



**Diseño de un hábitat análogo de bajo costo en Colombia: Hábitat Análogo de Exploración  
Espacial Simulada Colombia, HAdEES-C**

Maria Alejandra Botero Botero

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniera aeroespacial

Asesor

Juan Francisco Puerta Ibarra, MSc en Space Systems Engineering

Yael Natalia Mendez Chaparro, Microbióloga

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Aeroespacial

El Carmen de Viboral

2023

Cita	Botero Botero [1]
<b>Referencia</b>	[1] M. A. Botero Botero, “Diseño de un hábitat análogo de bajo costo en Colombia: Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada, HAdEES-C”, Seleccione modalidad de grado, Ingeniería Aeroespacial, Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	10
A. Objetivo general	10
B. Objetivos específicos	10
III. MARCO TEÓRICO	11
Usos y aplicaciones de los hábitats análogos	12
Diseño de hábitats análogos	16
Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C)	16
Algunas consideraciones de diseño para un hábitat análogo de bajo costo	19
IV. METODOLOGÍA	21
Primera fase: Levantamiento de planos estructurales y documentación del proceso de diseño	21
Segunda fase: Apoyo al diseño del plan estratégico y la agenda científica	21
Tercera fase: Planeación de actividades técnicas y operativas y elaboración del informe final	22
V. RESULTADOS	23
VI. ANÁLISIS	26
VII. CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	30
ANEXOS	31

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema HAdEES-C .....	17
Fig. 2. Instalaciones HAdEES-C.....	18
Fig. 3. Vista aérea de HAdEES-C.....	19

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>DXF</b>	Drawing Exchange Format
<b>EAR</b>	Exploración Asistida por Robots
<b>EVA</b>	Actividad extravehicular (Extra-Vehicular Activity, en inglés)
<b>HAdEES-C</b>	Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada
<b>IAC</b>	International Astronautical Congress
<b>PDF</b>	Portable Document Format
<b>PNG</b>	Portable Network Graphics
<b>STEP</b>	Standard for the Exchange of Product Data
<b>SVG</b>	Scalable Vector Graphics

---

## RESUMEN

El Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada (HAdEES-C), situado en Bogotá, Colombia, es el primer hábitat de simulación para misiones análogas construido en el país. Operado por la Fundación Cydonia, este hábitat brinda la oportunidad de desarrollar y probar operaciones en condiciones simuladas similares a las de la Luna, Marte y otros cuerpos planetarios. El objetivo de esta práctica es apoyar el desarrollo de actividades científicas e ingenieriles en la dirección técnica de HAdEES-C mediante el levantamiento de planos, el apoyo al diseño de operaciones y la ejecución de actividades de divulgación. Como resultado, se ha creado un repositorio abierto que brinda acceso gratuito a los planos estructurales y de redes del hábitat análogo, permitiendo su uso y referencia como hoja de ruta para la creación de iniciativas similares en todo el mundo. Además, se ha contribuido a la planificación de las operaciones en la estación. Por último, se han realizado actividades de apropiación social del conocimiento en espacios de divulgación, principalmente en redes sociales. En resumen, en esta práctica se ha brindado apoyo en la planeación, desarrollo y prueba de conceptos, operaciones y actividades en el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada HAdEES-C. Los resultados obtenidos han permitido la realización de los planos del hábitat, el avance en la planificación de futuras misiones análogas y la promoción del interés y la participación en la exploración espacial a través de actividades divulgativas.

***Palabras clave* — Hábitat análogo, misión análoga, exploración espacial tripulada.**

---

**ABSTRACT**

The Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada HAdEES-C (Simulated Space Exploration Analog Habitat), located in Bogota, Colombia, is the first analog mission simulation habitat built in the country. Operated by the Cydonia Foundation, this habitat provides the opportunity to develop and test operations in simulated conditions similar to those of the Moon, Mars, and other planetary bodies. The objective of this internship is to support the development of scientific and engineering activities in the technical direction of HAdEES-C by drawing up plans, supporting the design of operations and carrying out outreach activities. As a result, an open repository has been created that provides free access to the structural and network drawings of the analog habitat, allowing their use and reference as a roadmap for the creation of similar initiatives around the world. In addition, contributions have been made to station operations planning. Finally, activities of social appropriation of knowledge have been carried out in spaces of outreach, mainly in social networks. In summary, this internship has provided support in the planning, development and testing of concepts, operations and activities in the HAdEES-C Analogous Simulated Space Exploration Habitat. The results obtained have allowed the realization of the habitat drawings, the progress in the planning of future analog missions and the promotion of interest and participation in space exploration through divulgation activities.

***Keywords* — Analog habitat, analog mission, crewed space exploration.**

---

## I. INTRODUCCIÓN

Las misiones análogas desempeñan un papel fundamental en la preparación para la exploración tripulada de cuerpos planetarios como la Luna, Marte e incluso asteroides. Estas misiones implican pruebas de campo en lugares que presentan similitudes físicas con los entornos espaciales extremos, permitiendo así probar tecnologías, procedimientos y protocolos sin tener que salir de la Tierra. Esto es especialmente importante, dado que llevar a cabo todos los experimentos en el espacio resultaría costoso y arriesgado.

La investigación llevada a cabo en entornos análogos abarca una amplia gama de aspectos, incluyendo nuevas tecnologías, equipos robóticos, vehículos, hábitats, comunicaciones, generación de energía, movilidad, infraestructura, manejo y almacenamiento de recursos. También se estudian los efectos del comportamiento humano, como el aislamiento, la dinámica de equipo, la fatiga del menú y otros factores. En este sentido, las estaciones análogas se convierten en un sitio excelente para investigar y validar operaciones de exploración espacial tripulada, así como para prepararse para enfrentar los riesgos y desafíos del espacio. Los hábitats o estaciones, concebidos como instalaciones donde los seres humanos pueden vivir y llevar a cabo sus actividades, ya sean permanentes o temporales, desempeñan un papel indispensable en el desarrollo de misiones de exploración espacial humana y misiones análogas [1].

