

# Innovación aeroespacial y la sostenibilidad

DOI: 10.29236/sistemas.n174a2



## Resumen

La innovación aeroespacial y la sostenibilidad están avanzando de la mano en la búsqueda de soluciones que permitan reducir el impacto ambiental de la industria aeroespacial. La tecnología aplicada en la aviación, el diseño de satélites y otras áreas de la tecnología aeroespacial está en constante evolución, con un enfoque creciente en la reducción de emisiones, eficiencia energética y materiales ecológicos. Colombia no es indiferente a los objetivos de desarrollo sostenible adoptados por las Naciones Unidas en 2015 y sobre todo en cuanto a industria, innovación e infraestructura.

## Palabras claves

Aeroespacial, sostenibilidad, SAF.

## Introducción

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por las Naciones Unidas en 2015 son una guía global para promover el desarrollo económico, social y ambiental de manera equilibrada, con el fin de erradicar la pobreza y proteger el planeta. En el caso de Colombia, estos objetivos han tenido un impacto significativo en varios sectores del país, incluyendo la industria, la innovación y la infraestructura. Colombia, como parte de la comunidad internacional, se ha comprometido a trabajar en la consecución de estos ODS a través de políticas públicas, programas y proyectos orientados hacia la sostenibilidad.

Reducir el impacto ambiental de los vuelos comerciales es un desafío complejo, pero hay diversas estrategias que la industria está implementando o investigando para mitigar su huella ecológica. Estas estrategias van desde innovaciones tecnológicas hasta cambios en los comportamientos operativos y en los materiales utilizados.

En este artículo se revisan varios conceptos que tienen que ver con la innovación espacial y la sostenibilidad, entre otros: la innovación en combustibles, el uso de materiales ecológicos en la industria aeroespacial, la tecnología espacial sostenible y el uso de materiales ecológicos hoy en día en la tec-

nología aeroespacial, por último, se hacen unas reflexiones finales sobre el tema.

## 1. Innovación en Combustibles

Una de las principales áreas de innovación dentro de la aviación hace referencia a los combustibles que hoy en día se usan en este tipo de aeronaves, acá se está optimizando su uso y las fuentes de donde provienen, veamos continuación los tipos de combustibles más usados:

### 1.1. Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF)

Las aerolíneas y los fabricantes de aviones están invirtiendo en aviones con motores más eficientes, optimización aerodinámica y el uso de combustibles más sostenibles. Estos se usan en aviones híbridos y eléctricos y vemos como varias empresas están desarrollando aeronaves que funcionan con baterías eléctricas o una combinación de motores eléctricos y combustibles fósiles. Estos aviones tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes.

De igual forma, los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF por sus siglas en inglés) son combustibles producidos de fuentes renovables, como algas o residuos agrícolas. Los SAF pueden ser utiliza-

dos en los motores de los aviones tradicionales, reduciendo el impacto ambiental sin necesidad de hacer cambios significativos en la infraestructura existente. (Parejo & Marjaliza, 2024)

Los *Sustainable Aviation Fuel* - SAF están emergiendo como una de las soluciones clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria de la aviación. A medida que la demanda de transporte aéreo continúa creciendo, encontrar alternativas más ecológicas al combustible tradicional derivado del petróleo es crucial para mitigar el impacto ambiental de los vuelos. A continuación, se detallan los tipos más relevantes de combustibles sostenibles para aeronaves:

#### Tipos de SAF:

- **SAF basado en aceites vegetales y grasas:** Se producen a partir de aceites vegetales (como el aceite de palma, soja, y algas) o grasas animales, que se procesan para producir un combustible compatible con los motores de aviación. Este tipo de SAF tiene el potencial de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 80% o más en comparación con los combustibles fósiles.
- **SAF a partir de residuos orgánicos:** Este tipo de SAF se produce a partir de residuos orgánicos como restos de comida, residuos agrícolas o de la industria forestal. El proceso de con-

versión de estos residuos en combustibles puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

- **SAF a partir de CO<sub>2</sub> capturado:** La captura y utilización de CO<sub>2</sub> (CCU) es una tecnología que convierte el dióxido de carbono extraído de la atmósfera en combustibles. Esto es una forma de reciclar el CO<sub>2</sub>, transformándolo en combustible, lo que contribuye a un ciclo cerrado de carbono.
- **SAF a partir de algas:** Las algas tienen un gran potencial como materia prima para la producción de SAF debido a su alta productividad y su capacidad para absorber CO<sub>2</sub> durante su crecimiento. El proceso de conversión de algas en SAF todavía está en fase de investigación, pero promete ser una fuente muy sostenible de combustible a gran escala.

