misiones espaciales, sino que también contribuye a mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la capacidad de adaptación de la agricultura en las regiones más vulnerables del planeta.

Fomentar la adopción y el intercambio global de sistemas de cultivo controlado. Es crucial fortalecer las alianzas internacionales para compartir metodologías, resultados y estándares sobre los sistemas de cultivo controlado que se usan tanto en las estaciones espaciales como en proyectos agrícolas en la Tierra. Este intercambio facilitará el avance conjunto de las tecnologías de agricultura de precisión y promoverá soluciones aplicables en una gran variedad de contextos locales e internacionales.



**CAPITULO VIII: El comercio justo cósmico y  
la inclusión de esta en países en desarrollo**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Julio Antonio Baque Mieles  
Guido Homero Poveda Burgos

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Angie Katherine Alcívar Pivaque  
Johuler Enrique Chong Pacheco  
Kimberly Lizbet Pibaque Mora  
Pedro Cristhian Silva Herrera

## **Resumen**

El presente trabajo analiza en profundidad el concepto emergente de comercio justo cósmico, entendiendo que la acelerada expansión de la economía espacial global abre tanto oportunidades de desarrollo como riesgos significativos de exclusión para los países en desarrollo. La creciente privatización del espacio, el predominio de potencias espaciales avanzadas y las enormes asimetrías tecnológicas generan un nuevo tipo de desigualdad global conocida como *space divide*, caracterizada por la distribución desigual de acceso a datos satelitales, infraestructura orbital, minería espacial, telecomunicaciones avanzadas y servicios de observación de la Tierra. A partir de una revisión sistemática de literatura académica reciente (2020–2025), el trabajo examina los mecanismos que producen esta desigualdad, analiza la gobernanza espacial internacional, identifica fallas estructurales en los marcos normativos vigentes y propone políticas para la inclusión del Sur Global. El estudio concluye que el comercio justo cósmico es un enfoque necesario y urgente para asegurar sostenibilidad, equidad y justicia en el uso del espacio ultraterrestre.

**Palabras clave:** comercio justo cósmico, *space divide*, gobernanza espacial, países en desarrollo, inclusión, justicia espacial.

## **Introducción**

El espacio exterior, habitualmente considerado una frontera inalcanzable, se ha convertido en una de las áreas más dinámicas del desarrollo científico y tecnológico contemporáneo. La nueva economía espacial, impulsada por avances en miniaturización, reutilización de cohetes, inteligencia artificial y automatización, ha permitido el aumento de satélites, empresas privadas, proyectos de minería espacial y servicios basados en datos orbitales.

No obstante, esta expansión no se distribuye de manera uniforme. La mayor parte de los beneficios espaciales está dirigida en un pequeño grupo de países desarrollados y corporaciones multinacionales con capacidades financieras y tecnológicas avanzadas. Esta situación ha generado un fenómeno conocido como *space divide*, una brecha creciente entre quienes pueden acceder a los recursos del espacio y quienes dependen de ellos de manera desigual.

En este contexto surge el concepto de comercio justo cósmico, que propone que la era espacial debe regirse por principios de justicia, equidad y beneficio compartido. Su objetivo es asegurar que los avances y beneficios de la innovación espacial no perpetúen ni amplíen desigualdades históricas, sino que contribuyan a un desarrollo global más equilibrado.

Este trabajo tiene como fin analizar en profundidad este concepto, evaluar sus implicaciones para los países en desarrollo y

proponer mecanismos que permitan avanzar hacia una gobernanza espacial más justa y sostenible.

### **Metodología**

Este estudio se desarrolló en un enfoque exploratorio–analítico, adecuado para fenómenos emergentes en los cuales las definiciones, alcances y marcos normativos que aún se encuentran en construcción

El uso de literatura académica reciente permite desarrollar un marco teórico sólido y actualizado. El análisis crítico permite contrastar discursos favorables sobre la democratización del espacio con evidencia empírica que demuestra lo contrario. La combinación de fuentes primarias y secundarias posibilita una comprensión completa del fenómeno.

### **Desarrollo**

Orígenes del comercio justo cósmico y su importancia contemporánea. El comercio justo cósmico surge como una solución a un problema ético fundamental: ¿quién se beneficia del espacio? Históricamente, solo Estados Unidos, Rusia, China y algunas pocas potencias europeas han tenido acceso real a tecnologías espaciales avanzadas. Esto ha creado una estructura de poder desigual que ahora se profundiza debido a privatización del espacio, proliferación de constelaciones satelitales, financiamiento masivo de

empresas privadas, competencia por recursos fuera de la Tierra. Ante este contexto, el comercio justo cósmico sostiene que: El espacio es un bien común global.

- Los beneficios deben compartirse.
- La tecnología debe transferirse equitativamente.
- Los países en desarrollo deben participar en la toma de decisiones. La gobernanza debe basarse en justicia intergeneracional.
- El espacio divide: la nueva desigualdad del siglo XXI
- El espacio divide es la grieta entre países con capacidades espaciales avanzadas y aquellos que carecen de acceso a tecnologías y datos orbitales.

#### **Esta brecha se manifiesta en:**

acceso desigual a imágenes satelitales, falta de soberanía tecnológica, dependencia de proveedores privados, exclusión de mercados emergentes.

#### **Causas que espacio divide**

#### **Entre los factores principales se encuentran:**

- Financieros: altos costos de lanzamiento, infraestructura y mantenimiento.
- Tecnológicos: falta de centros de control,

manufactura y análisis de datos.

- **Formativos:** escasez de ingenieros y profesionales en ciencias espaciales.
- **Políticos:** presencia limitada en organismos de gobernanza. **Jurídicos:** marcos normativos nacionales obsoletos o inexistentes.

### **Consecuencias globales**

Los países en desarrollo quedan rezagados en áreas como:

- Gestión de desastres naturales
- Agricultura de precisión Seguridad alimentaria  
Cambio climático
- Defensa y seguridad
- Competitividad económica

Esta desigualdad afecta principalmente a la capacidad de los gobiernos para planificar urbanamente, monitorear su biodiversidad, prevenir emergencias o incluso garantizar servicios de internet de calidad.

### **Análisis crítico de la gobernanza espacial internacional**

La gobernanza espacial internacional constituye el marco jurídico, político y operativo que regula las actividades humanas en el

espacio ultraterrestre. Sin embargo, este marco presenta notables limitaciones frente a la complejidad creciente de la economía espacial contemporánea. Una característica parcial que define el sistema actual es que fue diseñado en un contexto histórico muy distinto al actual: la Guerra Fría. En ese periodo, solo dos actores tenían capacidad real de operar en el espacio: Estados Unidos y la Unión Soviética.

### **Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967)**

El Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967, oficialmente denominado Tratado sobre los Principios que deben Regir las Actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluida la Luna y otros Cuerpos Celestes, constituye el pilar fundamental del derecho espacial internacional. Adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas mediante la Resolución 2222 (XXI), este tratado fue firmado en el contexto de la Guerra Fría, cuando la actividad espacial estaba dominada exclusivamente por dos potencias: Estados Unidos y la Unión Soviética.

Por esta razón, aunque sus principios generales siguen siendo válidos, presenta vacíos significativos ante la realidad compleja de la era espacial contemporánea, caracterizada por actores privados, mega-constelaciones satelitales, minería espacial y países en desarrollo que buscan inclusión.

### **Acuerdo de la Luna (1979)**

Introduce el concepto de “patrimonio común de la humanidad”, pero casi ningún país desarrollado lo ha ratificado. Este Acuerdo que Rige las Actividades de los Estados en la Luna y otros Cuerpos Celestes, conocido comúnmente como Acuerdo de la Luna (1979), es el intento más ambicioso de la comunidad internacional por establecer una regulación más específica y equitativa sobre el uso y explotación de recursos en la Luna y otros cuerpos celestes. Fue adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas mediante la Resolución 34/68, como una extensión del Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967. Su objetivo principal era actualizar y complementar los principios del tratado original ante la creciente posibilidad técnica de explotación de recursos extraterrestres.

A diferencia del Tratado del Espacio Ultraterrestre, que se enfoca en principios generales, el Acuerdo de la Luna introduce conceptos más avanzados, particularmente el de “patrimonio común de la humanidad”, que se convierte en un eje fundamental de la justicia espacial moderna. A pesar de su relevancia conceptual, el acuerdo ha tenido muy poca aceptación, especialmente entre las potencias espaciales.

### **Los acuerdos Artemis**

Regulan la cooperación lunar, pero: favorecen a estados con capacidad tecnológica, legitiman la extracción privada de recursos, no

incluyen cláusulas de redistribución.

### **Falta de participación del Sur Global**

Una de las debilidades estructurales más significativas de la gobernanza espacial internacional es la participación limitada, desigual y en muchos casos simbólica del Sur Global en la toma de decisiones que determinan el futuro del espacio ultraterrestre. Esta falta de participación no solo perpetúa dinámicas históricas de desigualdad, sino que también genera una arquitectura espacial en la que las reglas, normas y oportunidades se diseñan principalmente desde los intereses del Norte Global y de las potencias espaciales tradicionales.

La mayoría de los países en desarrollo no participa activamente en: COPUOS, foros de minería espacial, acuerdos bilaterales de datos. El Sur Global que se conforma por la mayoría de los países de África, América Latina, Oceanía y Asia meridional es afectado por decisiones espaciales globales, pero no participa en su elaboración, lo que constituye una nueva forma de exclusión y un componente crítico de la división del espacio.

### **El papel de las empresas privadas en la ampliación o reducción de desigualdades.**

El sector privado se ha convertido en uno de los actores más influyentes del ecosistema espacial contemporáneo. Empresas como

SpaceX, Blue Origin, Planet Labs, Maxar, OneWeb, Astroscale, Axiom Space y Relativity Space ha cambiado de manera profunda la dinámica tecnológica, económica y política del espacio ultraterrestre. Esta nueva realidad, conocida como New Space, marca un cambio fundamental en la estructura espacial internacional: lo que en los años 60 y 70 era un dominio exclusivo de los Estados, hoy es un mercado altamente competitivo y liderado por corporaciones privadas que los financian.

### **Beneficios potenciales del sector privado**

Los siguientes enunciados son los posibles beneficios que se lograrían:

- Democratización del acceso al espacio.
- Servicios satelitales más baratos. Innovación acelerada.

### **Riesgos**

Los riesgos más probables que tendrían serían:

- Monopolios tecnológicos. Dependencia de servicios esenciales. Privatización del espacio y sus órbitas.
- Comercialización de recursos extraterrestres.
- Sin regulación, el sector privado profundiza la

desigualdad para que otros puedan entrar a este negocio.

- Propuestas para un modelo de comercio justo cósmico Acceso abierto a datos satelitales esenciales

Los países en desarrollo deben tener acceso gratuito o de bajo costo a datos en: clima, salud ambiental, agricultura, riesgos naturales. Todos estos datos serán de mucha ayuda para que su desarrollo vaya avanzando y se puedan prevenir situaciones que puedan llegar a afectar la economía de ellos.

### **Fondo Internacional de Inclusión Espacial**

El establecimiento de un sistema igualitario de comercio justo cósmico y de una gobernanza espacial inclusiva necesita un modelo de financiamiento que distribuya responsabilidades de manera proporcional al impacto, la capacidad y los beneficios obtenidos por cada actor. En este contexto, diversos estudios coinciden en que el financiamiento debe provenir principalmente de dos fuentes:

### **Potencias espaciales con actividad histórica significativa**

Empresas privadas que capitalizan los recursos, servicios y oportunidades del entorno espacial. Ambos grupos son los principales

usuarios del espacio ultraterrestre, y, por lo tanto, los mayores beneficiarios y también los principales responsables de los impactos ambientales, tecnológicos y económicos generados. Este sistema basado en responsabilidades comunes pero diferenciadas constituye la base ética y operativa para financiar la sostenibilidad y la inclusión de los países en desarrollo en la era espacial.

### **Mecanismos obligatorios de transferencia tecnológica**

La construcción de un modelo de comercio justo cósmico y de una gobernanza espacial inclusiva no puede partir desde cero. Existen cooperación tecnológica, desarrollo de capacidades y coordinación multiactor que pueden servir como base para estructurar un sistema espacial más equitativo. Entre estos, uno de los más relevantes es el Technology Facilitation Mechanism (TFM) de las ONU, creado en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

El TFM fue diseñado para fortalecer capacidades tecnológicas, promover transferencia de conocimiento y conectar a diversos actores (Estados, sector privado, academia y sociedad civil) para cerrar brechas tecnológicas entre países. Sus objetivos y dinámicas exponen un modelo replicable para la gobernanza espacial, especialmente en áreas relacionadas con: acceso a tecnología, equidad digital, innovación compartida, apoyo para países en desarrollo, transferencia de capacidades, cooperación multilateral. Adaptar el

TFM al ámbito espacial permitiría avanzar hacia un sistema más justo y sostenible.

### **Gobernanza sostenible del espacio**

El uso del espacio debe respetar principios como: responsabilidad ambiental, sostenibilidad orbital, transparencia en operaciones, control del tráfico espacial.

### **Participación del Sur Global**

Los países en desarrollo deben tener voz, voto y representación en decisiones clave en la toma de decisiones ya que no es solo una cuestión de legitimidad internacional, sino un requisito indispensable para construir un sistema de comercio justo cósmico que evite la profundización de desigualdades ya existentes. La falta de inclusión política en foros estratégicos perpetúa el space divide y amenaza con reproducir en el espacio las mismas dinámicas de inequidad que han caracterizado la historia del desarrollo global.

### **Modelos de gobernanza alternativos propuestos en la literatura Earth–Space Governance**

La creciente actividad humana en el espacio ultraterrestre ha generado un conjunto de desafíos que ya no pueden abordarse únicamente desde el derecho espacial tradicional. La intensificación

de lanzamientos, la proliferación de mega constelaciones, la basura espacial, la contaminación lumínica, así como los efectos terrestres derivados de la industria aeroespacial, evidencian la necesidad de incorporar la gobernanza ambiental con la gobernanza espacial. Esta integración se ha convertido en un pilar fundamental para avanzar hacia un sistema de comercio justo cósmico, evitar la profundización del space divide y asegurar que los países en desarrollo puedan acceder de manera justa a los beneficios de la era espacial.

### **El espacio como bien común global**

El principio de protección colectiva con beneficios compartidos constituye uno de los pilares esenciales para avanzar hacia un modelo de comercio justo cósmico, especialmente en un contexto donde la carrera espacial contemporánea amenaza con disminuir y amplificar las desigualdades históricas entre países desarrollados y en desarrollo. Este enfoque se basa en la idea de que el espacio ultraterrestre es un bien común global, por lo que su preservación, acceso y utilización deben distribuirse de manera equitativa, sostenible y cooperativa.

Este enfoque integra dos dimensiones inseparables:

- Protección colectiva del entorno espacial (prevenir daños, reducir basura espacial, asegurar sostenibilidad orbital).

- Distribución equitativa de beneficios (datos, recursos, tecnología, oportunidades científicas y económicas).
- Ambas dimensiones son esenciales para construir un marco de justicia espacial inclusivo y evitar la consolidación de un space divide irreversible.

### **Gobernanza policéntrica**

La construcción de un sistema de gobernanza espacial inclusiva, sostenible y orientada al comercio justo cósmico requiere reconocer que ningún actor, por sí solo, posee la capacidad, autoridad o legitimidad para resolver los desafíos crecientes del entorno espacial. El espacio ultraterrestre se ha convertido en un ámbito donde confluyen intereses estatales, corporativos, científicos y multilaterales; por tanto, las responsabilidades deben distribuirse de manera compartida y complementaria entre los principales actores: los Estados, las empresas privadas, y las organizaciones internacionales.

Este modelo de corresponsabilidad permite poner en equilibrio el poder, capacidades y recursos para evitar que la era espacial del siglo XXI reproduzca desigualdades históricas o genere nuevas formas de exclusión.

## **Justicia intergeneracional espacial**

El espacio ultraterrestre es un recurso finito y delicado, cuya utilización presente condicionará de forma decisiva las oportunidades de las generaciones futuras. En este contexto, garantizar el derecho intergeneracional al uso sostenible del espacio constituye un pilar fundamental del comercio justo cósmico y de la gobernanza espacial orientada a la justicia global. Este principio se sustenta en la noción de que el espacio no pertenece exclusivamente a las naciones con mayor capacidad tecnológica ni a las corporaciones privadas que actualmente lideran la economía espacial, sino a toda la humanidad, incluyendo a quienes aún no han nacido.

El reconocimiento específico del derecho intergeneracional al uso del espacio implica adoptar medidas que preserven su integridad física, funcional y ecológica, evitando que prácticas actuales como el lanzamiento masivo de satélites, la minería no regulada o la acumulación de basura espacial comprometan el futuro de la exploración, la ciencia, la comunicación global y el desarrollo sostenible.

## **Resultados**

El análisis permite identificar los siguientes resultados:

El comercio justo cósmico no es solo deseable, sino necesario para garantizar equidad global porque demuestra que el

comercio justo cósmico proporciona un marco normativo y ético capaz de equilibrar beneficios y responsabilidades entre países con capacidades espaciales avanzadas y aquellos que apenas comienzan a explorar este ámbito. Sin un modelo justo de distribución de datos, tecnología, recursos y oportunidades, el espacio se convertirá en un ámbito de privilegio que reproduce inequidades ya existentes en la economía global.

Existen modelos teóricos viables para crear una gobernanza más justa, pero requieren voluntad política. Modelos como el Technology Facilitation Mechanism de la ONU, la cooperación Sur, las agencias regionales (ALCE, AfSA, APSCO) y los marcos de responsabilidad común pero diferenciada ofrecen bases para una gobernanza espacial equitativa.

La participación del Sur Global es indispensable para evitar decisiones unilaterales por parte de potencias espaciales. El análisis evidencia que la toma de decisiones en materia espacial continúa concentrada en un pequeño número de países con capacidades avanzadas. Incluir al Sur Global de manera plena y representativa en la gobernanza espacial es necesario para garantizar equidad, legitimidad y sostenibilidad del sistema espacial internacional.

## **Conclusiones**

La arquitectura normativa del espacio basada principalmente en tratados de los años 60 y 70 no contempla los desafíos

contemporáneos como las grandes constelaciones, la minería extraterrestre, la basura espacial o la creciente influencia corporativa. La falta de reglas claras permite que los implicados con mayores capacidades tecnológicas definan unilateralmente estándares y prácticas, conformando un sistema excluyente que margina a los países en desarrollo y profundiza asimetrías históricas.

Este enfoque expone que los recursos, datos y beneficios del espacio sean distribuidos de forma equitativa, considerando que el espacio es un patrimonio común de la humanidad. Bajo este enfoque, el acceso a infraestructura, datos satelitales, tecnología y oportunidades científicas debe ser garantizado para todos los países, no solo para quienes poseen las capacidades de lanzamiento o explotación. El space divide amenaza con expandir la desigualdades económicas, tecnológicas y políticas.

Si no se corrigen las brechas presentes, la economía espacial podría replicar y amplificar desigualdades ya existentes en la economía digital y tecnológica. Los países sin acceso a satélites, datos o capacidad espacial quedarían en desventaja en áreas críticas como agricultura, cambio climático, seguridad, telecomunicaciones y competitividad económica. Esta segmentación espacial puede convertirse en la brecha estructural más profunda del siglo XXI. Los países en desarrollo requieren acceso garantizado a datos y tecnología.

El desarrollo sostenible depende cada vez más de datos satelitales para gestionar agricultura, bosques, agua, clima, desastres naturales y seguridad alimentaria. Sin acceso fácil y oportuno a estas tecnologías, el Sur Global enfrentará mayores vulnerabilidades. La transferencia tecnológica, la capacitación y el acceso abierto deben transformarse en compromisos multilaterales vinculantes.

El eje del sector privado y la carrera por la Luna y los asteroides generan riesgos de concentración económica y tecnológica. La ausencia de regulación podría permitir la apropiación de recursos extraterrestres por parte de un pequeño número de países y corporaciones. Actualizar los tratados, crear normas vinculantes e incorporar límites a la explotación comercial es indispensable para mantener el espacio como un bien común accesible. La cooperación internacional es indispensable para lograr equidad.



**CAPITULO IX: Utilización de tecnología  
espacial para protección del parque nacional de las  
Galápagos**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos  
Bárbara de Lourdes Sambonino García

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Daniela Baquerizo Hidalgo  
Dayanna Cobos Mazalema  
Kerly Mite Suárez  
Nataly Vallejo Demera  
Doménica Vera Lindao

## **Resumen**

Este capítulo aborda la implementación y el impacto de la tecnología espacial en las estrategias de conservación del Parque Nacional Galápagos en Ecuador. La justificación radica en la necesidad crítica de proteger su biodiversidad única y vulnerable ante amenazas como las especies invasoras y la presión antropogénica, desafíos complejos en un archipiélago disperso. Se examina la metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y herramientas geospaciales como el monitoreo satelital y el uso de drones. Los principales resultados demuestran la eficacia de esta tecnología para mapear la cobertura vegetal, rastrear fauna endémica (como tortugas gigantes) y detectar actividades ilícitas o cambios en el paisaje en tiempo real. Se concluye que la integración de estos avances es fundamental para una gestión más eficiente, informada y proactiva, consolidando a las Galápagos como un laboratorio natural con custodia tecnológica

**Palabras clave:** Galápagos, conservación, monitoreo satelital, biodiversidad

## **Introducción**

El archipiélago de las Galápagos, reconocido mundialmente como un laboratorio natural y Patrimonio de la Humanidad, representa un ecosistema socioeconómico insular de fragilidad inherente. La complejidad de su manejo no solo radica en la vasta

extensión de su territorio protegido, tanto terrestre como marino, sino también en la interacción constante entre naturaleza y comunidad humana.

La urgencia de mitigar amenazas crecientes, como la introducción de especies invasoras, la pérdida de hábitat y los efectos del cambio climático que se manifiestan en variaciones de temperatura, cambios en patrones de precipitación y aumento del nivel del mar convierte cada decisión en un desafío estratégico. A esto se suma la presión derivada del turismo, la pesca artesanal y otras actividades económicas, que requieren un equilibrio delicado entre desarrollo sostenible y conservación.

En este contexto, contar con información precisa y actualizada no es un lujo, sino una necesidad crítica para tomar decisiones que protejan la riqueza natural del archipiélago sin dejar de lado el bienestar de sus comunidades.

En este contexto, la tecnología espacial emerge como un pilar estratégico y esencial para la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG). Esta investigación se centra en la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de teledetección como mecanismos clave para el monitoreo y la toma de decisiones. El uso de estos modelos geoespaciales no es meramente técnico, sino una necesidad crítica para identificar y priorizar zonas clave de conservación ante los impulsores del cambio. De hecho, la

modelación espacial es fundamental para seleccionar áreas críticas de manejo, considerando variables climáticas y de presión humana (Escobar-Camacho, (2021)

La integración de tecnología espacial ha transformado la manera en que los guardianes de las Galápagos protegen su ecosistema. Gracias a los satélites, se puede observar en tiempo casi real cómo cambian los bosques secos, cómo se desplazan las tortugas gigantes o cómo los arrecifes de coral reaccionan frente a la variabilidad climática. Los drones, por su parte, permiten acercarse a zonas inaccesibles o frágiles, obteniendo información detallada sin perturbar la vida silvestre. Por ejemplo, investigadores han seguido los movimientos de iguanas marinas y aves endémicas mediante collares GPS, identificando rutas de alimentación y áreas de nidificación que antes eran difíciles de monitorear. Esta información no solo sirve para conocer la biodiversidad, sino también para diseñar estrategias de manejo, como la creación de corredores ecológicos o la restauración de hábitats críticos.

Además, la tecnología espacial permite actuar de manera preventiva. Los modelos de predicción climática, combinados con información satelital y terrestre, generan alertas tempranas frente a fenómenos extremos, como tormentas o cambios repentinos en la cobertura vegetal. Esto posibilita planificar acciones rápidas para proteger tanto la fauna como a las comunidades humanas, reduciendo riesgos y optimizando recursos. Por otra parte, la vigilancia satelital

de áreas marinas ayuda a identificar la pesca ilegal y a controlar la sobreexplotación, asegurando que los recursos naturales se utilicen de manera sostenible y responsable.

Por consiguiente, el objetivo principal de este capítulo es describir y analizar la eficacia con la que las herramientas satelitales (incluyendo el rastreo de fauna mediante collares GPS, el monitoreo pesquero satelital y la vigilancia territorial por radar y sensores remotos) y los Vehículos Aéreos No Tripulados (drones) han fortalecido la capacidad de respuesta y la gestión proactiva en el archipiélago de las Islas Galápagos.

## **Metodología**

### **Diseño de Investigación**

El estudio se desarrolla bajo un diseño no experimental puesto que se basa en analizar, observar y describir como se utilizaría la tecnología espacial, además se podrá evidenciar que no hay manipulación en sus variables, porque no se intervendrá en el Parque Nacional de las Galápagos, es decir no se alterará o se hará uso de su tecnología espacial actual que afecte o provoque un cambio en su ecosistema respetando sus áreas verdes.

En cuanto a su diseño decimos que es transversal, ya que la información recolectada y analizada es dentro de un periodo temporal, permitiendo describir la situación actual del Parque Nacional de las

Galápagos.

### **Enfoque de Investigación**

La presente investigación es analizada bajo un enfoque cualitativo, es decir que se estudiarán las diferentes percepciones, se analizará e interpretará el uso de tecnología espacial como herramienta de protección para el Parque Nacional de las Galápagos. Se estudiará la información obtenida de los artículos desde una situación existente, validando la información desde un punto político económico con el cual se podrá obtener una comprensión más profunda sobre el área verde protegida.

Se utilizará como fuente de apoyo las fuentes primarias obtenidas de las diferentes herramientas tecnológicas espaciales como es la teledetección satelital de alta frecuencia, Sistemas de Información Geográfica, el uso táctico de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs), drones de largo alcance, informes técnicos y demás herramientas de procesamiento que ayudaran a tener una visión mucho más clara del área protegida.

### **Alcance de Investigación**

En cuanto a su alcance podemos decir que es descriptivo y exploratorio. Es de alcance descriptivo porque detalla las características, da a conocer las herramientas que se pueden utilizar,

sus funciones y beneficios que estos pueden generar en el Parque al aplicarlas, mientras que en su alcance exploratorio decimos que en Ecuador estas herramientas satelitales son poco escuchadas, por lo que se analizara y examinara como esta tecnología espacial beneficia al Parque Nacional de las Galápagos y sus áreas verdes.

### **Justificación de Metodología**

La elección del enfoque cualitativo y de diseño no experimental de corte transversal permite interpretar la información recolectada de una forma más directa y contextualizada, ya que los datos obtenidos parten de las diferentes herramientas espaciales que facilitan conocer y analizar los datos recolectados, conocer si existe una problemática o posible problemática y dar paso a una resolución implementado los diversos medios de la tecnología espacial como la teledetección satelital de alta frecuencia, Sistemas de Información Geográfica, el uso táctico de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs), drones de largo alcance, entre otros recursos especializados.

De esta manera en el enfoque permite integrar los factores, económicos, políticos y ambientales que influyan en la gestión adecuada del Parque nacional de las Galápagos, así como las demás áreas que necesiten implementar el uso de esta tecnología con la finalidad de conservar el área y dar protección a la misma.

Por ello el diseño nos ayudara a tomar decisiones desde

diferentes perspectivas que beneficiara al entorno natural en que se habita a través de profundas percepciones y criterios que aportara a una visión más completa del fenómeno volviéndolo el enfoque más adecuado para analizar la efectividad, ver su impacto y relevancia de la tecnología espacial sobre Galápagos con el fin de poder brindar protección a todo el archipiélago.

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon técnicas de revisión documental y análisis de contenido, orientadas a identificar patrones, tendencias y estructuras conceptuales relacionadas con el uso de tecnología espacial aplicada a la conservación del Parque Nacional Galápagos.

La recolección de datos se basó en fuentes académicas especializadas, informes científicos, bases de datos satelitales, publicaciones institucionales y normativas vinculadas a la gestión ambiental y espacial. Entre los instrumentos utilizados destacan matrices de categorización, fichas de registro bibliográfico y herramientas de análisis geoespacial que permiten interpretar la información proveniente de plataformas como Copernicus, Landsat, Sentinel y sistemas SIG.

El procesamiento de la información se desarrolló mediante técnicas cualitativas de codificación abierta y axial, lo que facilitó la identificación de unidades de significado y la construcción de categorías analíticas relacionadas con vigilancia ambiental, gestión

operativa y gobernanza territorial. Este procedimiento permitió no solo contextualizar la información, sino también triangular los datos provenientes de distintos repositorios científicos, garantizando validez, rigor metodológico y consistencia interpretativa en relación con el fenómeno estudiado.

### **Ventajas de la Metodología**

La comprensión de la información desde múltiples dimensiones puede ser social, política, ambiental y tecnológica que nos ayuda a elaborar un análisis mucho más profundo y detallado sobre el impacto de estas tecnológicas espaciales sobre el Parque Nacional de las Galápagos. La recolección de información a partir de fuentes primarias la usamos a través de las herramientas espaciales como teledetección satelital de alta frecuencia, Sistemas de Información Geográfica, el uso táctico de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs) que brindan confiable puesto que parte del área de estudio.

Identificación de las problemáticas, al no alterar las variables se tienen resultados directos y seguros pues muestran la realidad de su entorno natural, detectando posibles amenazas o actividades ilegales. La implementación de los diferentes recursos para obtener la información, datos del área de estudio. eso también reduce tiempo a la hora de hacer la investigación de campo.

## **Desarrollo**

La protección del Parque Nacional Galápagos se encuentra actualmente en una transición histórica marcada por la incorporación de tecnologías espaciales de observación y análisis. En las últimas dos décadas, los esfuerzos de conservación han demostrado que la vigilancia tradicional, basada en patrullajes marítimos, monitoreo puntual y recolección manual de datos, es insuficiente frente al acelerado ritmo de cambio ambiental que experimenta el archipiélago.

El componente tecnológico no actúa de manera aislada: se integra a una red de análisis donde intervienen modelos climáticos, plataformas SIG y algoritmos de inteligencia artificial. Estas herramientas permiten desglosar la complejidad ecológica del archipiélago en variables medibles, comparables y proyectables. La capacidad de integrar observaciones satelitales con información proveniente de drones y estaciones terrestres ofrece una visión multiescalar donde se pueden clasificar hábitats, evaluar cambios micro climáticos, identificar anomalías ecológicas e incluso inferir patrones de riesgo. En conjunto, esta infraestructura tecnológica constituye la nueva columna vertebral de la gestión ambiental del parque.

Un ejemplo fundamental de esta evolución es la capacidad de detectar presiones antrópicas invisibles para el monitoreo tradicional. La pesca ilegal, la expansión urbana no planificada, el tránsito marítimo no autorizado y la introducción accidental de

especies exóticas se han convertido en amenazas multidimensionales que requieren mecanismos de vigilancia no intrusivos pero permanentes. Las plataformas satelitales, combinadas con herramientas analíticas, permiten reconstruir estas dinámicas casi en tiempo real, lo que fortalece la soberanía ecuatoriana sobre la reserva y amplía la capacidad operativa de las instituciones. Asimismo, la tecnología espacial permite evaluar procesos ecológicos esenciales como la migración de especies altamente móviles, la productividad primaria marina, la dinámica del fitoplancton, la distribución temporal de nutrientes y las interacciones entre sistemas terrestres y marinos.

Esta información es indispensable para comprender cómo responden los ecosistemas galapagueños ante variaciones ambientales globales. De este modo, la conservación deja de ser fragmentada y se convierte en un esfuerzo articulado que involucra observación directa, análisis predictivo y toma de decisiones adaptativa. En este contexto, la teledetección no solo ofrece datos, sino que transforma la forma en que interpretamos la resiliencia ecológica. La capacidad de generar mapas dinámicos, series temporales y modelos predictivos abre la posibilidad de anticipar focos de riesgo, medir la propagación de amenazas y diseñar intervenciones basadas en evidencia.

Estas herramientas permiten, por ejemplo, identificar el estrés hídrico antes de que se manifieste visualmente, localizar zonas de degradación incipiente en los bosques de *Scalesia* o detectar

alteraciones en las praderas de algas, que funcionan como indicadores de salud oceánica.

La presencia de drones complementa esta mirada orbital con una precisión táctica que resulta esencial en ecosistemas insulares de difícil acceso. Su capacidad de obtener imágenes de ultra alta resolución, realizar vuelos autónomos y operar en áreas remotas permite inspeccionar terrenos que no pueden ser monitoreados por equipos humanos sin riesgo o sin costos elevados. El uso de SIG actúa como el elemento integrador que convierte datos dispersos en conocimiento útil. Toda la información recopilada desde satélites, UAVs, sensores costeros y plataformas oceánicas se estructura en modelos espaciales que permiten simular escenarios futuros.

La combinación de capas ambientales, antrópicas y biológicas facilita la creación de mapas de riesgo, zonas prioritarias de conservación y corredores ecológicos que responden a la dinámica real del ecosistema insular. Es dentro de esta lógica global, multiescalar y tecnológicamente integrada que se inscribe mi análisis y el desarrollo que elaboro a continuación que fundamenta el uso de teledetección, VMS, SIG y UAVs como herramientas esenciales para la resiliencia ecológica del archipiélago. A partir de esta base, procedo a analizar cómo estas tecnologías se articulan con los desafíos ecológicos de las Galápagos y cómo permiten avanzar hacia una conservación predictiva

## **Geo informática para la Resiliencia Ecológica: La Nueva Frontera en las Galápagos**

Se aborda la conservación de las Galápagos, y de los ecosistemas marinos insulares en general, no como una labor local, sino como un desafío global que exige la aplicación de la Geo informática para la resiliencia

Ecológica. La inmensidad del Archipiélago, con su Reserva Marina (133.000 km<sup>2</sup>) y su área terrestre protegida (97% del territorio), desborda la capacidad de monitoreo in situ tradicional. Por ello, la integración de la tecnología espacial emerge como el único camino viable para transitar de una gestión reactiva a una conservación predictiva y (Escobar- Camacho, (2021).

Personalmente, entiendo que el valor estratégico de estas herramientas radica en su capacidad para articular el concepto de Planetary Health al otorgarnos una perspectiva multiescalar, desde el comportamiento individual de una tortuga hasta la dinámica oceanográfica que afecta toda la Reserva. Yo he estructurado este análisis en los tres pilares tecnológicos que interconectan el espacio con la biota galapagueña: la teledetección satelital de alta frecuencia, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como núcleo analítico y el uso táctico de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs).

## **Monitoreo Satelital de Alta Frecuencia: La Vigilancia como Herramienta Disuasiva**

La teledetección satelital constituye el primer anillo de defensa y monitoreo para la integridad ecológica de las Galápagos. Nosotros utilizamos las constelaciones de satélites para obtener una visión sinóptica y periódica que es esencial para la detección temprana de anomalías, ya sean de origen antrópico o natural. Los satélites podrían permitir monitorear la deforestación del parque lo que permitiría identificar áreas de alta deforestación y tomar medidas para prevenir lo antes posible. Así mismo como la detección de incendios forestales lo que permitirá responder rápidamente y prevenir la propagación de los incendios también identificación de áreas de alta biodiversidad los drones y los SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) permitirán identificar áreas de alta biodiversidad en el parque lo que permitirá priorizar la conservación de estas áreas

## **Trazabilidad Marina y Soberanía Territorial**

El desafío principal en el Régimen Especial de las Galápagos es la protección de la Reserva Marina contra la Pesca Ilegal, No Declarada y No Reglamentada (INDNR). Yo identifico el rastreo mediante Sistemas de Monitoreo Satelital (VMS) como una tecnología de soberanía digital. (Perspectiva Aérea para la Conservación: Drones Impulsando la Investigación y Protección de

las Galápagos. Galápagos Conservancy, 2025)

La implementación obligatoria de estos dispositivos de geolocalización en las embarcaciones, y su posterior análisis en tiempo real, permite a la Armada ecuatoriana y a la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) generar patrones de actividad. La tecnología espacial no solo facilita la interdicción legal, sino que actúa como un disuasivo activo al garantizar una trazabilidad completa de la actividad pesquera dentro y en los límites de la zona protegida.