Un ejemplo de hábitat análogo es el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada (HADEES-C), construido por la Fundación Cydonia al norte de la ciudad de Bogotá, Colombia. La Fundación Cydonia tiene como objetivo contribuir al desarrollo espacial en Colombia, centrándose en particular en la exploración humana del espacio y proporcionando acceso a un entorno asequible para el desarrollo de misiones análogas. Esta estación de 178 m<sup>2</sup> cuenta con cinco estructuras habitables, que incluyen los dormitorios, una cocina, una esclusa, un invernadero con baño y un domo principal que alberga un laboratorio de ingeniería, otro de geobiología, una zona de trabajo y una zona de ejercicio. El hábitat está diseñado para recibir tripulaciones de hasta seis personas durante períodos estándar de dos semanas.



Con el objetivo de simular las condiciones de una estación planetaria en la Luna o Marte, el hábitat impone restricciones en cuanto a recursos como agua y electricidad. La dieta de los tripulantes se limita a comidas secas o deshidratadas, y las comunicaciones están restringidas en términos de modalidad y ancho de banda. Los miembros de la tripulación están confinados en el hábitat y pueden realizar actividades extra vehiculares utilizando un simulador de traje espacial llamado Cóndor v1.5.

La presente práctica se orienta al levantamiento de planos, el apoyo a la planeación de operaciones, y la ejecución de propuestas de divulgación que posibiliten ejecutar actividades en relación con la ciencia y la ingeniería aeroespacial. Estas actividades abarcan desde el diseño hasta la planificación y ejecución de operaciones espaciales simuladas, así como la difusión del conocimiento y la promoción de la divulgación científica en este campo.

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Apoyar la ejecución de actividades científicas y de ingeniería en la dirección técnica del Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada HAdEES-C construido y operado por la Fundación Cydonia.

### *B. Objetivos específicos*

Realizar el levantamiento de planos estructurales y de redes del hábitat para simulación de misiones espaciales.

Apoyar el diseño y desarrollo de operaciones de simulación de misiones espaciales (análogos) en el hábitat HAdEES-C.

Apoyar la planeación y ejecución de actividades de divulgación científica relacionadas a viaje espacial tripulado.

Apoyar el planteamiento del plan estratégico y agenda científica.

---

### III. MARCO TEÓRICO

La exploración espacial ha despertado un gran interés en los seres humanos a lo largo de la historia. La curiosidad innata nos ha impulsado a buscar comprender el vasto universo que nos rodea, los cuerpos celestes y los diferentes fenómenos astronómicos. En los últimos años se han popularizado los viajes espaciales y la exploración espacial tripulada, incluso se comienza a vislumbrar establecer una presencia humana sostenible más allá de la Tierra, como en la Luna o Marte.

En este contexto, los hábitats análogos juegan un papel fundamental en la preparación y el avance de la exploración espacial. Las misiones análogas nos preparan para la exploración de cuerpos planetarios como la Luna y Marte, o incluso asteroides, jugando un papel primordial en los viajes espaciales tripulados. Estos entornos diseñados con el objetivo de simular algunas condiciones y desafíos que los astronautas podrían enfrentar durante misiones espaciales ofrecen la oportunidad de realizar pruebas, entrenamientos y experimentos en condiciones similares a las del espacio, sin tener que depender exclusivamente de misiones reales.

Comprenden pruebas de campo en lugares que tienen similitudes físicas con los entornos espaciales extremos y ofrecen la posibilidad de realizar investigaciones científicas y probar y perfeccionar tecnologías, estrategias, protocolos y procedimientos sin salir de la Tierra antes de implementarlos en el espacio. Además, permiten estudiar los efectos fisiológicos y psicológicos de vivir y trabajar en entornos cerrados y aislados durante períodos prolongados, evaluar los sistemas de soporte vital y los trajes espaciales, diseñar estrategias de gestión de recursos, simular escenarios de emergencia, desarrollar protocolos de exploración, entre otros.

La importancia de los hábitats análogos radica en su capacidad para impulsar el avance de la exploración espacial, al proporcionar un entorno controlado y realista para experimentar. Estas simulaciones de misiones espaciales en la Tierra resultan fundamentales, ya que realizar todos los experimentos directamente en el espacio conlleva costos elevados y riesgos significativos. Estos escenarios nos permiten aprender, prepararnos y perfeccionar nuestras prácticas para futuras

misiones espaciales, al tiempo que nos brindan la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos y las tecnologías desarrolladas para mejorar la vida en la Tierra.

La investigación desarrollada en ambientes análogos incluye: nuevas tecnologías, equipos robóticos, vehículos, hábitats, comunicaciones, generación de energía, movilidad, infraestructura, manejo y almacenamiento de recursos. También se observan efectos de comportamiento, como aislamiento y confinamiento, dinámica de equipo, fatiga del menú y otros [1].

En este sentido, las estaciones análogas se convierten en un excelente espacio para investigar acerca de la exploración espacial tripulada, validar operaciones de exploración y prepararse para enfrentar los riesgos y desafíos del espacio. El hábitat o estación, visto como una instalación donde los humanos puedan vivir y desarrollar sus actividades, y que puede ser permanente o temporal (por ejemplo, transportable), es un elemento indispensable para desarrollar misiones de exploración humana del espacio y para misiones análogas [1].

En las últimas décadas, se han diseñado y construido diversos hábitats con diferentes propósitos. Algunos de ellos se han creado con el fin de examinar el entorno en el que se encuentran, como es el caso de HMP. Otros, por otro lado, se han centrado en el desarrollo y prueba de tecnología, como los ejemplos de Bios-3 y Lunar Palace 1. Es posible llevar a cabo investigaciones sobre factores humanos en prácticamente todos estos hábitats, aunque algunos están especialmente diseñados para este tipo de estudio, como HI-SEAS y NEK [2].