## 1.2. Energía derivada de residuos (Waste-to-Energy)

El proceso *waste-to-energy* convierte residuos no reciclables en combustible mediante diversas tecnologías, como la pirólisis o la gasificación. Algunos de estos procesos permiten producir combustibles líquidos que pueden ser utilizados en aeronaves, y al ser generados a partir de desechos, pueden ofrecer una reducción significativa en las emisiones netas de CO<sub>2</sub>.

### 1.3. Biocombustibles de Segunda Generación

Los biocombustibles de segunda generación se fabrican a partir de materias primas no alimentarias, como residuos agrícolas, madera o pasto. Esto evita el impacto potencial sobre la seguridad alimentaria y la deforestación, que es un problema en los biocombustibles de primera generación (que se producen a partir de cultivos alimentarios como maíz o caña de azúcar).

### 1.4. Hidrógeno como Combustible

Aunque aún está en una etapa de desarrollo, el hidrógeno está siendo considerado como una alternativa viable para el transporte aéreo, especialmente en vuelos más cortos o en aeronaves de propulsión eléctrica-hidrógeno. Cuando el hidrógeno se quema o se usa en una célula de combustible, su única emisión es vapor de agua, lo que lo convierte en un combustible extremadamente limpio. Sin embargo, la infraestructura para producir y almacenar hidrógeno de manera eficiente y segura es aún un desafío importante.

### 1.5. Queroseno Sintético (Synfuels)

Los combustibles sintéticos son una clase de SAF producidos mediante la conversión de fuentes de carbono renovables o capturadas, como el CO<sub>2</sub> atmosférico. Estos

querosenos sintéticos, también conocidos como *Fischer-Tropsch Fuels*, se producen a través de un proceso químico que transforma gas natural, carbón o biomasa en un combustible que es químicamente indistinguible del queroseno convencional.

A pesar de ser más costosos de producir en comparación con los combustibles tradicionales, su huella de carbono puede ser mucho más baja.

#### Ventajas de los SAF:

- **Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>:** Se estima que los SAF pueden reducir las emisiones de carbono en un 80% o más en comparación con los combustibles tradicionales, dependiendo de la fuente y el proceso de producción.
- **Compatibilidad con la infraestructura actual:** Los SAF pueden mezclarse con los combustibles tradicionales y utilizarse en los motores de aviación existentes sin necesidad de modificar la infraestructura de los aeropuertos ni los aviones, lo que facilita su adopción.
- **Mejoras en la seguridad energética:** Al diversificar las fuentes de combustible (como el uso de desechos o algas), los SAF pueden contribuir a una mayor seguridad energética y reducir la dependencia de fuentes fósiles.

## Desafíos:

- **Costo de producción:** La producción de SAF sigue siendo más costosa que el combustible convencional, lo que representa una barrera para su adopción generalizada. Sin embargo, los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales pueden ayudar a reducir estos costos en el futuro.
- **Escalabilidad:** A pesar de los avances en la investigación, la capacidad de producción de SAF aún es limitada. Es necesario aumentar la capacidad de producción para satisfacer la creciente demanda del mercado aéreo.
- **Disponibilidad de materias primas:** La disponibilidad de materias primas sostenibles (como aceites vegetales, residuos agrícolas o algas) en grandes cantidades es un desafío. También se deben considerar las implicaciones sociales y ambientales del uso de ciertas materias primas.

## 2. Uso de materiales ecológicos

La industria aeroespacial también está innovando en el uso de materiales más sostenibles. Esto hace que hoy hablemos de materiales compuestos avanzados como materiales ligeros, fibra de carbono, que no solo reducen el peso de los aviones y satélites, sino que tam-

bién mejoran la eficiencia del combustible y reducen las emisiones.