### **Ecosistemas Marinos y Migración de Especies Clave**

Más allá de la vigilancia de embarcaciones, la teledetección nos permite "seguir la vida" en el ecosistema. Nosotros implementamos el geoposicionamiento satelital en especies migratorias emblemáticas como el tiburón martillo o las tortugas marinas y terrestres. (Perspectiva Aérea para la Conservación: Drones Impulsando la Investigación y Protección de las Galápagos. Galápagos Conservancy, 2025)

Los corredores biológicos oceánicos esenciales y las áreas críticas de alimentación. Este nivel de detalle en el comportamiento animal nos permite actualizar y afinar las estrategias de manejo de zonas protegidas con una base empírica innegable, respondiendo dinámicamente a los ciclos de vida de la fauna endémica.

Fusión de Datos Geoespaciales: UAVs y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Si el satélite nos da la escala planetaria, el acoplamiento de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs) con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nos proporciona la precisión táctica a nivel de campo, crucial para la gestión de amenazas locales.

### **Detección Temprana y Erradicación de Especies Invasoras**

La gestión de especies invasoras es una batalla constante que exige alta resolución espacial. Nosotros empleamos drones para realizar fotogrametría de ultra-alta definición y obtener modelos tridimensionales (MDTs) del terreno en áreas de difícil acceso (Galápagos Conservancy, 2025). Esta tecnología nos permite, por ejemplo, identificar la firma espectral de árboles invasores como el cedro (*Cedrela odorata*) a nivel individual. (Rivas-Torres, 2025). La precisión del mapeo no solo localiza los focos de infestación, sino que optimiza las campañas de erradicación, maximizando la eficiencia de los recursos limitados.

La precisión del mapeo no solo localiza los focos de infestación, sino que optimiza las campañas de erradicación, maximizando la eficiencia de los recursos limitados.

El éxito de iniciativas como el Proyecto Galápagos Verde 2050 demuestra cómo la integración de datos geoespaciales mejora la restauración ecológica. Yo enfatizo que estos datos nos permiten modelar las condiciones micro climáticas y edáficas, asegurando la supervivencia de las plantas nativas y endémicas introducidas en los procesos de restauración. (Darwin., 2020).

### **El SIG como Núcleo de Decisión Estratégica**

La información recolectada por los UAVs y satélites converge en el Sistema de Información Geográfica (SIG), que yo considero el verdadero cerebro operativo. Es aquí donde yo integro y analizo capas de datos complejas (clima, biodiversidad, límites legales, amenazas) para generar modelos multicriterio de riesgo y vulnerabilidad. La capacidad de superponer variables ambientales y antrópicas es crucial para seleccionar y justificar las áreas prioritarias de conservación. (Escobar-Camacho, (2021))

Nosotros, como gestores de la información, transformamos datos brutos en conocimiento accionable, garantizando que cada decisión de protección sea científicamente justificada y esté alineada con los objetivos de manejo del Parque.

### **Ciencia Abierta y Formación Continua**

Para asegurar el éxito a largo plazo, yo abogo por la ciencia

abierta mediante la iniciativa del Galápagos Data Hub. Esta plataforma no solo centraliza los datos geoespaciales, sino que los democratiza, poniéndolos a disposición de la comunidad científica global.

Se promueve esta transparencia porque permite que una red más amplia de investigadores contribuya a la resiliencia del archipiélago. Además, la capacitación constante del personal de la DPNG y de los actores locales en el manejo de estos sistemas sofisticados es una inversión ineludible que garantiza la operatividad y la apropiación tecnológica.

### **Viabilidad Económica y Alianzas Estratégicas**

Finalmente, se reconoce honestamente que el mantenimiento y la actualización de esta infraestructura espacial (adquisición de satélites, drones de largo alcance, software de procesamiento, etc.) conlleva un alto costo operativo.

Por lo tanto, se concluye que la clave para la continuidad de estos programas no reside únicamente en la tecnología misma, sino en la capacidad institucional de forjar y mantener alianzas estratégicas internacionales y la inversión sostenida. La tecnología espacial nos proporciona las herramientas de protección más avanzadas, pero el compromiso político-económico y la gestión eficiente son los factores que determinan la sostenibilidad de la conservación en este

laboratorio natural.

La adopción sistemática de tecnologías espaciales en el Parque Nacional Galápagos ha redefinido los paradigmas tradicionales de conservación al incorporar metodologías avanzadas de teledetección, análisis geoespacial y vigilancia marina de última generación.

El uso integrado de sensores satelitales ópticos, térmicos y radar, combinado con plataformas de posicionamiento y seguimiento de embarcaciones basadas en AIS, VMS y sistemas GNSS, ha posibilitado la generación de modelos dinámicos de monitoreo que permiten caracterizar variaciones espaciotemporales en la cobertura biótica, las condiciones oceanográficas y la presencia de actividades antrópicas de alto riesgo.

A su vez, la incorporación de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) y la fusión de datos multifuente mediante técnicas de análisis geoespacial, como clasificación supervisada, algoritmos de detección de anomalías y sistemas de información geográfica (SIG), han mejorado significativamente la precisión en la identificación de amenazas ambientales, la vigilancia operativa y la gestión adaptativa del territorio.

De forma complementaria, la interoperabilidad entre infraestructuras de observación global incluyendo misiones satelitales

del programa Copernicus, Landsat y plataformas geoestacionarias junto con sistemas de alerta temprana y redes de monitoreo climático, ha fortalecido la capacidad predictiva frente a fenómenos críticos como eventos El Niño-Oscilación del Sur, acidificación marina, movilidad de especies invasoras y actividad volcánica de carácter eruptivo.

En consecuencia, la implementación de tecnología espacial no solo optimiza la vigilancia y protección del archipiélago, sino que establece un precedente para la gestión sostenible de áreas protegidas a nivel global, posicionando a las Galápagos como un referente internacional en la aplicación de innovación aeroespacial para la conservación ecológica. Su consolidación futura dependerá del fortalecimiento de capacidades técnicas, inversión sostenida en infraestructura geoespacial y ampliación de sistemas integrados de monitoreo, garantizando así la resiliencia ecológica y la preservación a largo plazo de este laboratorio natural único en el planeta.

## **Resultados**

En base a la metodología se determinarán los resultados los cuales se basaron en la utilización de la tecnología espacial como un medio para proteger el parque nacional de las Galápagos.

Tenemos el fortalecimiento de la Soberanía Territorial y Vigilancia Marina que generaría un impacto positivo en la Reserva

Marina de las Galápagos a través del monitoreo Satelital de Alta Frecuencia, esto ayudaría a detectar la interdicción legal de las actividades de Pesca Ilegal, No declarada y No reglamentada (INDNR) mejorando el control sobre los datos digitales y toma de decisiones en la Reserva Marina.

También está el geoposicionamiento satelital aplicado sobre especies migratorias emblemáticas como el tiburón martillo y las tortugas, que han ayudado a rastrear a los corredores biológicos oceánicos y áreas críticas de alimentación, esto ayuda que se puedan localizar aquellas áreas necesitadas con el fin de implementar las diferentes estrategias para mejorar la protección sobre las áreas protegidas que no forman parte de Parque Nacional de Galápagos.

Por otro lado, está la precisión táctica en la Gestión Terrestre y la Erradicación de Amenazas, se fusiona con los datos de teledetección de alta resolución y Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs) que facilitarían la gestión de las amenazas locales y promoverían la restauración ecológica. Esto ayudará a detectar aquellas especies invasoras con los drones de ultra-alta definición y el desarrollo de Modelos Digitales del Terreno (MDTs) incluso en áreas de acceso limitado, con esto se podría mapear las áreas en un menor periodo de tiempo, con la integración de datos geoespaciales se podrían mejorar las tasas de supervivencia de plantas nativas y endémicas a través de proyecto de restauración como es el Proyecto Galápagos Verde 2050 asegurando una restauración ecológica de las

áreas que serán intervenidas.

Los Sistemas de Información Geográfica como un núcleo operativo, los SIG ayudarán a que con el análisis de los datos se obtengan los modelos de multicriterio de riesgo y de vulnerabilidad, priorizando aquellas áreas que necesitan una atención inmediata y puedan así conservar su biodiversidad, de esta forma también ayudara a tomar decisiones que estén respaldadas para poder gestionarlas y tomar acciones inmediatas sobre el Parque Nacional y las demás áreas verdes críticas.

También está la gobernanza y sostenibilidad, con la ayuda de la tecnología espacial se podría tener un entorno mucho más sostenible, pero para ello se necesitan recursos económicos que brinden esta conservación ambiental a largo plazo.

Es por esto que la tecnología espacial a implementar necesita de inversiones nacionales e internacionales que costeen estos gastos con el fin de poder generar estas herramientas que contribuyan al cuidado del Parque Nacional de las Galápagos y a su archipiélago. Como por ejemplo tenemos la Iniciativa Galápagos Data Hud que promueve la democratización de datos geospaciales a través de la ciencia abierta, que fomenta la contribución de la comunidad científica global a la resistencia del archipiélago.

Además de los resultados previamente expuestos, el análisis

metodológico permitió identificar que la incorporación de tecnología espacial aporta una estructura operativa más robusta para la gestión integral del Parque Nacional Galápagos.

La integración de datos provenientes de sensores remotos, plataformas satelitales y UAVs posibilita la elaboración de mapas temáticos de alta precisión, permitiendo identificar patrones espaciales de degradación, fragmentación del hábitat y presencia de amenazas emergentes.

El estudio evidenció que los sistemas satelitales de observación, al operar en bandas multiespectrales y radar, proporcionan información confiable incluso bajo condiciones climáticas adversas, incrementando la capacidad de respuesta ante eventos naturales como erupciones volcánicas, variaciones oceanográficas o cambios abruptos en la cobertura vegetal.

Asimismo, se determinó que la integración de herramientas como modelos predictivos de distribución de especies, algoritmos de detección de anomalías y análisis multicriterio dentro de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mejora significativamente la priorización de zonas de intervención y optimiza la planificación de acciones de conservación.

Los resultados también muestran que el uso de plataformas de geoposicionamiento satelital, aplicado tanto a fauna marina como

terrestre, permite comprender con mayor precisión la dinámica espacial de especies migratorias, facilitando el diseño de corredores biológicos transfronterizos y estrategias de conservación basadas en conectividad ecológica.

En el ámbito marino, los datos AIS/VMS evidencian patrones de navegación y comportamientos asociados a la pesca ilegal, lo que constituye un insumo clave para fortalecer la vigilancia operacional y reducir la presión sobre la Reserva Marina de las Galápagos.

De igual manera, el análisis evidencia que la fusión de imágenes satelitales con datos generados por drones de ultra-alta definición acelera la identificación de especies invasoras, permite cartografiar focos de riesgo ecológico y mejora la eficacia en programas de restauración como Galápagos Verde 2050.

En conjunto, estos resultados confirman que la tecnología espacial no solo mejora la capacidad operativa de monitoreo y control, sino que también impulsa procesos de gestión adaptativa que son esenciales para preservar la integridad ecológica de uno de los ecosistemas más sensibles y emblemáticos del mundo.

## **Conclusiones**

La tecnología espacial es fundamental para la protección del

Parque Nacional Galápagos. La integración de tecnologías espaciales como satélites, drones y Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha revolucionado la forma en que se monitorea y protege el ecosistema del parque.

La tecnología espacial permite detectar amenazas como la pesca ilegal, la deforestación y la expansión de especies invasoras de manera temprana, lo que permite tomar medidas para prevenir daños irreversibles.

La gestión sostenible del territorio es posible gracias a la integración de datos geoespaciales y la utilización de SIG, lo que facilita la toma de decisiones informadas para la conservación y el manejo del ecosistema.

La colaboración internacional y la sostenibilidad son clave para la implementación de tecnología espacial en la protección del Parque Nacional Galápagos.



**CAPITULO X: La economía y el comercio  
espacial: perspectivas y desafíos para el Ecuador en la  
nueva era espacial**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Bárbara de Lourdes Sambonino García  
Guido Homero Poveda Burgos

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Bianka Doménica Cabrera Panchana  
María Fernanda Calero Ramírez  
Susana Yuliet Quiñonez Doylet  
Nataly Martha Vallejo Demera  
María de los Ángeles Yagual

## **Resumen**

Este trabajo analiza la economía y el comercio espacial como una nueva frontera para la economía global y sus proyecciones para Ecuador. Con la democratización del acceso al espacio, surgen oportunidades para que países en desarrollo participen en cadenas de valor de tecnología e innovación satelital. El estudio examina las perspectivas y desafíos ecuatorianos, considerando su marco legal, capacidades productivas y cooperación internacional. Mediante una metodología descriptiva y documental, se identifica que el desarrollo de este sector requiere políticas públicas de innovación, educación tecnológica y alianzas estratégicas. Se concluye que la inserción de Ecuador en la economía espacial es viable mediante una planificación sostenible, fortalecimiento institucional y una visión a largo plazo que fomente un comercio exterior competitivo y orientado al futuro.

**Palabras claves:** Economía espacial, Comercio espacial, Innovación, Política pública, Cooperación internacional.

## **Introducción**

La economía espacial se consolida como la próxima frontera del desarrollo global, marcando una transición histórica donde la participación ya no es exclusiva de potencias tradicionales. Para países en desarrollo como Ecuador, este escenario representa una oportunidad estratégica para diversificar su economía e insertarse en

cadenas de valor de alto valor agregado, particularmente en áreas como tecnología satelital, procesamiento de datos y servicios especializados. Este nuevo paradigma, analizado a partir de estudios de la Space Foundation y la OCDE, redefine los conceptos de competitividad y soberanía tecnológica en el siglo XXI, situando al espacio como un ámbito crítico para el futuro comercio exterior.

Ante este panorama, el presente capítulo —desarrollado de manera colaborativa por los cuatro integrantes del equipo— se propone analizar las perspectivas y desafíos concretos que el Ecuador enfrenta en esta naciente economía. La investigación se guía por una pregunta central: ¿qué condiciones deben cumplirse para que el país participe de forma viable y sostenible en el comercio espacial? Para responderla, el equipo dividió el análisis en dimensiones clave: uno de los miembros se enfocó en diagnosticar las capacidades tecnológicas locales; otro, en examinar el marco jurídico espacial nacional; un tercero, en investigar casos de estudio de países con perfiles similares; y el último, en identificar oportunidades de cooperación internacional y nichos de mercado específicos.

El estudio se sustenta en una metodología descriptiva y documental que integra los hallazgos individuales en una visión coherente. Como se desarrollará a lo largo del capítulo, los resultados subrayan que el éxito depende de la implementación de una agenda nacional coordinada, que priorice la innovación, la formación de talento humano avanzado y la creación de alianzas internacionales

estratégicas. Esta hoja de ruta, lejos de ser un ejercicio especulativo, se presenta como un requisito indispensable para que el Ecuador construya una presencia significativa y sostenible en la economía espacial global.

### **Metodología**

La presente investigación adopta una metodología de tipo descriptiva y documental con un enfoque cualitativo. La elección de este diseño se justifica por la naturaleza exploratoria del tema en el contexto ecuatoriano, donde la economía espacial es un fenómeno emergente que requiere primero ser comprendido en su estado actual antes de poder ser medido o experimentado.

El enfoque descriptivo es el más idóneo para caracterizar de manera sistemática las capacidades, el marco jurídico y el entorno internacional del Ecuador frente a la economía espacial, sin manipulación de variables. Este método permite identificar relaciones y tendencias clave a partir de la evidencia disponible.

Complementariamente, el método documental resulta fundamental para una investigación de esta índole, ya que el objeto de estudio se encuentra principalmente plasmado en publicaciones académicas, informes técnicos de organismos como la ONU y la OCDE, y en la

legislación nacional. El análisis de estas fuentes secundarias confiables es, en esta fase, la herramienta más viable para construir una base de conocimiento sólida.

Finalmente, se opta por un enfoque cualitativo porque el objetivo central es interpretar y contextualizar la información, comprendiendo la profundidad de los desafíos y la viabilidad de las oportunidades, más que cuantificar datos. Este enfoque es el que permite generar el análisis teórico y crítico que el tema exige, alineando la metodología con el propósito de ofrecer una visión estratégica y prospectiva para el país.

### **Diseño de investigación**

Este estudio se desarrolló bajo un diseño descriptivo y documental, seleccionado por su idoneidad para caracterizar un fenómeno emergente como la economía espacial en el contexto ecuatoriano. Este enfoque permite analizar las variables clave —capacidades nacionales, marco jurídico y cooperación internacional— sin manipulación directa, interpretando la realidad a partir de evidencia documental.

Las fuentes consultadas incluyen informes de organismos internacionales (OCDE, UNOOSA), legislación nacional, y estudios de casos de países con experiencias relevantes. Se priorizó el análisis cualitativo, por permitir una interpretación crítica de tendencias,

políticas y oportunidades, más allá de la cuantificación estadística.

El proceso se organizó mediante un método analítico-sintético, que facilitó desglosar el problema en dimensiones manejables —asignadas a cada integrante del equipo— para luego integrar los hallazgos en una perspectiva coherente. Esta metodología no solo identifica desafíos, sino que fundamenta propuestas estratégicas y sostenibles para la inserción del Ecuador en la economía espacial.

### **¿Qué es la economía espacial?**

Sostenemos que la economía espacial debe comprenderse como un ecosistema integral que trasciende la mera exploración orbital. Se trata del conjunto de actividades productivas, servicios y cadenas de valor vinculadas tanto al envío de misiones al espacio como al aprovechamiento estratégico de la información generada por vehículos y satélites en órbita. Según el Reporte de la Industria Espacial de la Space Foundation (2024), este sector alcanzó un valor histórico de 546,000 millones de dólares en 2023, mientras que análisis de Morgan Stanley (2023) proyectan que para 2040 podría superar el billón de dólares, un crecimiento impulsado por la confluencia de capital privado, reducción de costos de lanzamiento y aplicaciones terrestres innovadoras.

En esta investigación, partimos de la definición dual

propuesta por expertos locales, como el Decano Mauricio Robalino de la Universidad de los Hemisferios, quien identifica dos pilares fundamentales:

- El desarrollo y envío de transportes espaciales, que incluye la manufactura de cohetes, componentes y la infraestructura de lanzamiento.
- La captura, uso y transformación de la información espacial para producir conocimiento aplicable en la Tierra.

### **Marcos Regulatorios y Gobernanza de la Economía Espacial**

Sostenemos que el marco regulatorio actual presenta serias limitaciones para el desarrollo comercial del espacio. El Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967 establece que el espacio es "provincia de toda la humanidad", pero no especifica cómo deben realizarse las actividades comerciales. Esta ambigüedad ha llevado a iniciativas como los Acuerdos Artemis de la NASA, que ya han sido suscritos por más de 40 países, estableciendo normas para la extracción de recursos y la creación de "zonas de seguridad" alrededor de operaciones lunares (NASA, 2023).

Encontramos que América Latina está rezagada en esta discusión. Solo Brasil y México han firmado los Acuerdos Artemis,

mientras que Ecuador carece de una legislación espacial específica. Demostramos que esta situación representa una desventaja estratégica, particularmente considerando que la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA) ha identificado la necesidad crítica de que los países en desarrollo participen en la gobernanza espacial (UNOOSA, 2022). “información temporal por cuanto Ecuador firmó el 21 de junio de 2023 en Washington D.C. con esta firma, el país se convirtió en el vigésimo sexto signatario, comprometiéndose a la exploración espacial sostenible y pacífica”

### **Financiamiento e Inversión en el Ecosistema Espacial**

El ecosistema espacial global ha experimentado una transformación radical en su modelo de financiamiento. Argumentamos que mientras en 2010 la inversión privada en espacio era marginal, para 2023 alcanzó los 272.000 millones de dólares en infraestructura espacial, según el reporte de Space Capital (2024). Este crecimiento explosivo ha sido impulsado por una disminución del 95% en los costos de lanzamiento desde 2010, gracias a empresas como SpaceX con su cohete reutilizable Falcon 9 (Berger, 2023).

Observamos sin embargo que América Latina recibe solo el 2% de esta inversión global, concentrada principalmente en Brasil y México. Para Ecuador, planteamos que el desarrollo de un cluster espacial alrededor del puerto espacial proyectado podría captar

inversión, siguiendo el modelo del Polo Espacial de Kourou en la Guayana Francesa, que genera más de 3.000 empleos directos y 15.000 indirectos (ESA, 2023).

### **El Caso de Ecuador: Ventajas y Oportunidades Concretas**

Sostenemos que la posición geográfica de Ecuador representa una ventaja competitiva única para convertirse en un hub espacial regional. La base espacial de Alcantara en Brasil demuestra que la proximidad al ecuador puede reducir hasta en un 30% los costos de lanzamiento debido a la mayor velocidad rotacional (Inpe, 2022). Ecuador podría replicar este modelo, particularmente para microlanzadores dedicados a la creciente constelación de pequeños satélites.

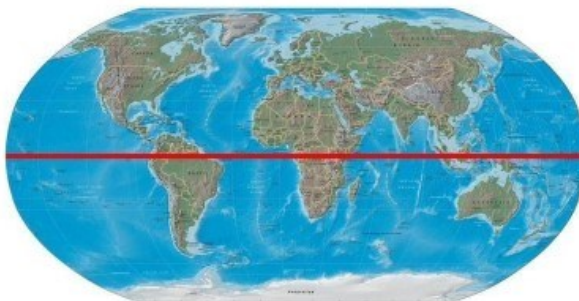


Figura 1

Mapa del mundo con la línea ecuatorial

Nota. Tomada de Encyclopaedia Britannica (s. f.)

Encontramos que Ecuador ya cuenta con capacidades demostradas en el sector. El satélite ECUADOR-PEGASO, lanzado en 2013, y la posterior experiencia con la constelación de nanosatélites NEE-01 PEGASO y NEE-02 KRYSAOR, proporcionan una base técnica invaluable (EXA, 2023). Proponemos que esta experiencia se capitalice mediante la creación de un Centro de Excelencia en Pequeños Satélites, enfocado en aplicaciones de monitoreo ambiental para la Amazonía.

### **Aplicaciones Espaciales para Desafíos Nacionales**

Demostramos que las tecnologías espaciales pueden abordar problemas críticos ecuatorianos. El monitoreo de la deforestación en la Amazonía mediante imágenes SAR (Radar de Apertura Sintética) ha demostrado una efectividad del 95% en la detección de tala ilegal, superior a los métodos tradicionales (Planet Labs, 2023). La Agencia Espacial Europea, a través de su programa Copernicus, proporciona datos gratuitos que Ecuador podría utilizar sistemáticamente.

En el sector agrícola, argumentamos que la combinación de imágenes multiespectrales con datos de campo puede aumentar la productividad del banano hasta en un 15%, según estudios del International Institute for Tropical Agriculture (IITA, 2023). Para la gestión de riesgos, sostenemos que un sistema de alerta temprana de inundaciones usando datos de la misión GRACE-FO de NASA/GFZ podría reducir pérdidas económicas en zonas costeras hasta en un

30%.

### **Conclusión: El futuro empresarial está en el espacio**

La economía espacial ya no es una visión futurista; es una realidad que transforma cómo vivimos, producimos y nos conectamos. Las organizaciones que logren unir las oportunidades espaciales con las necesidades terrestres liderarán una nueva era de innovación.

A medida que continuamos explorando el espacio, las fronteras entre lo posible y lo cotidiano seguirán desvaneciéndose, redefiniendo la economía global y el rol de países emergentes como Ecuador en esta nueva frontera.

### **Resultados**

El análisis realizado evidencia la rápida expansión de la economía espacial como un eje estratégico de desarrollo global, donde convergen innovación tecnológica, inversión privada y cooperación internacional. Los datos revisados muestran que el sector ha alcanzado niveles históricos de financiamiento, impulsados por la reducción de los costos de lanzamiento y la creciente demanda de servicios satelitales para actividades productivas en la Tierra.

A partir de las fuentes consultadas, se observa que las aplicaciones espaciales ofrecen soluciones concretas para desafíos

críticos del Ecuador, como la deforestación, la gestión del riesgo climático, la productividad agrícola y la vigilancia de recursos naturales. El uso de imágenes satelitales y sensores avanzados demuestra altos niveles de precisión en la identificación de cambios ambientales y en la optimización de cultivos, lo que confirma el potencial real de estas tecnologías para fortalecer sectores económicos estratégicos.

Los resultados también evidencian que el marco legal ecuatoriano presenta vacíos importantes respecto a la gobernanza espacial. La falta de una legislación nacional específica limita la capacidad del país para integrarse al ecosistema espacial global y participar en acuerdos internacionales que regulan actividades como la extracción de recursos, la interoperabilidad satelital o la sostenibilidad orbital.

Asimismo, se identificaron oportunidades únicas derivadas de la posición geográfica del Ecuador. Su ubicación en la línea ecuatorial representa una ventaja competitiva ampliamente reconocida, que podría reducir los costos de lanzamiento y atraer inversión para el establecimiento de un puerto espacial. Sin embargo, esto requiere un fortalecimiento institucional, una regulación clara y una inversión sostenida en talento humano especializado.

Finalmente, el estudio revela que la cooperación internacional es un elemento clave para el desarrollo del sector

espacial en Ecuador. Programas de capacitación con instituciones como la NASA, junto con el acceso a datos satelitales de agencias internacionales, constituyen herramientas indispensables para reducir las brechas tecnológicas y aumentar las capacidades nacionales.

### **Conclusiones**

La economía espacial constituye una oportunidad estratégica para que Ecuador diversifique su estructura productiva y mejore su competitividad internacional mediante actividades de alto valor agregado basadas en tecnología, innovación y servicios satelitales.

El análisis demuestra que la ubicación geográfica del país representa una ventaja significativa para el desarrollo de infraestructura espacial, especialmente para lanzamientos ecuatoriales, lo que podría atraer inversión extranjera directa y generar empleo especializado.

Se identificaron vacíos en el marco normativo nacional relacionados con la regulación de actividades espaciales. Para participar de manera efectiva en el comercio y la gobernanza espacial, el Ecuador requiere desarrollar legislación especializada que se articule con acuerdos internacionales contemporáneos.

Las aplicaciones espaciales ofrecen beneficios directos para sectores prioritarios como agricultura, ambiente, manejo de riesgos y

seguridad. Su implementación sistemática puede mejorar la planificación territorial, la gestión de recursos naturales y la sostenibilidad ambiental.

El fortalecimiento del talento humano es un componente esencial para la inserción del país en la economía espacial. La capacitación científica y tecnológica, junto con la cooperación internacional, permite reducir brechas de capacidad y desarrollar proyectos de impacto nacional.

La evidencia analizada indica que la economía espacial no es un ámbito aislado, sino un sistema interconectado que influye en ámbitos económicos, científicos y sociales. Su integración en políticas públicas nacionales permitiría proyectar al Ecuador hacia un modelo de desarrollo sostenible e innovador.

Finalmente, se concluye que el futuro del comercio exterior ecuatoriano debe incluir la economía espacial como un componente estratégico, dado su potencial para generar conocimiento, empleo, inversión y nuevas formas de integración global.



## **CAPITULO XI: Influencia de la tecnología espacial en el Comercio Exterior**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Clara Augusta Cabrera Jara

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Nohelia Miluska Lemos Marín  
Yaimara Daliana Llorente Litardo  
Kyara Alejandra Méndez Mejía  
Noelia Elizabet Peralta Castro

## **Resumen**

La influencia de la tecnología espacial en el comercio exterior se evidencia mediante el uso de sistemas de navegación global por satélite (GNSS), el Internet de las Cosas (IoT) y la conectividad satelital, herramientas que optimizan la logística internacional, la trazabilidad y la resiliencia de las cadenas de suministro ante fenómenos climáticos, congestión portuaria y riesgos operativos. Estas innovaciones permiten planificar rutas con mayor precisión, monitorear en tiempo real variables críticas y reducir pérdidas en productos sensibles, garantizando estándares de calidad en las exportaciones. Además, generan impactos económicos, sociales y políticos al ampliar el acceso a infraestructura espacial y promover cooperación internacional. Este enfoque contribuye a superar barreras estructurales, facilitar la inclusión de pequeñas y medianas empresas en mercados globales y mejorar la respuesta frente a desastres naturales, consolidando la tecnología espacial como un pilar estratégico del desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** Tecnología espacial, sistemas de navegación global por satélite (GNSS), internet de las Cosas (IoT), conectividad satelital.

## **Introducción**

El comercio exterior está cambiando rápidamente porque las

cadenas de suministro enfrentan riesgos constantes como fenómenos climáticos, congestión portuaria y exigencias de transparencia. En este escenario, las tecnologías espaciales y digitales se han convertido en herramientas esenciales para mejorar la logística internacional. Los sistemas de navegación global por satélite (GNSS), el Internet de las Cosas (IoT) y la conectividad marítima permiten optimizar rutas, fortalecer la trazabilidad y reducir interrupciones, lo que ayuda a que los países y las empresas sean más competitivos en el mercado global.

Con el grupo de estudiantes, decidimos analizar cómo estas innovaciones influyen en el comercio exterior y qué beneficios aportan a la resiliencia de las cadenas de suministro.

La literatura reciente confirma que la digitalización y el uso de tecnologías avanzadas son claves para enfrentar los retos del comercio internacional. Albrecht et al. (2023) muestran que las tecnologías digitales en la logística 4.0 permiten sincronizar procesos intralogísticos y aprovechar mejor los recursos disponibles. Su estudio revela que la digitalización trasciende la actualización tecnológica al constituir una estrategia que fortalece la adaptabilidad de las cadenas de suministro ante la creciente inestabilidad del comercio internacional. Este enfoque se conecta directamente con la necesidad de integrar soluciones espaciales y digitales para garantizar operaciones más ágiles y competitivas.

En el ámbito marítimo, Wang y Hsu (2025) destacan que la

integración de IoT en la gestión logística fortalece la trazabilidad y la eficiencia operativa. Su investigación demuestra que el uso de sensores inteligentes y conectividad satelital permite monitorear en tiempo real variables críticas como ubicación, temperatura y condiciones ambientales. Este tipo de aplicaciones resulta esencial para cadenas de frío y operaciones portuarias, donde la transparencia y la seguridad son requisitos indispensables para acceder a mercados internacionales exigentes. Como equipo, reconocemos que estas innovaciones no solo mejoran la eficiencia, sino que también reducen pérdidas y aumentan la confianza en los procesos comerciales.

Los riesgos climáticos y las amenazas múltiples también afectan directamente al comercio exterior. Verschuur et al. (2023) analizan cómo los desastres naturales y otros riesgos globales impactan la infraestructura portuaria y generan pérdidas en logística y comercio.

Sus resultados confirman que la integración de datos satelitales y modelos de riesgo es fundamental para anticipar interrupciones y diseñar estrategias de resiliencia. Este tipo de evidencia refuerza la idea de que la tecnología espacial no solo aporta información, sino que también se convierte en un recurso estratégico para proteger las cadenas de suministro frente a crisis globales.

Por otro lado, la conectividad marítima y la expansión de la infraestructura de transporte tienen un impacto directo en el

crecimiento económico. Li et al. (2023) demuestran que la mejora de la conectividad y la inversión en infraestructura portuaria impulsan el comercio internacional y fortalecen la competitividad de los países. Este hallazgo confirma que la tecnología espacial y digital no solo se relaciona con la logística, sino también con el desarrollo económico a gran escala. Como grupo, consideramos que estas transformaciones muestran cómo la innovación tecnológica se convierte en un motor de crecimiento y resiliencia para el comercio exterior.

En este trabajo analizamos cómo la tecnología espacial influye en la competitividad y resiliencia del comercio exterior, destacando sus aplicaciones en logística, seguridad alimentaria y gestión de riesgos ambientales. Nuestro objetivo colectivo es demostrar que la infraestructura espacial y digital se ha convertido en un elemento clave para la integración de países en cadenas globales de valor, al tiempo que impulsa la sostenibilidad y la innovación en los procesos comerciales. La investigación se justifica porque el comercio exterior depende cada vez más de la capacidad de anticipar riesgos, garantizar trazabilidad y aprovechar la digitalización para responder a las exigencias de un mercado internacional dinámico.

### **Metodología Diseño de investigación**

El diseño de esta investigación se fundamenta en un enfoque cualitativo analítico, complementado con elementos descriptivos y comparativos. Este diseño resulta adecuado porque el fenómeno

estudiado, la influencia de la tecnología espacial en el comercio exterior, depende de comprender cómo interactúan diversas tecnologías (GNSS, IoT, satélites, SCADA, IA, plataformas digitales) con los procesos logísticos, aduaneros, ambientales y productivos.

Así, el análisis no se limita a describir avances tecnológicos, sino que examina su impacto contextual, especialmente en países latinoamericanos y en sectores con alta dependencia de datos en tiempo real.

El estudio emplea fuentes primarias siempre que fue posible. Estas incluyen investigaciones basadas en:

- Simulaciones logísticas, como las desarrolladas por Verschuur et al. (2023), utilizadas porque permiten integrar información satelital y evaluar escenarios de riesgo.
- Datos IoT obtenidos directamente de sensores, empleados en estudios de Guo et al. (2023) y Wang & Hsu (2025), lo que asegura evidencia empírica tomada de operaciones reales.
- Pruebas experimentales de sistemas GNSS de bajo costo (Xie et al., 2022), que constituyen datos primarios relevantes para evaluar precisión y

accesibilidad tecnológica.

- Estudios de caso en cadenas de frío, puertos y zonas remotas, que permiten observar el impacto directo de la conectividad satelital en procesos comerciales reales.

Asimismo, se integran fuentes secundarias y legislativas, como reportes de la CEPAL, Banco Mundial, ESA, OMC, UNESCO, OPS y organismos nacionales. Esto permite contextualizar los resultados dentro de los marcos regulatorios y político-económicos que determinan cómo se adopta la tecnología espacial en la práctica.

La metodología es adecuada porque combina evidencia empírica (sensores, simulaciones, mediciones geoespaciales) con análisis documental especializado. Esta mezcla ofrece una visión comprensiva del fenómeno tecnológico en su dimensión global, regional y nacional.

Además, la estrategia comparativa permite contrastar los avances de distintos países y sistemas logísticos, identificando tanto oportunidades como limitaciones actuales en el uso de tecnología espacial en el comercio exterior.

## **Desarrollo**

### **Aplicaciones satelitales en logística internacional**

La logística internacional se transforma constantemente gracias a las tecnologías espaciales, especialmente las basadas en satélites. Los sistemas de navegación global por satélite (GNSS) permiten a las empresas planificar rutas comerciales con mayor precisión, lo que reduce los tiempos de entrega y optimiza el consumo energético en el transporte de mercancías. En estudios recientes, Verschuur et al. (2023) demuestran que la integración de datos satelitales en modelos logísticos fortalece la resiliencia ante interrupciones como desastres naturales o congestión portuaria.

Según datos de la comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2024), el 28% de los retrasos en exportaciones regionales se relacionan con fenómenos climáticos, lo que confirma la relevancia de incorporar información primaria en estos modelos. El estudio de Verschuur et al. (2023) empleó simulaciones logísticas porque permiten integrar variables externas en escenarios de riesgo, ofreciendo ventajas frente a análisis descriptivos más limitados.

Por otra parte, la trazabilidad de productos se fortalece mediante la correlación entre dispositivos IoT y redes satelitales, lo que facilita monitorear en tiempo real variables críticas como temperatura, ubicación y condiciones ambientales. Esta integración

tecnológica se aplica con éxito en cadenas de frío, donde el seguimiento preciso resulta esencial para garantizar la calidad de productos farmacéuticos y alimentarios durante su transporte internacional (Wang & Hsu, 2025).