### *Usos y aplicaciones de los hábitats análogos*

Los hábitats análogos brindan un ambiente controlado donde los tripulantes, investigadores y científicos pueden simular situaciones de aislamiento, limitaciones de espacio y recursos y otros desafíos que se encontrarían en el espacio. Esto les permite adquirir experiencia, entrenarse en tareas específicas y practicar operaciones de exploración, probando técnicas y procedimientos específicos para la geología de campo, la recolección de muestras biológicas y la protección planetaria [3]. Además, dichos sitios permiten probar procedimientos de seguridad y respuesta a

emergencias y realizar experimentos en agricultura y producción de alimentos en ambientes cerrados, factores humanos relacionados con el aislamiento, entre otros.

Otro aspecto importante de los hábitats análogos es su papel en el desarrollo y prueba de tecnologías espaciales. Estos entornos permiten probar y perfeccionar vehículos de exploración espacial, como rovers y drones, como fue el caso de la misión análoga EAR (Exploración Asistida por Robots), conformada por seis estudiantes del pregrado de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Antioquia en donde se probó el rover SARA diseñado y construido por el Semillero de Investigación Voyager de la misma universidad y su integración con los tripulantes y con drones comerciales.

Además de lo anterior, permiten hacer pruebas con otras tecnologías necesarias para la vida en el espacio como trajes espaciales análogos, sistemas de soporte vital, entre otros. Esto ayuda a validar conceptos y soluciones de diseño antes de su implementación en misiones espaciales reales, reduciendo riesgos y optimizando recursos, debido a que es muy costoso realizar todas las pruebas en el espacio.

Los hábitats análogos no solo tienen un impacto en la exploración espacial, sino que también pueden contribuir a mejorar la vida en la Tierra. A través del desarrollo de tecnologías sostenibles, gestión eficiente de recursos, eficiencia energética, gestión de residuos y avances en la agricultura en condiciones extremas, estos entornos simulados pueden impulsar la innovación y la adopción de prácticas más sostenibles. Además, pueden ser utilizados para abordar desafíos globales como la seguridad alimentaria, el cambio climático y la gestión de desastres naturales. La experiencia adquirida en los hábitats análogos puede ser transferida y aplicada en comunidades que enfrentan condiciones similares en la Tierra como la escasez de agua, brindándoles soluciones tecnológicas y conocimientos prácticos para mejorar su calidad de vida.

Los hábitats análogos se convierten entonces en el escenario ideal para:

- Ciencia e investigación: Los hábitats análogos proporcionan entornos donde los científicos pueden llevar a cabo investigaciones científicas relevantes para la

---

exploración espacial. Los resultados de estas investigaciones contribuyen a nuestra comprensión de la vida en el espacio sometida a condiciones de aislamiento y a la búsqueda de posibles soluciones para los desafíos que plantea la vida en otros cuerpos planetarios como la luna y Marte.

- **Desarrollo de tecnologías espaciales:** Los hábitats análogos sirven como plataformas de prueba y desarrollo de tecnologías espaciales. Estos entornos permiten probar y mejorar sistemas de soporte vital, sistemas de energía renovable, sistemas de comunicación, tecnologías de reciclaje de agua y aire, entre otros. Al desarrollar y perfeccionar estas tecnologías en hábitats análogos, se pueden identificar y resolver problemas antes de implementarlas en misiones reales, aumentando así la eficiencia y la seguridad en el espacio.
- **Validación de concepto:** Los hábitats análogos ofrecen la oportunidad de validar conceptos, diseños y protocolos antes de su implementación en el espacio. A través de simulaciones y pruebas en un análogo, se pueden identificar y corregir posibles deficiencias o limitaciones en el diseño de hábitats espaciales, tecnologías a usar y protocolos a seguir para llevar a cabo diferentes tareas. Esto ayuda a optimizar el uso de los recursos disponibles, reducir los riesgos a los que se enfrentará la tripulación en el espacio, garantizar la eficacia de los sistemas y soluciones implementados en las misiones reales y conocer de antemano cómo actuar ante diferentes situaciones que pueden presentarse.
- **Educación y divulgación científica:** Los hábitats análogos también desempeñan un papel importante en la educación y divulgación científica. Estos entornos proporcionan oportunidades de aprendizaje y experiencias prácticas para estudiantes, profesionales y entusiastas interesados en la exploración espacial. A través de visitas, charlas y actividades educativas, se puede difundir el conocimiento y la investigación relacionada con la exploración espacial, fomentando así el interés y la participación en el campo. Por ejemplo, en [4] se aborda el uso de misiones espaciales análogas como herramienta educativa en escuelas primarias, en donde

los niños de primaria son capaces de aprender habilidades como ingeniería de sistemas y gestión de proyectos.

- **Innovación tecnológica y transferencia de conocimientos:** Los hábitats análogos requieren soluciones innovadoras y eficientes en múltiples disciplinas para gestionar recursos como el agua, el aire, la energía, las comunicaciones y los alimentos. A medida que se enfrentan los desafíos de diseñar y construir hábitats simulados, se requiere el desarrollo de nuevas tecnologías, soluciones creativas y enfoques multidisciplinarios. Estas innovaciones pueden tener aplicaciones tanto en la exploración espacial como en otros ámbitos de la vida cotidiana, lo que conduce a la transferencia de conocimientos y beneficios prácticos para la sociedad en general, contribuyendo a la conservación de recursos, la implementación de prácticas más sostenibles y la seguridad alimentaria. En este aspecto se consideran aplicaciones relacionadas con eficiencia energética, agricultura y producción de alimentos, gestión de residuos y reciclaje, filtrado y reutilización del agua, etc.
- **Evaluación de factores humanos:** Los hábitats análogos permiten evaluar y comprender mejor los factores humanos relacionados con la vida en el espacio. Estos entornos simulados proporcionan información valiosa sobre el rendimiento, la psicología y las relaciones interpersonales de la tripulación en condiciones extremas y aisladas. La comprensión de estos factores humanos es esencial para desarrollar y probar medidas y respuestas a posibles situaciones peligrosas, lo que puede contribuir a mejorar la seguridad, el bienestar y el rendimiento óptimo de los astronautas en misiones espaciales [5].
- **Preparación de astronautas:** Aunque los tripulantes de misiones análogas no adquieren el título de astronautas, ni es un requisito participar de estas para la formación como astronauta, los hábitats análogos permiten que los astronautas se preparen adecuadamente para las condiciones y desafíos que enfrentarán durante las misiones espaciales. Estos entornos simulados les brindan la oportunidad de familiarizarse con el aislamiento, las limitaciones de recursos y otros aspectos del