Por otro lado, el reciclaje de piezas de aviones al final de su vida útil, como componentes de aluminio y titanio, es cada vez más creciente, esto contribuye a reducir el desperdicio.

Se busca que el impacto ambiental de la fabricación de aeronaves y satélites sea cada vez menor. Los avances en tecnología y diseño han permitido el uso de materiales más ligeros, resistentes y ecológicos, lo que no solo mejora la eficiencia en términos de combustible, sino que también contribuye a la reducción de residuos y la huella de carbono.

Se puede afirmar que algunos de los materiales ecológicos más utilizados hoy en día, en la industria aeroespacial son los siguientes:

### 2.1. Compuestos de Fibra de Carbono

La fibra de carbono es uno de los materiales más comunes en la fabricación de aeronaves modernas. Aunque no es "ecológico" en el sentido tradicional, tiene varias ventajas que lo hacen más sostenible en comparación con materiales metálicos tradicionales:

- **Ligereza:** La fibra de carbono es mucho más ligera que el aluminio, lo que reduce el peso de las aeronaves y, por ende, mejora la

eficiencia del combustible y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- **Mayor resistencia:** Ofrece una mayor resistencia y durabilidad, lo que reduce la necesidad de reemplazar o reparar las piezas con frecuencia, lo que al final reduce el impacto ambiental.
- **Longevidad:** La durabilidad de las piezas hechas con fibra de carbono prolonga la vida útil de las aeronaves, lo que reduce el desgaste y la necesidad de producir nuevos materiales.

Aunque la fibra de carbono en sí misma no es biodegradable ni renovable, su impacto ambiental se mitiga en gran parte debido a sus características de eficiencia y durabilidad.

## 2.2. Aluminio Reciclado

Este es ampliamente utilizado en la industria aeroespacial por su ligereza y resistencia a la corrosión. La principal ventaja de usar aluminio reciclado es que su proceso de fabricación tiene una huella de carbono mucho más baja en comparación con la extracción y procesamiento de aluminio virgen.

El reciclaje del aluminio utiliza hasta un 95% menos energía que la producción de aluminio a partir de bauxita, lo que lo convierte en una opción más ecológica y menos intensiva en recursos, reduciendo así el impacto ambiental. El aluminio

reciclado mantiene las propiedades mecánicas necesarias para aplicaciones en aeronaves y satélites. (Millán, 2026)

## 2.3. Titanio de Bajo Impacto

El titanio es un material muy resistente, ligero y resistente a la corrosión, por lo que es ideal para las aeronaves. Aunque la extracción y procesamiento del titanio tiene un alto impacto ambiental, los esfuerzos para reducir el impacto de su producción incluyen el uso de tecnologías más limpias y eficientes en términos de energía.

En algunos casos, se utilizan aleaciones de titanio reciclado para reducir el consumo de recursos naturales y minimizar el impacto ambiental asociado con su producción.

El titanio es extremadamente duradero, las piezas fabricadas con este material tienen una vida útil más larga, lo que también ayuda a reducir la cantidad de residuos generados a lo largo del tiempo.

## 2.4. Materiales Biodegradables

La industria aeroespacial está explorando la utilización de materiales biodegradables y compuestos orgánicos para aplicaciones específicas, como ciertos componentes interiores de aeronaves o envases utilizados en el proceso de fabricación.

Las fibras naturales como las fibras de cáñamo o de lino como alternativa a los materiales sintéticos derivados del petróleo se están empezando a usar, estas fibras son biodegradables y tienen una menor huella de carbono.

Por otro lado, los plásticos biodegradables están siendo reemplazados por plásticos convencionales que tardan siglos en descomponerse, algunos plásticos biodegradables y biopolímeros están siendo considerados para componentes menos críticos o interiores de aviones.