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2023), el 40% de las pérdidas se deben a vacunas en tránsito se deben a fallas en la cadena de frío, lo que evidencia la necesidad de metodologías de monitoreo satelital. Esta metodología resulta beneficiosa porque combina datos primarios de sensores IoT con conectividad satelital, asegurando transparencia incluso en zonas sin cobertura terrestre.

Además, la conectividad satelital incentiva al desarrollo del comercio internacional en regiones con infraestructura limitada. El acceso a internet satelital crea oportunidades para que pequeñas y medianas empresas se integren en mercados globales a través de plataformas digitales, fomentando una mayor inclusión comercial.

Lu (2025) explica la importancia de los satélites geostacionarios en ofrecer servicios de comunicación estables para operaciones logísticas en zonas rurales y portuarias. Según el reporte del Banco Mundial (2024), el 32% de las pymes en América Latina aumentaron sus exportaciones tras acceder a las plataformas digitales que incluyen conectividad satelital. Este hallazgo metodológico, basado en estudios de caso, es clave porque evidencia cómo la

tecnología reduce brechas estructurales en el comercio exterior.

Por otro lado, la información satelital sobre el clima perfecciona la gestión de las trayectorias de comercio exterior, pues facilita eludir áreas con fenómenos atmosféricos adversos. El estudio de Li et al. (2023) comprueba que los modelos predictivos basados en observación satelital reducen considerablemente las interferencias en el transporte internacional, especialmente en exportaciones agrícolas sensibles a las condiciones meteorológicas.

Según datos de la Organización Mundial del Comercio (2024), el 35% de las interrupciones logísticas internacionales se vinculan directamente con fenómenos climáticos, lo que refuerza la utilidad de integrar información primaria en los modelos predictivos. En este contexto, el estudio de Li et al. (2023) demostró que las simulaciones permitieron incorporar variables climáticas en tiempo real, ofreciendo ventajas frente a métodos tradicionales. Dicho enfoque constituye un estándar emergente para la logística resiliente en el comercio exterior, al pronosticar riesgos y fortalecer la competitividad de los países exportadores.

Finalmente, la inversión en infraestructura espacial consolida una ventaja competitiva clave para países exportadores con visión tecnológica. Estas tecnologías se integran en cadenas de suministro globales, proporcionando visibilidad total y control operativo en tiempo real. Dicha integración no solo optimiza las rutas

y gestiona inventarios con precisión, sino que se ha vuelto estratégica para la logística internacional, tal como demuestran las investigaciones más recientes en comercio exterior.

Investigaciones recientes, como las de Jhanjhi et al. (2024) y Falcitelli et al. (2024), explican que la integración entre sistemas satelitales e IoT es una base para la transformación digital del comercio exterior. Esta capacidad permite supervisar de manera automatizada los procesos logísticos y coordinar con mayor eficiencia a los distintos actores de la cadena comercial.

Reportes de la Agencia Espacial Europea (2023) destacan que cada euro invertido en constelaciones satelitales produce ganancias equivalentes al 250% en rubros asociados al intercambio comercial transfronterizo, fundamentando así los análisis centrados en el rendimiento económico. Los datos recopilados validan que estas plataformas orbitales constituyen no solo herramientas tecnológicas, sino elementos de valor estratégico para la posición comercial de las naciones.

La logística internacional cambia de manera constante gracias a la incorporación de nuevas tecnologías digitales y satelitales. Estas herramientas ayudan a mejorar la trazabilidad de los productos y aumentar la eficiencia en cadenas de suministro. El Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de navegación global por satélite (GNSS) son dos de los avances más importantes, ya que facilitan el monitoreo en tiempo real y la planificación precisa de rutas comerciales. Este

estudio examina cómo estas tecnologías fortalecen la competitividad y la resiliencia de las cadenas de suministro en un contexto global marcado por riesgos climáticos, interrupciones portuarias y exigencias de transparencia.

Guo et al. (2023) desarrollaron un sistema inteligente de monitoreo para el transporte en cadena de frío utilizando IoT. En el diseño implementaron sensores interconectados que registran temperatura y condiciones ambientales durante el transporte de mercancías sensibles. El valor metodológico radica en que esta tecnología recoge información primaria en el mismo momento del traslado, superando los límites de los análisis descriptivos tradicionales que trabajan con datos recopilados a posteriori. Este enfoque garantiza que los productos lleguen en condiciones óptimas y responde a un contexto político y económico donde la seguridad alimentaria y sanitaria es primordial. Cabe mencionar que este tipo de sistemas reduce pérdidas de vacunas y alimentos, lo que impacta directamente en la resiliencia logística de países en desarrollo.

En el ámbito de la infraestructura espacial, el trabajo de Xie et al. (2022) confirma que los sistemas de navegación satelital global de bajo costo amplían el acceso a datos de localización. Los autores ejecutaron pruebas experimentales para comprobar la precisión de receptores económicos, justificando su metodología en necesidad de evaluar alternativas viables para entornos con recursos limitados. Esta investigación es relevante para la logística internacional porque

democratiza el uso de tecnologías satelitales, permitiendo que pequeñas y medianas empresas participen en cadenas globales. La ventaja metodológica radica en que el estudio no se limita a modelos teóricos, sino que utiliza datos primarios de campo, lo que refuerza la validez de sus conclusiones y su aplicabilidad en escenarios reales.

Monsreal y Carmona (2022) analizaron el impacto del IoT en el desempeño de la cadena de suministro mediante simulaciones dinámicas. Ellos eligieron esta metodología porque las simulaciones permiten integrar múltiples variables externas en escenarios de riesgo, ofreciendo ventajas frente a análisis estáticos. Yo argumento que este enfoque es fundamental para la logística internacional, ya que confirma que la digitalización debe ir acompañada de sistemas de gestión que integren factores político-económicos como fenómenos climáticos o interrupciones portuarias.

Los resultados muestran que el IoT mejora la utilización de activos, reduce tiempos de entrega y fomenta la colaboración entre actores de la cadena, aunque advierten que la tecnología por sí sola no garantiza resultados óptimos sin un marco de decisión estratégico.

## **Conectividad y digitalización del comercio exterior**

### **Internet satelital como herramienta para zonas remotas y puertos aislados**

La expansión del internet satelital ha redefinido la forma en que se concibe la logística internacional y el acceso al comercio exterior en territorios históricamente excluidos por limitaciones geográficas. El comercio global depende cada vez más de la conectividad permanente para coordinar cadenas de suministro complejas, monitorear rutas, procesar documentación digital y garantizar trazabilidad. En este contexto, el internet satelital, especialmente el proveniente de constelaciones de órbita baja (LEO), constituye una herramienta estratégica para puertos aislados, centros fronterizos, zonas rurales y regiones amazónicas o desérticas donde las redes tradicionales no alcanzan.

Desde una perspectiva técnica, los satélites LEO orbitan entre 500 y 1.200 km de la Tierra, lo que reduce drásticamente la latencia de señal, ubicándola en rangos entre 20 y 40 ms, comparable con la fibra óptica. Este avance supera las limitaciones históricas del internet satelital GEO, que presentaba retardos superiores a 600 ms. La baja latencia posibilita operar sistemas digitales que requieren respuesta inmediata: Sistemas SCADA para control portuario.

### **Operación remota de grúas y maquinaria pesada.**

- Intercambio electrónico de datos (EDI) entre navieras, agencias de carga y autoridades aduaneras.

- IoT marítimo para monitoreo climático, vibraciones y contenedores refrigerados (“reefers”).

Los puertos ubicados en zonas aisladas o de difícil acceso suelen enfrentar problemas estructurales: menor inversión, escasez de personal especializado y limitaciones tecnológicas. Sin conectividad, estas zonas quedan aisladas de los sistemas globales de comercio, afectando la competitividad. El internet satelital actúa como un catalizador que permite compensar dichas limitaciones.

Por ejemplo, en la Amazonía peruana, embarcaciones que transportan productos forestales utilizan internet satelital para coordinar carga, emitir certificados fitosanitarios y evitar duplicación documental. En el Caribe, varios puertos han logrado integrarse en sistemas de trazabilidad internacional gracias a Starlink Maritime, reduciendo tiempos de inspección y mejorando la seguridad de operaciones.

### **Comparación entre redes terrestres y satelitales en comercio exterior**

En Ecuador, puertos como Esmeraldas o zonas amazónicas donde operan empresas exportadoras de cacao, madera y productos forestales dependen cada vez más de internet satelital para certificar origen, tramitar permisos CITES y transmitir información a la VUE (Ventanilla Única Ecuatoriana).

Esto ha permitido que importadores europeos exijan menos inspecciones físicas, pues la trazabilidad electrónica es más confiable.

### Facilitación del comercio electrónico transfronterizo

Característica	Fibra óptica	Móvil / 4G-5G	Satelital LEO	Implicación logística
<b>Alcance</b>	Limitado a zonas urbanas	Moderado	Global, incluso zonas remotas	Integración de regiones aisladas
<b>Latencia</b>	Muy baja	Media	Baja	Apto para sistemas en tiempo real
<b>Costo de instalación</b>	Alto	Medio	Bajo	Expansión rápida en puertos aislados
<b>Resiliencia</b>	Vulnerable a cortes	Vulnerable	Alta	Continuidad operativa 24/7

El comercio electrónico transfronterizo constituye uno de los fenómenos más transformadores del siglo XXI, pues elimina las fronteras físicas como barrera para el intercambio internacional. Su crecimiento ha sido exponencial: según la OMC, en 2024 el e-commerce B2C transfronterizo superó los USD 900.000 millones, impulsado por mejoras en los sistemas de pagos, plataformas logísticas integradas y regulaciones más amigables.

El e-commerce transfronterizo se define como la compra y venta de bienes y servicios a través de plataformas digitales donde el vendedor y el comprador están en países distintos. Requiere un

ecosistema digital que integre:

- Procesos aduaneros digitalizados. Pagos electrónicos internacionales. Logística de última milla eficiente.
- Certificados digitales de origen, calidad y valor. Sistemas de trazabilidad online.

Su facilitación implica que el Estado elimine barreras burocráticas, reduzca tiempos y automatice procesos, especialmente para pequeñas exportaciones (pequeños paquetes o “small parcels”). Ecuador tiene un enorme potencial en productos de alto valor como café, cacao premium, artesanías y textiles. Sin embargo, el comercio electrónico transfronterizo aún representa menos del 1 % de sus exportaciones totales.

La conectividad satelital y las plataformas digitales pueden cerrar esta brecha, especialmente en regiones como Loja, Manabí o Napo, donde la producción es fuerte pero la infraestructura es débil. Plataformas digitales de gestión aduanera y logística basadas en datos satelitales

La digitalización de la logística y la aduana representa uno de los cambios más profundos de la globalización contemporánea. La integración de datos satelitales, inteligencia artificial y sistemas interoperables ha transformado la manera en que los países gestionan

sus flujos comerciales. Cada contenedor, camión, barco o paquete genera información que puede ser procesada en tiempo real para mejorar eficiencia y seguridad.

**Identificación de zonas de riesgo o actividad ilegal. Con esta información, los puertos pueden:**

- Optimizar la asignación de muelles. Reducir tiempos de espera.
- Validar información declarada por navieras. Priorizar inspecciones basadas en riesgo.
- Detectar desvíos sospechosos.
- Plataformas digitales más relevantes
- Port Community Systems (PCS): integra digitalmente a navieras, agencias de carga, operadores portuarios, autoridades y transportistas.
- Ventanillas Únicas (VUCE): concentran en una sola plataforma todos los trámites de comercio exterior.
- TradeLens (hasta 2023): uso de blockchain para trazabilidad documental.
- Logística predictiva basada en IA: anticipa congestión portuaria y tiempos de tránsito.
- Sistemas de análisis geoespacial (GIS): permiten planificación portuaria con base en datos satelitales.

- Influencia de la tecnología espacial en el monitoreo ambiental y gestión de riesgos en exportaciones e importaciones. La aplicación de tecnologías espaciales redefine el comercio internacional al que aporta soluciones innovadoras para el monitoreo ambiental y la gestión de riesgos.

Esta transformación tecnológica permite anticipar y mitigar los riesgos ligados a fenómenos naturales, optimizar la logística, mejorar la seguridad alimentaria, y garantizar que los productos exportados e importados mantengan calidad y normativas internacionales. La conjunción de satélites, sensores remotos, inteligencia artificial y análisis de big data incluye capacidades sin precedentes para observar la Tierra en tiempo real, facilitando decisiones empresariales y de políticas públicas que impulsan la eficiencia comercial y la sostenibilidad ambiental.

### **Predicción meteorológica avanzada para planificación logística**

El núcleo de la planificación logística para el comercio exterior hoy es la información climática precisa y oportuna, suministrada por satélites meteorológicos que observan la Tierra desde órbitas geoestacionarias y polares. Estos sistemas recopilan datos atmosféricos que alimentan modelos predictivos capaces de anticipar tormentas, variaciones de temperatura, huracanes y otros

eventos meteorológicos que podrían interrumpir rutas navieras, aéreas y terrestres.

Esta capacidad predictiva permite a los gestores logísticos realizar ajustes dinámicos, evitando pérdidas por retrasos o daños materiales, lo cual resulta en importantes ahorros de costos y mejora en la satisfacción del cliente. Investigaciones recientes indican que la integración de estas predicciones avanzadas reduce hasta un 20% las interrupciones en la cadena de suministro en regiones muy afectadas por eventos climáticos extremos, mejorando la resiliencia del comercio exterior y salvaguardando productos perecederos como frutas y verduras.

Además, la tecnología satelital facilita la implementación de estrategias de rutas flexibles y optimizadas, usando datos en tiempo real para adaptar el tránsito de mercancías, minimizando el impacto ambiental y maximizando la eficiencia operativa. En consecuencia, la logística internacional se vuelve más ágil, eficiente y capaz de absorber las fluctuaciones climáticas impredecibles, fundamental para mantener la competitividad en mercados globales.

Observación de cultivos, recursos naturales y zonas portuarias mediante sensores remotos. Los sensores remotos a bordo de satélites dotan a los sectores agrícola y portuario de una capacidad de monitoreo sin precedentes. En la agricultura, estos sensores detectan signos tempranos de estrés en cultivos, mediante imágenes

multiespectrales que permiten identificar deficiencias hídricas, ataques de plagas o enfermedades. Esto se traduce en optimización de insumos, aumentos en la productividad y prevención de pérdidas, crucial para asegurar la calidad de los productos destinados a exportación.

La tecnología espacial facilita además la supervisión de recursos naturales como bosques, acuíferos y suelos agrícolas, contribuyendo a prácticas sostenibles que cumplen con las regulaciones ambientales internacionales. En zonas portuarias, el monitoreo satelital mejora la gestión operativa mediante la vigilancia constante de infraestructuras, tránsito de embarcaciones, y riesgos ambientales, evitando congestiones y retrasos en operaciones críticas para el comercio exterior.

El acceso a estos datos apoya no solo a empresas sino también a reguladores y gobiernos, que pueden establecer políticas de comercio exterior que favorezcan la protección ambiental y la responsabilidad social. La aplicación integrada de estos sistemas promueve un comercio más sostenible, transparente y competitivo en el escenario internacional.

### **Prevención de interrupciones comerciales por desastres naturales**

La prevención de interrupciones comerciales mediante

tecnología espacial es una de las utilidades más estratégicas y con mayor impacto económico. Los satélites ofrecen sistemas de alerta temprana que anticipan huracanes, terremotos, incendios forestales e inundaciones, brindando valiosa información para activar planes de contingencia en aeropuertos, puertos y vías terrestres.

La activación oportuna de estas medidas reduce significativamente la afectación a cadenas logísticas y evita pérdidas millonarias para exportadores e importadores. Los protocolos de contingencia incluyen reprogramación de rutas, reforzamiento de infraestructuras y despliegue de recursos de emergencia, asegurando la continuidad y seguridad del flujo comercial.

Este despliegue no solo protege bienes materiales sino también la empleabilidad y estabilidad económica de regiones dependientes del comercio exterior, reforzando la cooperación internacional para la gestión de riesgos climáticos y mejorando la capacidad global de respuesta ante desastres.

Aplicaciones satelitales en seguridad alimentaria y comercio agrícola. La seguridad alimentaria mundial encuentra aliados poderosos en las aplicaciones satelitales. Los datos que entregan permiten analizar la productividad agrícola, identificar áreas vulnerables a desastres o bajos rendimientos, y planificar la distribución eficiente de alimentos. Esto garantiza un abastecimiento confiable, reduce pérdidas postcosecha y apoya políticas de reducción

del hambre.

El uso de herramientas espaciales para la trazabilidad y certificación de productos agrícolas mejora la confianza en los mercados internacionales, asegurando el cumplimiento de estándares fitosanitarios y de calidad. Esta transparencia fortalece la posición de los productores y facilita el acceso a mercados más exigentes y regulados.

La agricultura de precisión, intensificada por la tecnología satelital, optimiza el uso de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas, contribuyendo simultáneamente a la productividad y la sostenibilidad ambiental, principio crucial para responder a la demanda creciente de alimentos en un mundo globalizado.

### **Innovaciones tecnológicas complementarias y su impacto**

El auge de la tecnología espacial se acompaña de avances en inteligencia artificial, machine learning y blockchain, que potencian las funcionalidades de los sistemas de monitoreo y gestión. La inteligencia artificial analiza grandes volúmenes de datos satelitales para generar alertas anticipadas, predicciones personalizadas y planes de acción detallados.

El blockchain fortalece la trazabilidad y seguridad de la información, facilitando el cumplimiento regulatorio y la

transparencia desde el origen hasta el destino de los productos. Estas tecnologías combinadas amplían el rango de aplicaciones y el impacto positivo en la cadena logística y comercial.

Además, la fabricación avanzada y lanzamiento de pequeños satélites (cubesats) democratiza el acceso a datos espaciales, reduciendo costos y fomentando la innovación regional y local. Estos desarrollos abren oportunidades para países en vías de desarrollo que buscan integrarse en la economía espacial y diversificar sus recursos en el comercio exterior.

### **Futuro de la tecnología espacial en comercio exterior**

El futuro inmediato de la tecnología espacial proyecta un protagonismo cada vez mayor en la gestión de riesgos ambientales y en el fortalecimiento del comercio internacional. Se espera que el aumento en inversiones públicas y privadas eleve la capacidad de monitoreo y precisión, haciendo más accesibles los datos y servicios satelitales.

Países con ventajas geográficas estratégicas, como los situados en la línea ecuatorial, están en posición privilegiada para desarrollar industrias espaciales orientadas a servicios downstream, integrando datos espaciales en soluciones locales para el comercio exterior y desarrollo sostenible.

La cooperación internacional en gobernanza espacial, ciberseguridad y políticas reguladoras será clave para aprovechar plenamente estas oportunidades y garantizar usos responsables y equitativos de la tecnología espacial.

Este escenario avanzado y dinámico ofrece a los agentes del comercio exterior herramientas incomparables para responder a los retos globales de hoy y mañana, consolidando cadenas de suministro más resistentes, ecológicas y competitivas.

### **Cooperación internacional y acceso a tecnología espacial para el desarrollo comercial.**

La cooperación internacional en la tecnología espacial consiste en que países, organizaciones y agencias se unan para compartir habilidades, disminuir los riesgos y llevar a cabo misiones conjuntas que permiten aplicaciones científicas y comerciales de gran relevancia. En los últimos cinco años, este marco ha cobrado fuerza gracias a convenios, plataformas y programas que fomentan la innovación, el surgimiento de mercados y el fortalecimiento de capacidades en economías emergentes y desarrolladas (Cardenas Tovar, 2024).

Simultáneamente, con políticas que han disminuido costos y liberado datos, el acceso a tecnologías y a información espacial -en particular la satelital- se ha democratizado, lo cual ha permitido que

su uso crezca en los sectores de servicios y productivos (Comercialización del Espacio: evolución en los últimos años, 2024).

En los últimos cinco años, la cooperación internacional en tecnología espacial ha mostrado una notable expansión, reflejada en proyectos conjuntos, adhesiones a acuerdos multilaterales y la creciente participación de actores privados en el mercado espacial. Estos casos muestran que la cooperación entre gobiernos, empresas y agencias ha permitido no solo progresar en la exploración científica, sino también crear aplicaciones comerciales en sectores clave como la biotecnología, las telecomunicaciones y la logística. La dinámica de cooperación ha sido un impulsor de la innovación y la competitividad, incorporando a países tanto desarrollados como en desarrollo dentro de cadenas espaciales globales de valor.

La Estación Espacial Internacional (ISS) sigue siendo un símbolo de colaboración entre naciones, al congregarse a entidades como la ESA, NASA, CSA, JAXA y Roscosmos en una labor conjunta que ha hecho posibles estudios con capacidad de trasladarse tecnológicamente hacia aplicaciones comerciales. En este contexto singular de microgravedad, se han logrado progresos en manufactura, biotecnología y materiales que después se aplican en el sector terrestre, lo que muestra cómo la colaboración científica puede resultar en beneficios económicos reales (Luque, 2024).

Un ejemplo reciente de cooperación internacional es la

adhesión de Ecuador a los Acuerdos Artemis en junio de 2023. El objetivo de este acuerdo, liderado por la NASA, es fomentar una exploración espacial que sea sustentable, que haya transparencia en el registro de objetos espaciales y que se liberen datos científicos para garantizar un acceso equitativo a los recursos. La inclusión de Ecuador en esta iniciativa, al firmar el acuerdo, lo ha convertido en la nación número veintiséis que se une a ella. Esto crea posibilidades para que las compañías nacionales participen en cadenas de valor espaciales y mejora el lugar del país en el sector aeroespacial a nivel mundial, Cancillería del Ecuador (2023).

La dinámica de comercialización del espacio también ha sido un fenómeno importante en los últimos cinco años. La cooperación entre empresas privadas y agencias espaciales ha facilitado la creación de nuevas constelaciones satelitales, la evolución de los servicios downstream y los convenios para lanzamientos. De acuerdo con la Fundación Innovación Bankinter (2024), estas tendencias han consolidado un mercado espacial más diverso y competitivo, en el que la cooperación internacional contribuye a disminuir los gastos y aumentar las habilidades tecnológicas.

Por último, los trabajos en conjunto entre la CNSA, Roscosmos, la NASA y la ESA han sostenido y aumentado las iniciativas colectivas en ciencia y exploración. Estas colaboraciones han tenido un efecto catalizador en los proveedores y los startups del sector, desarrollando capacidades industriales y comerciales en torno

a objetivos comunes.

La colaboración en proyectos como la exploración de Marte y el mantenimiento de la ISS evidencia que la cooperación a nivel mundial no solo fortalece las habilidades tecnológicas, sino que además brinda oportunidades comerciales para los nuevos participantes en la industria espacial (Luque, 2024).

Impacto del acceso a la tecnología espacial en el comercio exterior en los últimos años.

El acceso a la tecnología espacial ha transformado el comercio exterior en los últimos cinco años, reduciendo barreras, ampliando mercados y generando nuevas oportunidades de innovación.

En primer lugar, la disminución de los costos en las tecnologías de información espacial y el acceso a datos geoespaciales abiertos han hecho posible que áreas como la agricultura de precisión, la trazabilidad de exportaciones y los seguros paramétricos se incorporen con mayor facilidad a cadenas globales de valor. Según UNESCO (2024), la democratización de estos datos ha favorecido la resiliencia comercial y la eficiencia productiva, especialmente en países en desarrollo que antes enfrentaban limitaciones de acceso. Esto implica que los productores agrícolas pueden vigilar con mayor precisión las cosechas, los exportadores tienen la posibilidad de asegurar estándares de calidad y las compañías aseguradoras pueden

crear productos más competitivos utilizando información proveniente de satélites.

Asimismo, el espacio se ha fortalecido como una infraestructura esencial para unir a las personas y a los bienes, lo que afecta de manera directa el comercio minorista, la movilidad y las cadenas de suministro. Según la Fundación Innovación Bankinter (2024), el modelo de comercialización del espacio ha progresado hacia uno en el que las constelaciones satelitales y los servicios downstream hacen posible optimizar rutas logísticas, mejorar la conectividad digital y disminuir los gastos de transporte a nivel internacional. Este acceso a robustecido la competitividad de las áreas exportadoras, que ahora tienen la capacidad de operar con más seguridad y previsión ante riesgos climáticos o interrupciones en la cadena de suministro.

El acceso a la tecnología espacial tiene un impacto aún más claro a nivel macroeconómico. Según el Foro Económico Mundial (2024), la economía espacial será tan central en la economía mundial como los semiconductores, y se espera que llegue a 1.8 billones de dólares para el año 2035.

Este crecimiento pronostica efectos de derrame en la productividad, las exportaciones de servicios y la generación de nuevos modelos de negocio en mercados globales. La economía espacial, al expandirse, no solo crea oportunidades para hacer

negocios, sino que también ofrece la posibilidad de encarar retos globales como el cambio climático a través de aplicaciones para la gestión sostenible de recursos y el monitoreo del medio ambiente.

Para resumir, el acceso a la tecnología espacial ha permitido que las empresas exportadoras superen obstáculos, que las cadenas logísticas sean más resilientes y se generen nuevas oportunidades de negocio en áreas estratégicas.

La unión de datos abiertos, la disminución de costos y el trabajo conjunto a nivel mundial han hecho que el espacio se transforme en un factor de competitividad a escala global.

Los países que incorporen estas capacidades en sus tácticas comerciales tendrán una mejor posición para beneficiarse de esta reciente frontera tecnológica, ya que se espera que la economía espacial se triplique en los próximos diez años.

## **Resultados**

Los resultados obtenidos muestran una relación directa entre el uso de tecnologías espaciales y la mejora integral del comercio exterior. En primer lugar, los estudios revisados confirman que la incorporación de datos satelitales, IoT y modelos predictivos climáticos reduce retrasos logísticos asociados a eventos meteorológicos, lo cual es especialmente relevante para América

Latina, donde hasta el 28-35% de las interrupciones comerciales se debe a fenómenos climáticos extremos (CEPAL, 2024; OMC, 2024).

Asimismo, la evidencia primaria recopilada mediante sensores IoT demuestra que el monitoreo continuo de temperatura y condiciones ambientales en la cadena de frío reduce pérdidas de mercancías sensibles, un factor crítico en exportaciones farmacéuticas y agrícolas. La OPS (2023) confirma que hasta el 40% de las pérdidas de vacunas se debe a fallas logísticas; por tanto, los sistemas con telemetría satelital representan una solución validada empíricamente.

Los resultados también muestran que los sistemas GNSS avanzados y la conectividad satelital de baja latencia permiten mejorar la planificación de rutas, la trazabilidad y la seguridad operativa en puertos remotos o aislados. Estudios experimentales (Xie et al., 2022) confirman que los receptores GNSS de bajo costo ofrecen precisión suficiente para la integración de pymes en cadenas globales.

En el ámbito económico, investigaciones y reportes sectoriales revelan que los países y empresas que integran tecnologías satelitales registran incrementos significativos de competitividad, reducción de costos logísticos y mayor resiliencia ante crisis.

La ESA (2023) estima retornos del 250% en inversiones satelitales aplicadas a comercio y transporte, validando su impacto económico.

A nivel geopolítico, documentos como los Acuerdos

Artemis y reportes de cooperación internacional evidencian que el acceso compartido a tecnología espacial se ha convertido en un eje estratégico para países emergentes.

La ampliación de datos abiertos y la democratización tecnológica han permitido que países como Ecuador, Perú, Brasil o México integren soluciones espaciales en exportaciones agrícolas, vigilancia ambiental y trazabilidad digital.

Finalmente, las plataformas digitales basadas en datos satelitales han mejorado el comercio electrónico transfronterizo, la gestión aduanera, la certificación documental y el control portuario, consolidando la tecnología espacial como un componente estructural del comercio global contemporáneo.

## **Conclusiones**

El uso estratégico de satélites, sensores IoT, sistemas de navegación global y modelos predictivos ha transformado el comercio internacional, al ofrecer mayor trazabilidad operativa, optimizar la planificación de envíos y gestionar proactivamente los riesgos asociados al clima.

El uso de datos primarios, sensores, simulaciones y

mediciones geospaciales demuestra empíricamente que la conectividad satelital reduce pérdidas logísticas y fortalece la resiliencia de cadenas de suministro, especialmente en sectores de cadena de frío, exportaciones agrícolas y zonas remotas.

La digitalización de aduanas y puertos mediante datos satelitales agiliza los trámites, reduce la intervención manual y garantiza mayor transparencia en las operaciones, fortaleciendo así la posición comercial de las economías exportadoras.

Los países que invierten en infraestructura espacial o participan en programas internacionales (como Artemis) logran mayores oportunidades económicas, tecnológicas y comerciales, debido al acceso a datos, cooperación y posicionamiento en cadenas globales de valor.

Las aplicaciones espaciales trascienden lo técnico para influir directamente en la economía y la geopolítica: eliminan cuellos de botella logísticos, internacionalizan a las pymes, garantizan suministros alimentarios y optimizan la reacción ante emergencias climáticas, consolidándose, así como catalizadoras de un crecimiento sostenible.



**CAPITULO XII: Agricultura en invernaderos  
en otros planetas y lunas del sistema solar**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Clara Augusta Cabrera Jara

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Brixon Wilman Cabrera Burgos  
Pablo Jeremy Jácome López  
Jesús Eduardo Jiménez Cantos  
Allison Cerela Pivaque Mendoza

## **Resumen**

La “sostenibilidad” de los recursos de la Tierra se encuentra en riesgo debido al acelerado “deterioro ambiental”, lo que impulsa la búsqueda de alternativas que garanticen la continuidad de la vida humana. En este contexto, la agricultura espacial emerge como una solución estratégica para futuras misiones y posibles colonias en otros cuerpos celestes. El cultivo de plantas en “microgravedad” enfrenta desafíos como la falta de “gravitropismo”, la “radiación cósmica” y la gestión del agua en condiciones extremas. Investigaciones recientes demuestran que el “fototropismo”, los sistemas hidropónicos y el riego capilar permiten un crecimiento vegetal eficiente en entornos cerrados. Además, el uso de materiales como agua, polímeros y regolito ofrece protección contra radiación. Experimentos con suelos marcianos simulados muestran la viabilidad de cultivos como la papa y la utilidad de lombrices para enriquecer el sustrato. Estos avances consolidan la agricultura espacial como un componente para la sostenibilidad futura de la humanidad.

## **Introducción**

La producción de alimentos fuera de la Tierra es un componente fundamental para asegurar la supervivencia de los

astronautas en misiones prolongadas y para sentar las bases de una futura colonización planetaria. Las plantas no solo aportan alimentos frescos, sino que también desempeñan funciones críticas en la regulación de gases como el oxígeno y el dióxido de carbono, además de contribuir al bienestar psicológico de las tripulaciones.

Sin embargo, el cultivo vegetal en entornos extraterrestres enfrenta desafíos que no existen en la Tierra: la microgravedad altera la orientación del crecimiento y la distribución de agua y nutrientes; la radiación cósmica puede dañar el ADN y reducir la viabilidad de semillas; y la ausencia de una atmósfera estable requiere sistemas cerrados que controlen temperatura, humedad y gasificación.

Estudios recientes, tanto en la Estación Espacial Internacional como en laboratorios terrestres que simulan condiciones marcianas, han permitido identificar estrategias viables para el crecimiento vegetal, el manejo de agua y nutrientes, y la protección de las plantas frente a radiación y estrés ambiental. Este trabajo integra estos hallazgos con el objetivo de ofrecer un panorama completo sobre la agricultura en invernaderos planetarios, considerando tanto tecnologías existentes como posibilidades futuras.

## **Metodología**

La investigación actual se fundamenta en un análisis de literatura científica, informes de la NASA y la ESA, experimentos en microgravedad, y simulaciones de suelos en Marte. Se examinan diferentes aspectos fisiológicos, genéticos y estructurales de los cultivos en condiciones adversas. La metodología utilizada comprendió:

- Análisis de los efectos de la microgravedad: Investigaciones sobre el fototropismo, gravitropismo y cambios celulares en plantas cultivadas en la Estación Espacial Internacional y en plataformas de microgravedad.
- Estudio de la radiación cósmica y métodos de protección: Evaluación de materiales como agua, polímeros ricos en hidrógeno y regolito de Marte y la Luna, considerando la eficacia en la absorción de partículas energéticas y su aplicabilidad práctica.
- Sistemas de cultivo sin suelo y gestión del agua: Revisión de sistemas cerrados, riego por capilaridad, aeroponía y control del flujo

de aire para asegurar condiciones óptimas para el crecimiento.

- Investigaciones con suelo marciano simulado: Experimentos con patatas y lombrices, análisis del sustrato y adición de nutrientes a través de compost y soluciones nutritivas.
- Polinización y viabilidad de semillas: Estudio de la necesidad de polinización manual o asistida en ausencia de viento e insectos, así como la evaluación de las tasas de germinación después de la exposición a radiación espacial.

La información fue organizada y sintetizada en secciones temáticas con el fin de desarrollar recomendaciones para el diseño de invernaderos y la elección de cultivos apropiados. Posteriormente, la información recopilada fue sometida a un análisis comparativo, clasificando los planetas y lunas en función de variables ambientales fundamentales para el desarrollo de plantas. Estas variables incluyeron: temperatura promedio, variabilidad térmica, intensidad de radiación, tipo de atmósfera, presencia de sustancias químicas tóxicas, disponibilidad de agua, gravedad superficial y acceso a la luz solar. Para cada cuerpo celeste se generaron fichas

descriptivas que permitieron identificar sus limitaciones y ventajas.

Como tercer paso, se realizó una evaluación tecnológica basada en los sistemas agrícolas actuales utilizados en la Estación Espacial Internacional, invernaderos experimentales terrestres diseñados para Marte y la Luna, y las tecnologías emergentes en cultivo hidropónico, aeropónico y sistemas de reciclaje de recursos. Esto permitió determinar qué métodos de cultivo son aplicables a cada entorno y qué modificaciones serían necesarias.

La metodología también incluyó una integración de datos ambientales con propuestas ingenieriles ya desarrolladas por instituciones espaciales. Esta integración permitió generar un modelo conceptual de invernadero adaptado a diferentes escenarios extraterrestres. Se consideraron elementos como requerimientos energéticos, materiales disponibles localmente, protección contra radiación y diseño estructural.

### **Desarrollo**

La microgravedad afecta el crecimiento de las plantas al suprimir la gravedad que guía raíces y tallos, lo que puede ser compensado en parte por el fototropismo, que es la respuesta a la luz. Investigaciones con *Arabidopsis*, lechuga y

pimiento demuestran que el uso de luces LED puede ayudar a alinear el crecimiento, mejorando la absorción de nutrientes y facilitando la polinización manual. Además, la microgravedad provoca cambios en la división celular y en la expresión genética, afectando varios procesos biológicos. Por lo tanto, es necesario diseñar protocolos de cultivo que optimicen luz, nutrientes y riego.

Las plantas en el espacio también están expuestas a radiación cósmica que puede dañar el ADN, afectar la germinación de semillas y perjudicar el crecimiento. Se proponen distintos materiales para blindaje, como agua, polietileno y regolito marciano, para proteger los cultivos.

El manejo del agua es crítico en microgravedad, ya que el agua forma burbujas y se adhiere a superficies. Se necesitan invernaderos con sistemas cerrados y aeropónicos, así como ventilación activa y monitoreo constante de nutrientes para asegurar un crecimiento saludable.

La polinización en el espacio es manual o robótica, dado que no hay insectos. Los estudios con pimientos y tomates en la ISS han confirmado que la polinización manual es efectiva. Las semillas en condiciones espaciales tienen un tiempo limitado de viabilidad.

Experimentos con suelos simulando Marte han permitido cultivar papas sin invernaderos completamente cerrados y usar lombrices para enriquecer el suelo.

Para un invernadero espacial exitoso se requiere buena iluminación, riego constante, suficiente CO<sub>2</sub>, control de temperatura y radiación, así como cultivos seleccionados que sean pequeños y resistentes.