entorno espacial. Los astronautas pueden entrenarse en tareas específicas, practicar protocolos de seguridad y emergencia, y adquirir habilidades prácticas necesarias para el éxito de la misión.

### *Diseño de hábitats análogos*

El diseño centrado en el humano es una metodología que se utiliza para desarrollar hábitats análogos teniendo en cuenta las necesidades y comodidades de los tripulantes de las misiones a desarrollarse allí. Al diseñar estos hábitats, se consideran diversos factores relacionados con la habitabilidad y la funcionalidad del espacio habitable. Uno de los aspectos clave del diseño centrado en el humano es determinar el volumen habitable necesario. Esto implica analizar las tareas que se esperan desarrollar en el hábitat y las actividades diarias a desarrollarse durante su misión. Se tienen en cuenta los equipos y dispositivos que se utilizarán, los espacios de almacenamiento requeridos y las áreas para la investigación, el descanso, el ejercicio y el entretenimiento [6].

Además de las tareas específicas, también se considera el número de miembros de la tripulación que estarán viviendo y trabajando en el hábitat y la duración de las misiones análogas. Las misiones más largas requieren que se proporcionen instalaciones adicionales, como áreas de cultivo de alimentos y sistemas de reciclaje de agua. La habitabilidad de las estaciones espaciales y simuladas es crucial, ya que los astronautas y tripulantes, respectivamente, pasarán todo el tiempo viviendo y trabajando en ellas.

### *Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C)*

El Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C) es una estación de 178m<sup>2</sup> ubicada en Casa Tibaná, Chía, en una zona rural al norte de la ciudad de Bogotá D.C. en Colombia [7]. Dicho sitio tiene como objetivo simular algunas de las condiciones y desafíos de la exploración espacial tripulada en un entorno de bajo costo. Esto permite a



estudiantes, investigadores y científicos, principalmente de Latinoamérica, realizar investigaciones y probar tecnologías en un contexto relevante para futuras misiones espaciales.

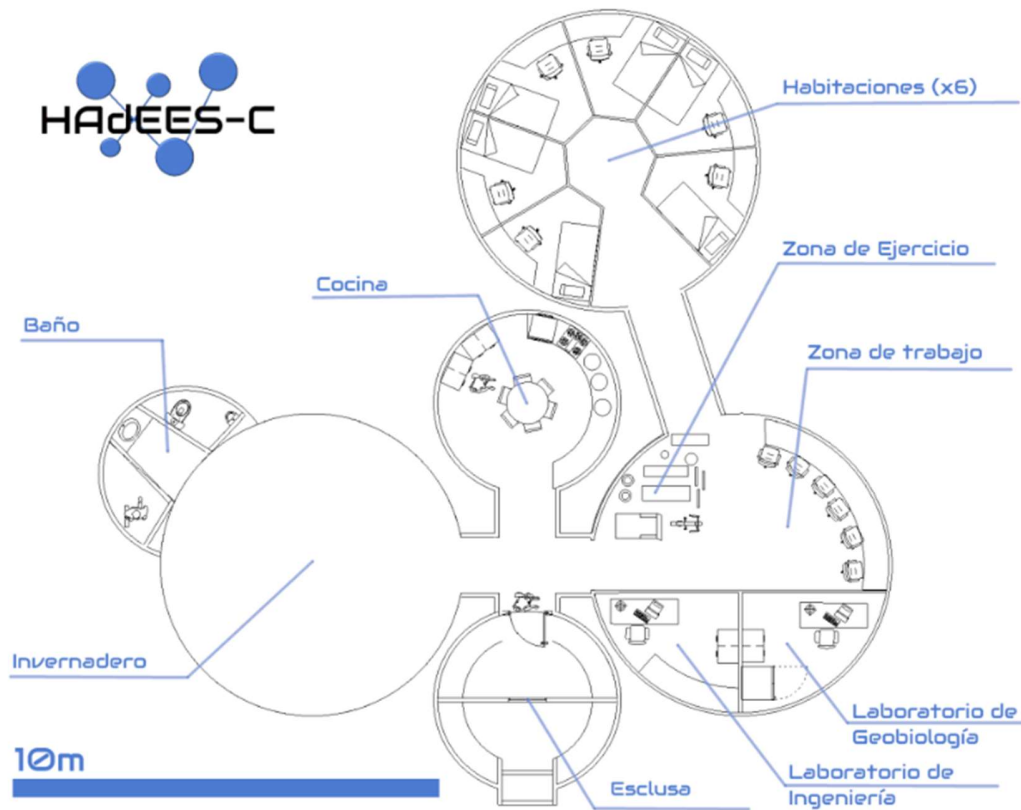


Fig. 1. Esquema HAdEES-C

Nota. Fuente <https://drive.google.com/file/d/1S6I4AP5WLSnaURAG5pVqzD63cGe3Puxt/view>

La estación (Fig. 1.) está compuesta por cinco estructuras habitables que albergan diferentes espacios. Entre ellos se encuentra un airlock o esclusa, que es un área que permite el paso de personas y objetos entre entornos de diferente presión o composición atmosférica, minimizando la mezcla de ambientes y los cambios de presión en los espacios contiguos. El airlock, permite a los tripulantes simular la entrada y salida de un hábitat espacial. Junto a él, se encuentra un espacio para *donning* y *doffing*, donde los tripulantes se ponen y se quitan los simuladores de trajes espaciales.