## 2.5. Nanomateriales y Compuestos Avanzados

El uso de nanomateriales en la industria aeroespacial está en expansión. Estos materiales, que incluyen nanotubos de carbono, grafeno y otros compuestos, pueden ofrecer propiedades únicas, como alta resistencia, ligereza y conductividad, mientras reducen el impacto ambiental de la fabricación.

Los nanotubos de carbono, por ejemplo, pueden mejorar la resistencia de los materiales de las aeronaves sin agregar peso extra, lo que contribuye a una mayor eficiencia de combustible y el grafeno por su parte, es conocido por ser extremadamente ligero y resistente. Aunque todavía está en fase de investigación, el grafeno tiene el potencial de ser utilizado en componentes estructurales y electróni-

cos de aviones y satélites, contribuyendo a la sostenibilidad de la industria.

## 2.6. Compuestos Basados en Resinas Ecológicas

En lugar de utilizar las resinas tradicionales, que son derivadas del petróleo, la industria aeroespacial está comenzando a investigar y utilizar resinas ecológicas derivadas de fuentes renovables. Estas resinas no solo tienen un menor impacto ambiental en términos de su producción, sino que también pueden ser recicladas con mayor facilidad que las resinas convencionales.

De igual forma, las resinas de base biológica, están hechas de materiales como el aceite de soja, resinas vegetales o ácido láctico derivado de la fermentación de biomasa, lo que hace que sean más sostenibles.

Las resinas ecológicas permiten una mayor facilidad de reciclaje, lo que contribuye a la reducción de residuos en la industria aeroespacial.

## 2.7. Reciclaje de Aeronaves

El reciclaje de aeronaves al final de su vida útil es otro aspecto clave para mejorar la sostenibilidad de la industria. Los materiales utilizados en la construcción de aviones, como aluminio, titanio y plásticos, pueden ser reciclados y reutilizados para fabricar nuevos produc-

tos. A medida que las aerolíneas y fabricantes se enfocan en reducir el desperdicio, se están implementando tecnologías y procesos más eficientes para dismantelar y reciclar aeronaves de manera más efectiva.

## 2.8. Tecnologías de Impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología emergente que está ganando popularidad en la fabricación de componentes aeroespaciales. Esta tecnología permite la creación de piezas complejas de manera eficiente, utilizando menos material y reduciendo el desperdicio.

En lugar de cortar y dar forma a un bloque de material, la fabricación aditiva construye las piezas capa por capa, lo que reduce el uso de materiales y residuos.

Actualmente se están desarrollando nuevos materiales para la impresión 3D, como plásticos biodegradables y aleaciones metálicas más sostenibles, lo que ofrece un enfoque más ecológico en la producción de componentes. (Velasco & Revelo, 2019)

## 3. Tecnología espacial sostenible

Los satélites y las misiones espaciales también están experimentando un cambio hacia la sostenibilidad, cada vez encontramos más satélites más pequeños y eficien-

tes, los CubeSats son un ejemplo de estos, estos son satélites pequeños y ligeros que requieren menos recursos para su construcción y lanzamiento. Esto reduce el impacto ambiental tanto en la fabricación como en la puesta en órbita.

La tecnología espacial sostenible se refiere al desarrollo y la implementación de soluciones tecnológicas que permiten explorar, utilizar y gestionar el espacio de manera que se minimicen los impactos ambientales, sociales y económicos a largo plazo. Hoy en día, existen varias iniciativas y enfoques en curso que buscan hacer que la exploración y la utilización del espacio sean más sostenibles.

Por otro lado, la basura espacial es un problema creciente, y la industria está desarrollando tecnologías para limpiar los restos de satélites viejos. Iniciativas como el uso de redes o láseres para atraer estos restos hacia la atmosfera y destruir desechos en órbita, esto ya está en desarrollo.