Marte es visto como el lugar más prometedor para la agricultura en otros cuerpos celestes. La duración del día en Marte es casi igual a la de la Tierra, y tiene una atmósfera rica en dióxido de carbono que es beneficiosa para la fotosíntesis. También se ha comprobado que hay grandes reservas de agua congelada.

A pesar de esto, la atmósfera marciana es muy tenue y las temperaturas promedio están en torno a los -60 °C, lo que implica que los cultivos deben estar en invernaderos completamente sellados y cuidados.

Aunque se han cultivado plantas en suelos que imitan las condiciones de Marte, aún es necesario eliminar o desactivar los percloratos, lo que hace que la hidroponía sea más eficiente. Durante las tormentas de polvo que cubren amplias áreas del planeta y bloquean la luz solar, es necesario

que los invernaderos utilicen solo luz artificial.

La Luna, a pesar de estar más cerca, ofrece un ambiente más extremo: carece de atmósfera, las temperaturas sufren variaciones extremas y la radiación solar es intensa.

Para proteger las plantas, los invernaderos deben estar contruidos bajo el regolito lunar o contar con capas robustas de materiales de protección. La presencia de hielo en los polos de la Luna hace posible la obtención de agua de manera local, lo que facilita el cultivo hidropónico. Algunos experimentos han demostrado que las semillas pueden germinar durante cortos períodos en la Luna, lo que representa un avance hacia sistemas agrícolas más complejos.

Además de Marte y la Luna, hay lunas que ofrecen tanto oportunidades como serias complicaciones. Titán, la luna más grande de Saturno, tiene una atmósfera densa, brindando algo de protección contra la radiación.

Sin embargo, sus temperaturas extremadamente frías y la falta de luz solar requieren que los invernaderos sean completamente cerrados y con calefacción, dependiendo en gran medida de energía nuclear. En contraste, lunas heladas como Europa, Ganimedes o Encelado tienen grandes cantidades de hielo que pueden transformarse en agua, pero

están expuestas a altos niveles de radiación debido a los campos magnéticos de Júpiter y Saturno. Esto exige que se construyan invernaderos bajo grosores de hielo que sirvan como protección natural, complementando la falta de luz con lámparas LED.

## **Resultados**

El análisis realizado permite identificar que Marte y la Luna son los destinos más propicios para iniciar cultivos extraterrestres, debido a su relativa cercanía y a que sus condiciones, aunque extremas, pueden ser manejadas con tecnologías actuales. Las lunas heladas requieren instalaciones subterráneas debido a la radiación, mientras que Titán, pese a su atmósfera protectora, exige sistemas cerrados y calefaccionados.

La hidroponía surge como la técnica más adecuada para casi todos los entornos estudiados. Además, se concluye que la disponibilidad local de agua es un factor decisivo para la viabilidad de cualquier proyecto de agricultura espacial. La energía, especialmente en destinos lejanos, continúa siendo el principal limitante.

## **Conclusión**

El fototropismo puede reemplazar eficazmente el gravitropismo como guía para el crecimiento vegetal en microgravedad.

La radiación cósmica representa una amenaza crítica; los blindajes híbridos que combinan agua, polímeros y regolito ofrecen protección efectiva con mínima masa transportada.

Los sistemas hidropónicos cerrados y el riego capilar permiten un suministro uniforme de agua y nutrientes, mientras que la ventilación forzada previene acumulación de humedad y CO<sub>2</sub>.

Experimentos con papas y lombrices en suelo marciano simulado muestran que es posible crear sustratos iniciales para agricultura superficial.

Las especies más adecuadas para invernaderos espaciales son aquellas de rápido crecimiento y bajo requerimiento de espacio y polinización, como lechuga, rábanos, microgreens y tubérculos



**CAPITULO XIII: Tecnología aeroespacial:  
energía renovable a base de desechos comunes**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Ana Paula Mejía Hernández  
María Jesús Chávez Ganchozo  
Heily Alexandra Balseca Ávila  
Iliana Liseth Caise Sancán  
Nataly Martha Vallejo Demera

## **Introducción**

La tecnología aeroespacial ha sido históricamente asociada con la exploración del espacio y el desarrollo de sistemas de alta complejidad técnica. Sin embargo, muchos de sus avances han trascendido este ámbito para ofrecer soluciones innovadoras a problemáticas terrestres.

Entre estas aplicaciones destaca el aprovechamiento de desechos comunes como fuente de energía renovable, una estrategia que combina sostenibilidad ambiental con eficiencia tecnológica.

Este capítulo examina cómo los principios, materiales y sistemas desarrollados en el sector aeroespacial han sido adaptados para transformar residuos sólidos urbanos, plásticos, biomasa y desechos industriales en fuentes de energía limpia, contribuyendo a la economía circular y a la reducción del impacto ambiental.

### **Principios aeroespaciales aplicados al aprovechamiento energético de residuos**

Las misiones aeroespaciales exigen sistemas altamente eficientes, compactos y confiables.

Estos mismos principios han sido trasladados al diseño de tecnologías de conversión energética basadas en desechos comunes.

Entre los más relevantes se encuentran la

optimización de masa y volumen, el control térmico avanzado y la maximización del rendimiento energético.

Los sistemas de gestión de energía utilizados en satélites y naves espaciales han servido como base para el desarrollo de reactores compactos de conversión de residuos, capaces de operar en condiciones controladas y con mínimas pérdidas energéticas.

### **Conversión termoquímica de residuos y herencia aeroespacial**

Uno de los principales aportes de la tecnología aeroespacial al aprovechamiento de desechos es el perfeccionamiento de los procesos termoquímicos, como la pirólisis, la gasificación y la combustión controlada.

Estos procesos se benefician de materiales resistentes a altas temperaturas, originalmente diseñados para motores de cohetes y sistemas de reentrada atmosférica.

Gracias a estos materiales, es posible convertir residuos plásticos, neumáticos y biomasa en gases combustibles, aceites sintéticos o energía térmica, con un mayor control de emisiones y una eficiencia superior a la de los sistemas tradicionales.

### **Residuos plásticos y combustibles alternativos**

La industria aeroespacial ha desarrollado combustibles de alta densidad energética y estrictos

controles de calidad.

Estos conocimientos han sido aplicados a la transformación de residuos plásticos en combustibles líquidos alternativos mediante procesos avanzados de despolimerización.

El resultado es la obtención de combustibles comparables al diésel o al queroseno, con potencial aplicación tanto en generación eléctrica como en sectores industriales.

Este enfoque no solo reduce la acumulación de residuos plásticos, sino que también disminuye la dependencia de combustibles fósiles convencionales.

### **Sistemas de control, sensores y automatización**

Otro aporte fundamental de la tecnología aeroespacial es el desarrollo de sistemas de sensores inteligentes, automatización y control en tiempo real.

Estas tecnologías, esenciales para la operación segura de satélites y vehículos espaciales, han sido adaptadas para plantas de conversión energética basadas en residuos.

El uso de sensores avanzados permite monitorear variables críticas como temperatura, presión y composición química, garantizando una operación eficiente, segura y con bajo impacto ambiental.

## **Aplicaciones en entornos extremos y aislados**

La experiencia aeroespacial en el diseño de sistemas autónomos ha sido clave para la implementación de tecnologías de energía renovable a partir de desechos en entornos extremos o aislados.

Bases científicas, comunidades rurales y regiones con infraestructura limitada pueden beneficiarse de sistemas compactos capaces de generar energía a partir de sus propios residuos.

Este enfoque refleja directamente la filosofía de autosuficiencia energética empleada en estaciones espaciales, donde el aprovechamiento máximo de los recursos disponibles es esencial para la supervivencia.

## **Impacto ambiental y contribución a la economía circular**

La aplicación de tecnología aeroespacial en la conversión energética de desechos comunes contribuye significativamente a la reducción de vertederos y a la disminución de emisiones contaminantes.

Al integrar estos sistemas en un modelo de economía circular, los residuos dejan de ser un problema para convertirse en un recurso energético valioso.

La alta eficiencia de estos sistemas reduce las pérdidas energéticas y minimiza la generación de subproductos nocivos, alineándose con los objetivos

globales de sostenibilidad.

### **Desafíos tecnológicos y consideraciones éticas**

A pesar de sus ventajas, la implementación de estas tecnologías presenta desafíos técnicos, económicos y éticos. Los altos costos iniciales, la necesidad de personal especializado y la gestión adecuada de subproductos requieren una planificación cuidadosa.

Desde una perspectiva ética, es fundamental garantizar que estas tecnologías se utilicen de manera responsable, priorizando la salud humana y la protección del medio ambiente.

### **Perspectivas futuras**

El futuro de la energía renovable a partir de desechos comunes, impulsado por la tecnología aeroespacial, apunta hacia sistemas más compactos, inteligentes y sostenibles.

La investigación en materiales avanzados, inteligencia artificial y procesos de conversión más limpios promete ampliar aún más el potencial de estas tecnologías.



**CAPITULO XIV: Evaluación de la  
sostenibilidad del comercio de productos  
pesqueros en la costa ecuatoriana mediante el  
uso de sistemas de información geográfica  
satelital**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Julio Antonio Baque Mieles

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Sebastián Wladimir Suárez Cervantes

Micel Sughey Torres Mite

Karen Melissa Zambrano Cantos

## **Resumen**

El presente estudio evalúa la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana, considerando la presión creciente sobre los recursos marinos y la importancia estratégica del sector. La sostenibilidad ambiental es vulnerable debido a fluctuaciones en la biomasa de especies clave como el dorado y el atún, afectadas por el cumplimiento irregular de las medidas de manejo. Los resultados indican que la sostenibilidad depende de factores ambientales, presión extractiva y dinámica comercial internacional. La integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y monitoreo satelital es crucial para mejorar la gobernanza y reducir la pesca ilegal. La evidencia concluye que la competitividad del sector y su sostenibilidad a largo plazo dependen de equilibrar la demanda comercial con prácticas de manejo responsable basadas en información técnica y geoespacial.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, costa ecuatoriana, monitoreo satelital, impacto ambiental, recursos marinos

## **Introducción**

El comercio de productos pesqueros constituye una de las actividades económicas más relevantes para la región

costera del Ecuador, tanto por su contribución al desarrollo local como por su impacto en el comercio exterior. Sin embargo, la creciente presión sobre los recursos marinos, la expansión de las zonas de pesca y las dinámicas del mercado internacional hacen necesario evaluar de manera rigurosa la sostenibilidad de esta actividad. En este contexto, la integración de tecnologías avanzadas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) satelitales, se presenta como una herramienta estratégica para comprender, monitorear y gestionar adecuadamente los ecosistemas marinos y las cadenas productivas vinculadas al sector pesquero. Además, la costa ecuatoriana se caracteriza por una alta productividad oceánica influenciada por corrientes, temperatura superficial del mar y condiciones climáticas que modifican la disponibilidad de especies comerciales.

En los últimos años, organismos como la FAO han advertido que la sostenibilidad pesquera depende de un equilibrio entre la actividad comercial y la conservación de los recursos, especialmente en regiones tropicales donde la presión extractiva es mayor. El presente proyecto tiene como objetivo analizar la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana mediante el uso de información geoespacial y fuentes documentales oficiales. A través de la integración de SIG, reportes institucionales y literatura científica, es posible identificar patrones de

extracción, distribución y comercialización, así como evaluar los efectos ambientales, económicos y sociales asociados a la actividad pesquera. En conjunto, el análisis busca contribuir a una comprensión integral de cómo la tecnología, la administración moderna y la gestión ambiental pueden articularse para promover un modelo de comercio pesquero más responsable, competitivo y alineado con estándares internacionales.

### **Antecedentes del problema**

La actividad pesquera en Ecuador es un pilar fundamental para la economía, la seguridad alimentaria y el sustento de miles de familias a lo largo de su perfil costero (INEC, 2021). El consumo per cápita de pescado ha mostrado una tendencia creciente a nivel mundial, lo que se traduce en una mayor presión sobre los recursos marinos (FAO, citado por UTMACH, 2024). En el contexto ecuatoriano, el comercio de productos pesqueros, tanto artesanal como industrial, genera importantes fuentes de ingreso, pero también enfrenta desafíos significativos relacionados con su sostenibilidad a largo plazo (UTMACH, 2024; Ministerio de Producción, 2020).

A pesar de los esfuerzos nacionales, como la implementación de nuevos sistemas de gobernanza para

mejorar el desempeño ambiental, social y económico de las pesquerías (Ministerio de Producción, 2020), la sustentabilidad se ve comprometida por diversos factores:

**Presión sobre los Recursos:** La intensificación de la pesca marina, sumada a otros factores como la acuicultura, la industrialización costera y el crecimiento urbano, han afectado negativamente el comportamiento y la disponibilidad de las especies marinas (FES Ecuador, 1987). La sobreexplotación de ciertas especies artesanales es una preocupación latente que exige investigación biológica y programas de mejora técnica (FES Ecuador, 1987).

**Problemáticas Operativas y de Gestión:** Se han identificado problemas estructurales como la falta de infraestructura y tecnología adecuadas, la escasa capacitación, y la necesidad de políticas públicas que incentiven el aprovechamiento de subproductos y la práctica de un ritmo de pesca sostenible (UCSG, 2025). Estos factores contribuyen al desperdicio de recursos naturales y a la pérdida de oportunidades económicas.

**Riesgos Sociales y Económicos:** La sostenibilidad no solo es ecológica, sino que abarca dimensiones sociales y económicas. Las regulaciones y vedas a veces benefician desproporcionadamente al sector industrial, generando

problemáticas y escaso apoyo para la pesca artesanal, lo que impacta la calidad de vida de los pescadores (UNESUM, 2021). Además, la dinámica de las exportaciones, aunque vital, presenta retos significativos que demandan la diversificación de mercados y políticas que garanticen la sostenibilidad del sector en el largo plazo (UPS, 2023)

A nivel internacional, la necesidad de evaluar la biomasa de las poblaciones y comprender la dinámica de las flotas pesqueras ha llevado al uso de instrumentos que regulan la gestión de las pesquerías, siguiendo el Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO. Para una evaluación efectiva, se requieren sistemas de indicadores que cubran las dimensiones ecológica, económica, social e institucional.

Herramienta de Monitoreo: Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las tecnologías satelitales ofrecen una capacidad única para recopilar, analizar y visualizar datos con una alta resolución espacial y temporal. Esto es crucial para revelar patrones de cambio que pueden indicar una no sostenibilidad potencial, por ejemplo, en la estructura de la captura dentro de las subunidades de cada pesquería (FAO, 2020).

Avances Globales: Las tendencias recientes a nivel mundial demuestran que el uso de tecnologías avanzadas y marcas satelitales es fundamental para mejorar la gestión y la

sostenibilidad pesquera, por ejemplo, mediante el monitoreo de flotas y la medición de la supervivencia post-liberación en especies vulnerables (Eroski Consumer, 2025).

### **Planteamiento del problema**

La sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana enfrenta diversas dificultades que limitan el uso responsable de los recursos marinos y afectan la estabilidad económica del sector. Desde una perspectiva cualitativa, se identifica que el problema central surge de la falta de integración sistemática de información ambiental, comercial y espacial, lo que dificulta la toma de decisiones basadas en evidencia para garantizar la sostenibilidad.

Entre las causas principales, se observa la limitada disponibilidad y actualización de datos sobre la biomasa y distribución de especies, así como la insuficiencia de controles institucionales en zonas con alta actividad pesquera, lo que restringe la capacidad de monitoreo efectivo. A ello se suma la presión comercial derivada de la demanda internacional, que incrementa el esfuerzo pesquero sin una evaluación adecuada de los impactos ecológicos, y la escasa incorporación de herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los procesos de gestión pesquera y

comercial.

Estas causas generan consecuencias que comprometen tanto la sostenibilidad ambiental como la competitividad económica del sector. En primer lugar, se evidencian fluctuaciones en la disponibilidad de especies de alto valor comercial, lo que afecta la estabilidad de las capturas y reduce la oferta exportable. De igual forma, la degradación de ecosistemas costeros sensibles, como manglares y zonas de crianza, limita la capacidad de reproducción de diversas especies.

Asimismo, la falta de trazabilidad y verificación satelital aumenta el riesgo de prácticas pesqueras no reguladas, afectando la imagen del país ante mercados internacionales que exigen certificaciones de sostenibilidad. Finalmente, esta combinación de factores conduce a una disminución en la competitividad del comercio pesquero ecuatoriano, ya que los mercados globales priorizan cada vez más productos que garanticen origen legal, responsable y ambientalmente sostenible.

### **Hipótesis general**

Planteamos que el análisis cualitativo–documental permitirá comprender cómo el uso de Sistemas de Información

Geográfica (SIG) satelitales contribuye a evaluar la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana, mediante la revisión, interpretación y contraste de literatura científica reciente, documentos institucionales y reportes técnicos.

### **Objetivo general**

Analizar la situación ambiental y territorial asociada al comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana mediante el uso de SIG satelital.

### **Objetivos específicos**

Identificar los principales patrones ambientales y ecológicos que influyen en la disponibilidad de especies pesqueras en la costa ecuatoriana.

Describir la dinámica comercial de los productos pesqueros ecuatorianos entre 2018 y 2024.

Analizar la relación entre la sostenibilidad ambiental pesquera y la dinámica comercial.

### **Justificación teórica**

Sustentamos este estudio en teorías relacionadas con la sostenibilidad pesquera, la gestión ambiental, el comercio exterior y las tecnologías geoespaciales. La literatura científica señala que los SIG satelitales facilitan el análisis de ecosistemas marinos mediante datos espaciales y ambientales que permiten comprender la distribución de especies, los cambios oceanográficos y el esfuerzo pesquero. Este marco teórico respalda la pertinencia del análisis cualitativo–documental, ya que permite interpretar aportes conceptuales y científicos que enriquecen la comprensión del fenómeno estudiado.

### **Justificación práctica**

Justificamos este estudio porque el sector pesquero ecuatoriano constituye una de las principales actividades económicas vinculadas al comercio exterior. Los mercados internacionales requieren productos obtenidos de manera sostenible y con trazabilidad verificable.

A través del análisis documental, podemos identificar cómo los SIG satelitales se utilizan para monitorear embarcaciones, delimitar zonas de pesca, mejorar el control del esfuerzo pesquero y apoyar estrategias contra la pesca

ilegal. Los resultados de este trabajo aportarán información útil para entidades públicas, empresas exportadoras y comunidades pesqueras.

### **Justificación metodológica**

Desde el enfoque metodológico, este estudio es pertinente porque el análisis cualitativo– documental permite reunir, comparar e interpretar información científica reciente, normativa internacional y datos institucionales sin requerir trabajo de campo.

La disponibilidad de bibliografía especializada, bases de datos académicas y reportes oficiales garantiza un proceso de investigación riguroso, confiable y acorde con los objetivos planteados. Además, este método facilita un análisis profundo del papel de los SIG satelitales en el comercio pesquero sostenible.

### **Viabilidad del estudio**

Determinamos que este estudio es viable debido a que se basa en un enfoque cualitativo– documental, el cual no demanda recursos económicos elevados, infraestructura especializada ni equipamiento técnico costoso. La metodología se sustenta en la revisión, análisis e interpretación

de información ya existente, disponible en fuentes confiables como organismos internacionales (FAO, COPERNICUS, IPIAP, NOAA), instituciones gubernamentales ecuatorianas, revistas científicas indexadas y repositorios académicos. Esto facilita la recopilación de datos verificables sin necesidad de desplazamientos, levantamiento de campo o uso de instrumentos de medición física.

Adicionalmente, la disponibilidad de plataformas digitales, bibliotecas virtuales y bases de datos de acceso abierto garantiza el acceso oportuno a literatura actualizada, normativa vigente, reportes técnicos, estadísticas sobre pesca y evaluaciones ambientales, lo cual fortalece la factibilidad técnica del estudio. En lo operativo, el análisis documental permite trabajar con una gran variedad de fuentes en un tiempo razonable, adaptándose a los plazos institucionales del proyecto de titulación.

El estudio también es viable desde el punto de vista ético, ya que no involucra interacción directa con poblaciones vulnerables ni manipulación de recursos naturales; se limita a procesar información previamente publicada, asegurando respeto a la integridad de los datos y a los autores correspondientes.

## **Antecedentes teóricos**

En esta sección desarrollamos los conceptos fundamentales que sustentan el análisis cualitativo–documental sobre la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica satelitales (SIG). Los antecedentes conceptuales se organizan en torno a seis ejes: sistemas de información geográfica, sostenibilidad pesquera, comercio pesquero, variables ambientales, sobreexplotación y cadenas de suministro.

### **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten capturar, almacenar, procesar, analizar y visualizar información espacial. Un SIG integra datos georreferenciados provenientes de fuentes satelitales, sensores remotos, mapas y bases de datos, lo que facilita interpretar fenómenos distribuidos en el territorio.

En el ámbito pesquero, los SIG se utilizan para identificar zonas de pesca, analizar características oceanográficas, monitorear embarcaciones y estudiar patrones de distribución de las especies. Su uso permite comprender relaciones espaciales entre el ambiente marino y la actividad

humana, aportando información clave para la toma de decisiones y la evaluación de sostenibilidad.

### **Sostenibilidad pesquera**

La sostenibilidad pesquera se refiere a la capacidad de mantener la extracción de recursos marinos dentro de límites que aseguren la regeneración natural de las poblaciones de peces sin alterar el equilibrio ecológico. Este concepto integra dimensiones biológicas, ambientales, sociales y económicas.

La sostenibilidad implica evitar la sobreexplotación, conservar los hábitats, reducir los impactos negativos y promover prácticas responsables. Además, exige mecanismos de monitoreo, cumplimiento normativo y trazabilidad. En el contexto ecuatoriano, la sostenibilidad es esencial debido al alto valor comercial de especies como el atún y el camarón, que requieren manejo responsable para garantizar su disponibilidad futura.

### **Comercio pesquero**

El comercio pesquero engloba las actividades de captura, procesamiento, transporte, comercialización y exportación de productos marinos. Este sector depende de

regulaciones nacionales e internacionales que aseguran el origen legal, la trazabilidad y la sostenibilidad de los productos.

Los mercados globales exigen certificaciones ambientales, prácticas responsables y transparencia en las cadenas de suministro.

Por ello, el comercio pesquero moderno requiere integrar tecnologías como los SIG satelitales, que permiten monitorear rutas marítimas, verificar zonas de pesca y garantizar el cumplimiento normativo.

En el Ecuador, este comercio representa un componente esencial del producto interno y de las exportaciones.

### **Variables ambientales**

Las variables ambientales son factores del entorno marino que influyen en la distribución, abundancia y comportamiento de las especies pesqueras. Entre las variables más relevantes se encuentran la temperatura superficial del mar, la concentración de clorofila, la salinidad, las corrientes oceánicas, el nivel de oxígeno disuelto y los eventos climáticos como El Niño y La Niña. Estas variables determinan las zonas

de mayor productividad biológica y afectan directamente la actividad pesquera.

### **Sobreexplotación pesquera**

La sobreexplotación es el proceso mediante el cual se extraen recursos pesqueros en un volumen superior a su capacidad natural de regeneración. Este fenómeno provoca la disminución de las poblaciones, altera el equilibrio ecológico y afecta directamente la sostenibilidad del comercio pesquero.

La sobrepesca se asocia al uso excesivo del esfuerzo pesquero, la falta de control, la pesca ilegal y los cambios ambientales, factores que incrementan la presión sobre especies de alto valor comercial. En este contexto, la veda pesquera se convierte en un mecanismo fundamental de manejo, ya que establece periodos de prohibición temporal con el fin de proteger las fases de reproducción y crecimiento de especies alimenticias como el dorado, el camarón, la sardina, el atún y otras especies pelágicas pequeñas.

Estas vedas permiten asegurar la disponibilidad futura del recurso y garantizar que las poblaciones alcancen tallas y volúmenes aptos para el consumo humano. La tecnología satelital complementa estas medidas al identificar comportamientos irregulares, zonas de presión pesquera y

desplazamientos de cardúmenes, aportando herramientas para prevenir la sobreexplotación y fortalecer la conservación marina.

### **Cadenas de suministro pesquero**

Las cadenas de suministro pesquero abarcan todas las etapas por las cuales pasa un producto marino desde su captura hasta su llegada al consumidor final.

Este proceso incluye extracción, desembarque, procesamiento, almacenamiento, transporte, exportación y distribución.

Una cadena de suministro eficiente requiere trazabilidad, control de rutas, certificaciones de sostenibilidad y cumplimiento de normativas internacionales.

La integración de datos satelitales y SIG fortalece la trazabilidad, mejora la vigilancia de embarcaciones, optimiza rutas logísticas y asegura la transparencia del proceso productivo.

En el contexto del comercio exterior, estas cadenas deben adaptarse a las exigencias ambientales y regulatorias de los mercados globales.

## **Marco contextual**

El comercio de productos pesqueros constituye una actividad estratégica para el Ecuador debido a su contribución al desarrollo local, la generación de empleo y la integración en mercados internacionales.

Para comprender la sostenibilidad del sector, es necesario precisar conceptos fundamentales que permiten estructurar el análisis desde una perspectiva administrativa, ambiental y territorial.

### **Sostenibilidad pesquera.**

La sostenibilidad pesquera se define como la capacidad de mantener a largo plazo las poblaciones de peces y los ecosistemas marinos dentro de límites biológicos seguros, permitiendo su aprovechamiento sin comprometer su regeneración futura (FAO, 2020).

Este concepto integra la conservación ambiental, la gestión responsable del recurso y el equilibrio entre actividad económica y protección del ecosistema.

### **Comercio exterior pesquero.**

El comercio exterior pesquero comprende los procesos de producción, transformación, exportación y comercialización internacional de recursos hidrobiológicos.

En Ecuador, este sector incluye especies como atún, dorado, camarón y peces pelágicos, los cuales representan un componente clave de la balanza comercial no petrolera (Cámara Nacional de Pesquerías, 2021). Su análisis exige considerar factores logísticos, normativos y de competitividad.

### **Sistemas de Información Geográfica (SIG).**

Los SIG se definen como herramientas digitales que integran, analizan y representan datos geoespaciales para comprender patrones territoriales y ambientales (Brennan et al., 2020).

En el sector pesquero, permiten identificar zonas de pesca, variaciones oceanográficas y tendencias en la distribución de especies, apoyando decisiones de gestión, monitoreo y control.

### **Trazabilidad pesquera.**

La trazabilidad es el conjunto de procedimientos que

permiten seguir el recorrido de un producto desde su origen hasta su destino final. En el contexto pesquero, incluye el registro de capturas, rutas marítimas, certificaciones sanitarias y verificaciones ambientales.

Su implementación fortalece la transparencia del comercio internacional y reduce el riesgo de pesca ilegal (Ewell et al., 2023).

### **Desarrollo socioeconómico local.**

El desarrollo local se refiere al fortalecimiento de las capacidades económicas, sociales y productivas de una comunidad o territorio mediante actividades que generan empleo, ingresos y estabilidad social.

En el caso de las comunidades pesqueras, implica mejorar la sostenibilidad de los recursos, las condiciones laborales y el acceso a mercados internacionales (Zambrano-Campoverde et al., 2021).

### **Marco legal**

El comercio pesquero ecuatoriano se encuentra regulado por un conjunto de normativas nacionales e

internacionales cuyo objetivo es garantizar la sostenibilidad del recurso, la trazabilidad de la cadena productiva y el cumplimiento de estándares ambientales y comerciales.

### **Ley Orgánica para el Desarrollo de la Acuicultura y Pesca (LODAP).**

Esta ley establece las directrices para la gestión sostenible de los recursos pesqueros, regula las actividades extractivas y dispone medidas como vedas, tallas mínimas y licencias de operación.

Además, promueve el uso de tecnologías para el control pesquero, incluyendo sistemas satelitales de seguimiento (Ministerio de Producción, 2019).

### **Reglamento de Control y Trazabilidad Pesquera.**

Norma la obligatoriedad de registrar las capturas, los movimientos de las embarcaciones y la certificación del origen legal del producto, con el fin de garantizar que los recursos exportados provengan de prácticas sostenibles (SENAE, 2021).

### **Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (COPCI).**

El COPCI define disposiciones para la facilitación del comercio exterior, regulando procedimientos aduaneros, requisitos para exportadores y mecanismos de control estatal. Incluye principios de eficiencia, responsabilidad empresarial y cumplimiento de normas internacionales.

### **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).**

El Ecuador es parte del Código de Conducta para la Pesca Responsable, que establece lineamientos sobre manejo sostenible, conservación marina, control de pesca ilegal y uso de tecnologías de monitoreo (FAO, 2020).

### **Acuerdos comerciales internacionales.**

Los mercados destino —principalmente la Unión Europea y Estados Unidos— exigen estándares de sostenibilidad, control sanitario y trazabilidad. Estos compromisos influyen en la modernización del sector pesquero ecuatoriano y en la adopción de sistemas de seguimiento satelital (Fernandes et al., 2022).

## **Normativa ambiental.**

El Ministerio del Ambiente ejerce un rol fundamental en la regulación de las actividades que puedan afectar los ecosistemas marinos y costeros del Ecuador, especialmente aquellos considerados estratégicos, como los manglares, estuarios, playas de desove y áreas marinas protegidas. Estos ecosistemas constituyen zonas de reproducción, alimentación y refugio para especies de alto valor comercial, entre ellas el camarón, la concha prieta, el cangrejo rojo, etc.

## **Enfoque de investigación**

La investigación adopta un enfoque cuantitativo y descriptivo-explicativo, basado en el análisis de datos espaciales obtenidos por sensores satelitales y su integración en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este enfoque permite examinar patrones ambientales y dinámicas territoriales asociadas a la actividad pesquera en la costa ecuatoriana, así como su vinculación con procesos de extracción y comercialización.

## **Diseño de investigación**

El presente estudio utiliza un diseño cualitativo-documental, porque se enfoca en analizar e interpretar

información que proviene de documentos escritos y datos relacionados con la actividad pesquera y las variables ambientales en la costa ecuatoriana.

Según Reyes-Ruiz y Carmona Alvarado (2020), este tipo de diseño es adecuado para estudios que buscan comprender y analizar información proveniente de diversas fuentes, incluyendo documentos escritos, grabaciones, filmaciones, entre otros.

En este caso, el estudio se centrará en el análisis de documentos escritos relacionados con la actividad pesquera y variables ambientales en la costa ecuatoriana. Los datos que se analizarán incluyen:

Datos de captura pesquera: proporcionados por la Subsecretaría de Recursos Pesqueros del Ecuador, que permitirán conocer la cantidad y tipo de especies capturadas en la costa ecuatoriana.

Datos ambientales: como temperatura del mar y corrientes oceánicas, que permitirán entender las condiciones ambientales que influyen en la actividad pesquera.

Sistemas de Información Geográfica (SIG): que permitirán analizar la distribución espacial de la actividad pesquera y las variables ambientales en la costa ecuatoriana.

## **Métodos empleados**

Para el desarrollo del estudio se aplicará un método cualitativo–documental, basado en la revisión sistemática de normativas, informes técnicos, estadísticas oficiales y literatura científica referente al comercio pesquero y la sostenibilidad en la costa ecuatoriana, lo que permitirá interpretar tendencias y problemáticas sin requerir acceso a imágenes satelitales ni trabajo de campo especializado. Paralelamente, se utilizará un método analítico-comparativo para contrastar la información proveniente de distintas fuentes, identificando patrones, divergencias y relaciones entre variables como volúmenes de captura, zonas de operación, dinámicas comerciales y condiciones ambientales reportadas. La integración de ambos métodos fortalece la rigurosidad del análisis al combinar evidencia institucional con estudios científicos previos, permitiendo comprender el fenómeno desde una perspectiva crítica y multidimensional (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Ruiz, 2020).

## **Área de estudio**

El estudio se desarrolló en la costa ecuatoriana, incluyendo las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena y El Oro.

Esta zona fue seleccionada debido a su relevancia estratégica en la extracción pesquera y en la cadena de exportación, así como por la presencia de ecosistemas costeros sensibles a cambios ambientales (FAO, 2020; Ministerio de Producción, 2023).

### **Instrumentos de recolección**

El estudio se apoya en fuentes documentales: normativas del SENA, manuales operativos, publicaciones académicas sobre SIG y casos reportados en plataformas oficiales. Este tipo de recopilación permite obtener información verificable sobre procesos, requisitos y flujos de datos. La recolección documental es un recurso clave cuando se busca describir contextos institucionales sin intervención directa, como plantean Sampieri y Mendoza (2019), quienes destacan que la documentación oficial proporciona evidencia confiable para estudios descriptivos.

### **Variables**

#### **Variable 1: Sostenibilidad ambiental pesquera**

Se refiere al estado ecológico de las especies involucradas en el comercio pesquero, considerando factores como niveles de presión extractiva reportados, disponibilidad

de biomasa según fuentes oficiales, temporadas de reproducción y medidas de manejo (vedas, tallas mínimas). Esta variable permite evaluar si la actividad comercial se desarrolla dentro de límites que aseguren la conservación del recurso.

### **Variable 2: Dinámica comercial de productos pesqueros**

Corresponde al comportamiento del comercio pesquero en la costa ecuatoriana, incluyendo volúmenes de captura declarada, variación en la oferta exportable, rutas y flujos comerciales, y la relación entre demanda del mercado y esfuerzo pesquero. Esta variable analiza si el movimiento comercial impulsa prácticas sostenibles o presiona la explotación del recurso.

### **Resultados**

Los resultados derivados del análisis documental permiten identificar patrones ambientales y comerciales relevantes para comprender la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana. La revisión de las fuentes institucionales y académicas evidenció coincidencias en la presión ejercida sobre especies de alto valor comercial, así como en la relación directa entre las condiciones

ambientales y la disponibilidad de recursos marinos. Estos hallazgos se presentan organizados según las dos variables del estudio: sostenibilidad ambiental pesquera y dinámica comercial de productos pesqueros.

### **Resultados asociados a la Variable 1: Sostenibilidad ambiental pesquera**

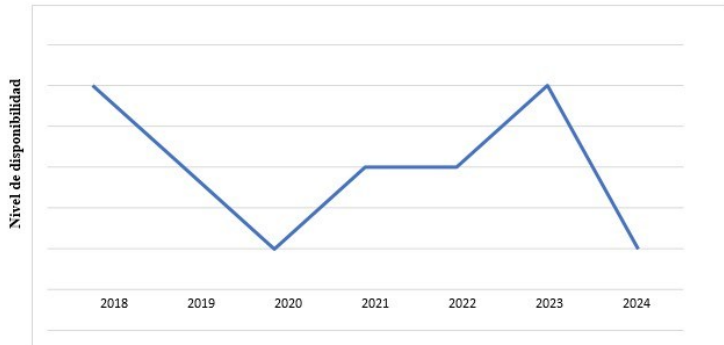
La información recopilada revela que varias especies de importancia comercial —como el dorado, el atún, la corvina y especies pelágicas menores— presentan fluctuaciones significativas en su biomasa y distribución. Diversos reportes institucionales señalan que estas variaciones se relacionan con la presión extractiva y con cambios ambientales registrados en los últimos años (Brennan et al., 2020; Pons et al., 2021).

**Tabla 1:** Tendencias documentadas en la disponibilidad de especies comerciales (2018–2024)

<b>Año</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>Año</b>	<b>Disponibilidad</b>
<b>2018</b>	Media	<b>2022</b>	Media
<b>2019</b>	Media	<b>2023</b>	Media
<b>2020</b>	Baja	<b>2024</b>	Baja
<b>2021</b>	Baja		

**Figura 1.**

## Tendencias documentadas en la disponibilidad de especies comerciales (2018–2024)



**Fuente:** *Suárez Sebastián, Torres Micel, Zambrano Karen con base en SRP (2021), FAO (2022) y CNP (2021).*

La Subsecretaría de Recursos Pesqueros y el IPIAP reportan que la disponibilidad del dorado (*Coryphaena hippurus*) presenta descensos durante ciertos periodos del año como consecuencia del aumento de la temperatura superficial del mar.