Además, la estación cuenta con un invernadero, donde se cultivan plantas para el consumo de alimentos frescos o realizar investigaciones relacionadas con la agricultura en entornos

espaciales, un laboratorio de geobiología, un laboratorio de ingeniería para el desarrollo y prueba de tecnologías, una sala con habitaciones para el descanso de los tripulantes, un espacio destinado al ejercicio físico, un baño seco que no requiere agua para su funcionamiento, un vestier y una cocina.



Fig. 2. Instalaciones HAdEES-C

En estas instalaciones (Fig. 2. y Fig. 3.), se confinan tripulaciones conformadas por 6 personas durante 15 días, que podrán realizar actividades extravehiculares (EVAs) haciendo uso del simulador de traje espacial Cóndor v1.5. Cada miembro de la tripulación desempeña un cargo específico dentro de la estación, que incluye roles como comandante, oficial ejecutivo, oficial de botánica, oficial de ciencia, oficial de ingeniería y relator. El comandante es responsable de liderar y coordinar las actividades de la tripulación, el oficial ejecutivo asiste al comandante en sus funciones y se encarga de la gestión operativa. El oficial de botánica se ocupa del invernadero y de la producción de algunos alimentos frescos, mientras que el oficial de ciencia lidera investigaciones

científicas y experimentos. El oficial de ingeniería se encarga del mantenimiento y la operación de los sistemas y equipos, y el comunicador es responsable de relatar cómo se vive día a día la misión.



Fig. 3. Vista aérea de HAdEES-C

Durante su estadía en el hábitat, las tripulaciones se enfrentan a diversas restricciones de recursos como una cantidad limitada de agua disponible, un retraso de 20 minutos en las comunicaciones y la restricción de acceso a las redes sociales. Además, se tiene una dieta basada en alimentos deshidratados, complementada con la cosecha de alimentos frescos del invernadero de la estación. Estas restricciones y adaptaciones contribuyen a simular las condiciones y desafíos reales de una misión espacial, permitiendo a las tripulaciones comprender y enfrentar las limitaciones asociadas con la vida y el trabajo en el espacio.

#### *Algunas consideraciones de diseño para un hábitat análogo de bajo costo*

a) Estructura y materiales: Al diseñar un hábitat análogo de bajo costo en Colombia, es importante utilizar materiales asequibles y duraderos. En el caso de HAdEES-C, se utilizó madera, plástico, tubería metálica y lonas. Además de la elección de materiales, se debe tener en cuenta la regulación de la temperatura dentro de la estación. Es importante mantener una temperatura habitable para los tripulantes. Esto

---

puede requerir la instalación de sistemas de ventilación adecuados, que permitan el control y la circulación del aire dentro del hábitat análogo. Estos sistemas contribuirán a proporcionar un ambiente confortable y seguro para los ocupantes durante su estadía en la estación.

b) Espacios: Es relevante considerar los espacios habitables necesarios para las actividades diarias de los tripulantes en un entorno simulado de exploración espacial, dado que el hábitat es el lugar donde los tripulantes van a desarrollar todas sus actividades diarias, con excepción de las actividades extravehiculares. Por tanto, se deben incluir áreas para el descanso, trabajo, almacenamiento de equipos y suministros, preparación y consumo de alimentos, así como áreas comunes para el ejercicio y el entretenimiento.

c) Ubicación y entorno: La selección de un lugar adecuado para establecer el hábitat análogo es importante. Lo ideal es buscar un terreno que se asemeje a las características paisajísticas y ambientales de otros cuerpos celestes, como la Luna o Marte. Esto podría implicar elegir un lugar con un paisaje árido, escaso en vegetación y con condiciones climáticas extremas.

Aunque inicialmente el hábitat análogo se encuentra ubicado cerca de la ciudad, la idea es que una vez se adquiriera suficiente experiencia en su operación y se puedan garantizar condiciones seguras para los tripulantes, este pueda ser trasladado a diferentes ubicaciones en todo el país. Colombia cuenta con un contexto geográfico que brinda algunos lugares que presentan condiciones de interés a la hora de simular misiones espaciales, como lo es el desierto de La Tatacoa o el volcán nevado del Ruiz. En estos sitios se puede recrear de manera más precisa las condiciones que se encontrarían en misiones espaciales reales y se tiene la oportunidad de realizar investigaciones y pruebas en un entorno aún más realista.

---

#### IV. METODOLOGÍA

La metodología propuesta consta de tres fases distintas, cada una enfocada en aspectos específicos para el desarrollo del proyecto de Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia. La presente propuesta de práctica comprende, como primera fase, el levantamiento de los planos estructurales del Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia y la elaboración de la documentación del proceso de diseño de una estación análoga modular de bajo costo, de modo que pueda adaptarse a las condiciones y requerimientos de misión. La segunda etapa comprende dos actividades en paralelo, las cuales son: el apoyo al diseño de un plan estratégico y al planteamiento de la agenda científica. En la última fase, se trabaja en la planeación de actividades técnicas y operativas a realizar durante la segunda temporada de misiones análogas en el hábitat. Por último, se plantea la elaboración del informe final que dé cuenta del trabajo desarrollado durante la totalidad de la práctica. A continuación, se detallan las tres fases:

##### *Primera fase: Levantamiento de planos estructurales y documentación del proceso de diseño*

En esta fase inicial, se lleva a cabo el levantamiento de los planos estructurales del Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia. Esto implica la elaboración de los planos estructurales de la estación análoga, considerándola una estructura modular. A continuación, se lleva a cabo la definición de los planos de redes y servicios como electricidad, agua y comunicaciones. Además, se genera documentación que describe el proceso de diseño, dando fin a la primera etapa que será compilada en un repositorio de acceso gratuito.