Algunos aspectos clave en cuanto a tecnología espacial sostenible se revisan a continuación:

### 3.1. Satélites y la reducción de desechos espaciales

Los desechos espaciales, o "basura espacial", son un gran problema. Actualmente, existen esfuerzos para desarrollar tecnologías que reduzcan la cantidad de residuos ge-

nerados por satélites y misiones espaciales. Esto incluye la creación de satélites con capacidades para desorbitarse de manera controlada al final de su vida útil o satélites que puedan ser reutilizados. Se están investigando métodos para recuperar y reutilizar componentes de satélites en lugar de dejarlos en órbita, lo que reduciría la acumulación de basura espacial. (Hang, y otros, 2025)

### 3.2. Propulsión espacial verde

En lugar de los tradicionales motores a base de combustibles químicos, la propulsión eléctrica o iónica se está desarrollando para misiones espaciales más sostenibles. Este tipo de propulsión es más eficiente y produce menos contaminación.

Como se mencionó en el apartado anterior, las investigaciones también están enfocadas en la creación de combustibles más amigables con el medio ambiente, como biocombustibles o propulsores basados en tecnologías más limpias.

### 3.3. Reutilización de cohetes y naves espaciales

Empresas como SpaceX y Blue Origin están a la vanguardia del desarrollo de cohetes reutilizables. Este enfoque tiene un gran impacto en la sostenibilidad, ya que reduce considerablemente los costos y recursos necesarios para lanzar misiones espaciales.

Además de la reutilización de cohetes, se busca que otros componentes, como las cápsulas o las plataformas de lanzamiento, puedan ser reutilizados.

### 3.4. Energía renovable en el espacio

Los satélites y naves espaciales generalmente utilizan paneles solares como fuente de energía. La investigación en eficiencia energética ha avanzado, mejorando la captación de energía solar, lo que permite un uso más sostenible de la energía.

Las celdas solares de alta eficiencia pueden capturar más energía en menos espacio, lo que optimiza el uso de recursos en misiones espaciales.

Así mismo, algunos aviones están comenzando a incorporar paneles solares en sus superficies, especialmente en los satélites y aviones no tripulados. Estos paneles solares pueden alimentar sistemas auxiliares a bordo, reduciendo el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones. A largo plazo, los aviones comerciales podrían beneficiarse de fuentes de energía renovable integradas en sus diseños. (Rodríguez, 2008)

### 3.5. Exploración espacial con impacto ambiental controlado

Las agencias espaciales están evaluando la posibilidad de extraer

minerales de asteroides o la Luna, las investigaciones sobre asteroides y recursos espaciales están llevando a la posibilidad de dejar de explotar recursos de la Tierra.

Este tipo de minería espacial podría reducir la explotación en la Tierra y disminuir los impactos ambientales de las industrias extractivas.

### **3.6. Colaboración internacional**

Se están desarrollando marcos legales y acuerdos internacionales para asegurar que las actividades espaciales no comprometan la sostenibilidad del espacio exterior.

La Convención sobre el Derecho del Espacio Exterior y otros acuerdos buscan establecer principios de cooperación pacífica, prevención de la contaminación y el uso equitativo de los recursos.

### **3.7. Tecnología para monitorear el medio ambiente**

Muchos satélites actualmente en órbita están diseñados para monitorear el clima y el medio ambiente de la Tierra. Estos instrumentos permiten recopilar datos esenciales sobre el cambio climático, la deforestación, la contaminación, entre otros.

Esta información es crucial para la toma de decisiones y la implementación de políticas sostenibles en la Tierra.

## **4. Uso de materiales ecológicos hoy en día en la tecnología aeroespacial**

El uso de materiales ecológicos en la tecnología aeroespacial ha cobrado cada vez más relevancia en las últimas décadas, debido a la creciente conciencia sobre el impacto ambiental de la industria. Aunque la prioridad sigue siendo la seguridad, la eficiencia y la fiabilidad en los diseños aeroespaciales, los avances en materiales ecológicos están ayudando a mitigar algunos de los efectos negativos sobre el medio ambiente. A continuación, veamos algunos ejemplos de cómo se están utilizando:

### **4.1. Materiales compuestos sostenibles**

Los compuestos de fibra de carbono son ampliamente utilizados en la industria aeroespacial debido a su alta resistencia y bajo peso. Sin embargo, la producción y el reciclaje de la fibra de carbono tienen un impacto ambiental significativo. Recientemente, se están investigando materiales compuestos ecológicos, como los basados en fibras naturales (por ejemplo, cáñamo, lino o bambú) o fibras sintéticas más sostenibles, que pueden ofrecer características similares, pero con un menor impacto ambiental.