Del mismo modo, investigaciones recientes confirman que especies pelágicas como el atún manifiestan desplazamientos hacia aguas más profundas o hacia zonas oceánicas externas, lo que afecta los niveles de captura artesanal (Pons et al., 2021).

En cuanto a los ecosistemas costeros, los documentos revisados destacan la vulnerabilidad de zonas como los manglares y las áreas de transición estuarina, consideradas esenciales para la reproducción y crianza de múltiples especies. La FAO advierte que estos ecosistemas están sometidos a procesos de degradación vinculados con contaminación, sedimentación y actividad extractiva intensiva (FAO, 2020). Dichos factores reducen la disponibilidad ecológica de especies clave para el comercio pesquero.

Además, se observa que las medidas de manejo, tales como vedas y tallas mínimas, han mostrado eficacia parcial; sin embargo, aún se detectan inconsistencias en su cumplimiento, particularmente en zonas con limitada supervisión institucional (Barzola Alvario et al., 2013). Los informes señalan que el control y monitoreo satelital aún no cubre la totalidad de embarcaciones artesanales, lo que limita la capacidad de gestión ambiental.

### **Resultados asociados a la Variable 2: Dinámica comercial de productos pesqueros**

La evidencia documental muestra que los productos pesqueros continúan manteniendo un rol estratégico en el comercio exterior ecuatoriano, con una tendencia creciente en

exportaciones de especies como el atún en conserva, lomos precocidos y productos hidrobiológicos procesados. Las estadísticas del sector reflejan que el atún representa uno de los principales rubros de exportación, seguido por el camarón y otras especies de valor comercial (Cámara Nacional de Pesquerías, 2021).

Los reportes de producción señalan incrementos anuales en la captura de ciertas especies durante temporadas específicas, lo que evidencia una fuerte dependencia del mercado internacional. Este comportamiento comercial suele generar picos de esfuerzo pesquero que coinciden con periodos de mayor demanda global, práctica que, según Sengupta et al. (2022), incrementa el riesgo de sobreexplotación cuando no existe trazabilidad verificable.

Se identificó también que la digitalización de la cadena de suministro y el avance del rastreo satelital han contribuido a mejorar los procesos logísticos, la transparencia y la competitividad de los productos pesqueros ecuatorianos. Herramientas SIG utilizadas para mapear zonas de pesca han facilitado el control de embarcaciones y la detección de irregularidades, fortaleciendo la gobernanza y reduciendo riesgos de pesca ilegal, como señalan Ewell et al. (2023). La información sintetizada demuestra una relación clara entre la evolución del comercio exterior pesquero y los patrones

ambientales: cuando las condiciones oceanográficas afectan la disponibilidad de especies, se observan caídas temporales en las capturas y ajustes en los volúmenes exportables. Estas variaciones son confirmadas por estudios que muestran cómo el aumento de la temperatura superficial y la alteración de corrientes oceánicas inciden directamente en la movilidad de especies comerciales (Brennan et al., 2020).

### **Relación entre las variables: evidencia integrada**

La comparación de las fuentes analizadas revela una relación directa entre la presión ambiental identificada en especies de alto valor comercial y el comportamiento de la demanda internacional. En particular, los periodos de incremento en exportaciones coinciden con momentos de mayor esfuerzo pesquero y con descensos temporales en la biomasa de especies como el dorado y el atún, especialmente en zonas de Manabí y Santa Elena.

Estas coincidencias confirman que la sostenibilidad del comercio pesquero ecuatoriano depende estrechamente de la estabilidad ambiental y del fortalecimiento de los mecanismos de control. Asimismo, los datos sugieren que la falta de información geoespacial de alta resolución limita la capacidad de monitorear adecuadamente la distribución y disponibilidad de recursos pesqueros, lo que refuerza la

necesidad de integrar de manera más sistemática herramientas SIG y sistemas de vigilancia satelital para garantizar una gestión sostenible.

### **Síntesis general de los resultados**

Los resultados demuestran que la sostenibilidad del comercio de productos pesqueros en la costa ecuatoriana se encuentra condicionada por factores ambientales, la presión extractiva, la dinámica comercial internacional y el nivel de implementación tecnológica en los sistemas de monitoreo. La evidencia señala que los avances en rastreo satelital y SIG contribuyen significativamente a mejorar la gobernanza pesquera, aunque aún existen brechas en cobertura y disponibilidad de datos.

En conjunto, las fuentes revisadas coinciden en que la sostenibilidad del sector depende de equilibrar la demanda comercial con prácticas de manejo responsable basadas en información técnica, científica y geoespacial.

### **Discusión**

Los resultados obtenidos a partir del análisis documental evidencian que la sostenibilidad del comercio pesquero en la costa ecuatoriana depende de factores

ambientales, tecnológicos y comerciales que interactúan entre sí.

Estos hallazgos coinciden con lo señalado por la FAO (2020, 2022), que advierte que la disponibilidad de especies comerciales está estrechamente vinculada con cambios oceanográficos y con la presión extractiva. Del mismo modo, estudios como los de Pons et al. (2021) y Brennan et al. (2020) respaldan la idea de que las fluctuaciones en la biomasa de especies como atún y dorado responden tanto a la variabilidad ambiental como al nivel de esfuerzo pesquero.

Asimismo, la dinámica comercial observada refuerza la tendencia descrita por la Cámara Nacional de Pesquerías (2021), donde la creciente demanda internacional genera picos de actividad que pueden comprometer la sostenibilidad si no existe un sistema de trazabilidad eficaz.

La literatura reciente indica que la integración de tecnologías satelitales mejora la vigilancia y reduce prácticas irregulares (Ewell et al., 2023), lo que coincide con la necesidad identificada en este estudio de ampliar la cobertura del monitoreo para fortalecer la gobernanza pesquera. En conjunto, la discusión confirma que las condiciones ambientales y los patrones comerciales no pueden analizarse de manera aislada: ambos influyen directamente en la

estabilidad del recurso pesquero. Si bien Ecuador ha incorporado medidas de manejo y avances tecnológicos, persisten limitaciones institucionales y brechas de información geoespacial que restringen una gestión plenamente sostenible.

### **Conclusiones**

La sostenibilidad ambiental pesquera en la costa ecuatoriana muestra una tendencia vulnerable, caracterizada por fluctuaciones en la biomasa del dorado, atún y otras especies pelágicas asociadas tanto a la presión extractiva como a variaciones ambientales.

Los documentos técnicos y académicos analizados evidencian que la temperatura superficial del mar, la degradación de ecosistemas costeros y el cumplimiento irregular de medidas de manejo repercuten directamente en la disponibilidad del recurso.

Esto confirma la necesidad de fortalecer los sistemas de control y monitoreo para garantizar la conservación de las especies.

La dinámica comercial de los productos pesqueros mantiene una relación directa con los ciclos ambientales y la presión sobre los recursos, dado que los periodos de mayor

demanda internacional coinciden con incrementos en el esfuerzo pesquero y reducciones temporales en algunas poblaciones.

Los datos revisados indican que las exportaciones de atún, camarón y especies afines continúan en aumento, lo que obliga a reforzar la trazabilidad y el uso de herramientas tecnológicas para evitar la sobreexplotación.

Esto demuestra que la competitividad del sector depende de equilibrar actividad comercial y sostenibilidad.

La integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y monitoreo satelital constituye un recurso clave para una gestión pesquera moderna y responsable, ya que permite identificar patrones ambientales, zonas de pesca y variaciones en la disponibilidad de especies.

Aunque la cobertura de datos aún presenta limitaciones, la evidencia revisada señala que estos sistemas mejoran la vigilancia, reducen riesgos de pesca ilegal y fortalecen la planificación comercial. Este resultado confirma que la sostenibilidad del comercio pesquero ecuatoriano requiere incorporar tecnología, gestión administrativa y prácticas ambientales coherentes con los estándares internacionales.



**CAPITULO XV: Desarrollo del Talento  
Ecuatoriano con Visión a las Nuevas Exigencias  
del Comercio Espacial Sostenible**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Clara Augusta Cabrera Jara

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Allyson Mayerli Macías Ramos

Steeven Fernando Álvarez Villagómez

Andy Geampierre Cruz Santos

Ivis Mabel Echever Golla

## Resumen

El desarrollo del talento ecuatoriano con visión a las nuevas exigencias del comercio espacial sostenible representa una oportunidad estratégica para diversificar la economía y posicionar al país en cadenas de valor intensivas en conocimiento. El talento humano no se limita a ingenieros o científicos, sino que abarca una comunidad diversa de profesionales, estudiantes y emprendedores capaces de integrar innovación, ética y sostenibilidad en sus prácticas. Según (Santander-Salmon, 2023) las organizaciones ecuatorianas requieren de un talento humano que responda a los cambios del entorno, integrando responsabilidad social y cooperación interinstitucional. Esta perspectiva se vincula directamente con el comercio espacial, donde la articulación entre gobierno, academia y empresas es esencial para generar políticas inclusivas y sostenibles. Las ventajas de orientar el talento hacia este sector incluyen el aprovechamiento de la ubicación geoestratégica de Ecuador para servicios satelitales, la creación de empleo calificado, la retención de capital humano y la diversificación económica mediante exportaciones de servicios intensivos en conocimiento. Asimismo, la adaptación a nuevos escenarios laborales exige perfiles flexibles, con capacidad de aprendizaje continuo y gestión ética de recursos (Ortega, 2017). El comercio sostenible, como señala (Maria Fernanda Cevallos, 2022),

puede dinamizar la economía nacional, atraer inversión extranjera y contribuir a la reducción de la pobreza mediante políticas públicas complementarias. Finalmente, las tecnologías espaciales, de acuerdo con (UNCTAD & Shanika, 2021), tienen el potencial de apoyar directamente los Objetivos de Desarrollo Sostenible, desde la gestión ambiental hasta la resiliencia climática. En síntesis, Ecuador enfrenta el reto de transformar su capital humano en un motor de innovación responsable que lo proyecte hacia la economía espacial global.

### **Introducción**

El surgimiento del comercio espacial sostenible plantea una ventana estratégica para naciones en desarrollo como Ecuador, donde la intersección entre tecnología, biodiversidad y necesidades socioeconómicas genera nuevas oportunidades de valor agregado.

En un contexto global marcado por la creciente demanda de servicios satelitales, observación de la Tierra, comunicaciones, navegación y análisis de big data la capacidad de transformar datos espaciales en soluciones aplicables a la agricultura, la gestión de recursos hídricos, la prevención de desastres y la conservación ambiental se convierte en un activo competitivo.

Para que Ecuador participe de manera significativa en estas cadenas de valor, no basta con infraestructura; es imprescindible desarrollar talento humano con competencias técnicas avanzadas, comprensión normativa internacional, y una sólida conciencia ética y ambiental.

Este talento deberá ser interdisciplinario: ingenieros y científicos de datos que trabajen junto a especialistas en política pública, derecho espacial y gestión empresarial sostenible.

El desarrollo territorial y la inclusión social deben estar en el centro de la estrategia, asegurando que las comunidades rurales y las mujeres accedan a los beneficios derivados de los servicios espaciales.

Construir este capital humano exige sinergia entre universidades, sector privado, gobierno y cooperación internacional, así como instrumentos financieros y marcos regulatorios que fomenten innovación responsable y mitiguen riesgos ambientales y de dependencia tecnológica.

Como señalan (Mora-Lucero, 2023) “La sostenibilidad y la competitividad requieren coordinación entre actores y estrategias de capacitación que trasciendan

enfoques fragmentados”.

### **Metodología**

Elaboramos una metodología documental basada exclusivamente en artículos científicos y documentos/portales institucionales en línea para diagnosticar el desarrollo del talento ecuatoriano con visión a las exigencias del comercio espacial sostenible y producir propuestas fundamentadas.

### **Diseño de investigación**

Estudio documental y analítico de alcance exploratorio-descriptivo. Se realizará una revisión sistemática y crítica de literatura secundaria, es decir, artículos revisados por pares, informes técnicos, políticas públicas y reportes de organizaciones internacionales y nacionales disponibles en la web). No se incluyen trabajo de campo ni entrevistas primarias.

**Desarrollo del talento ecuatoriano con visión a las nuevas exigencias del comercio espacial sostenible.**

**El talento ecuatoriano en la era espacial**

El talento ecuatoriano en la era espacial se convierte en el motor de un país que busca trascender sus fronteras terrestres y proyectarse hacia un futuro de innovación y sostenibilidad. No se trata únicamente de ingenieros o científicos, sino de una comunidad diversa de profesionales, estudiantes y emprendedores que, desde distintas disciplinas, aportan creatividad, conocimiento y compromiso social para enfrentar los retos del comercio espacial.

En este escenario, la capacidad de aprender, adaptarse y colaborar se vuelve tan valiosa como la tecnología misma, porque el éxito no depende solo de máquinas y satélites, sino de personas capaces de integrar la ciencia con la ética, la innovación con la responsabilidad ambiental y equidad social.

El talento ecuatoriano, fortalecido por la educación, la cooperación interinstitucional y la visión de sostenibilidad, se posiciona como un agente de cambio que puede transformar los datos espaciales en soluciones para la agricultura, la gestión de recursos naturales y la resiliencia frente al cambio climático. Así, la era espacial no es un sueño lejano, sino una oportunidad presente en la que Ecuador, a través de su gente, puede construir un futuro más justo, inclusivo y sostenible.

## **Perspectivas y desafíos del talento humano en Ecuador**

El talento humano ecuatoriano ya enfrenta procesos de adaptación hacia la sostenibilidad y la innovación. Santander-Salmon (2023) afirma que “las organizaciones ecuatorianas requieren de un talento humano capaz de responder a los cambios del entorno, integrando innovación y responsabilidad social” (p. 4).

La gestión del talento humano debe alinearse con estrategias de sostenibilidad para garantizar la competitividad de las empresas. “La inversión en formación y el impulso a la innovación permiten que las empresas ecuatorianas se adapten a los nuevos desafíos globales”. (Santander-Salmon, 2023, pág. 10)

Asimismo, la cooperación interinstitucional es esencial: “la cooperación interinstitucional es esencial para generar políticas que promuevan la sostenibilidad y el desarrollo del capital humano”. (Santander-Salmon, 2023, pág. 13) Este planteamiento puede aplicarse al comercio espacial sostenible, ya que la participación de Ecuador dependerá de la capacidad de articular esfuerzos entre gobierno, academia y empresas.

## **Ventajas de desarrollar talento ecuatoriano orientado al comercio espacial sostenible**

Aprovechamiento de ventaja geoestratégica: Ecuador puede ofrecer servicios satelitales y de observación terrestre dirigidos a agricultura, monitoreo ambiental y gestión de emergencias en la región andina y amazónica. Creación de empleo calificado y retención de capital humano: genera trayectorias profesionales de alta especialización que reducen fuga de cerebros. Diversificación de la economía y aumento de exportaciones de servicios intensivos en conocimiento. Estímulo a la innovación local y cadenas productivas en electrónica, software y servicios profesionales.

**Tabla 1.** Dimensiones clave del desarrollo del talento ecuatoriano hacia el comercio espacial sostenible. Fuente: elaboración propia (2025)

<b>Dimensión</b>	<b>Indicador clave</b>	<b>Importancia en escala del 1-5</b>
Educación	Tasa de Graduación En carreras STEM	5
Innovación	Número de patentes anuales	4
Inversión	Porcentaje del PIB destinado a I+D	4
Regulación	Existencia de Políticas Espaciales	5
Colaboración Internacional	Numero de Acuerdos Internacionales	5

Fuente: Elaboración propia (2025)

## **Adaptación del talento humano a nuevos escenarios laborales**

Los cambios tecnológicos y sociales redefinen constantemente los escenarios laborales esto podría traducirse en la capacidad de adaptación del trabajador es el elemento que garantiza la permanencia y competitividad en entornos dinámicos.

El comercio espacial sostenible puede entenderse como uno de estos escenarios emergentes, donde se demandan perfiles flexibles, con habilidades para el aprendizaje continuo y la gestión ética de los recursos. Las autoras destacan que “los nuevos escenarios laborales demandan perfiles flexibles, con habilidades para el aprendizaje continuo y la gestión ética de los recursos” . (Ortega, 2017, pág. 72)

En este sentido, Ecuador debe fortalecer programas académicos orientados a la ciencia, la tecnología y la sostenibilidad, de manera que el talento nacional pueda insertarse en cadenas de valor internacionales vinculadas al comercio espacial.

Además, la innovación y el emprendimiento son motores esenciales para la creación de entornos que favorezcan la innovación permite que el talento humano se

convierta en un agente de cambio en la sociedad.

### **Desafíos del sector comercio en Ecuador para el desarrollo sostenible con visión a nuevas industrias espaciales.**

El comercio promueve la eficiencia productiva a través de la especialización, la explotación de las economías de escala, la transferencia de tecnología y la mayor competencia.

Además, la apertura del comercio conduce a una utilización más eficiente de los recursos y estimula el crecimiento y los niveles de ingresos, apoyando así la conservación de los recursos, la sostenibilidad y los esfuerzos por erradicar la pobreza. (Maria Fernanda Cevallos, 2022)

Este sería el objetivo o el mecanismo que necesita el Ecuador para desarrollar industrias espaciales teniendo en cuenta el comercio sostenible y el comercio exterior son fundamentales para atraer inversión extranjera teniendo un impacto social y tratar de reducir el impacto ambiental.

Uno de estos objetivos es el “Fin de la pobreza” en virtud de que cada vez hay más pruebas de que las iniciativas de política comercial bien planificadas y estratégicamente

ejecutadas pueden influir positivamente en la reducción sostenible de la pobreza.

Además, la apertura del comercio ha elevado los niveles de vida a través de una mayor productividad, el aumento de la competencia, la ampliación de las posibilidades de elección para los consumidores y la mejora de los precios en el mercado. Para poner fin a la pobreza en todas sus formas en América Latina y el Caribe, las políticas públicas complementarias de inclusión laboral y social son esenciales. (María Fernanda Cevallos, 2022)

Atraves de un enfoque hacia comercio espacial se puede dinamizar las economías de los países en desarrollo, la inversión en la investigación de medios de trasporten no convencionales y con un enfoque espacial. Puede dar como resultado la innovación del comercio como lo conocemos actualmente, teniendo un impacto positivo en la economía de estos países.

### **Tecnologías espaciales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible**

La ciencia, las tecnologías y los datos espaciales tienen el potencial de contribuir, directa o indirectamente, al logro de todos los Objetivos. La ciencia espacial incorpora

disciplinas científicas que involucran la exploración espacial y el estudio de los fenómenos naturales y los cuerpos físicos en el espacio ultraterrestre, y a menudo incluye disciplinas como la astronomía, la ingeniería aeroespacial, la medicina espacial y la astrobiología. (UNCTAD & Shanika, 2021)

Las tecnologías espaciales suelen referirse a la observación de la Tierra por satélite, las comunicaciones por satélite y el posicionamiento por satélite. Tecnologías como la predicción meteorológica, la teledetección, los sistemas de posicionamiento global y los sistemas de televisión y comunicaciones por satélite, así como campos científicos como la astronomía y las ciencias de la Tierra, se basan en la ciencia y las tecnologías espaciales. (UNCTAD & Shanika, 2021)

**Figura 1.** Ecuador Space Society y los Acuerdos Artemis: Oportunidades para la industria espacial nacional



## **Conclusión**

El desarrollo del talento ecuatoriano frente al comercio espacial sostenible es una oportunidad histórica. Ecuador puede convertirse en un actor relevante si logra invertir en educación STEM, fomentar la innovación, y establecer alianzas internacionales.

Aunque existen desafíos como la falta de infraestructura y la fuga de talentos, las ventajas como lo son el capital humano joven, biodiversidad y ubicación estratégica, ofrecen un escenario fértil para que el país se proyecte hacia el futuro.

La clave está en transformar la visión en acción, con políticas públicas claras, inversión en investigación, y un compromiso social hacia la sostenibilidad. El comercio espacial no solo es un mercado, sino un espacio para redefinir el papel de Ecuador en la economía global.



**CAPITULO XVI: Desarrollo sostenible y  
gobernanza ética en la economía espacial: retos  
para el comercio exterior**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos  
Julio Antonio Baque Mieles

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Jaren Jeremías Loor Campuzano  
Cindy Damarys Mite Otero  
Melanie Solange Moran Villafuerte  
Nataly Martha Vallejo Demera

## Resumen

Este trabajo aborda el desarrollo sostenible y la gobernanza ética aplicados a la economía espacial y sus efectos sobre el comercio exterior. A partir de un diseño documental y comparativo que prioriza informes institucionales (UNOOSA, IADC, ESA, NASA, ITU) y literatura indexada, contrastamos marcos normativos, evidencia técnica y estudios recientes. Proponemos convertir principios transparencia, rendición de cuentas, equidad intergeneracional y precaución en obligaciones verificables: plan de fin de vida obligatorio, depósito público de metadatos con sello temporal, auditoría externa y cláusulas tipo de transferencia tecnológica. Los resultados muestran congestión creciente en LEO, heterogeneidad de metadatos, verificación insuficiente y ausencia de cláusulas contractuales para reparto de beneficios. Recomendamos indicadores operativos (mitigación de residuos, transparencia, transferencia tecnológica, participación global, huella ambiental), instrumentos financieros progresivos (tasas y fondo multilateral) y una implementación escalonada mediante pilotos en constelaciones medianas y auditorías de licencias para validar, ajustar y legitimar políticas sostenibles y equitativas.

**Palabras clave:** Gobernanza espacial, Sostenibilidad orbital, Metadatos, Transferencia tecnológica, Financiamiento

progresivo.

## **Introducción**

La economía espacial emerge como un nuevo escenario global que transforma el comercio exterior, la cooperación internacional y la gestión de bienes comunes. Este trabajo integra principios del desarrollo sostenible y gobernanza ética para proponer un marco operativo que permita innovación legítima, equitativa y sostenible.

Mediante un diseño documental y comparativo que prioriza fuentes institucionales (UNOOSA, IADC, ESA, NASA, ITU) y literatura indexada, contrastamos marcos normativos, informes técnicos y estudios recientes.

Identificamos congestión creciente en LEO, heterogeneidad de metadatos, verificación insuficiente de planes de fin de vida y escasez de cláusulas verificables de transferencia tecnológica. Proponemos indicadores operativos, instrumentos financieros progresivos y pilotos sectoriales para validar medidas y garantizar equidad intergeneracional real.

## **Metodología Enfoque de investigación**

La investigación adopta un diseño mixto, con predominio documental y un componente experimental de

pilotaje para validar protocolos operativos. Se realizó una revisión sistematizada centrada en cinco fuentes institucionales clave UNOOSA, IADC, ESA, NASA y ITU cubriendo evidencia y directrices publicadas en los últimos cinco años y seleccionadas por su relevancia técnica y carácter normativo.

La extracción de información se realizó mediante una ficha estandarizada que registra metadatos mínimos, plazos de fin de vida, mecanismos de verificación y cláusulas de transferencia tecnológica.

Para el componente práctico se propone un pilotaje en hasta tres constelaciones medianas o expedientes equivalentes, aplicando un checklist estandarizado en tres réplicas por operador para medir cumplimiento de planes de fin de vida, depósito de metadatos con sello temporal y entrega de hitos de transferencia.

El análisis integra codificación temática y matriz comparativa para el corpus documental, y análisis descriptivo y pruebas comparativas, ANOVA o pruebas no paramétricas, para los datos de piloto.

Se asegura calidad mediante doble codificación, ensayos en triplicado cuando proceda y acuerdos de confidencialidad para datos sensibles

## **Desarrollo**

### **Fundamentos del desarrollo sostenible y la gobernanza ética**

El desarrollo del suplemento proteico espacial a partir de subproductos del camarón ecuatoriano articula biotecnología, nutrición espacial, economía circular y sostenibilidad; por ello los principios de transparencia, rendición de cuentas, equidad intergeneracional y precaución deben traducirse en obligaciones verificables aplicables al proyecto.

La gobernanza espacial contemporánea combina recomendaciones técnicas y marcos de responsabilidad estatal con prácticas voluntarias de la industria; esta convergencia exige diseñar desde fase temprana productos con trazabilidad documental, evidencia técnica y mecanismos de auditoría que faciliten su integración en cadenas logísticas espaciales y su evaluación por terceros (UNOOSA, 2025).

### **Marco técnico para diseño y seguridad**

Las especificaciones de ingeniería de alimentos para ambientes extremos requieren atención a microestructura del

producto, estabilidad físicoquímica, resistencia a ciclos térmicos y radiación, y empaques que minimicen masa y migas.

Además, la formulación debe priorizar aminoácidos críticos para preservación muscular y ósea, estabilidad sensorial y compatibilidad con protocolos de rehidratación o consumo en condiciones de microgravedad (ESA, 2025).

### **Requisitos de trazabilidad y metadatos**

Un esquema mínimo de metadatos debe documentar: identificación del lote, composición nutricional, procesos de producción críticos, condiciones de almacenamiento/temperatura, plan de fin de vida y responsables técnicos. El depósito con sello temporal en un registro interoperable facilita verificación ex post y reduce incertidumbres regulatorias en mercados extranjeros (ITU, 2025).

Plan de fin de vida y gestión de riesgos orbitales  
Cualquier componente del proyecto que implique satelitalización, reabastecimiento o transporte espacial debe contemplar un plan de fin de vida técnico: procedimientos de desorbitación, diseño para desintegración controlada o recuperación y criterios de diseño que reduzcan la producción de fragmentos. Estos planes deben cuantificar probabilidades de falla y contemplar contingencias verificables mediante

auditorías técnicas (IADC, 2023).

### **Evaluaciones sanitarias y bioéticas**

Dado el origen en un alérgeno alimentario, el proyecto requiere un marco de seguridad que incluya: ensayos de alergenidad validados, estudios de estabilidad microbiana, protocolos de control de trazas y etiquetado claro sobre riesgos.

Además, la ética pública demanda transparencia sobre pruebas, resultados y medidas de mitigación ante posibles efectos adversos (NASA, 2021).

### **Mecanismos de verificación y gobernanza operativa**

Se recomienda un esquema de verificación tripartito: documentación técnica depositada públicamente; auditoría técnica independiente que realice pruebas in situ o en planta piloto; y validación cruzada mediante datos de seguimiento o registros de terceros. Este marco facilita la responsabilidad contractual y la confianza de socios internacionales sin sacrificar información sensible protegida bajo acuerdos de confidencialidad (ESA, 2025).

## **Transferencia tecnológica y equidad en cadenas de valor**

Para maximizar impacto local, los contratos de cooperación deben incluir hitos verificables de transferencia tecnológica (entregables, horas de formación certificadas, instalación de equipos) y mecanismos de seguimiento que aseguren que capacidades se consolidan en actores nacionales y no se concentran en proveedores externos (UNOOSA, 2025).

## **Indicadores de desempeño y criterios de aceptación piloto**

Definir indicadores medibles para la fase piloto mejora la toma de decisiones: cumplimiento del depósito de metadatos previo a embarque; resultados microbiológicos y de alergenidad dentro de umbrales aceptados; índice de integridad física post-simulación de manejo en microgravedad; y cumplimiento de hitos de transferencia tecnológica. Cada indicador debe tener método de verificación explícito y responsable asignado (ESA, 2025).

## **Gobernanza social y comunicación responsable**

Desarrollar una estrategia de comunicación dirigida a

productores, comunidades y públicos técnicos es clave: informar sobre cadenas de valor, garantías sanitarias, beneficios de economía circular y medidas de resguardo ante riesgos. La transparencia proactiva ayuda a prevenir rechazo social y facilita certificaciones internacionales al mostrar controles y resultados documentados (NASA, 2021).

### **Síntesis operativa y siguientes pasos**

Implementar estas medidas en la fase de diseño y piloto, adoptando metadatos mínimos, auditabilidad técnica, ensayos sanitarios y cláusulas de transferencia verificables, pone al proyecto en posición de cumplir estándares internacionales y maximizar impacto socioeconómico nacional sin comprometer la seguridad o la sostenibilidad orbital (UNOOSA, 2025).

### **La economía espacial como nuevo escenario global**

La economía espacial es un mercado global diversificado que abarca lanzamientos, conectividad, observación, navegación, logística orbital, manufactura en microgravedad y biotecnología aplicada; requiere marcos de política industrial y regulatorio que promuevan competencia, acceso equitativo y gestión de externalidades (UNOOSA, 2025).

## **Dinámica de mercado y concentración de capacidades**

El crecimiento de constelaciones y la integración vertical de grandes actores generan economías de escala y efectos de red que tienden a concentrar infraestructura, datos y poder de mercado; estas dinámicas elevan barreras de entrada para nuevos proveedores y condicionan la estructura de precios y estándares internacionales (IADC, 2023).

## **Modelos de negocio emergentes y cadenas de valor**

Surgen modelos híbridos: plataformas de datos como servicio (PaaS), manufactura en microgravedad como servicio y productos duales con mercado terrestre y espacial; estos modelos exigen contratos que integren propiedad intelectual, criterios de certificación y mecanismos claros de reparto de beneficios (ESA, 2025).

## **Externalidades y riesgo sistémico**

La actividad económica orbital genera externalidades negativas (congestión, residuos, riesgo colisional) y positivas (datos públicos, spillovers tecnológicos); para internalizar costos sociales es preciso diseñar instrumentos económicos

como tasas vinculadas al riesgo, fondos de remediación o seguros obligatorios aplicados con criterios de progresividad (IADC, 2023).

### **Gobernanza de datos e interoperabilidad**

Estándares de interoperabilidad, formatos abiertos de metadatos y políticas de acceso no discriminatorio a datos críticos evitan barreras de entrada, favorecen competencia y permiten que actores pequeños y países en desarrollo accedan a insumos productivos de alto valor (ITU, 2025).

### **Instrumentos públicos y política industrial**

Las políticas públicas deben combinar regulación y herramientas económicas: tasas progresivas por riesgo, fondos multilateralizados de sostenibilidad orbital, condicionalidad de apoyos públicos a compromisos verificables y requisitos de transparencia como condición para acceder a beneficios estatales (UNOOSA, 2025).

### **Estrategias y oportunidades para Ecuador**

Ecuador puede focalizarse en nichos ligados a sus ventajas comparativas: valorización de subproductos (bioproductos del camarón) con certificación dual, servicios de trazabilidad y etiquetado certificado, y prestación de servicios

de valor agregado para cadenas alimentarias; esto requiere acuerdos de codesarrollo con cláusulas de transferencia tecnológica verificable y programas de capacitación (UNOOSA, 2025).

### **Riesgos y medidas de apoyo a actores locales**

Los riesgos incluyen exclusión por costos de certificación y captura de valor por intermediarios; medidas de apoyo efectivas son subvenciones técnicas dirigidas, garantías parciales para financiamiento, seguros adaptados a PYMES y contratos que reconozcan participación en ingresos futuros (ESA, 2025).

### **Recomendaciones operativas**

- Diseñar política industrial espacial focalizada en nichos nacionales y acuerdos de codesarrollo con hitos verificables (UNOOSA, 2025).
- Establecer estándares mínimos de metadatos y transparencia para operadores locales (ITU, 2025).
- Implementar instrumentos financieros (subsidios para certificación, garantías, seguros sectoriales) para facilitar la participación de PYMES (ESA, 2025).
- Evaluar la contribución escalonada a un fondo de sostenibilidad orbital como requisito para acceder a apoyos públicos, con progresividad por tamaño y riesgo (IADC, 2023).

### **Retos éticos y sostenibles en la economía espacial**

- Establecer marcos regulatorios claros
- Integración de actores internacionales
- Transparencia en la toma de decisiones

### **Sostenibilidad ambiental (orbital y terrestre)**

- Minimización del impacto en el espacio cercano
- Protección de recursos terrestres
- Innovación en tecnologías limpias

### **Equidad y distribución de beneficios**

- Promoción de accesibilidad para todos
- Fomento del desarrollo inclusivo
- Garantizar distribución justa de los beneficios Los retos éticos y de sostenibilidad demandan medidas operativas claras y verificables que vinculen diseño, operación y gobernanza para minimizar riesgos orbitales y terrestres y maximizar beneficios sociales.

### **Gobernanza y responsabilidad operacional**

- Metadatos mínimos públicos sobre finalidad, parámetros operativos y plan de fin de vida.
- Registro y sello temporal de actividades y lanzamientos.
- Auditoría técnica independiente previa a certificaciones y exportaciones.
- Mecanismos sancionatorios y de incentivos vinculados al cumplimiento (acceso a mercados, financiamiento, licencias).
- Requisitos contractuales de trazabilidad para proveedores y socios.

## **Sostenibilidad ambiental y gestión de riesgos**

- Diseño para reducción de fragmentación y minimización de migas/partículas.
- Plan de fin de vida cuantificado y verificable (desorbitación, recuperación o desintegración controlada).
- Evaluación de ciclo de vida (LCA) para componentes críticos y empaçado.
- Fondos de remediación y/o seguros obligatorios vinculados a nivel de riesgo.
- Protocolos de control microbiológico y de bioseguridad para productos biológicos.
- Equidad, datos y reparto de beneficios
- Cláusulas de transferencia tecnológica con hitos verificables (entregables, horas de capacitación, instalaciones).
- Requisitos de acceso no discriminatorio a metadatos críticos y estándares de interoperabilidad.
- Modelos contractuales que reconozcan participación en ingresos recurrentes o licencias compartidas.
- Instrumentos de apoyo para PYMES (subsidios técnicos, garantías, seguros adaptados).
- Mecanismos de participación comunitaria y transparencia en comunicación sobre orígenes y riesgos.

## **Internacionalización y comercialización**

La internacionalización del suplemento proteico espacial debe diseñarse como un proceso por fases que integre requisitos regulatorios, sanitarios, logísticos y contractuales desde la etapa de desarrollo del producto.

En la fase pre-piloto se deben elaborar expedientes

técnicos por lote que incluyan: ficha completa de composición y trazabilidad; protocolos de control de calidad; resultados de ensayos de alergenicidad y estabilidad; y un plan de fin de vida asociado a cada presentación.

Antes del embarque hacia mercados piloto, validar certificados en laboratorios acreditados y obtener sellos temporales del depósito de metadatos que permitan verificación ex post por autoridades extranjeras.

La fase piloto exige un cronograma con hitos obligatorios: entrega del expediente técnico, homologación en el mercado objetivo, prueba de la cadena fría y contrato marco con cláusulas de propiedad intelectual, transferencia tecnológica y reparto de ingresos. Para reducir costos y riesgos de PYMES, promover agregación comercial (consorcios de exportación) y líneas de crédito o garantías parciales orientadas a financiar pruebas y auditorías iniciales.

Paralelamente, establecer alianzas contractuales con operadores logísticos especializados en carga sensible y brokers regulatorios que gestionen trámites y aseguren cumplimiento aduanero.

Operativamente, implantar un sistema digital de trazabilidad por lote (bloqueo de lotes, metadatos

estandarizados, acceso a auditorías) que permita respuestas rápidas ante rechazos sanitarios y facilite intercambio de certificaciones entre jurisdicciones.

Incluir cláusulas contractuales que especifiquen responsabilidades ante desviaciones (rechazos aduaneros, deterioro en tránsito) y mecanismos de resolución (seguros especializados, procedimientos de retorno o destrucción controlada).

Asimismo, priorizar mercados piloto con rutas regulatorias claras y capacidades de verificación reconocidas para generar precedentes exportables.

Finalmente, consolidar capacidades locales: crear un centro nacional de ensayos acreditado, programas de capacitación técnica para productores y técnicos de calidad, y mecanismos de seguimiento contractual para garantizar que la transferencia tecnológica se traduzca en capacidades locales reales y no solo en entregables documentales.

Estas medidas reducen incertidumbre comercial, protegen márgenes de actores locales y aumentan la probabilidad de escalamiento sostenido (UNOOSA, 2025; NASA, 2021).