##### *Segunda fase: Apoyo al diseño del plan estratégico y la agenda científica*

En esta fase, se desarrollan dos actividades en paralelo:

**Diseño del plan estratégico:** Con un plan estratégico se busca establecer los objetivos de la organización a corto, mediano y largo plazo. Es importante que estos objetivos estén claramente definidos y sean congruentes con la visión y misión de la Fundación Cydonia y el proyecto del hábitat análogo. También se identifican los recursos necesarios para lograr dichos objetivos, lo que

incluye tanto recursos financieros como humanos. En esta actividad se da apoyo en las primeras etapas como lo son el planteamiento inicial de Cydonia y el hábitat como un sistema perteneciente al ecosistema espacial colombiano, la identificación de posibles aliados y grants y algunas actividades e ideas a ejecutar para la mejora de la simulación de operaciones y actividades en el hábitat.

Planteamiento de la agenda científica: En esta actividad, se busca elaborar un documento orientador que establece las estrategias para el desarrollo de las actividades científicas, de innovación tecnológica y de apropiación social del conocimiento en el contexto del hábitat análogo. Se definen las áreas temáticas, líneas y sub-líneas de investigación que se abordarán, buscando crear un marco científico relacionado específicamente con la exploración humana del espacio. Particularmente, se brinda apoyo en la búsqueda de posibles propuestas de proyectos a desarrollar y en la generación de contenidos divulgativos e ideas principalmente para charlas y redes sociales.

#### *Tercera fase: Planeación de actividades técnicas y operativas y elaboración del informe final*

En esta última fase, se trabaja en la planificación de algunas actividades técnicas y operativas que se llevarán a cabo durante la segunda temporada de misiones análogas en el hábitat. Esto incluye algunas ideas de actividades a desarrollar durante las misiones análogas, implementos por adquirir y operaciones para mejorar la simulación.

Por último, se plantea la elaboración del informe final, que tiene como objetivo documentar y comunicar el trabajo realizado durante el desarrollo de la práctica. El informe final es un registro de las actividades realizadas, los resultados obtenidos, algunas lecciones aprendidas y recomendaciones para futuras iteraciones o mejoras en el proyecto.

En resumen, esta metodología abarca desde el diseño inicial del hábitat análogo, pasando por el acompañamiento a la planificación estratégica y científica, hasta la ejecución y documentación de las actividades.

## V. RESULTADOS

Dentro de los resultados se tiene la publicación de un repositorio abierto que brinda acceso gratuito a los planos estructurales y de redes del hábitat análogo para que pueda ser usado, replicado o referido como hoja de ruta para la creación de iniciativas similares en otras partes del mundo. En el repositorio se ha compilado el diseño del Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C), allí se encuentran los planos, la definición de la distribución de espacios, las dimensiones y algunos de los materiales utilizados durante la construcción. La estación HAdEES-C fue modelada de manera paramétrica en Inventor, posteriormente se realizaron los planos. Se utilizan diferentes formatos de archivo para los planos y esquemas, incluyendo formatos de archivo editables como Autodesk Inventor Assembly (.iam), IPT - Autodesk Inventor Part File (.ipt), y SVG, formatos de archivo de intercambio como STEP y DXF, y formatos de archivo no editables como PDF y PNG, por tanto, el repositorio cuenta con una guía de formatos de archivos. Además, se incluye un listado de partes y el sistema de enumeración de partes o codificación. El repositorio se encuentra en el siguiente enlace: <https://linktr.ee/hadeesc>

En el ámbito administrativo, se llevó a cabo una revisión de los posibles *grants* y oportunidades de financiamiento a los que la Fundación Cydonia puede aplicar. Igualmente, se exploraron posibles alianzas y colaboraciones con otras instituciones y organizaciones. Estas alianzas estratégicas pueden fortalecer la capacidad de la Fundación Cydonia para llevar a cabo proyectos conjuntos, compartir conocimientos y recursos, y ampliar el impacto de sus actividades en la comunidad científica y en la sociedad en general.

Al mismo tiempo, se contribuyó a la planeación de la segunda temporada de misiones análogas en la estación, creando un listado de ideas para mejorar la simulación, identificando áreas específicas que pueden ser mejoradas. Estas ideas pueden incluir la incorporación de implementos o escenarios, la introducción de protocolos o desafíos adicionales para los tripulantes, la implementación de tecnologías, la mejora de los sistemas de trajes espaciales y comunicaciones, entre otros aspectos. Lo anterior, con el objetivo de enriquecer la experiencia de los tripulantes de misiones análogas, mejorar la habitabilidad de la estación y lograr una simulación aún más realista.

Asimismo, se ha generado un listado de posibles proyectos a desarrollar en el ámbito de los hábitats análogos.

En el ámbito de la divulgación científica y la apropiación social del conocimiento, se diseñaron y publicaron algunas publicaciones relevantes en las redes sociales de la Fundación Cydonia y se llevó a cabo la planeación del ciclo de charlas "Planeando tu misión análoga". Este ciclo consistió en cuatro charlas dictadas por Óscar Ojeda, que se llevaron a cabo entre el 14 de febrero y el 7 de marzo. Las charlas abordaron diferentes aspectos relacionados con las misiones análogas. La primera charla, titulada "Introducción a las misiones análogas", exploró el origen del concepto de análogos y su aplicación tanto en misiones espaciales como en situaciones terrestres. La segunda charla, "Diseñando tu misión análoga", se centró en cómo definir los objetivos de una misión análoga, seleccionar una tripulación adecuada y obtener el máximo provecho de esta experiencia. La tercera charla, "Haciendo ciencia en misiones análogas", abordó las buenas prácticas, metodologías y áreas de investigación en el contexto de una misión análoga. La última charla del ciclo, "Experiencias de la 1ra temporada en HAdEES-C", se centró en los aprendizajes, retos y oportunidades que enfrentaron las tripulaciones durante la primera temporada en el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C). Estas charlas contribuyeron a la divulgación del conocimiento sobre las misiones análogas y su importancia en el avance de la exploración espacial. Además, permitieron a los asistentes aprender sobre las diversas etapas y aspectos involucrados en la planificación y ejecución de una misión análoga exitosa.