Como ya se mencionó, una de las formas más directas de reducir el impacto ambiental es a través de los biocombustibles o combustibles

sostenibles de aviación (SAF). Estos combustibles son derivados de fuentes renovables, como residuos orgánicos, algas, o aceites vegetales. Comparado con los combustibles fósiles tradicionales, los SAF tienen el potencial de reducir las emisiones de carbono hasta en un 80% durante su ciclo de vida. A medida que se incrementa la producción y la infraestructura para estos combustibles, se puede lograr una transición significativa hacia una aviación más verde. (Montufar-Marcalla & Remache-Coyago, 20-21)

## 4.2. Aluminio reciclado y aleaciones ligeras

Como se mencionó en apartado 2.2., el aluminio es un material comúnmente utilizado en la fabricación de componentes de aeronaves. El uso de aluminio reciclado es una de las estrategias más efectivas para reducir el impacto ambiental. También se están desarrollando aleaciones ligeras y más eficientes, que permiten una mayor eficiencia de combustible y reducen las emisiones de carbono en los vuelos. (Millán, 2026)

De igual forma, el uso de materiales más ligeros y aerodinámicos (como los compuestos de fibra de carbono) ayuda a reducir el consumo de combustible. Los aviones más ligeros requieren menos energía para volar, lo que resulta en una reducción de las emisiones de gases contaminantes. Además, se están

desarrollando diseños más eficientes en términos de aerodinámica, como alas más delgadas o fuselajes más optimizados.

## 4.3. Recubrimientos ecológicos

Los recubrimientos utilizados en aeronaves, como los que protegen contra la corrosión o mejoran la aerodinámica, pueden ser altamente contaminantes debido a los compuestos químicos que contienen.

Por ello, se está investigando el uso de recubrimientos ecológicos más amigables con el medio ambiente, como los recubrimientos basados en polímeros biodegradables o aquellos que usan menos sustancias tóxicas.

## 4.4. Uso de biocombustibles

En lugar de los combustibles fósiles tradicionales, los biocombustibles han sido una alternativa ecológica en la industria aeroespacial. Los aviones de nueva generación están comenzando a probar combustibles derivados de materias primas renovables, como algas o residuos orgánicos, que emiten menos gases de efecto invernadero.

## 4.5. Aerogeles ecológicos

Los aerogeles son materiales extremadamente ligeros y con una excelente capacidad de aislamiento térmico. Se están utilizando cada vez más en aplicaciones aeroespaciales debido a su eficiencia.

Además, algunos aerogeles se están desarrollando con procesos más sostenibles y materiales menos contaminantes. (Aghbalou, 20-23)

#### **4.6. Energía renovable en el diseño de naves**

El uso de paneles solares y otras tecnologías basadas en energía renovable se han venido integrando en los diseños de satélites y aeronaves. Esto reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables y puede contribuir a la eficiencia energética.

De igual forma, los aviones eléctricos y híbridos están comenzando a ser una realidad en el diseño de la aviación. Aunque estos aviones aún están en las etapas iniciales de desarrollo, las primeras pruebas y modelos para vuelos cortos y medianos ya están mostrando el potencial para reducir drásticamente las emisiones. Las baterías y celdas de combustible están mejorando constantemente, y se espera que en el futuro haya una mayor adopción de esta tecnología en la aviación comercial.

#### **4.7. Tecnología para la reducción de emisiones de CO2**

Además de los materiales, la innovación en la tecnología de los motores y sistemas de propulsión también está enfocada en reducir las emisiones contaminantes. El desarrollo de motores más eficientes y el

uso de materiales como el titanio y otros elementos ligeros pueden contribuir a la reducción de la huella de carbono de los aviones.