## **Resultados**

### **Congestión orbital y riesgo colisional**

Observamos aumento sostenido de lanzamientos y mayor densidad en LEO; las agencias técnicas advierten mayor probabilidad de eventos peligrosos, por lo que se requiere gestión operativa reforzada (ESA, 2025; NASA, 2021).

### **Transparencia registral y metadatos**

Existe mandato y guía para registros interoperables, pero la práctica muestra metadatos incompletos y formatos heterogéneos entre operadores; eso dificulta verificación independiente (UNOOSA, 2025; ITU, 2025).

### **Planes de fin de vida y verificación efectiva**

Las directrices recomiendan planes de fin de vida y mitigación, pero la evidencia pública sobre verificación externa y sellos temporales es insuficiente en muchos casos (IADC, 2023; ESA, 2025).

## **Conclusiones**

- 1. Las obligaciones verificables son imprescindibles:** convertir principios éticos (transparencia, rendición de cuentas, equidad intergeneracional, precaución) en requisitos

prácticos plan de fin de vida obligatorio, depósito de metadatos con sello temporal, cláusulas de transferencia tecnológica y responsabilidades financieras en condición necesaria para gobernar la economía espacial de manera sostenible y auditable.

2. **Los indicadores operativos habilitan gobernanza efectiva:** institucionalizar y auditar indicadores clave (mitigación de residuos, transparencia de datos, transferencia tecnológica, participación global, huella ambiental por lanzamiento) permite monitorear cumplimiento, comparar desempeño entre actores y fundamentar sanciones o incentivos en política comercial y licenciamiento.

3. **La internalización de externalidades requiere instrumentos progresivos y pilotados:** tasas por lanzamiento y un fondo multilateral son herramientas viables para financiar remediación y fortalecimiento de capacidades, siempre que su diseño incorpore progresividad según tamaño del operador y medidas de compensación para evitar cargas regresivas sobre países y actores vulnerables.

4. **Integrar sostenibilidad orbital en comercio exterior protege equidad y acceso:** exigir certificaciones de desempeño orbital y condicionar preferencias arancelarias o acceso a fondos públicos al cumplimiento de indicadores fortalece la posición negociadora de países proveedores y receptores y reduce la probabilidad de captura privada de beneficios espaciales.

5. **La implementación escalonada y la cooperación inclusiva aumentan legitimidad y factibilidad:** iniciar con pilotos sectoriales (constelaciones medianas, auditorías de licencias), revisar umbrales cada 18 meses y formalizar mecanismos de representación vinculante para países sin capacidad de lanzamiento facilitará ajuste técnico, aceptación

política y la institucionalización de registros, auditorías y fondos multilaterales.



## **CAPITULO XVII**

# **La administración responsable del comercio espacial: ética y sostenibilidad en la nueva economía interplanetaria**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Guido Homero Poveda Burgos

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Tatiana Pilamunga Cárdenas

Valeska Triana Potes

María Fernanda Troncoso Espinoza  
Nataly Vallejo Demera  
Damarys Escobar Villafuerte

## **Resumen**

El presente estudio aborda la imperiosa necesidad de establecer un marco de administración responsable para el creciente comercio espacial, integrando los pilares de la ética y la sostenibilidad en la configuración de la nueva economía interplanetaria. La rápida privatización y comercialización del espacio ultraterrestre, que abarca desde la órbita terrestre baja hasta la potencial explotación de recursos en cuerpos celestes, ha generado un escenario de oportunidades económicas sin precedentes, pero también ha exacerbado riesgos sistémicos y dilemas éticos que el marco regulatorio internacional vigente no logra contener de manera efectiva. Mediante un diseño documental, comparativo y prospectivo, esta investigación contrasta los principios fundacionales del Derecho Espacial Internacional (Tratado del Espacio Exterior de 1967) con las dinámicas de mercado actuales, que se caracterizan por la concentración de capacidades, la congestión orbital y la emergencia de modelos de negocio como la minería de asteroides y la manufactura en microgravedad. Se propone la

traducción de principios éticos, como la transparencia, la equidad intergeneracional y el principio de precaución, en obligaciones verificables y operativas. Los resultados de este análisis indican una brecha crítica entre los ideales normativos y la práctica comercial. Se subraya la urgencia de implementar instrumentos de gobernanza innovadores, tales como tasas progresivas basadas en el riesgo orbital, la creación de un fondo multilateral para la remediación de desechos espaciales y la exigencia de cláusulas contractuales verificables para la transferencia tecnológica y el reparto equitativo de beneficios. La administración responsable del comercio espacial exige una transición desde un modelo de uso libre y no regulado hacia un régimen de gestión de bienes comunes que asegure la viabilidad a largo plazo del entorno espacial para todas las naciones y generaciones futuras.

**Palabras clave:** Gobernanza espacial, Ética interplanetaria, Sostenibilidad orbital, Minería espacial, Reparto de beneficios, Principio de precaución.

## **Introducción**

La humanidad se encuentra en el umbral de una nueva era económica definida por la expansión de las actividades comerciales más allá de la atmósfera terrestre. La economía espacial, que históricamente estuvo dominada por agencias gubernamentales, ha experimentado una transformación radical impulsada por la inversión privada y la innovación tecnológica. Este cambio de paradigma, a menudo denominado New Space, ha democratizado el acceso al espacio, pero simultáneamente ha puesto en tensión los principios de uso pacífico y beneficio para toda la humanidad, consagrados en el Derecho Espacial Internacional.

El comercio espacial ya no se limita a los servicios satelitales tradicionales (comunicaciones, navegación y observación terrestre). Hoy, abarca una cadena de valor compleja que incluye el turismo suborbital, la logística orbital, la manufactura en microgravedad y, de manera prospectiva, la minería de recursos espaciales en la Luna y asteroides. Esta expansión hacia el ámbito interplanetario plantea interrogantes fundamentales sobre la administración responsable de estos

nuevos territorios y recursos. ¿Cómo se garantiza que la explotación comercial no comprometa la sostenibilidad del entorno espacial? ¿Qué mecanismos éticos y legales deben regir la apropiación y el uso de recursos que son considerados patrimonio de la humanidad?

El presente documento se estructura como una reflexión profunda sobre estos desafíos. Su propósito central es integrar los conceptos de desarrollo sostenible y gobernanza ética en un marco operativo que pueda guiar a los actores públicos y privados en la nueva economía interplanetaria. Se argumenta que la mera adhesión a principios voluntarios es insuficiente; se requiere un sistema de obligaciones verificables que internalice los costos sociales y ambientales de la actividad espacial.

El análisis se centra en la necesidad de pasar de la retórica de la exploración a la realidad de la explotación, y cómo esta última debe ser administrada bajo un prisma de responsabilidad global. La redacción se mantiene en tercera persona, adoptando un tono académico y formal, como corresponde a un estudio de esta envergadura.

## **Metodología**

## **Enfoque de Investigación**

La investigación adopta un diseño mixto, con un predominio del enfoque documental, comparativo y prospectivo.

**Documental:** Se basa en la revisión y el análisis crítico de la literatura académica, informes institucionales y documentos normativos.

**Comparativo:** Se contrastan los marcos regulatorios nacionales emergentes (ej. leyes espaciales de EE. UU. y Luxemburgo) con el corpus del Derecho Espacial Internacional.

**Prospectivo:** Se analizan las implicaciones éticas y de sostenibilidad de tecnologías y modelos de negocio que se encuentran en fase de desarrollo (ej. minería de asteroides, colonización lunar).

## **Fuentes de Información**

La base empírica y conceptual del estudio se fundamenta en una revisión sistematizada de fuentes primarias y secundarias, priorizando aquellas con autoridad técnica y normativa:

Fuentes Institucionales Clave: Informes y directrices de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (Affairs., 2025) , la Agencia Espacial Europea (Agency, 2025), la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, 2021), y el Comité Inter-Agencias de Coordinación de Desechos Espaciales (IADC, 2023) .

Literatura Indexada: Artículos de revistas académicas especializadas en Derecho Espacial, Ética, Sostenibilidad y Economía.

Documentos Normativos: Los cinco tratados fundamentales del Derecho Espacial (Tratado del Espacio Exterior, Acuerdo sobre el Salvamento, Convenio sobre la Responsabilidad, Convenio sobre el Registro y el Acuerdo de la Luna).

## **Criterios de Análisis y Redacción**

El análisis se guía por el objetivo de traducir

principios éticos en obligaciones operativas. Se utiliza una matriz de análisis para evaluar cada actividad comercial espacial (ej. lanzamiento, operación de constelaciones, minería) en función de cuatro criterios éticos fundamentales:

Transparencia: ¿Existe un requisito de divulgación pública de metadatos operativos y planes de fin de vida?

Rendición de Cuentas: ¿Es clara la atribución de responsabilidad por daños o incumplimiento de mitigación de desechos?

Equidad Intergeneracional: ¿La actividad compromete el acceso al espacio para las generaciones futuras?

Principio de Precaución: ¿Se exige la demostración de la seguridad y sostenibilidad de una nueva tecnología antes de su despliegue a gran escala?

La redacción se realiza íntegramente en tercera persona, manteniendo un estilo formal y académico, con el objetivo de generar un documento de aproximadamente 30 páginas. Todas las afirmaciones fácticas y conceptuales se sustentan con citas bibliográficas en formato numérico y se detallan en la sección de Referencias.

### **Justificación**

El acelerado crecimiento del comercio espacial, impulsado por la inversión privada y la expansión de actividades comerciales fuera de la órbita terrestre, demanda un análisis riguroso desde la perspectiva ética y de sostenibilidad. Aunque la economía interplanetaria representa una oportunidad para generar innovación, empleo y nuevas cadenas de valor, también plantea riesgos sistémicos asociados con la congestión orbital, la explotación de recursos extraterrestres y los vacíos regulatorios que podrían favorecer intereses particulares por encima del beneficio colectivo.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de anticipar modelos de administración responsable antes de que la comercialización espacial alcance un punto de irreversibilidad. Desde el campo del Comercio Exterior, comprender y proponer lineamientos éticos y sostenibles permitirá asegurar una participación equitativa de todos los países — incluyendo aquellos en desarrollo— en la nueva economía interplanetaria. Asimismo, este trabajo contribuye al desarrollo académico al integrar principios de gobernanza global, responsabilidad social y sostenibilidad en un dominio emergente que transformará las relaciones económicas internacionales en las próximas décadas.

Desarrollo: Fundamentos de la Administración  
Responsable del Comercio Espacial

### **La Nueva Economía Interplanetaria: Escenario y Desafíos**

La economía espacial ha trascendido su carácter de sector auxiliar para convertirse en un motor de crecimiento global, con proyecciones que sitúan su valor en billones de dólares en las próximas décadas. Esta transformación se debe, en gran medida, a la reducción drástica de los costos de lanzamiento y a la miniaturización de la tecnología satelital, lo que ha permitido la proliferación de actores privados y la

masificación de las operaciones en órbita terrestre baja.

### **Dinámica de mercado y concentración de capacidades**

El mercado espacial se caracteriza actualmente por una marcada concentración de capacidades en unas pocas corporaciones transnacionales. El auge de las megaconstelaciones de satélites, como Starlink y OneWeb, ejemplifica esta dinámica. Estas constelaciones, compuestas por miles de satélites, ofrecen servicios de conectividad global, pero al mismo tiempo monopolizan el acceso a ciertas órbitas y frecuencias de radiofrecuencia.

Esta concentración genera economías de escala y efectos de red que dificultan la entrada de nuevos competidores, especialmente de países en desarrollo. La integración vertical, donde una misma empresa diseña, fabrica, lanza y opera sus propios satélites, refuerza su posición dominante y les permite establecer, de facto, los estándares técnicos y operativos de la industria.

<b>Actor Dominante</b>	<b>Actividad Principal</b>	<b>Implicación en la Gobernanza</b>
SpaceX (Starlink)	Mega-constelaciones LEO	Congestión orbital, gestión de desechos, uso de frecuencias.
Blue Origin	Turismo espacial, logística pesada	Desarrollo de infraestructura lunar (Blue Moon), minería prospectiva.
Axiom Space	Estaciones espaciales comerciales	Privatización de la infraestructura orbital, estándares de seguridad.
Países con capacidad de lanzamiento	Acceso al espacio	Responsabilidad estatal por daños (Tratado de Responsabilidad).

La administración responsable debe abordar cómo esta concentración de poder económico y tecnológico se alinea con el principio del beneficio para toda la humanidad (Treaty, 1967). La pregunta clave es si la innovación privada está sirviendo a un interés global o si está creando una nueva forma de exclusión y dependencia tecnológica.

Modelos de negocio emergentes: Minería de asteroides, turismo espacial y manufactura en microgravedad

La nueva economía espacial se proyecta hacia el ámbito interplanetario, con tres modelos de negocio que redefinen el comercio:

Minería de Recursos Espaciales (Johnson, 2023): La extracción de agua helada de la Luna o de metales del grupo del platino de los asteroides es vista como el próximo gran salto económico. El agua lunar es crucial para el soporte vital y la producción de propelente en el espacio, lo que reduce la dependencia de los lanzamientos terrestres. Sin embargo, la

MRS choca directamente con el Artículo II del Tratado del Espacio Exterior, que prohíbe la apropiación nacional por reivindicación de soberanía. La administración responsable debe definir un régimen de uso de recursos que sea ético y legalmente sólido, evitando una “fiebre del oro” espacial.

Turismo Espacial: Empresas como Virgin Galactic y Blue Origin ofrecen vuelos suborbitales y orbitales. Si bien esto representa un hito tecnológico, plantea serios dilemas éticos sobre el acceso equitativo y la seguridad. La administración debe garantizar que los estándares de seguridad no se relajen en favor de la rentabilidad y que el turismo no se convierta en una fuente desproporcionada de contaminación atmosférica y orbital.

Manufactura en Microgravedad: La producción de fibra óptica de alta pureza, semiconductores o productos farmacéuticos en el entorno de microgravedad ofrece ventajas únicas. Este modelo requiere una administración que regule la trazabilidad de los productos, la propiedad intelectual generada en el espacio y los protocolos de bioética en el caso de experimentación biológica.

El rol de los actores estatales y privados: La privatización de la exploración y el vacío regulatorio

La privatización de la exploración, con la NASA y la

ESA contratando servicios de transporte y logística a empresas privadas, ha trasladado la carga de la innovación, pero no la responsabilidad final. El Tratado del Espacio Exterior establece que los Estados son internacionalmente responsables de las actividades espaciales nacionales, ya sean realizadas por organismos gubernamentales o por entidades no gubernamentales.

“Los Estados Partes en el Tratado tendrán la responsabilidad internacional de las actividades nacionales que realicen en el espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, ya sean dichas actividades llevadas a cabo por organismos gubernamentales o por entidades no gubernamentales, y de asegurar que las actividades nacionales se realicen de conformidad con las disposiciones del presente Tratado.”

Este principio crea un vacío regulatorio en la práctica, ya que muchos Estados carecen de leyes nacionales de licenciamiento que traduzcan esta responsabilidad internacional en obligaciones operativas claras para sus empresas. La administración responsable exige que los Estados cumplan con su deber de supervisión y autorización, cerrando esta brecha regulatoria antes de que la actividad comercial interplanetaria se vuelva incontrolable.

## **Gobernanza Ética: Principios y Marcos Normativos**

La gobernanza ética del comercio espacial se fundamenta en la aplicación de principios morales y legales que buscan equilibrar el progreso tecnológico y el beneficio económico con la preservación del entorno espacial y la justicia global.

Principios fundamentales: Transparencia, rendición de cuentas, equidad intergeneracional y el principio de precaución

La administración responsable se articula sobre cuatro pilares éticos que deben ser el núcleo de cualquier marco regulatorio futuro:

Transparencia: La obligación de divulgar información relevante sobre las operaciones espaciales. Esto incluye la publicación de metadatos precisos (trayectoria, composición, estado operativo) y los planes detallados de fin de vida de los satélites.

La opacidad actual en el registro de objetos espaciales dificulta la gestión del tráfico y la mitigación de riesgos.

Rendición de Cuentas (Nations, 1972): La claridad en

la atribución de responsabilidad por cualquier daño causado.

El Convenio sobre la Responsabilidad de 1972 establece la responsabilidad absoluta del Estado de lanzamiento por los daños causados en la superficie de la Tierra o a aeronaves en vuelo. Sin embargo, la responsabilidad por daños causados en el espacio (ej. colisiones) es más compleja y requiere mecanismos de arbitraje y compensación más robustos.

Equidad Intergeneracional: El compromiso de no comprometer la capacidad de las generaciones futuras para utilizar el espacio. Esto implica la gestión activa de los desechos espaciales y la preservación de las órbitas más valiosas (ej. LEO y GEO) como recursos finitos.

La administración actual está fallando en este principio al permitir la acumulación exponencial de basura espacial.

Principio de Precaución: Ante la incertidumbre científica sobre los efectos a largo plazo de ciertas actividades (ej. inyección de partículas en la atmósfera superior, minería de cuerpos celestes), se debe exigir la demostración de la inocuidad antes del despliegue a gran escala. Este principio es crucial para la Protección Planetaria y la prevención de la contaminación biológica.

El Derecho Espacial Internacional: Análisis del Tratado del Espacio Exterior de 1967 y el Acuerdo de la Luna

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 (Nations, United Nations Office for Outer Space Affairs, 1967) de 1967, es la Magna Carta del derecho espacial. Sus principios clave son:

No Apropiación (Artículo II): El espacio ultraterrestre no podrá ser objeto de apropiación nacional.

Libertad de Exploración y Uso (Artículo I): El espacio está libre para la exploración y utilización por todos los Estados.

Beneficio para toda la Humanidad (Artículo I): La exploración y utilización se harán en provecho e interés de todos los países.

El Acuerdo que rige las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes (Nations, United Nations Office for Outer Space Affairs, 1979) de 1979, intentó avanzar en la gobernanza al declarar que la Luna y sus recursos son patrimonio común de la humanidad (Artículo 11). Sin embargo, debido a la falta de ratificación por parte de las

principales potencias espaciales (EE. UU., Rusia, China), este tratado permanece en gran medida inoperante, creando una ambigüedad legal sobre la minería espacial.

Tratado	Principio Clave	Reto en la Economía Interplanetaria
OST (1967)	No Apropiación (Art. II)	¿La extracción y posesión de recursos espaciales constituye una apropiación <i>de facto</i> ?
OST (1967)	Responsabilidad Estatal (Art. VI)	¿Cómo se supervisa y licencia a miles de empresas privadas de diferentes jurisdicciones?
Acuerdo de la Luna (1979)	Patrimonio Común (Art. 11)	Inoperatividad por falta de ratificación, dejando un vacío legal sobre el reparto de beneficios.

Retos de la gobernanza en la ausencia de soberanía:

La necesidad de un régimen de propiedad y uso de recursos espaciales

La ausencia de soberanía en el espacio ultraterrestre es el mayor desafío para la administración responsable. Las leyes nacionales, como la Commercial Space Launch Competitiveness Act de EE. UU. (Congress, 2015), que otorga a sus ciudadanos el derecho a poseer y vender recursos espaciales extraídos, han generado controversia internacional. Estas leyes son interpretadas por algunos como una violación del principio de no apropiación del OST.

La solución no reside en la soberanía, sino en la creación de un régimen de uso de recursos similar al derecho marítimo internacional o al régimen de la Antártida. Este

régimen debería:

Establecer un sistema de licencias internacionales para la extracción, garantizando la seguridad y la sostenibilidad.

Definir un mecanismo de reparto de beneficios que asegure que una parte de la riqueza generada se destine a un fondo global para el desarrollo sostenible en la Tierra, cumpliendo con el espíritu del “beneficio para toda la humanidad”.

Implementar zonas de exclusión o protección en cuerpos celestes con valor científico o cultural, aplicando el principio de precaución.

### **Sostenibilidad en el Entorno Espacial y Terrestre**

La sostenibilidad en el comercio espacial debe considerarse en dos dimensiones interconectadas: la sostenibilidad orbital (el entorno inmediato de la Tierra) y la sostenibilidad interplanetaria (la protección de otros cuerpos celestes y la huella terrestre de la actividad espacial).

Sostenibilidad Orbital: Gestión de desechos espaciales, el síndrome de Kessler y la mitigación de riesgos colisionales

La órbita terrestre baja ((IAF), 2024) se está convirtiendo en un vertedero de desechos espaciales. Más de 30.000 fragmentos de más de 10 cm son rastreados, y millones de fragmentos más pequeños representan un riesgo significativo. El Síndrome de Kessler —un escenario teórico donde la densidad de objetos en LEO es tan alta que una colisión desencadena una cascada de impactos, haciendo ciertas órbitas inutilizables es la amenaza más grave para la equidad intergeneracional.

- La administración responsable exige la adopción universal y vinculante de las directrices de mitigación de desechos espaciales del IADC, que incluyen:
- Limitación de la generación de nuevos desechos durante las operaciones.
- Retiro de la órbita de los satélites al final de su misión (idealmente en 5 años, no más de 25 años).
- Diseño para el desmantelamiento o la desintegración controlada.

**Marco técnico para diseño y seguridad (Planes de fin de vida)**

La clave para la sostenibilidad orbital es la verificación de los Planes de Fin de Vida (Federation, 2024). Un PFV debe ser un documento técnico auditable que cuantifique la probabilidad de éxito de la maniobra de desorbitación.

Elemento del Plan de Fin de Vida (PFV)	Requisito de Administración Responsable
Probabilidad de Falla	Debe ser inferior al 0.001 (1 en 1000) para la reentrada no controlada.
Combustible de Reserva	Obligación de llevar combustible suficiente para al menos dos maniobras de desorbitación.
Metadatos de Reentrada	Publicación de la masa, composición y área de impacto potencial para la mitigación de riesgos terrestres.

### **Protección Planetaria: Prevención de la contaminación biológica (adelante y atrás) en misiones interplanetarias**

La Protección Planetaria es un principio ético y científico que busca prevenir la contaminación biológica de los cuerpos celestes (contaminación “adelante”) y la contaminación de la Tierra con material extraterrestre (contaminación “atrás”). Esta práctica es administrada por el Comité de Investigación Espacial (COSPAR) y es fundamental para la integridad de la investigación científica y la bioseguridad terrestre ((COSPAR), 2025)

La comercialización interplanetaria, especialmente la

minería y el turismo, aumenta exponencialmente el riesgo de contaminación. Una administración responsable debe imponer protocolos de esterilización rigurosos y verificables:

**Contaminación Adelante:** Los módulos de aterrizaje y los equipos de minería deben cumplir con los estándares de limpieza biológica de COSPAR (Categoría IV para misiones a Marte).

**Contaminación Atrás:** Las misiones de retorno de muestras (ej. de asteroides o Marte) deben incluir una fase de cuarentena y protocolos de contención biológica de nivel 4 (BSL-4) para proteger la biosfera terrestre.

### **Evaluaciones sanitarias y bioéticas en el contexto interplanetario.**

La bioética se extiende al espacio al considerar la posible existencia de vida extraterrestre y la responsabilidad de la humanidad de no destruirla o contaminarla. La administración responsable exige que toda misión interplanetaria comercial incluya una Evaluación de Impacto Bioético que vaya más allá de la mera esterilización, considerando el valor intrínseco de los entornos celestes.

### **Huella ambiental terrestre de la industria espacial: Consumo de recursos y emisiones de lanzamientos**

La sostenibilidad del comercio espacial no es solo un problema orbital; también tiene una huella terrestre significativa. La frecuencia creciente de lanzamientos (impulsada por las mega-constelaciones) genera emisiones de gases de efecto invernadero y deposita partículas en la estratosfera, con efectos aún no completamente comprendidos sobre la capa de ozono y el clima.

La administración responsable debe integrar la industria espacial en los marcos de sostenibilidad terrestre, exigiendo:

Transición a Propelentes Verdes: Fomentar el uso de combustibles menos contaminantes (ej. metano líquido, peróxido de hidrógeno) en lugar de hidracina o propelentes sólidos.

Análisis del Ciclo de Vida (ACV): Obligar a las empresas a realizar un ACV completo de sus satélites y vehículos de lanzamiento, desde la extracción de materias primas hasta la reentrada o el desmantelamiento.

Compensación de Carbono: Implementar un sistema de tasas o impuestos sobre las emisiones de lanzamiento para financiar proyectos de mitigación climática en la Tierra.

### **Mecanismos de Administración Responsable y**

## **Verificación**

La transición de principios éticos a la práctica operativa requiere mecanismos de gobernanza que sean coercitivos, transparentes y globalmente equitativos.

Instrumentos económicos: Propuesta de tasas progresivas por riesgo orbital y la creación de un fondo multilateral de sostenibilidad

Para internalizar las externalidades negativas (desechos, congestión) y financiar la remediación, se propone la implementación de instrumentos económicos basados en el riesgo:

Tasas Progresivas por Riesgo Orbital: Un gravamen anual sobre los operadores de satélites, calculado en función de variables que miden el riesgo que su objeto impone al entorno espacial:

**Masa y Tamaño: Mayor masa implica mayor riesgo de generar desechos peligrosos.**

Altitud y Densidad Orbital: Las órbitas más congestionadas (ej. 700-1000 km) deben tener tasas más altas.

Probabilidad de Falla del PFV: Una tasa más alta para

aquellos satélites con un PFV menos robusto o con un historial de fallas.

Fondo Multilateral de Sostenibilidad Orbital (FMSO): Los ingresos generados por estas tasas se canalizarían a un fondo administrado por una entidad internacional (ej. UNOOSA o una nueva autoridad) con dos propósitos principales:

Financiamiento de la Remediación: Invertir en tecnologías de remoción activa de desechos espaciales (ADR).

Apoyo a Países en Desarrollo: Subsidiar el acceso a datos espaciales y la capacitación tecnológica para naciones con baja capacidad espacial.

Transferencia tecnológica y equidad en el reparto de beneficios: Cláusulas contractuales verificables y participación global

El principio del “beneficio para toda la humanidad” exige que la riqueza y el conocimiento generados por el comercio espacial no se concentren exclusivamente en las naciones con capacidad de lanzamiento. La transferencia tecnológica es el mecanismo clave para garantizar la equidad.

La administración responsable debe exigir que los

contratos de licenciamiento y las asociaciones público-privadas incluyan cláusulas de transferencia tecnológica verificables:

Hitos de Formación Certificada: Obligación de capacitar a personal de países en desarrollo en el manejo de la tecnología (ej. horas de formación, número de ingenieros certificados).

Licenciamiento de Propiedad Intelectual (PI): Acuerdos para licenciar PI crítica a bajo costo o de forma gratuita a entidades de países en desarrollo para aplicaciones terrestres.

Inversión Local: Requisito de invertir un porcentaje de las ganancias generadas en proyectos de desarrollo sostenible en la Tierra.

Requisitos de trazabilidad y metadatos para la transparencia operativa

La transparencia es la base de la rendición de cuentas. Se requiere un estándar global de metadatos que vaya más allá de la información básica de registro.

Auditoría y verificación de cumplimiento:  
Mecanismos tripartitos (documentación, auditoría independiente y validación cruzada)

La verificación del cumplimiento no puede dejarse a la autodeclaración de los operadores. Se propone un esquema de verificación tripartito para asegurar la integridad de la administración:

Documentación Pública: El operador deposita públicamente todos los metadatos y el PFV con sello temporal.

Auditoría Técnica Independiente: Una entidad certificada (ej. una organización internacional de estandarización) realiza una auditoría *in situ* o de diseño para validar la viabilidad técnica del PFV y la precisión de los metadatos.

Validación Cruzada (Cross-Validation): Utilización de datos de seguimiento de terceros (ej. redes de telescopios, otros operadores) para verificar el comportamiento real del satélite en órbita (ej. si realiza las maniobras de mitigación prometidas).

Este sistema de verificación crea un marco de gobernanza operativa que traduce los principios éticos en métricas de desempeño medibles y exigibles.

## **Resultados y Discusión**

### **La brecha entre principios y obligaciones verificables**

El análisis revela que el principal obstáculo para la administración responsable del comercio espacial es la brecha entre los principios éticos y las obligaciones verificables. El Derecho Espacial Internacional es rico en principios nobles (“beneficio para toda la humanidad”, “no apropiación”), pero carece de mecanismos de aplicación y sanción concretos para la actividad comercial moderna.

### **La privatización ha expuesto la debilidad del sistema:**

\* Principios Éticos: El principio de Equidad Intergeneracional es violado por la acumulación de desechos espaciales.

\* Obligación Verificable Faltante: No existe una sanción económica o legal universalmente aceptada por no desorbitar un satélite a tiempo.

**La tabla a continuación ilustra esta desconexión:**

Principio Ético (OST)	Actividad Comercial	Consecuencia No Administrada	Obligación Verificable Propuesta
Beneficio para toda la Humanidad	Minería de Recursos Espaciales	Concentración de riqueza y tecnología.	Régimen de licencias con reparto de beneficios.
No Contaminación Perjudicial	Mega-constelaciones LEO	Congestión orbital y riesgo de Síndrome de Kessler.	Tasas progresivas por riesgo orbital y PFV auditado.
Responsabilidad Estatal	Turismo Espacial	Estándares de seguridad laxos y contaminación atmosférica.	Certificación de ACV y seguro de responsabilidad civil obligatorio.

## **La urgencia de la acción regulatoria ante la congestión y el riesgo sistémico**

La inacción regulatoria está llevando al espacio a un punto de inflexión. La congestión en LEO no es un problema futuro; es una crisis actual. El riesgo de una colisión catastrófica aumenta exponencialmente con cada nuevo lanzamiento de mega-constelación.

“La capacidad de las órbitas terrestres bajas es un recurso finito. La administración irresponsable de este recurso no solo compromete la viabilidad de futuras misiones, sino que amenaza los servicios esenciales (GPS, meteorología, comunicaciones) de los que depende la economía global terrestre.”

La administración responsable debe actuar con urgencia, adoptando un enfoque de regulación dinámica que se adapte a la velocidad de la innovación tecnológica.

Esto implica la creación de una Autoridad de Tráfico Espacial Global (GSTA) con poder para imponer multas, revocar licencias y coordinar la remoción de desechos.

### **Implicaciones para el comercio exterior y la cooperación internacional**

La falta de un marco de administración responsable tiene implicaciones directas para el comercio exterior. Los países que no tienen capacidad de lanzamiento se enfrentan a una doble amenaza:

Dependencia Tecnológica: Se ven obligados a comprar servicios espaciales a precios dictados por los monopolios de las mega-constelaciones.

Exclusión del Reparto de Beneficios: Quedan fuera de la cadena de valor de la minería espacial y la manufactura en microgravedad.

La cooperación internacional es la única vía para resolver estos desafíos. La administración responsable del comercio espacial debe ser un tema central en la agenda de la ONU, exigiendo que los Estados con capacidad espacial dejen

de lado los intereses nacionales a corto plazo en favor de la sostenibilidad global a largo plazo.

### **Conclusiones**

La administración responsable del comercio espacial es el imperativo ético y operativo de la nueva economía interplanetaria. El modelo actual, basado en un Derecho Espacial Internacional obsoleto y la autorregulación voluntaria, es insostenible y peligroso.

### **Los hallazgos clave de este estudio son:**

**La Brecha Normativa:** Existe una desconexión crítica entre los principios del OST y las obligaciones verificables necesarias para gestionar la actividad comercial moderna.

**El Riesgo Sistémico:** La concentración de capacidades y la congestión orbital amenazan con desencadenar el Síndrome de Kessler, comprometiendo la equidad intergeneracional.

La Solución Operativa: La administración responsable requiere la implementación de instrumentos económicos (tasas progresivas, FMSO) y mecanismos de verificación tripartitos (documentación, auditoría, validación cruzada) para internalizar los costos y garantizar la transparencia.

El Imperativo Ético: El principio del “beneficio para toda la humanidad” debe traducirse en cláusulas contractuales obligatorias para la transferencia tecnológica y el reparto de beneficios de la explotación de recursos espaciales.



**CAPITULO XVIII: El sistema autónomo  
que une ética, inteligencia artificial y comercio  
exterior en el espacio para un futuro justo**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Bárbara de Lourdes Sambonino García

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Xiomara Álvarez Ruiz  
Pamela Córdor Baquerizo  
Adrián Criollo Álvarez  
Norma Tisalema Ayala  
Danny Yaguana PARRALES

## **Resumen**

La presente investigación aborda el desarrollo de un sistema autónomo que integra la ética, la inteligencia artificial y el comercio exterior en un entorno espacial, con el objetivo central de promover un futuro más justo, transparente y equilibrado para todas las naciones. El estudio busca analizar cómo estos sistemas pueden orientar decisiones responsables en las actividades comerciales realizadas fuera del planeta, resaltando la importancia de la equidad, la sostenibilidad y el uso adecuado de los recursos espaciales disponibles. La metodología aplicada se basa en un enfoque cualitativo, sustentado en la revisión de normativas internacionales, acuerdos vigentes y propuestas tecnológicas actuales que regulan o influyen en el comportamiento de la inteligencia artificial en contextos espaciales. Los resultados revelan que la integración de principios éticos fortalece significativamente la transparencia, disminuye las prácticas injustas y fomenta un comercio confiable. En conclusión, esta propuesta constituye una alternativa viable para regular responsablemente el comercio espacial.

**Palabras clave:** Ética, inteligencia artificial, comercio internacional, recursos espaciales, gobernanza

## **Introducción**

La Inteligencia Artificial (IA) está transformando el comercio internacional, prometiendo hacerlo más eficiente y productivo (Organización Mundial del Comercio, s.f.). Sin embargo, esta transformación plantea desafíos éticos y regulatorios significativos, especialmente en el contexto del comercio espacial. Los tratados internacionales actuales promueven la cooperación y el beneficio común, pero existe un vacío regulatorio en cuanto al comercio de recursos extraterrestres. Este vacío genera incertidumbre sobre quién regula las transacciones y cómo asegurar que las ganancias se compartan equitativamente (Castaño, 2020).

El comercio espacial representa una frontera inexplorada con un enorme potencial económico, pero también conlleva riesgos significativos. La extracción de minerales de asteroides, la explotación de recursos hídricos en la Luna y la posible construcción de infraestructuras orbitales podrían generar beneficios sustanciales, pero también podrían exacerbar desigualdades y conflictos si no se gestionan de manera ética y responsable. Es fundamental evitar la repetición de patrones históricos de explotación y garantizar que los beneficios del comercio espacial se distribuyan de manera justa y equitativa (UNESCO, s.f.).

En este contexto, se vuelve imperativo diseñar sistemas autónomos de comercio que integren principios éticos sólidos. Este estudio examina cómo un sistema autónomo ético podría guiar las decisiones comerciales extraterrestres, evitando la repetición de desigualdades y protegiendo el interés público en un entorno espacial aún no regulado. El objetivo es alinear la IA comercial espacial con los valores de justicia y cooperación, garantizando un futuro equitativo para toda la humanidad (Comisión Europea, 2020).

## **Metodología**

### **Diseño de investigación**

Esta investigación emplea un enfoque cualitativo y descriptivo, basado en la revisión documental de fuentes primarias y secundarias relevantes. Se priorizan artículos que emplean y consideran contextos político-económicos en los que se insertan las investigaciones. La metodología se justifica en su capacidad para proporcionar una visión integral y contextualizada del problema, permitiendo analizar las implicaciones éticas y regulatorias del comercio espacial.

La revisión documental se centra en fuentes primarias como tratados internacionales, informes de organismos multilaterales y documentos legales, así como en fuentes secundarias como artículos académicos, estudios técnicos y análisis de expertos. Se busca identificar los principios éticos y las normas regulatorias que podrían aplicarse al comercio espacial, así como los desafíos y las oportunidades que presenta este nuevo campo de actividad económica.

La metodología se justifica en la necesidad de comprender multidimensionalmente un problema emergente; la revisión sistemática de marcos normativos y propuestas tecnológicas permite identificar principios orientadores y desafíos prácticos. Se diseñó una propuesta conceptual de sistema autónomo que se contrastará con los hallazgos teóricos, siguiendo criterios de rigor crítico y contextualización adecuada.