En la inscripción al ciclo de charlas se recibieron 87 registros y se contó con una asistencia promedio de 23 personas conectadas en simultáneo. Estas charlas se encuentran en el canal de YouTube de Fundación Cydonia para que un público aún más amplio pueda acceder a ellas.

Además, durante el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo la planeación de misiones de corta duración en el hábitat análogo. Estas misiones permitirían recrear escenarios específicos y realizar algunas pruebas en el hábitat antes de recibir la segunda temporada de misiones análogas. También, se realizó la planificación inicial de un simposio relacionado con el campo aeroespacial y los hábitats análogos.



Es importante resaltar que se participó como comandante en dos misiones análogas en la estación HAdEES-C, la primera de ellas con la tripulación EAR (Exploración Asistida por Robots) donde seis estudiantes de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Antioquia tuvimos como objetivo determinar el impacto de la asistencia robótica en la exploración planetaria humana y evaluar cómo mejora la concentración con el entrenamiento físico y mental. La segunda misión, se llevó a cabo en la tripulación Olympus donde los objetivos comprendían identificar y evaluar posibles mejoras para el hábitat, además, se realizó un proyecto de operaciones de exploración espacial simulada que consistía en la caracterización de un terreno.

Adicional a lo anterior, se logró la aceptación de tres resúmenes científicos, relacionados con el trabajo llevado a cabo con la Fundación Cydonia, para su presentación en el 74th International Astronautical Congress, que se llevará a cabo en Baku, Azerbaiyán, del 2 al 6 de octubre de 2023. El primero se titula "Conceptual Design for a Deployable Habitat for Extreme Environments on Earth and Space", presenta un diseño conceptual para un hábitat desplegable que pueda usarse en entornos extremos tanto en la Tierra como en el espacio. El segundo, "Integration of Autonomous Robotic Systems for Human Space Exploration: Insights from EAR Analog Mission in HAdEES-C Habitat", explora la integración de sistemas robóticos autónomos en la exploración espacial tripulada, este estudio proporciona ideas valiosas y lecciones aprendidas de una de las misiones análogas realizadas en el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C), y destaca la importancia de la colaboración entre humanos y robots en futuras misiones espaciales. El tercer resumen, titulado "Characterization of Surface Scientific Extravehicular Operations in the Context of the HAdEES-C Analog Station", se centra en la caracterización de las operaciones científicas extravehiculares en superficie en el contexto de HAdEES-C, este estudio exploró una metodología para la evaluación y comparación de dos tipos de operaciones análogas a la de un astronauta que visita un yacimiento geológico. Estas presentaciones brindarán una plataforma para compartir conocimientos, establecer colaboraciones y contribuir a la misión de la Fundación Cydonia.

---

## VI. ANÁLISIS

Los principales resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto relacionado con el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada en Colombia incluyen la creación de un repositorio abierto de planos y la realización de actividades de divulgación y apropiación social del conocimiento. El repositorio abierto de planos estructurales y de redes brinda acceso gratuito a información clave para la creación de hábitats análogos en todo el mundo, promoviendo la colaboración y el intercambio de conocimientos en este campo. Estos resultados contribuyen a la difusión y desarrollo de hábitats análogos de bajo costo, así como a la promoción de la exploración espacial y el interés en la ciencia y la ingeniería aeroespacial.

Es importante destacar que el diseño de un hábitat análogo de bajo costo en Colombia implica no solo considerar las necesidades y desafíos propios de un entorno espacial, sino también adaptarse a las características específicas del país y aprovechar los recursos y tecnologías disponibles. En este sentido, Cydonia desarrolló un hábitat análogo que puede ser utilizado para la simulación de condiciones espaciales y el desarrollo de investigaciones científicas relacionadas con la exploración espacial. Además, es relevante resaltar que este enfoque también tiene aplicaciones y beneficios para la vida en la Tierra, como el uso más eficiente de los recursos y la mejora de la calidad de vida en comunidades que se enfrentan a la escasez.

El acceso al repositorio de planos brinda a los investigadores y entusiastas de la exploración espacial una valiosa referencia para la creación de hábitats análogos. Aún así, es importante continuar con la identificación de oportunidades de mejora. Entre las áreas que requieren atención adicional se encuentra la regulación de temperatura al interior del hábitat, es fundamental implementar sistemas eficientes que permitan mantener una temperatura adecuada, esto implica ventilación y aislamiento térmico adecuados.

Además, es necesario continuar trabajando en los sistemas de simulación de trajes espaciales dentro del hábitat análogo. Estos sistemas son esenciales para brindar a los tripulantes una experiencia realista durante las EVAs. Se deben seguir investigando y mejorando los sistemas

---

de soporte vital y comunicación de los trajes espaciales para garantizar su funcionamiento adecuado.

Por otro lado, la gestión de recursos dentro del hábitat análogo sigue siendo un aspecto con grandes oportunidades para implementar proyectos y probar desarrollos. Un proyecto a ejecutar puede ser implementar sistemas para el tratamiento y reciclaje de aguas residuales. La recolección, almacenamiento y purificación del agua son fundamentales, al igual que el desarrollo de tecnologías de reciclaje y reutilización de agua para minimizar el desperdicio y maximizar la eficiencia en el uso de los recursos.