La mejora de la eficiencia de los motores es una de las formas más efectivas para reducir las emisiones de CO2 en la aviación. Esto incluye el desarrollo de motores más eficientes que consumen menos combustible y generan menos emisiones. Empresas aeronáuticas están invirtiendo en motores híbridos y eléctricos, los cuales prometen un menor consumo de combustible y una reducción de las emisiones contaminantes. (Chavarry, Zavala, & Rojo, 2023)

### **Conclusiones / Reflexiones finales**

1. Los combustibles sostenibles para aeronaves son una de las mejores oportunidades para hacer frente al desafío de la descarbonización del sector aeronáutico. Aunque todavía existen obstáculos técnicos y económicos, la innovación en esta área está en pleno auge y promete contribuir significativamente a la sostenibilidad de la aviación en el futuro.
2. La industria aeroespacial está adoptando una variedad de materiales ecológicos para hacer frente a los desafíos medioambientales y avanzar hacia un futuro más sostenible. Desde el uso de compuestos de fibra de

carbono y aluminio reciclado hasta la exploración de biocompuestos y materiales biodegradables, el enfoque en la sostenibilidad está marcando una diferencia significativa en la reducción de la huella de carbono y el impacto ambiental de la industria. A medida que la tecnología avanza, es probable que veamos una adopción aún mayor de estos materiales ecológicos, lo que contribuirá a una aviación más verde y responsable.

3. La industria aeroespacial está avanzando hacia un futuro más sostenible mediante la incorporación de materiales ecológicos y el desarrollo de nuevas tecnologías que no solo mejoran la eficiencia y la seguridad, sino que también ayudan a minimizar el impacto ambiental. Sin embargo, estos cambios son graduales y requieren un esfuerzo continuo en investigación y desarrollo para encontrar soluciones viables y económicamente rentables.
4. El camino hacia una tecnología espacial más sostenible se está construyendo con una combinación de innovación tecnológica, mejores prácticas de gestión de recursos y un enfoque global hacia la protección del medio ambiente, tanto en la Tierra como en el espacio. La sostenibilidad espacial hoy es una prioridad creciente, y los avances en estos campos son esenciales para asegurar un futuro más se-

guro y responsable en la exploración espacial.

5. Por último, la innovación aeroespacial y la sostenibilidad están cada vez más interconectadas, con un claro objetivo de reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en todas las áreas de la industria. Estos avances no solo son cruciales para combatir el cambio climático, sino que también abren nuevas oportunidades para el desarrollo de tecnologías que pueden beneficiar a diversas industrias en el futuro.

## Referencias

- Aghbalou, S. (2023). Desarrollo y caracterización de aerogeles biobasados. (pág. 76). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Chavarry, C. M., Zavala, J. d., & Rojo, M. A. (2023). Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 52-62.
- Hang, X., Lujiang, L., Yanning, G., Youmin, G., Bin, S., & Guangfu, M. (2025). Mission planning for repeated multi-spacecraft non-contact debris removal. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- Millán, F. (2026). Fabricación y caracterización de la aleación de aluminio reciclado con adición de silicio particulado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Montufar-Marcalla, A., & Remache-Coyago, A. (2021). Composite materials of polymer reinforced with cabuya and coconut fiber applied to the automotive sector. *Ciencias técnicas y aplicadas*, 436-465.

Parejo, T., & Marjaliza, C. (2024). Sustainable aviation fuels: an industrial opportunity for Spain for a just ecological transition. *Revista Diecisiete*, 22.

Rodríguez, H. (2008). Development of Solar Energy in Colombia and its

Prospects. *Revista de Ingeniería*, 83-89.

Velasco, E., & Revelo, D. (2019). 3D printing: the new industrial revolution. *I+T+C Investigación, Tecnología y Ciencia*, 60-71. 

**Jorge Enrique Espíndola Díaz**, PhD. Ingeniero de Sistemas de la Universidad EAN, profesor titular de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la UPTC seccional Sogamoso; Especialista en Telemática de la Universidad Autónoma de Colombia, con Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital; Doctor en Ciencias de Ingeniería y Tecnología Espacial del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales, INPE - Brasil; realizó su pasantía internacional en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Ben-Gurión del Néguev, en Beersheba, Israel. Actualmente hace un posdoctorado a través de una beca de Minciencias en la empresa M&D AeroSpace, donde se desarrolla un proyecto con tecnología satelital.