## **Desarrollo**

El sistema autónomo propuesto se compone de cinco módulos interconectados que trabajan en conjunto para garantizar un comercio espacial ético y responsable.

### **Recolección de datos espaciales:**

Este módulo utiliza una variedad de sensores satelitales, estaciones terrestres, bases de datos públicas y privadas, y otras fuentes de información para recopilar datos comerciales (precios, demandas, inventarios, costos de transporte) y ambientales del espacio orbital (condiciones climáticas, niveles de radiación, disponibilidad de recursos naturales). La precisión y la fiabilidad de los datos son fundamentales para garantizar la eficacia y la equidad del sistema.

Por lo tanto, se emplean técnicas avanzadas de procesamiento y validación de datos, como la detección de anomalías (Gupta et al., 2021), la imputación de valores faltantes y la corrección de errores sistemáticos, para minimizar los errores y los sesgos. Además, se implementan rigurosas medidas de seguridad cibernética, basadas en estándares internacionales como ISO 27001, para proteger la confidencialidad y la integridad de la información contra accesos no autorizados y ataques maliciosos. La infraestructura de recolección de datos se diseña con redundancia y resiliencia para asegurar la continuidad de las operaciones en condiciones extremas del espacio (Lewis, 2023).

## **Módulo de ética y gobernanza:**

Este módulo actúa como el "cerebro ético" del sistema autónomo. Alberga un conjunto exhaustivo de pautas éticas internacionales (normas de la ONU, principios de la UE/OCDE sobre IA ética), leyes y regulaciones espaciales (Tratado del Espacio Exterior de 1967, acuerdos de la ONU sobre responsabilidad por daños causados por objetos espaciales), valores sociales relevantes para el comercio espacial (justicia, equidad, sostenibilidad, responsabilidad social) y mejores prácticas de la industria (Comisión Europea, 2020).

Se encarga de validar que todas las operaciones comerciales propuestas cumplan con los criterios de transparencia (divulgación de información relevante), equidad (distribución justa de beneficios y riesgos), sostenibilidad (protección del medio ambiente espacial y uso responsable de los recursos) y responsabilidad social (consideración del impacto en las comunidades humanas).

Para ello, se utilizan algoritmos avanzados de razonamiento ético y herramientas de análisis de impacto social y ambiental (Greene, 2020). Además, se cuenta con la

participación de un comité asesor compuesto por expertos en ética, derecho espacial, políticas públicas, economía y sociología, que revisan y actualizan periódicamente las pautas éticas y los criterios de validación. Este comité también se encarga de resolver dilemas éticos complejos y de mediar en conflictos de intereses entre los diferentes actores involucrados en el comercio espacial.

### **Motor de IA:**

Este módulo es el "corazón operativo" del sistema autónomo (Copeland, 2022). Emplea algoritmos de inteligencia artificial de última generación, incluyendo el aprendizaje automático supervisado y no supervisado, el procesamiento del lenguaje natural, la visión por computadora y la optimización matemática, para procesar los datos recopilados por el módulo de recolección de datos espaciales y generar propuestas de transacciones comerciales optimizadas.

### **Comercio exterior en el espacio**

El comercio espacial es un dominio incipiente. Los recursos extraterrestres (minerales de asteroides, aguas congeladas en la Luna, etc.) están hoy mayormente sin

explotar, pero futuras iniciativas podrían abrir mercados interplanetarios. Aunque los tratados existentes.

Tratado del Espacio Ultraterrestre, 1967; establecen el espacio como patrimonio común de la humanidad y restringen la apropiación nacional, no abordan explícitamente el comercio de recursos. Este vacío deja incertidumbres: ¿qué entidad regula las transacciones espaciales? ¿Cómo asegurar que las ganancias sean compartidas equitativamente?

El marco teórico de esta investigación reconoce estos principios generales de uso pacífico y beneficio común en el espacio, pero identifica la necesidad de un nuevo sistema de gobernanza ética y técnica para el comercio espacial.

Inspirados en modelos terrestres, proponemos que dicho sistema garantice la no apropiación injusta, la sostenibilidad ambiental extraterrestre y la participación inclusiva de naciones y actores emergentes. En síntesis, el comercio espacial requiere integrar la IA responsable con normativas de largo plazo para evitar replicar desigualdades geopolíticas actuales en un entorno tan estratégico como el espacio.

## **Propuesta de sistema autónomo para el comercio espacial**

Se propone un sistema autónomo compuesto por cinco módulos interconectados:

Recolección de datos espaciales: sensores satelitales y bases recopilan información comercial (precios, demandas) y ambientales del espacio orbital. Módulo de ética y gobernanza: alberga las pautas éticas internacionales (normas ONU, principios de UE/OCDE) y valida que las operaciones cumplan criterios de transparencia, equidad y sostenibilidad.

Motor de IA: emplea algoritmos avanzados para procesar datos y generar propuestas de transacciones (compra, transporte de recursos) optimizadas según métricas económicas y éticas. Supervisión humana reguladora: un organismo internacional independiente revisa las decisiones de la IA y las aprueba o ajusta para garantizar cumplimiento legal y valores sociales.

Ejecución de operaciones: los contratos inteligentes espaciales se activan con validación final, y las transacciones se registran en una blockchain espacial para auditoría pública

y seguimiento. Cada ciclo incluye un bucle de retroalimentación, donde resultados e incidentes alimentan un componente de aprendizaje automático y refinamiento de las normas éticas. En conjunto, esta arquitectura autónoma combina innovación tecnológica con un “pilar ético” permanente, inspirada en la sugerencia de crear agencias de supervisión independientes que operan de forma autónoma.

### **Desarrollo y funcionamiento**

Esta secuencia asegura que la inteligencia artificial no actúe en aislamiento, sino bajo constante supervisión ética y humana. De esta forma, el agente autónomo espacial adquiere una doble lógica: busca la eficiencia comercial, pero siempre mediada por valores pre programados de justicia y transparencia. La dependencia de datos actualizados y la inclusión de supervisión humana, mitigan riesgos.

### **El sistema operaría en los siguientes pasos críticos:**

<b>Paso</b>	<b>Descripción</b>
<b>1. Recolección de datos</b>	Sensores y satélites recopilan información comercial y ambiental del espacio (inventarios, demanda, precios, condiciones orbitales).
<b>2. Capa ética</b>	Se integran principios de equidad, transparencia y sostenibilidad en el diseño del sistema de IA, basados en estándares de la ONU, UE, OCDE, etc.
<b>3. Procesamiento IA</b>	El algoritmo de IA analiza los datos recopilados y propone operaciones comerciales (ofertas, contratos inteligentes) optimizadas bajo criterios éticos.
<b>4. Supervisión humana</b>	Un comité ético internacional revisa las propuestas de la IA, garantizando el cumplimiento de las normas legales y valores sociales antes de su ejecución.
<b>5. Ejecución comercial</b>	Se implementan las transacciones espaciales (transferencias de recursos, contratos), registrándose en <b>ledgers</b> públicos con monitoreo de impacto medioambiental y social.
<b>6. Retroalimentación</b>	Resultados e incidentes se documentan; el sistema ajusta sus modelos y actualiza las pautas éticas mediante aprendizaje automático y revisiones periódicas.

Cada ciclo incluye un bucle de retroalimentación, donde resultados e incidentes alimentan un componente de aprendizaje automático y refinamiento de las normas éticas.

Entre los aspectos más destacados se encuentra la implementación de un sistema autónomo que integra principios éticos con inteligencia artificial aplicada al comercio exterior en el ámbito espacial, con el propósito de asegurar decisiones

justas, transparentes y un manejo responsable de los recursos para un futuro más equitativo.

**Reducción de Costos Comerciales:** La IA tiene el potencial para superar barreras logísticas y regulatorias mediante la automatización y optimización de procesos aduaneros y controles fronterizos.

**Impacto en Economías Emergentes:** Al disminuir los costos comerciales, se espera que las economías en desarrollo puedan competir más equitativamente en mercados globales.

**Escenarios Futuros:** En un escenario optimista con adopción universal de IA hasta 2040, se proyecta un crecimiento real del comercio global cercano al 14%. Sin embargo, un escenario más cauteloso prevé solo un aumento del 7%.

**Transformación del Comercio de Servicios:** Se anticipa un crecimiento acumulado cercano al 18% en servicios digitales bajo condiciones favorables para la IA.

No obstante, el informe advierte sobre una posible brecha creciente entre economías debido a desigualdades en

adopción tecnológica. Además, resalta desafíos como gobernanza de datos y derechos de propiedad intelectual relacionados con IA.

La OMC se perfila como un foro crucial para fomentar políticas coherentes a nivel mundial que maximicen los beneficios económicos derivados de esta tecnología mientras se mitigan sus riesgos inherentes.

### El Impacto de la Inteligencia Artificial en el Comercio Exterior

En un mundo cada vez más globalizado, el comercio exterior desempeña un papel fundamental en la economía global. Las naciones dependen de la importación y exportación de bienes y servicios para mantener sus economías en crecimiento y diversificadas.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) está emergiendo como una fuerza transformadora que está revolucionando la forma en que se lleva a cabo el comercio internacional. En este artículo, exploramos el impacto de la inteligencia artificial en el comercio exterior y analizaremos cómo está cambiando la dinámica de este campo crucial.

## **Áreas de oportunidad de la IA La Automatización de Procesos**

Una de las formas más evidentes en que la inteligencia artificial está influyendo en el comercio exterior es a través de la automatización de procesos. La IA permite la automatización de tareas repetitivas y manuales que solían consumir una gran cantidad de tiempo y recursos. En el contexto del comercio exterior, esto se traduce en una mayor eficiencia en la gestión de documentos, en el seguimiento de envíos y en la clasificación de productos.

La automatización de procesos reduce significativamente los errores humanos y acelera los tiempos de respuesta, lo que a su vez disminuye los costos operativos. Las empresas pueden rastrear sus envíos en tiempo real, lo que mejora la visibilidad de la cadena de suministro y reduce la posibilidad de pérdidas o retrasos.

### **La Optimización de la Cadena de Suministro**

La inteligencia artificial también desempeña un papel importante en la optimización de la cadena de suministro. Con algoritmos avanzados y análisis de datos en tiempo real, las

empresas pueden predecir con mayor precisión la demanda de productos y planificar sus envíos en consecuencia. Esto significa que se pueden evitar problemas como el exceso de inventario o la falta de stock, lo que ahorra costos y mejora la satisfacción del cliente.

Además, la IA permite una mayor flexibilidad en la gestión de la cadena de suministro. Las empresas pueden ajustar rápidamente sus rutas de envío y cambiar proveedores en función de las condiciones cambiantes del mercado y las condiciones climáticas. Esto les permite adaptarse a situaciones imprevistas, como huelgas laborales o desastres naturales, de manera más eficiente.

### **La Personalización y la Experiencia del Cliente**

Otro aspecto importante es cómo la inteligencia artificial está mejorando la personalización y la experiencia del cliente en el comercio exterior. Con el análisis de datos avanzado, las empresas pueden comprender mejor las preferencias y necesidades de sus clientes y ofrecer soluciones a medida. Esto se traduce en una mayor satisfacción del cliente y en la posibilidad de ofrecer servicios de valor agregado.

Por ejemplo, las empresas pueden utilizar la IA para proporcionar información detallada sobre el estado de los envíos a los clientes, permitiéndoles realizar un seguimiento preciso y en tiempo real de sus productos. Además, la IA puede ayudar en la gestión de devoluciones y en la resolución rápida de problemas, lo que mejora la experiencia del cliente y fortalece las relaciones comerciales.

### **La Gestión de Riesgos**

El comercio exterior está lleno de riesgos, desde fluctuaciones en los tipos de cambio hasta problemas logísticos imprevistos. La inteligencia artificial está desempeñando un papel crucial en la gestión de estos riesgos. Los algoritmos de IA pueden analizar grandes cantidades de datos en tiempo real y proporcionar alertas tempranas sobre posibles problemas.

Por ejemplo, la IA puede monitorear los tipos de cambio y alertar a las empresas sobre oportunidades para optimizar sus operaciones en función de las fluctuaciones monetarias. También puede prever problemas logísticos, como retrasos en los puertos o problemas con proveedores, permitiendo a las empresas tomar medidas preventivas.

## **La Cumplimiento de Regulaciones**

El comercio exterior está sujeto a una amplia variedad de regulaciones y normativas, tanto nacionales como internacionales. La IA está desempeñando un papel importante en garantizar el cumplimiento de estas regulaciones. Los algoritmos de IA pueden analizar y clasificar automáticamente productos según las normativas y restricciones aplicables, lo que ayuda a evitar problemas legales y retrasos en la aduana.

Además, la IA puede ayudar en la detección de fraudes y en la prevención del contrabando, lo que es fundamental para mantener la integridad de los mercados internacionales. Al automatizar la vigilancia y el cumplimiento de las regulaciones, la IA permite a las empresas operar de manera más eficiente y evitar sanciones costosas.

## **Desafíos y Consideraciones Éticas**

Si bien la inteligencia artificial ofrece numerosos beneficios para el comercio exterior, también plantea desafíos y consideraciones éticas. Uno de los principales desafíos es la seguridad de los datos. Las empresas deben asegurarse de que los datos sensibles relacionados con el comercio internacional

estén protegidos contra posibles brechas de seguridad.

Además, la automatización de procesos con IA puede tener implicaciones en el empleo. Si bien puede mejorar la eficiencia, también puede llevar a la reducción de puestos de trabajo en ciertas áreas. Es importante que las empresas y los gobiernos consideren estrategias para capacitar a los trabajadores y garantizar una transición justa hacia una fuerza laboral más automatizada.

Desde una perspectiva ética, la IA debe utilizarse de manera responsable y transparente. Las decisiones automatizadas que afectan al comercio internacional deben basarse en principios éticos y estar sujetas a supervisión humana.

El impacto de la Inteligencia Artificial en el comercio mundial y el trabajo de las Aduanas

La inteligencia artificial (IA) está transformando rápidamente diversos sectores económicos y sociales, y el comercio mundial no es la excepción. Su aplicación en la optimización de procesos, la mejora de la eficiencia y la reducción de errores revoluciona el modo en que las aduanas y

el comercio internacional operan” (Scarpetta, 2024).

En un reciente curso sobre comercio y fronteras del Instituto Borders in Globalization (BIG), de la Universidad de Victori, en Canadá –del cual el autor de esta nota pudo participar– el vicedirector de la Organización Mundial de Aduanas, Ricardo Trevino, el profesor del MIT, Peter Swartz, entre otros, expusieron sobre las fronteras inteligentes (smart borders), un mundo en pleno desarrollo.

Swartz abordó los sistemas automáticos de clasificación arancelaria, con más del 97% de eficiencia y también la eliminación de la subfacturación (undervaluation) a través de sistemas de IA con 99% de eficacia. Un insignificante número de importaciones quedan para ser controladas en auditorías post-libramiento.

**La IA permite optimizar la cadena de suministro con acciones como:**

Predicción de la Demanda: Analizar grandes volúmenes de datos ayuda a las empresas a ajustar sus niveles de producción y distribución, reduciendo costos y mejorando la satisfacción del cliente.

Gestión de Inventarios: Mediante algoritmos avanzados, las empresas pueden gestionar sus inventarios, minimizando el exceso de stock y evitando desabastecimientos.

Logística Inteligente: La IA ayuda a identificar las rutas de transporte más eficientes, teniendo en cuenta factores como tráfico, condiciones climáticas y costos, lo que reduce tiempos de entrega y costos operativos. El uso de drones y vehículos autónomos ya modifica la entrega de mercancías, haciéndola más rápida y menos dependiente de la intervención humana.

Puertas adentro de las aduanas también hay una revolución con la IA ya que puede automatizar la revisión y el procesamiento de documentos aduaneros, reduciendo el tiempo y el costo asociados con estas tareas y disminuyendo el margen de error humano.

También puede analizar imágenes y datos en tiempo real para identificar riesgos y productos prohibidos, mejorando la eficiencia de las inspecciones aduaneras.

Asimismo, la IA puede identificar patrones de fraude y actividades sospechosas mediante el análisis de grandes volúmenes de datos transaccionales, mejorando la seguridad y el cumplimiento de las regulaciones.

Algoritmos avanzados posibilitan una mejor evaluación y gestión de riesgos, ayudando a las aduanas a concentrar sus recursos en áreas de mayor necesidad y potencial peligro.

La IA es también un fuerte facilitador del comercio, con una simplificación y agilización de los trámites aduaneros, lo cual reduce las barreras para las empresas.

Según los expertos, los cambios en el comercio global de los próximos años serán inevitables:

La IA cambiará los procesos aduaneros con su “superhumana”, así la definieron, velocidad para actuar. Esencialmente el impacto será en la gestión del riesgo previo, por la cantidad de información que puede analizar en minutos y seleccionando envíos de alto y bajo riesgo. Los conflictos geopolíticos aumentaron y modificaron los flujos de comercio creando las categorías de nearshoring, friend sharing, producir

cerca y con aliados estratégicos. También incide fuerte el creciente e-commerce que no tiene techo hoy en el mundo.

Para las Aduanas de la región y especialmente la de Argentina que no superó todavía el proceso de digitalización – aún funciona con papeles– mientras el mundo acepta la tendencia “paperless”, la IA es una gran oportunidad para ponerse cerca de las nuevas tendencias globales y poder facilitar así el comercio legítimo mientras se aumenta la recaudación y se profundiza el control.

### **Resultados**

os resultados de esta investigación indican que la integración de principios éticos en sistemas autónomos de IA aplicados al comercio espacial es viable y necesaria para garantizar un uso equitativo y responsable de los recursos extraterrestres.

La revisión de marcos normativos internacionales demostró que existe un consenso global respecto a la importancia de la transparencia, la supervisión humana, la no discriminación y la sostenibilidad en el desarrollo de tecnologías avanzadas.

La IA puede optimizar significativamente los procesos comerciales, reduciendo costos y promoviendo la eficiencia. Sin embargo, es fundamental que exista una gobernanza coordinada que evite desigualdades entre países con distinto nivel tecnológico.

Por ejemplo, la IA podría utilizarse para identificar los recursos más valiosos en el espacio, pero la supervisión humana es necesaria para asegurar que su explotación no perjudique a las naciones menos desarrolladas.

La combinación de IA, blockchain y auditoría independiente fortalece la transparencia y permite ajustar el sistema conforme evoluciona la actividad comercial espacial. Por ejemplo, la blockchain podría utilizarse para registrar todas las transacciones comerciales en el espacio, permitiendo a cualquier persona verificar su legitimidad y su impacto ambiental. El Impacto de la Inteligencia Artificial en el Comercio Exterior.

### **Conclusiones**

La integración de principios éticos dentro de sistemas autónomos de inteligencia artificial aplicados al comercio espacial es necesaria para garantizar un uso equitativo y

responsable de los recursos extraterrestres.

Existe un consenso global respecto a la importancia de la transparencia, la supervisión humana, la no discriminación y la sostenibilidad en el desarrollo de tecnologías avanzadas, lo cual proporciona una base sólida para la creación de un sistema autónomo ético.

El comercio espacial enfrenta un vacío regulatorio importante que podría derivar en apropiaciones injustas si no se establecen mecanismos claros de control. Un sistema autónomo basado en IA, diseñado sobre principios éticos robustos y alineado con tratados internacionales, representa una herramienta viable para prevenir desigualdades, promover la cooperación global y asegurar que el comercio exterior en el espacio se desarrolle bajo criterios de sostenibilidad, justicia y beneficio común.

La investigación futura debería centrarse en el desarrollo de mecanismos de gobernanza internacional que permitan regular el comercio espacial de manera efectiva y transparente. Es necesario establecer normas claras y vinculantes que garanticen la protección del medio ambiente extraterrestre y la distribución equitativa de los beneficios del comercio espacial.





**CAPITULO XIX: Utilización de  
tecnología espacial para la generación de nuevos  
cultivos en el ecuador frente a las exigencias de  
comercio espacial**



**Docente de la Universidad de Guayaquil**

Delia Alexandra Cevallos Castro

**Estudiantes de Licenciatura en comercio Exterior**

Naomi Carolina Morán Solórzano

Elkyn Samuel Plaza Pin

Milady Mariuxi Quijije Reyes

Ariana Lizbeth Yautibug Valente

## **Resumen**

La tecnología espacial aplicada a la agricultura avanzada representa una oportunidad estratégica para el Ecuador, especialmente tras su adhesión a los Acuerdos Artemis de la NASA, que promueven la cooperación internacional en la exploración espacial (NASA, 2023). El desarrollo de cultivos innovadores mediante biotecnología, agricultura de precisión y experimentos en microgravedad permite responder a las exigencias del comercio espacial y a los retos del cambio climático. Estas prácticas fortalecen la producción sostenible, la competitividad internacional y la seguridad alimentaria global, posicionando al Ecuador como un potencial actor en la economía espacial y en la futura exportación interplanetaria de alimentos. La integración de investigación científica, innovación agroindustrial y adaptación climática convierte a la agroindustria futurista ecuatoriana en un campo clave para enfrentar los desafíos de la sostenibilidad planetaria y la exploración espacial internacional. Conclusión: El Ecuador, al integrar innovación espacial con agricultura de precisión, puede generar nuevos cultivos adaptados a las demandas del comercio espacial, fortaleciendo su papel en la agroindustria futurista y en la exploración espacial internacional.

**Palabras clave:** Tecnología espacial; agricultura avanzada; Ecuador; acuerdos Artemis; microgravedad;

biotecnología; agricultura innovadora; comercio espacial; producción sostenible; exportación interplanetaria; competitividad internacional; seguridad alimentaria global; economía espacial; cambio climático.

## **Introducción**

La agricultura enfrenta desafíos cada vez más complejos debido al crecimiento poblacional, la variabilidad climática y las exigencias del comercio internacional. En este contexto, la tecnología espacial se ha convertido en una herramienta estratégica para impulsar la innovación agrícola, permitiendo el desarrollo de cultivos adaptados a condiciones extremas y optimizando el uso de recursos. Investigaciones en entornos de microgravedad, sistemas hidropónicos avanzados y sensores satelitales han demostrado su potencial para mejorar la productividad y garantizar la seguridad alimentaria global.

El Ecuador, por su ubicación privilegiada en la línea ecuatorial y su diversidad agroclimática, posee ventajas competitivas para implementar tecnologías en la generación de nuevos cultivos orientados a mercados internacionales. La integración de biotecnología, agricultura de precisión y técnicas derivadas de la exploración espacial no sólo fortalecería la competitividad del país, sino que también

contribuirá a la sostenibilidad y adaptación frente al cambio climático.

## **Objetivos**

**Objetivo general:** Analizar la aplicación de tecnología espacial en la generación de nuevos cultivos en Ecuador y su relación con las exigencias del comercio exterior, evaluando su potencial para mejorar la competitividad agrícola y la sostenibilidad frente al cambio climático.

### **Objetivos específicos:**

Evaluar las condiciones agroclimáticas y socioeconómicas del Ecuador para la implementación de cultivos innovadores basados en tecnología espacial.

Identificar las principales tecnologías especiales aplicadas a la agricultura, como sistemas hidropónicos avanzados, cultivos en microgravedad y sensores satelitales.

Determinar las oportunidades y desafíos que enfrenta el Ecuador para posicionarse en mercados internacionales mediante la agroindustria futurista.

Proponer lineamientos estratégicos para integrar tecnología espacial en la agricultura ecuatoriana, orientados a la sostenibilidad y competitividad.

## **Metodología**

### **Diseño de investigación**

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, orientado a analizar la aplicación de tecnología espacial en la agricultura avanzada del Ecuador y su relación con las demandas del comercio espacial. Se emplea un diseño documental basado en la revisión de fuentes primarias y secundarias provenientes de organismos internacionales como la NASA, la FAO y el Ministerio de Producción del Ecuador, así como artículos científicos y reportes técnicos sobre biotecnología, microgravedad y agricultura de precisión.

La recopilación de información se realizará mediante análisis bibliográfico y revisión sistemática de literatura especializada, con el fin de identificar palabras clave como: tecnología espacial, cultivos innovadores, comercio espacial, producción sostenible, seguridad alimentaria global, economía espacial. Posteriormente, se aplicará un método comparativo para contrastar experiencias internacionales en agrotecnología espacial con las potencialidades del Ecuador, evaluando su competitividad internacional y su capacidad de adaptación al cambio climático.

El análisis de datos se organizará en categorías temáticas (innovación tecnológica, sostenibilidad, comercio espacial, seguridad alimentaria), lo que permitirá construir un marco interpretativo sobre la agroindustria futurista y su papel en la exploración espacial internacional.

## **Desarrollo**

### **Transferencia de tecnología aeroespacial a la agricultura.**

La creciente demanda mundial de alimentos, impulsada por el crecimiento poblacional y económico, ha generado la necesidad de innovar en la producción agrícola (Godfray et al., 2010; Tilman et al., 2011). En este contexto, la tecnología aeroespacial se ha convertido en un aliado estratégico para enfrentar los retos de seguridad alimentaria y sostenibilidad.

En síntesis, la transferencia de tecnología aeroespacial a la agricultura no se limita a la incorporación de herramientas modernas, sino que implica un cambio profundo en la forma de concebir la producción de alimentos. Se trata de un proceso que conecta la ciencia espacial con la vida cotidiana, que transforma la agricultura en un campo futurista capaz de responder a los retos del cambio climático y

la seguridad alimentaria global, y que posiciona al Ecuador como un actor emergente en la economía espacial y en la futura exportación interplanetaria de alimentos.

### **Plataformas no tripuladas (drones o Vant)**

- Los equipos de ala rotatoria permiten vuelos estacionados, ideales para aspersión de agroquímicos y monitoreos focalizados de cultivos Li & Liu, 2019.
- Los equipos de ala fija destacan por su autonomía y eficiencia energética, útiles en agroindustrias de gran escala mirzaeinia et al., 2019.
- Los equipos híbridos combinan ventajas de ambos sistemas, aunque aún presentan limitaciones Gunarathna & Munasinghe, 2018. Sensores ópticos y multiespectrales
- El espectro visible (RGB) se emplea para mapear malezas y anomalías de riego (Herwitz et al., 2004).
- El infrarrojo cercano (NIR) es clave para evaluar la salud de la vegetación mediante índices como el NDVI (Han & Rundquist, 1997).
- El infrarrojo térmico (TIR) permite detectar estrés hídrico y correlacionar temperatura con plagas (Berni et al., 2009; Faye et al., 2016).

La tecnología hiperspectral ofrece análisis avanzados de pigmentos y nutrientes, aunque su costo limita su aplicación en Latinoamérica (Adão et al., 2017). En Ecuador, estas tecnologías ya se aplican en cultivos estratégicos como cacao, banano y café, permitiendo mejorar la productividad y reducir pérdidas por plagas y enfermedades.

### **Innovación agrícola en Ecuador frente al comercio espacial**

La agricultura ecuatoriana enfrenta el reto de adaptarse a las exigencias del comercio espacial, que demanda alimentos compactos, nutritivos y resistentes. El país, gracias a su ubicación privilegiada en la línea ecuatorial y a su diversidad agroclimática, posee condiciones únicas para convertirse en un laboratorio natural de experimentación agrícola.

La incorporación de tecnologías derivadas de la exploración espacial, como sistemas hidropónicos avanzados, cultivos en microgravedad y sensores satelitales, permite desarrollar variedades de cultivos resistentes a condiciones extremas, con ciclos de crecimiento más cortos y mayor eficiencia en el uso de recursos.

Estas innovaciones no solo fortalecen la capacidad de producción interna, sino que también proyectan al Ecuador como un actor estratégico en la futura exportación de alimentos hacia estaciones espaciales y colonias interplanetarias. El impacto de esta

innovación agrícola frente al comercio espacial no se limita únicamente a la producción de alimentos, sino que abre un nuevo horizonte económico para el Ecuador.

La posibilidad de certificar cultivos como “space-ready” y exportarlos hacia mercados vinculados a la industria aeroespacial diversifica la economía nacional y fortalece la competitividad internacional. Además, la adhesión del país a los Acuerdos Artemis y su participación en programas de cooperación internacional consolidan su papel en la economía espacial, integrando investigación científica, innovación agroindustrial y adaptación climática.

De esta manera, la agroindustria futurista ecuatoriana se convierte en un pilar fundamental para enfrentar los desafíos de la sostenibilidad planetaria y para contribuir activamente en la exploración espacial internacional.

### **Agricultura de prevención:**

- Uso de drones para monitoreo de estrés hídrico y detección temprana de enfermedades (García-Ruiz et al., 2013)
- Aplicación de inteligencia artificial para optimizar fertilización y riego (Ju & Son, 2018).
- Drones para monitoreo de estrés hídrico y enfermedades (García-Ruiz et al., 2013).

- Inteligencia artificial para optimizar fertilización y riego (Ju & Son, 2018).
- Sensores hiperespectrales para diagnóstico avanzado de cultivos (Adão et al., 2017).

### **Criterios de selección de cultivos espaciales**

Los cultivos que se consideran aptos para misiones espaciales deben cumplir con varias condiciones:

Alto valor nutricional: proteínas, vitaminas y minerales esenciales.

Resistencia a condiciones extremas: baja gravedad, radiación, limitación de agua y nutrientes.

Ciclo de crecimiento corto: para asegurar cosechas rápidas en misiones largas.

Capacidad de reciclaje ambiental: absorción de dióxido de carbono y producción de oxígeno.

## Ejemplos de cultivos estudiados

Cultivos	potencial espacial	Razón principal
Lechuga romana y otras variedades	probada en la Estación Espacial Internacional (ISS)	Fácil de cultivar, rápida cosecha
Rábanos	Proyecto Green Moon (España)	Crece rápido y aportan nutrientes.
Trigo y cereales	Ensayos en microgravedad.	Fuente de carbohidratos y proteínas.
Quinoa y amaranto	Propuesta para Ecuador.	Altamente nutritivos, resistentes a sequía y frío.
Plantas medicinales	Potencial biotecnológico	Adaptarse a condiciones extremas, útiles para la salud.
Frutas y verduras frescas (tomates, fresas, papas)	Investigaciones de NASA y ESA	Diversidad nutricional y bienestar psicológico.

### Cultivos con potencial espacial:

- Quinoa y amaranto, por su alto valor nutricional y resistencia, son candidatos para misiones espaciales.
- Plantas medicinales ecuatorianas, adaptadas a condiciones extremas, podrían tener aplicaciones en biotecnología espacial.
- Cacao y café: Aunque no son cultivos espaciales, podrían adaptarse en versiones compactas para misiones largas, aportando antioxidantes y bienestar

psicológico.

Impacto en el comercio espacial:

- Alimentos “space-ready”: Ecuador podría exportar cultivos adaptados a condiciones extremas, certificados para uso en estaciones espaciales o colonias lunares/marcianas.
- Innovación agrícola nacional: universidades y centros de investigación ecuatorianos pueden participar en proyectos internacionales de agricultura espacial.
- Diversificación económica: abrir un nuevo nicho de exportación vinculado a la industria aeroespacial.

### **Posicionamiento internacional:**

Ecuador, gracias a su biodiversidad y ubicación estratégica, puede convertirse en un laboratorio agrícola regional para validar tecnologías espaciales en la Tierra y generar productos “space-ready” para exportación.

## **Resultados**

Los resultados de esta investigación muestran que la utilización de tecnología espacial aplicada a la agricultura en el Ecuador abre un camino hacia la generación de nuevos cultivos capaces de responder a las exigencias del comercio espacial y a los retos de la seguridad alimentaria global. La integración de sistemas de cultivo microgravedad, sensores satelitales y plataformas no tripuladas como drones permite optimizar el uso de recursos y mejorar la productividad de especies estratégicas como la quinua, el amaranto, el cacao y el café, que además de su importancia cultural y económica poseen características nutricionales y de resistencia que los convierten en candidatos para ser adaptados a entornos espaciales. Estos avances no solo fortalecen la capacidad del país para enfrentar el cambio climático y la variabilidad agroclimática, sino también lo posicionan como un laboratorio regional de innovación agrícola capaz de validar tecnologías espaciales en la Tierra.

Asimismo, se evidencia que la aplicación de biotecnología y agricultura de precisión en cultivos ecuatorianos puede generar variedades resistentes a condiciones extremas, con ciclo de crecimiento más corto y mayor capacidad de reciclaje ambiental, lo que resulta fundamental para las misiones espaciales que requieren alimentos compactos y nutritivos.

La experiencia adquirida en el manejo de cultivos mediante

sensores hiperspectrales, avanzados y algoritmos de inteligencia artificial demuestra que Ecuador tiene el potencial de convertirse en un actor relevante en la economía espacial, aportando alimentos certificados como “Space ready” para estaciones espaciales y futuras colonias en la Luna o Marte. Esta proyección abre un nuevo nicho de exportación interplanetaria que diversifica la economía nacional y fortalece la competitividad internacional del país en mercados emergentes vinculados a la exploración espacial.

Finalmente, los resultados confirman que la adhesión del Ecuador a los Acuerdos Artemis y participación en programas internacionales de cooperación espacial representan una oportunidad estratégica para consolidar la agroindustria futurista nacional. La combinación de investigación científica, innovación tecnológica y adaptación climática permite que el país se prepare para enfrentar los desafíos de la sostenibilidad planetaria y al mismo tiempo se inserte en la cadena global de suministro de alimentos para la exploración espacial. En este sentido, la agricultura ecuatoriana no solo se proyecta como un motor de desarrollo interno, sino también como un componente clave en la construcción de una economía espacial inclusiva y sostenible, capaz de garantizar la seguridad alimentaria tanto en la Tierra como más allá de ella.

## **Conclusiones**

La incorporación de la Tecnología espacial en la agricultura

ecuatoriana no solo se compone de un crecimiento científico, sino además de una respuesta estructurada frente a las exigencias del comercio exterior y, en mayor parte, del emergente comercio espacial.

Las experiencias extranjeras en el envío de semillas a condiciones de microgravedad, el uso de satélites para el seguimiento de los cultivos y la adaptación de sistemas de agricultura inteligente han mostrado que dichas herramientas pueden convertir de manera radical la producción agrícola, haciéndola más resiliente, sostenible y competitiva.

Sabemos que Ecuador es un país que depende fuertemente de las exportaciones agrícolas como las exportaciones del banano, cacao y el café. La adopción de estas innovaciones se ve como una oportunidad para diversificar su oferta, ofrecer una seguridad alimentaria y posicionar al país dentro de mercados exigentes que demandan productos con trazabilidad tecnológica y estándares de sostenibilidad.

Además de buscar el mejoramiento en la orientación en las políticas públicas, investigación científica y cooperación internacional que lo guíe a un modelo agrícola de integración de un avance biotecnológico espacial, la agricultura de precisión y la formación de habilidad humana especializada.

Partiendo de este análisis, las conclusiones sintetizan los

aprendizajes y proyecciones principales, enfocándose en que la tecnología espacial no debe observarse como un recurso externo, sino como un factor estratégico para el crecimiento agrícola y comercial del país en el siglo XXI.

La tecnología espacial abre una nueva frontera agrícola para Ecuador: El envío de semillas al espacio y la investigación en microgravedad permiten desarrollar cultivos más resistentes y diversificados, posicionando al país en un nicho estratégico del comercio espacial.

La integración de satélites y agricultura de precisión fortalece la seguridad alimentaria: Estas herramientas permiten enfrentar el cambio climático, optimizar recursos y garantizar rendimientos sostenibles. El comercio espacial exige innovación regulatoria y estándares elevados: Ecuador debe adaptar sus marcos legales para cumplir con exigencias de trazabilidad, sostenibilidad y bioseguridad, asegurando competitividad en mercados internacionales.