En cuanto a la alimentación durante las misiones, se deben seguir explorando estrategias como la producción local mediante técnicas de agricultura vertical o hidropónica. Estas técnicas permiten cultivar alimentos, incluso en espacios reducidos, y contribuyen a la autonomía y sostenibilidad del hábitat análogo.

En conclusión, el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia ha demostrado un impacto significativo y una gran relevancia tanto en el campo de la exploración espacial como en aplicaciones para mejorar la calidad de vida en la Tierra. Además, se identifica una amplia gama de posibilidades para implementar proyectos en el mismo. Estas iniciativas futuras permitirán seguir avanzando en el campo de los hábitats análogos, mejorando nuestra comprensión para simular de una mejor manera entornos espaciales en nuestro planeta, y así, estar un paso más cerca de lograr futuras misiones espaciales tripuladas de larga duración.

---

## VII. CONCLUSIONES

En conclusión, la presente propuesta de práctica aborda de manera integral el levantamiento de los planos estructurales y algunas consideraciones de diseño para el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada en Colombia. A través de diferentes etapas, se establecieron las bases para la construcción de una estación análoga de bajo costo y modular que pueda adaptarse a diversas condiciones y requerimientos de misión.

La exploración espacial ha despertado un gran interés a lo largo de la historia, y los hábitats análogos desempeñan un papel fundamental en la preparación y avance de la exploración espacial tripulada, al proporcionar entornos controlados y realistas para simular condiciones y desafíos espaciales, permitiendo realizar pruebas, entrenamientos y experimentos antes de las misiones reales.

Los hábitats análogos tienen aplicaciones y beneficios tanto en la exploración espacial como en la vida en la Tierra, incluyendo el desarrollo de tecnologías sostenibles, gestión eficiente de recursos y mejoras en agricultura y producción de alimentos.

En el diseño de un hábitat análogo es importante considerar las necesidades de los tripulantes y proporcionar espacios habitables para las diversas actividades diarias.

El Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada Colombia (HAdEES-C) es una estación de bajo costo que simula algunas condiciones y desafíos de la exploración espacial tripulada. Un aspecto importante a considerar en el diseño de hábitats análogos de bajo costo, es utilizar materiales asequibles y duraderos.

Los hábitats análogos desempeñan un papel importante en la ciencia, desarrollo de tecnologías espaciales, validación de conceptos, educación y divulgación científica, innovación tecnológica y evaluación de factores humanos, además de ser un espacio que brinda la posibilidad de preparar a los astronautas para las condiciones y desafíos de las misiones espaciales.

En general, los resultados obtenidos en este proyecto demuestran que la creación y el desarrollo de hábitats análogos de bajo costo pueden tener un impacto significativo en la promoción de la exploración espacial, la investigación científica y la divulgación del conocimiento. Estos resultados sientan las bases para futuras iniciativas y proyectos en este campo, y contribuyen al avance de la ciencia y la tecnología aeroespacial.

En la primera fase, se esperaba llevar a cabo el levantamiento completo del diseño del hábitat análogo, tanto los planos estructurales del hábitat análogo como la documentación detallada del proceso de diseño y las decisiones tomadas durante el mismo. Sin embargo, debido a algunos desafíos y limitaciones, no se profundizó en la descripción del proceso de diseño.

En la segunda fase, se ofreció apoyo al diseño del plan estratégico y a la elaboración de la agenda científica. Aunque se lograron avances significativos en ambas áreas, es un trabajo que abarca gran cantidad de actividades y que requiere esfuerzos futuros adicionales para su completa implementación.

En la tercera fase, se trabajó en la planificación de actividades técnicas y operativas para la segunda temporada de misiones análogas en el hábitat. Se generaron algunas ideas, más el detalle y la implementación de estas corresponde a trabajo futuro de la Fundación Cydonia.

Es importante destacar los logros alcanzados durante el proyecto: se logró completar una parte significativa del levantamiento de los planos estructurales y de redes, lo que sienta las bases para futuros desarrollos. Además, el apoyo al diseño estratégico y la agenda científica permite construir una visión para el futuro del hábitat análogo.

## REFERENCIAS

- [1] K. Mars, «About Analog Missions», *NASA*, 17 de febrero de 2016. <http://www.nasa.gov/analogs/what-are-analog-missions>
- [2] «A review of existing analog habitats and lessons for future lunar and Martian habitats», *REACH*, vol. 21-22, p. 100038, mar. 2021, doi: 10.1016/j.reach.2021.100038.
- [3] L. S. Arnold, «Operational Lessons Learned from NASA Analog Missions», presentado en Space 2011 Conference and Exposition, Long Beach, CA, dic. 2010. Accedido: 30 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20110003650>
- [4] C. Carrière, K. Pahud, y V. Gass, «Use of space analog missions as an educational tool in primary schools», *Acta Astronaut.*, vol. 200, pp. 562-573, nov. 2022, doi: 10.1016/j.actaastro.2022.07.042.
- [5] K. Binsted, R. L. Kobrick, M. Ó. Griofa, S. Bishop, y J. Lapierre, «Human factors research as part of a Mars exploration analogue mission on Devon Island», *Planet. Space Sci.*, vol. 58, n.º 7, pp. 994-1006, jun. 2010, doi: 10.1016/j.pss.2010.03.001.
- [6] M. Whitmore, S. Thaxton, A. Whitmire, y T. Williams, «Human-Centric Approach for Design of Exploration Mission Habitats».
- [6] «Convocatoria Temporada 2.pdf», *Google Docs*. [https://drive.google.com/file/d/1S6I4AP5WLSnaURAG5pVqzD63cGe3Puxt/view?usp=sharing&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/1S6I4AP5WLSnaURAG5pVqzD63cGe3Puxt/view?usp=sharing&usp=embed_facebook)

## ANEXOS

<https://linktr.ee/hadeesc>