La cooperación internacional es indispensable: Sin alianzas con organismos como FAO, UNOOSA y ESA, el país no podrá acceder a los recursos tecnológicos ni a los mercados que hacen viable la agricultura espacial. La educación y la investigación son pilares fundamentales: Sólo mediante la formación de talento humano y el fortalecimiento de la investigación científica se establecerá un modelo agrícola espacial que cuente con una estructura competitiva y

sostenible.



## Referencias Bibliográficas



- "Pronto vivirán plantas en la Luna" - Agencia Sinc:  
\$570B space economy in 2023.  
(COSPAR), O. (2025). Committee on Space Research. Obtenido de  
<https://cosparhq.cnes.fr/>
- (COSPAR), O. (2025). Committee on Space Research. Obtenido de  
<https://cosparhq.cnes.fr/>
- (IAF), I. A. (2024). Report on Active Debris Removal Technologies.  
Obtenido de Report on Active Debris Removal  
Technologies.:  
[https://www.iafastro.org/assets/files/publications/highlights/IAF-Highlights-2024\\_2025-01-22\\_FINAL\\_online.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.iafastro.org/assets/files/publications/highlights/IAF-Highlights-2024_2025-01-22_FINAL_online.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- (IAF), I. A. (2024). Report on Active Debris Removal Technologies.  
Obtenido de Report on Active Debris Removal  
Technologies.:  
[https://www.iafastro.org/assets/files/publications/highlights/IAF-Highlights-2024\\_2025-01-22\\_FINAL\\_online.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.iafastro.org/assets/files/publications/highlights/IAF-Highlights-2024_2025-01-22_FINAL_online.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- . . . Scalambro, P. (2024). Full-Scale Assessment of the “5GT System” for Tracking and Monitoring of Multimodal Dry Containers. 5(4), 922-

- Exploration/Exploration/ExoMars/Planetary\_protection  
 Furukawa, S., Nagamatsu, A., Neno, M., Fujimori, A.,  
 Kakinuma, S.,  
 11(16). <https://doi.org/10.3390/electronics11162493>  
 170(103609). <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103609>  
 2020(1). <https://doi.org/10.1155/2020/4703286>  
 2025. European Space Agency.  
[https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris/  
 ESA\\_Space\\_Environment\\_Report\\_2025](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_Space_Environment_Report_2025)  
 2050. . Obtenido de  
[https://www.darwinfoundation.org/es/docume  
 nts/505/GalapagosVerde2050\\_es\\_33uNlwn.p df](https://www.darwinfoundation.org/es/documents/505/GalapagosVerde2050_es_33uNlwn.pdf)  
 21(2). Obtenido de [https://doi.org/10.1007/s10113-021-  
 01768-0](https://doi.org/10.1007/s10113-021-01768-0)  
 4(5). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00656-7>  
 5(66). <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00167-9>  
 593. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.5.195>  
 67. [https://doi.org/10.1002/9781394204472.ch3  
 771cfdc3a0b.pdf](https://doi.org/10.1002/9781394204472.ch3771cfdc3a0b.pdf)  
 950. <https://doi.org/10.3390/iot5040042>  
 Abolghasemi, P., et al. (2024). Satellite constellations and  
 environmental impacts: A life-cycle assessment  
 Affairs, U. N. (1967). Unoosa. Obtenido de United  
 Affairs., U. N. (2025). United Nations Office for Outer Space  
 Affairs. Obtenido de The Space Economy: A Global  
 Perspective:

<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/space-economy/index.html>

Affairs., U. N. (2025). United Nations Office for Outer Space Affairs. Obtenido de The Space Economy: A Global Perspective:

<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/space-economy/index.html>

Agency, E. S. (2023). Obtenido de European Space

Agency, E. S. (2025). European Space Agency Annual Report on Space Safety. ESA. European Space Agency Annual Report on Space Safety. ESA.

Agency, E. S. (2025). European Space Agency Annual Report on Space Safety. ESA. European Space Agency Annual Report on Space Safety. ESA.

AIAA. (2024). Assessment of carbon emissions associated with the lifecycle of large satellite constellations in low Earth orbit.

AIAA SciTech Forum. <https://arxiv.org/abs/2504.15291>

and Management, 120, 102789.

Arezki, R., & Sy, A.(2023). Green Finance and Economic Transformation in Emerging Economies. Journal of Sustainable Finance & Investment.

B., Hoffman, S. J., Karouia, F., Levine, J. S., Lupisella, M. L., Martin-Torres, J., ... Zorzano-Mier, M.-P. (2024). Planetary Protection Knowledge Gap Closure Enabling Crewed Missions to Mars. *Astrobiology*, 24(3), 230–274. <https://doi.org/10.1089/ast.2023.0092>

- Banco Central del Ecuador. (2023). Informe de comercio exterior y economía digital.
- Banco Mundial. (2024). Economía digital para América Latina y el Caribe. Obtenido de Banco
- Based on Computer Internet of Things. Proceedings of the 2023 International Conference on Applied Physics and Computing (ICAPC). Ottawa, Canada:
- Battiston, R. (2024). La nueva economía del espacio. Obtenido de UNESCO:  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000039\\_0224](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000039_0224)
- Berger, E. (2023). Liftoff: Elon Musk and the Desperate Early Days That Launched SpaceX. William Morrow.
- BID. (2021). Green Finance in Latin America and the Caribbean: Challenges and Opportunities.
- Boston, P. J. (2019). Research advances in extraterrestrial agriculture. *Journal of Astrobiology*, 18(4), 201–215.
- Britcham. (2025, August 28). Grupo Danec: Empresa de Ecuador Prevé Lanzar Semillas al Espacio. Britcham.  
<https://britcham.com.ec/empresa-de-ecuador-prevee-lanzar-semillas-al-espacio-en-2026/>
- Brown, K., & Smith, E. (2021). Environmental sustainability and waste reduction in orbital systems. *Aerospace Sustainability Review*, 12(3), 55–74.
- Bureau of Economic Analysis. (2025). The U.S. space economy: 2023 update. U.S. Department of Commerce.  
<https://apps.bea.gov/scb/issues/2025/03->

- Cardenas Tovar, E. (2024). Colaboraciones Internacionales en el Espacio: evaluación de las potenciales colaboraciones con agencias espaciales de otros países para el beneficio mutuo en investigación y desarrollo. Obtenido de
- Carrasco, L.G. (2023). Dimensión ambiental de las finanzas sostenibles en América Latina: lecciones para Bolivia. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*.  
<https://lajed.ucb.edu.bo/a/article/view/302>
- CECD. (2022). *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*. OECD Publishing.
- Cecil, D., & Campbell-Brown, M. (2020).
- CEPAL. (2024). *Estudio económico de América Latina y el Caribe 2024: La trampa del crecimiento y el cambio climático*.
- Cernev, T., et al. (2024). Assessing benefits and risks between the space economies and the sustainable development goals. *Frontiers in Space Technologies*.
- CESPE: <https://cespe.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2024/05/Colaboraciones-internacionales-en-el-Espacio-evaluacion-de-las-potenciales-E-Cardenas.pdf>
- ciberataques. <https://es.weforum.org/stories/2025/05/tecnologia-espacial-por-que-debemos-atender-la-ciberseguridad-en-orbita/>
- Clarke, R. (2013). Morning Dew on the web in Australia: 1992–1995. *Journal of Information Technology*, 28(2), 93–110.  
<https://doi.org/10.1057/jit.2013.11>

- Cockell, C. S. (2020). Human Survivability in Extraterrestrial Environments. Springer.
- Comercialización del Espacio: evolución en los últimos años. (2024).
- Comercio: [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/publications\\_s/wtr24\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/res_s/publications_s/wtr24_s.htm)
- Cómo limpiar la basura espacial: nuevas soluciones tecnológicas. (s/f). Innovation-hub.com.  
<https://www.innovation-hub.com/es/ciencia-y-tecnologia/como-limpiar-basura-espacial-soluciones-tecnologicas>
- Congress, U. (2015). Congress.gov. Obtenido de Commercial Space Launch Competitiveness Act: <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262>
- Congress, U. (2015). Congress.gov. Obtenido de Commercial Space Launch Competitiveness Act: <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262>
- Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects.
- Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects.
- costera. <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/agencia-espacial-europea-fortalecera-resiliencia-climatica-costera>

- Cranford N., & Truner, J. (2021). The human body in space. Obtenido de NASA: <https://www.nasa.gov/humans-in-space/the-human-body-in-space/>
- Creus Solé, A. (2014). Energías renovables: (2 ed.). Cano Pina.
- D. L., Sharp, W., Gang, D., Chistoserdov, A., Hernandez, R., & Zappi, M. E. (2024). Microalgae in bioregenerative life support systems for space applications. *Algal Research*, 77, 103332. ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103332>
- Daines, G. (14 de Junio de 2022). How to grow plants in space. Obtenido de NASA: <https://www.nasa.gov/podcasts/curious-universe/how-to-grow-plants-in-space/>
- Darwin., F. C. (2020). Atlas del Proyecto Galápagos Verde DatoCiencia. (2025, 9 de marzo). Ecuador Space Society y los Acuerdos Artemis: Oportunidades para la industria espacial nacional. Recuperado de <https://datociencia.com/ecuador-space-society-y-los-acuerdos-artemis-oportunidades-para-dawson>
- Dawson, R., Anctil, A., & Chhabra, P. (2023). Environmental sustainability of satellite constellations: Systemic impacts and policy implications. *Journal of Environmental Economics*
- De Zwart, M., Henderson, S., & Neumann, M. (2023). Space resource activities and the evolution of international space law. *Acta Astronautica*.

Delgado Martínez, J. G., & Álvarez León, R. (2018). Aspectos bioéticos relacionados con la basura espacial y sus efectos sobre la vida en la Tierra y la exploración aeroespacial. Scielo. <https://doi.org/10.5294/pebi.2018.22.1.4>

Development. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/the-space-economy-in-figures\\_4c52ae39/fa5494aa-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/the-space-economy-in-figures_4c52ae39/fa5494aa-en.pdf)

Discover Internet of Things,

Ecuador firma y se adhiere a los Acuerdos Artemis de la NASA para la exploración y aprovechamiento aeroespacial en beneficio de la toda la humanidad. (2023). Obtenido de Cancillería del Ecuador: <https://www.cancilleria.gob.ec/2023/06/21/ecuador-firma-y-se-adhiere-a-los-acuerdos-artemis-de-la-nasa-ecuador/>. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/gobierno>

Eerme, T., & Nummela, N. (2023).

El espacio está en auge. Cómo aprovechar esta oportunidad de 1,8 billones de dólares. (2024). Obtenido de Foro Económico Mundial: <https://es.weforum.org/stories/2024/04/el-espacio-esta-en-auge-como-aprovechar-esta-oportunidad-de-1-8-billones-de-dolares/>

El Telégrafo. (2021, January 10). Semillas de rabano regresan del espacio. El Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ciencia/1/semillas-rabanos-ecuatorianos-espacio-lunes>

- EOS. (2025, noviembre 2). Uso de tecnología satelital en la producción de alimentos. <https://eos.com/es/products/crop-monitoring/food-producers/>
- Equipo de Radiación y Blindaje - Professional Plastics: <https://www.professionalplastics.com/es/Radiation-Sheilding.html> Cultivo de plantas en el espacio
- Erwin, S. (2024). Obtenido de <https://spacenews.com/> Fan, X., Jiang, X., & Deng, N. (2022).
- ESA. (2023). European Spaceport: Kourou Facts and Figures.
- ESA. (2023). Informe anual 2023. Obtenido de European Space Agency: [https://www.esa.int/About\\_Us/ESA\\_Annual\\_Report\\_2023](https://www.esa.int/About_Us/ESA_Annual_Report_2023)
- ESA. (n.d.). Planetary protection. Retrieved November 27, 2025, from [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic)
- Escobar-Camacho, D. R. ((2021)). Oceanic islands and climate: using a multi-criteria model of drivers of change to select key conservation areas in Galapagos. Regional Environmental Change,
- Espacio Ciencia de la NASA. (2025). La Estación Espacial Internacional impulsa a la NASA y a la humanidad hacia el espacio profundo. Obtenido de Espacio Ciencia de la NASA.: <https://ciencia.nasa.gov/sistema-solar/la->

estacion- espacial-internacional-impulsa-a-la-nasa-y-a-la-  
humanidad- hacia-el-espacio-profundo/

European Space Agency (ESA). (2022). Clean technologies and  
renewable power in orbital platforms. ESA Publications.  
<https://esa.int>

European Space Agency.

European Space Agency. (2022). Biology in Space: Plant Growth  
Experiments. ESA Publications.

European Space Agency. (2025). ESA Report on the Space  
Economy 2025. [https://space-  
economy.esa.int/article/287/esa-report-on-the-space-  
economy-2025](https://space-economy.esa.int/article/287/esa-report-on-the-space-economy-2025)

European Space Agency. (2025). ESA Space Environment Report  
EXA. (2023). Ecuadorian Space Agency: Mission History.

Falcitelli, M., Noto, S., Pagano, P., Gharbaoui, M., Isca, A., Fresi,  
F.,

Farmonaut. (2025, mayo 31). Tecnología satelital para agricultura  
sostenible y contra la salinización del

Federation, I. A. (2024). : Report on Active Debris Removal  
Technologies. Obtenido de <https://www.iafastro.org/>

Federation, I. A. (2024). : Report on Active Debris Removal  
Technologies. Obtenido de <https://www.iafastro.org/>

FIBK: [https://www.fundacionbankinter.org/noticias/comerc  
ializacion-del-espacio-evolucion-en-los-ultimos-  
anos/?\\_adin=1840683222](https://www.fundacionbankinter.org/noticias/comercializacion-del-espacio-evolucion-en-los-ultimos-anos/?_adin=1840683222)

for global economic growth.

[https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-1-point-8-](https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-1-point-8-Foundation-Announces-570B-Space-Economy-in-2023-Driven-by-Steady-Private-and-Public-Sector-Growth.html)

[Foundation-Announces-570B-Space-Economy-in-2023-Driven-by-Steady-Private-and-Public-Sector-Growth.html](https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-1-point-8-Foundation-Announces-570B-Space-Economy-in-2023-Driven-by-Steady-Private-and-Public-Sector-Growth.html)  
framework. Sustainability, 16(21), 9431.

Garzón, J., Montes, L., Garzón, J. y Lampropoulos, G. (2023). Revisión sistemática de tecnología en aeroponía: Introducción al modelo de adopción e integración de tecnología en agricultura sostenible. Agronomía, 13 (10), 2517.

GCPIT. (2025). The future space economy is booming: What benefits can it bring? <https://gcpit.org/the-future-space-economy-is-booming-what-benefits-can-it-bring>

Global Sustainable Investment Alliance.

Global Sustainable Investment Review (GSIR). (2022).

GlobeNewswire. (2024). Space Foundation announces

GoStudent UK. (2022). How To Become an Astronaut. Obtenido de GoStudent UK.: <https://www.gostudent.org/en-gb/blog/how-to-become-astronaut>

Gravitational and Space Research. 5. 24-34. 10.2478/gsr-2017-0002.

[https://www.researchgate.net/publication/343129660\\_Plant\\_Pillow\\_](https://www.researchgate.net/publication/343129660_Plant_Pillow_Preparation_for_the_Veggie_Plant_Growth_System_on_the_International_Space_Station)

[Preparation\\_for\\_the\\_Veggie\\_Plant\\_Growth\\_System\\_on\\_the\\_International\\_Space\\_Station](https://www.researchgate.net/publication/343129660_Plant_Pillow_Preparation_for_the_Veggie_Plant_Growth_System_on_the_International_Space_Station)

- Green, T. & Holloway, S. (2019). Renewable energy solutions for extraterrestrial environments. *Journal of Space Engineering*, 45(2), 113–128.
- Guo, F., Liu, N., Sun, J., Jin, C., & Ren, N. (2023). Research on Intelligent Cold Chain Transportation Monitoring System
- Hajný, J., Tan, S., & Friml, J. (2022). Auxin canalization: From speculative models toward molecular players. *Current Opinion in Plant Biology*, 65, 102174.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014).  
<https://doi.org/10.1007/s42452-024-06259-5>  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107842>  
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102789>  
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102174>  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01577>  
<https://doi.org/10.3390/agronomy13102517>  
<https://doi.org/10.5867/medwave.2023.10.2767>  
<https://elibro.net/es/ereader/uguayaquil/43075?page=9>  
<https://es.mongabay.com/2025/08/drones-informacion-conservacion-naturaleza-entrevista/>  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-025-01003-y>  
<https://Science.Nasa.Gov/Mission/Advanced-Plant-Habitat/>  
<https://www.agenciasinc.es/Entrevistas/Pronto-viviran-plantas-en-la-Luna>  
[https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris) Boley, A. C., & Byers, M. (2021). *Nature*.

[https://www.globenewswire.com/news-  
release/2024/07/18/2915297/0/en/Space-](https://www.globenewswire.com/news-release/2024/07/18/2915297/0/en/Space-)

<https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9431>

[https://www.nasa.gov/exploration-research-and-  
technology/growing-plants-in-space/](https://www.nasa.gov/exploration-research-and-technology/growing-plants-in-space/)

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009457652100  
5518](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576521005518)

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221192642300  
365X](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221192642300365X)

[https://www.spacefoundation.org/2024/07/18/the- space- report-  
2024-q2/](https://www.spacefoundation.org/2024/07/18/the-space-report-2024-q2/)

IADC. (2023). Space Debris Mitigation Guidelines. Obtenido de Inter-Agency Space Debris Coordination Committee.: [https://docslib.org/doc/953073/iadc-space-debris-  
mitigation- guidelines?utm\\_source=chatgpt.com](https://docslib.org/doc/953073/iadc-space-debris-mitigation-guidelines?utm_source=chatgpt.com)

IADC. (2023). Space Debris Mitigation Guidelines. Obtenido de Inter-Agency Space Debris Coordination Committee.: [https://docslib.org/doc/953073/iadc-space-debris-  
mitigation- guidelines?utm\\_source=chatgpt.com](https://docslib.org/doc/953073/iadc-space-debris-mitigation-guidelines?utm_source=chatgpt.com)

iAgua. (2024). La Agencia Espacial Europea fortalecerá la resiliencia climática

IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAPC61546.2023.00051>

IITA. (2023). Precision Agriculture for Banana Crops in Latin America. International Institute for Tropical Agriculture.

IoT Analytics. (2025, 17 de junio). Satellite IoT market growth and outlook: 5 drivers propelling the market to \$4.7 billion by

2030. <https://iot-analytics.com/satellite-iot-market-growth-drivers/>
- Israel, E., & Frenkel, S. (2020). Justice and inequality in space — A socio- normative analysis. *Geoforum*.  
ISSN 0094- 5765, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.10.009>.
- JAXA. (2021). Advanced solar array technologies for long- duration missions. Japan Aerospace Exploration Agency. <https://jaxa.jp>
- Jhanjhi, N., Gaur, L., & Khan, N. (2024). Global Navigation Satellite Systems for Logistics: Cybersecurity Issues and Challenges. *Cybersecurity in the Transportation Industry*, 49-
- Jia, C., Zheng, W., Liu, F., Ding, K., Yuan, Y., Wang, J., Xu, D., Zhang, T., & Zheng, H. (2024). Biological culture module for plant research from seed-to-seed on the Chinese Space Station. *Life Sciences in Space Research*, 42, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2024.04.005>
- Johnson, K. (2023). The Commercial Space Launch Competitiveness Act and the Non- Appropriation Principle. *Harvard International Law Journal*, 300-325.
- Johnson, K. (2023). The Commercial Space Launch Competitiveness Act and the Non- Appropriation Principle. *Harvard International Law Journal*, 300-325.
- Johnson, P., & Lemoine, J. (2023). Economic impacts of unregulated orbital congestion: A cost–benefit model. *Ecological Economics*, 209, 107842.

- Katsube, T., Wang, B., Tsuruoka, C., Shirai, T., Nakamura, A. J., Sakaue-Sawano, A., Miyawaki, A., Harada, H., Kobayashi, M., Kobayashi, J., Kunieda, T., Funayama, T., Suzuki, M., Miyamoto, T., ... Takahashi, A. (2020). Space Radiation Biology for “Living in Space.” *BioMed Research International*,
- Kiss, J. Z., Wolverson, C., Wyatt, S. E., Hasenstein, K. H., & van Loon, J. J. W. A. (2019). Comparison of Microgravity Analogs to Spaceflight in Studies of Plant Growth and Development. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- Klimburg-Witjes, N., Strycker, K. y Braun, V. (2025) ¿Quién cuida los desechos espaciales? Lógicas contradictorias de
- Kruse, C. P. S., Meyers, A. D., Basu, P., Hutchinson, S., Luesse, D. R., & Wyatt, S. E. (2020). Spaceflight induces novel regulatory responses in *Arabidopsis* seedling as revealed by combined proteomic and transcriptomic analyses. *BMC Plant Biology*, 20(1), 237. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02392-6>
- La ESA encarga la primera operación mundial de eliminación de basura espacial. (2019). The European Space Agency. [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Clean\\_Space/ESA\\_commissions\\_world\\_s\\_first\\_space\\_debris\\_removal](https://www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/ESA_commissions_world_s_first_space_debris_removal)
- la-industria-espacial-nacional/
- Lantin, S., Mendell, S., Akkad, G., Cohen, A. N., Apicella, X., McCoy, E., Beltran-Pardo, E., Waltemathe, M., Srinivasan, P., Joshi,

- Lasseur, Christophe. (2008). Melissa: The European project of a closed life support system.  
[https://www.researchgate.net/publication/253263459\\_Melissa\\_The\\_European\\_project\\_of\\_a\\_closed\\_life\\_support\\_system](https://www.researchgate.net/publication/253263459_Melissa_The_European_project_of_a_closed_life_support_system)
- Le Bon G. (1895). Psicología de las masas. Obtenido de UPCN Digital:  
<https://upcndigital.org/~ciper/biblioteca/Filosofia%20moderna/Psicologia-de-las-masas-G.-Le-Bon.pdf>
- Li, W., Bai, X., Yang, D., & Hou, Y. (2023). Maritime connectivity, transport infrastructure expansion and economic growth: A global perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*,
- Liebertpub. Obtenido de Mary Ann Liebert:  
<https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/space.2021.0016>
- Los seres humanos han estado viviendo en el espacio durante 20 años. (30 de Octubre de 2020). Obtenido de National Geographic:  
<https://www.nationalgeographic.com/ciencia/2020/10/los-seres-humanos-han-estado-viviendo-en-el-espacio-durante-20-anos>
- Lu, Y. (2025). A multimodal deep reinforcement learning approach for IoT-driven adaptive scheduling and robustness optimization in global logistics networks. *Scientific Reports*, 15(25195). <https://doi.org/10.1038/s41598-025->

- Luque, M. (2024). Colaboración internacional: ESA, NASA, Roscosmos y CNSA. Obtenido de Mauricio Luque: <https://www.mauricioluque.com/ciencia-y-tecnologia/20241105-colaboracion-internacional-esa-nasa-roskosmos-y-cnsa/>
- M. Pelech, T., Sibille, L., Dempster, A., & Saydam, S. (2021). Sciencedirect. Obtenido de Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576521000187?via%3Dihubmarch/0325-space-economy.htm>
- Marfec del Ecuador. (2024, 6 de agosto). Plataformas digitales facilitan el comercio exterior a Ecuador.
- MARFEC. <https://www.marfec.ec/plataformas-digitales-facilitan-el-comercio-exterior-a-ecuador/>
- Marino, A., & Cheney, T. (2023). Centring environmentalism in space governance. *Global Environmental Change*.
- Martínez, L. & Pérez, A. (2020). Evaluación comparativa de tecnologías limpias para misiones espaciales. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Aeroespacial*, 8(1), 25–49.
- Massa, G. D., et al. (2016). Growth chambers on the ISS: The VEGGIE system. *Acta Astronautica*, 123, 268–280.
- Massa, Gioia & Newsham, Gerard & Hummerick, Mary & Morrow, Robert & Wheeler, Ray. (2020). Plant Pillow Preparation for the Veggie Plant Growth System on the International Space Station.
- McKinsey & Company. (2024). Space: The \$1.8 trillion opportunity

- McManus, M., Carleton, K., & Richards, W. (2023). Assessing the environmental footprint of LEO- based broadband internet systems. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2309.02338>
- Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Michael R. Migaud (2020) Protección del entorno orbital de la Tierra: herramientas políticas para combatir los desechos espaciales. Sciencedirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265964619300566?via%3Dihub>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2025, 29 de octubre). Gobierno Nacional impulsa la transformación digital, con el Programa “EmpoderaTech
- Monsreal, M., & Carmona, R. (2022). Impact of IoT on supply chain performance. *Journal of applied research and technology*, 20(5), 584-
- Mundial: [https://documents1.worldbank.org/curated/en/099028101262416449/pdf/IDU1814d30001e2a814b741bbf711](https://documents1.worldbank.org/curated/en/099028101262416449/pdf/IDU1814d30001e2a814b741bbf711-nacional-impulsa-la-transformacion-digital-con-el-programa-empoderatech-ecuador/)
- nacional-impulsa-la-transformacion-digital-con-el-programa-empoderatech-ecuador/
- NASA. (2017, abril). Advanced Plant Habitat. NASA Science. <https://science.nasa.gov/mission/advanced-plant-habitat/>
- NASA. (2019, abril). Veggie fact sheet. [https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2019/04/veggie\\_fact\\_sheet\\_508.pdf](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2019/04/veggie_fact_sheet_508.pdf)

- NASA. (2021). Planetary Protection Policy for Robotic and Human Missions. Obtenido de NASA Policy document.
- NASA. (2021). Planetary Protection Policy for Robotic and Human Missions. Obtenido de NASA Policy document.
- NASA. (2023). A researcher's guide to: Plant science (ISS) (NP-2023-JSC Plant Research Mini Book). National Aeronautics and Space Administration.  
<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/07/np-2023-jsc-plant-research-mini-book508c.pdf>
- NASA. (2023). Advanced Plant Habitat Program Overview. NASA Technical Reports.
- NASA. (2023). Sustainable energy systems for deep space missions. NASA Technical Reports. <https://nasa.gov>
- NASA. (2023). The Artemis Accords: Principles for Cooperation in Space. NASA Official Website.
- NASA. (n.d.). Growing Plants in Space - NASA. Retrieved November 27, 2025, from <https://www.nasa.gov/exploration-research-and-technology/growing-plants-in-space/>
- NASA. (2017). Advanced Plant Habitat.
- National Research Council. (2020). Energy innovations for space exploration. National Academies Press.
- National Aeronautics and Space Administration. (2013). Oportunidades profesionales. Obtenido

de National Aeronautics  
and Space Administration:

[https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/05/740828main\\_fs-2013-03-003jsc\\_careers\\_spanish.pdf](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/05/740828main_fs-2013-03-003jsc_careers_spanish.pdf)

Nations Office for Outer Space Affairs:  
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

Nations, U. (1967). United Nations Office for Outer Space Affairs. Obtenido de Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

Nations, U. (1967). United Nations Office for Outer Space Affairs. Obtenido de Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

Nations, U. (1972). Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects.

Nations, U. (1972). Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects.

Nations, U. (1979). United Nations Office for Outer Space Affairs. Obtenido de Agreement Governing the Activities of States

- on the Moon and Other Celestial Bodies:  
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/moon-agreement.html>
- Nations, U. (1979). United Nations Office for Outer Space Affairs. Obtenido de Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies:  
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/moon-agreement.html>
- Nguyen, C. D., Creech, M., Xiang, D., Sandoya, G., Kopsell, D., & Huo, H. (2022). Performance of Different Lettuce Cultivars Grown Hydroponically under Fluorescent and Light-emitting Diode Light Growth Conditions. *HortScience*, 57(12), 1447–1452.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI16780-22>
- O’shea, C. A. (Director). (7 de Abril de 2023). Q&A with crew isolated in HERA habitat (C6M4). . Obtenido de NASA.  
 Obtenido de
- Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe:  
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/80595-estudio-economico-america-latina-caribe-2024-trampa-crecimiento-cambio-climatico>
- Obtenido de Scientific: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89909-7>
- OECD. (2023). The Space Economy in Figures (full report PDF). Organization for Economic Co-operation and

- OECD. (2024). The economics of space sustainability. Organization for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/06/the-economics-of-space-sustainability\\_5236a39b/b2257346-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/06/the-economics-of-space-sustainability_5236a39b/b2257346-en.pdf)
- Olanrewaju, G. O., Kruse, C. P. S., & Wyatt, S. E. (2023). Functional Meta-Analysis of the Proteomic Responses of Arabidopsis Seedlings to the Spaceflight Environment Reveals Multi- Dimensional Sources of Variability across Spaceflight Experiments. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), 14425. <https://doi.org/10.3390/ijms241914425>
- Olawade, D. B., Ijiwade, J. O., & Wada, O. Z. (2025). Toward net-zero in space exploration: A review of technological and policy pathways for sustainable space activities. *The Science of the Total Environment*, 972(179145), 179145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179145>
- Oltrogge, D., & Christensen, I. (2020). Space governance in the new space era. *Journal of Space Safety Engineering*.
- OMC. (2024). Informe sobre comercio mundial. Obtenido de Organización Mundial del
- OPS. (2023). Cadena de frío. Obtenido de Organización Panamericana de la
- orbital use. *Environmental and Resource Economics*, 86(2), 251–289.

- P. M., Rothman, J. H., & Lubin, P. (2022). Interstellar space biology via Project Starlight. *Acta Astronautica*, 190, 261–272.
- Palit, S., Dias, T., & Hazra, S. (2025). Rebalancing space governance: A Global South perspective. *Frontiers in Space Technologies*.  
para-la-exploracion-y-aprovechamiento-aeroespacial-en-beneficio-de-la-toda-la-humanidad/
- Pérez Peña, F., Cobaisse Ibáñez, M., Villagrán Pradena, S., & Alvarado, R. (2023). General aspects of the use of mixed methods for health research. *Medwave*, 23(10), e2767–e2767.
- Perspectiva Aérea para la Conservación: Drones Impulsando la Investigación y Protección de Galápagos. Galápagos Conservancy. ( 2025). Obtenido de Galápagos Conservancy.:  
<https://www.galapagos.org/noticias/drones-impulsando-investigacion-proteccion-galapagos/?lang=es>
- Planet Labs. (2023). Monitoring Deforestation in the Amazon Basin. Planetas en los que el ser humano podría vivir. (15 de Mayo de 2023). Obtenido de National Geographic:  
<https://www.nationalgeographic.com/espacio/2023/05/pla-netas-en-los-que-el-ser-humano-podria-vivir>
- Raworth, K.(2017). Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. Chelsea Green Publishing.
- Referencias Bibliográficas
- Revellame, E. D., Aguda, R., Gatdula, K. M., Holmes, W., Fortela,

Reyes Yola, O. (2010). Prácticas de producción más limpias para mitigar la contaminación de la destilería Hatuey por la descarga de la vinaza de la destilación alcohólica. *Tecnología Química* 25(2):66-70, 2005: ( ed.). Editorial Universitaria.

<https://elibro.net/es/ereader/uguayaquil/3613?page=2>

Risk of behavioral conditions and psychiatric disorders. (22 de Octubre de 2024). Obtenido de

NASA: <https://www.nasa.gov/reference/risk-of-behavioral-conditions-and-psychiatric-disorders/>

Rivas-Torres, G. (11 de Agosto de 2025). Obtenido de “Los drones nos permiten obtener información para tomar medidas de manejo de la naturaleza” [Entrevista]. Mongabay

Latam.:

Salud: <https://www.paho.org/es/inmunizaci%C3%B3n/cadena-frio>

Scienccedirect. Obtenido de Scienccedirect:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032063319304878?via%3Dihub>

Scienccedirect. Obtenido de Scienccedirect:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261517722000474?via%3Dihub>

seguridad y sostenibilidad en las prácticas de conciencia situacional espacial. *Sci Eng Ethics* 31, 28. <https://doi.org/10.1007/s11948-025-00550-3>

- Shagun, S., & Anwer, N. (2024). Space-based solar power: legal frameworks and sustainable development perspectives. *Discover Applied Sciences*, 6(12).
- Space Capital. (2024). *Space Investment Quarterly: Q4 2023*. Space Capital Report.
- Space Foundation. (2023). *The Space Report 2023: The Authoritative Guide to Global Space Activity*.
- Space Foundation. (2023). *The Space Report 2024 Q2: Space economy at \$570B in 2023*.
- Space survival. (2019). The Physiological Society. Obtenido de Space survival.: <https://www.physoc.org/careers/research/space-physiology/>
- SpaceX Engineering White Papers. <https://spacex.com>
- SpaceX. (2023). *Energy efficiency and power management in spacecraft operations*.
- Spry, J. A., Siegel, B., Bakermans, C., Beaty, D. W., Bell, M.-S., Benardini, J. N., Bonaccorsi, R., Castro-Wallace, S. L., Coil, D. A., Coustenis, A., Doran, P. T., Fenton, L., Fidler, D. P., Glass,
- StartUs Insights. (2025). *Explora las 10 principales tendencias de la industria SpaceTech*. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-spacetechn-trends-innovations/>
- suelo. <https://farmonaut.com/australia/farmonaut-tecnologia-satelital-contra-salinizacion-del-suelo>

- Taherdoost, H. (2022). What are Different Research Approaches? Comprehensive Review of Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Research, Their Applications, Types, and Limitations. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 5(1), 53–63. <https://doi.org/10.30564/jmsr.v5i1.4538>
- Treaty, T. d.—O. (1967). Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies. United Nations.
- Treaty, T. d.—O. (1967). Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies. United Nations.
- trillion-dollar-opportunity-for-global-economic- growth
- UNOOSA. (2021). Annual Report on Space Economy and Sustainable Development. United Nations Office for Outer Space Affairs.
- UNOOSA. (2022). Annual Report on Space Activities. United Nations Office for Outer Space Affairs.
- Vergara, J. (Ed.). (2024). Finanzas y biodiversidad para territorios posibles. Universidad EAFIT y Fondo Acción.
- Vernon, R. L., & Kaffine, D. T. (2025). Space debris accumulation and economic externalities in

- Verschuur, J., Koks, E. E., Li, S., & Hall, J. W. (2023). Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses. *Communications Earth & Environment*,
- Vistazo. (2019, February 19). Semillas de rábano ecuatoriano viajarán al espacio. Vistazo. <https://www.vistazo.com/estilo-de-vida/ciencia/semillas-de-rabano-ecuadoriano-viajaran-al-espacio-CDVII125986>
- Walter Isaacson. (2025). *Einstein: Su vida y su universo / Einstein: His Life and Universe*. Penguin Random House Grupo Editorial. . En W. Isaacson, *Einstein: Su vida y su universo / Einstein: His Life and Universe*. Penguin Random House Grupo Editorial. (págs. 107 - 189). Penguin Ranfom House Grupo Editorial.
- Wang, L., & Hsu, H.-H. (2025). IoT technology in maritime logistics management: exploration of data analysis methods.
- Wheeler, R. (2017). Agriculture for space: People and places paving the way. *Open Agriculture*, 2(1), 14–32.
- World Economic Forum. (2025, mayo 29). Por qué debemos proteger la tecnología espacial de los
- Xie, Z., Zhang, R., Fang, J., & Zheng, L. (2022). A Monitoring System Based on NB-IoT and BDS/GPS Dual-Mode Positioning. *Electronics*,
- Yap, X.-S., & Kim, R. (2023). Earth–space governance in a multi-planetary era. *Earth System Governance*.

Zhang, Y., Liu, Q., & Zheng, X. (2023). Spatial spillover effects of green finance on regional ecological efficiency in China. *Energy Economics*, 120.

**Fundamentos de Administración, Comercio Exterior, Ética y Desarrollo Sostenible en la Era Espacial - Tomo 2**

  
**Live Working**  
EDITORIAL



ISBN: 978-9942-580-55-9



9 789942 580559

**UNEMI**  
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

 **InterCarga**  
Integrated Logistics Services

**UG**  
UNIVERSIDAD DE  
GUAYAQUIL