

Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana

Fecha de recibido: 20 de enero 2023	Fecha de aprobado: 18 de mayo 2023
Reception date: January 20, 2023	Approval date: May 18, 2023
Data de recebimento: 20 de janeiro de 2023	Data de aprovação: 18 de maio de 2023

Cristhian Antonio Campos Chaparro

<https://orcid.org/0000-0002-6908-1318>
 cristhian.campos@fac.mil.co

Licenciado en Biología y Química
 Investigador – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia
 Rol del investigador: teórico y escritura
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Degree in Biology and Chemistry
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia
 Researcher role: theoretical and writing
 Research Group in Space Biomedical Sciences – VOYAGER

Graduação em Biologia e Química
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia
 Função do pesquisador: teórica e escrita
 Grupo de Pesquisa em Ciências Biomédicas Espaciais – VOYAGER

Ingrid Xiomara Bejarano Cifuentes

<https://orcid.org/0000-0002-7981-2356>
 ingrid.bejarano@fac.mil.co

Ingeniera Electrónica
 Investigadora – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia
 Rol del investigador: teórico y experimental
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Electronic Engineer
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia
 Researcher's role: theoretical and experimental
 Space Biomedical Sciences Research Group – VOYAGER

Engenheiro eletrônico
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia
 Função do pesquisador: teórica e experimental
 Grupo de Pesquisa em Ciências Biomédicas Espaciais – VOYAGER

Joseph Néstor David Sequeda Ramon

<https://orcid.org/0000-0002-6550-4117>
 joseph.sequeda@fac.mil.co

Ingeniero de Sistemas
 Investigador – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia
 Rol del investigador: teórico y experimental
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Systems Engineer
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia
 Researcher role: theoretical and experimental
 Space Biomedical Sciences Research Group – VOYAGER

Engenheiro de sistemas
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia
 Função do pesquisador: teórico e experimental
 Grupo de pesquisa de ciências biomédicas espaciais – VOYAGER

Jorge Giovanni Jiménez Sánchez

<https://orcid.org/0000-0001-9748-1370>
 jorge.jimenez@fac.mil.co

Ph.D. Meteorología y Ciencias Atmosféricas
 Investigador – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia
 Rol del investigador: teórico y escritura
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Ph.D. Meteorology and Atmospheric Sciences
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia
 Researcher role: theoretical and writing
 Space Biomedical Sciences Research Group – VOYAGER

Ph.D. Meteorologia e Ciências Atmosféricas
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia
 Função do pesquisador: teórica e escrita
 Grupo de Pesquisa em Ciências Biomédicas Espaciais – VOYAGER

Cómo citar este artículo: Campos Chaparro, C. A., Sequeda Ramon, J. N. D., Bejarano Cifuentes, I. X. y Jiménez-Sánchez, J. G. (2023). Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 6-19. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.750>



Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana

Analog space missions as research for the development of science and technology in the Colombian Air Force

Missões analógicas espaciais como pesquisa para o desenvolvimento da ciência e tecnologia na Força Aérea Colombiana

Resumen: Hoy en día, las misiones análogas son un factor trascendental para el entrenamiento de tripulantes en tierra, proyectados a participar en operaciones espaciales. Así mismo, estas misiones se convierten en la opción más rentable para la realización de operaciones espaciales, ya que se desarrollan en escenarios naturales o artificiales en la superficie terrestre, lo cual permite la investigación y la capacitación. Por lo anterior, en el presente documento se realiza una aproximación de conceptos desde diferentes autores, que ayuda a evidenciar los diferentes escenarios análogos en el mundo. De igual forma, se exponen algunos resultados de una investigación liderada por la Fuerza Aérea Colombiana, en la que se identificaron escenarios análogos en Colombia como el desierto de la Tatacoa, el desierto de Villa de Leyva, el nevado del Ruiz y Marandua.

Palabras clave: aislamiento; ambientes extremos; misiones espaciales análogas; confinamiento; exploración.

Abstract: Nowadays, analog missions are a transcendental factor for the training of ground crew members, projected to participate in space operations. Likewise, these missions become the most cost-effective option for space operations, since they are developed in natural or artificial scenarios on the Earth's surface, which allows research and training. Therefore, in this document an approximation of concepts from different authors is made, which helps to show the different analogous scenarios in the world. Likewise, some results of a research led by the Colombian Air Force are presented, in which analogous scenarios were identified in Colombia, such as: Tatacoa Desert, Villa de Leyva Desert, Nevado del Ruiz and Marandua.

Keywords: Isolation; extreme environments; analogs; confinement; scenarios; exploration.

Resumo: Atualmente, as missões analógicas são um fator importante no treinamento de membros da tripulação de solo para operações espaciais. Da mesma forma, essas missões se tornaram a opção mais econômica para operações espaciais, pois são realizadas em cenários naturais ou artificiais na superfície da Terra, o que permite a pesquisa e o treinamento. Portanto, neste documento é feita uma abordagem de conceitos de diferentes autores, o que ajuda a mostrar os diferentes cenários análogos no mundo. Da mesma forma, são apresentados alguns resultados de uma investigação conduzida pela Força Aérea Colombiana, na qual foram identificados os seguintes cenários análogos na Colômbia: Deserto de Tatacoa, Deserto de Villa de Leyva, Nevado del Ruiz e Marandua.

Palavras-chave: isolamento; ambientes extremos; análogos; confinamento; cenários; exploração.

Introducción

Las misiones análogas son simulaciones y experimentos que se llevan a cabo en ambientes en tierra (expediciones antárticas, cámaras espaciales, desiertos) que comparten características con entornos reales espaciales (Bell *et al.*, 2019), donde se pueden realizar misiones de aislamiento y confinamiento. Estas misiones son una antesala a la investigación en tierra de pruebas en telemedicina, investigación militar, rendimiento cognitivo, neuropsicológico, psicología, etc. (De la Torre y Ramallo, 2012).

Estas misiones han sido utilizadas por diferentes agencias espaciales como la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la European Space Agency (ESA), y por organizaciones del sector privado como SpaceX, Blue Abyss, Axiom Space, Axiom Space y Analog Astronaut Training Center (AATC), con el fin de facilitar el desarrollo de programas de formación y nuevas tecnologías de investigaciones, entre ellas hábitats, robótica, comunicaciones, movilidad, ciencias básicas, aislamiento, confinamiento, dinámica de equipos, etc. Adicionalmente, se llevan a cabo estudios en fisiología espacial, neuropsicología, biología, botánica, robótica, medicina, ingenierías, confinamiento y comportamiento humano en condiciones de aislamiento.

Las misiones tienen como propósito entrenar tripulaciones para diferentes tipos de escenarios y proyectos de investigación a desarrollar en el ámbito espacial, por eso se identificaron escenarios en Colombia con el objetivo de formar astronautas colombianos. Al hacer una aproximación, se llevó a cabo una breve descripción teórica sobre los escenarios análogos espaciales internacionales y una descripción exploratoria sobre los posibles escenarios análogos en Colombia, que permiten identificar los elementos constitutivos requeridos para este tipo de lugares que buscan ser semejantes a las condiciones encontradas en Marte y la Luna, al estar íntimamente ligados con ambientes extremos, confinamiento, aislamiento, limitaciones en las comunicaciones, agua limitada y emergencias simuladas.

De acuerdo con lo anterior, estos escenarios sirven como campos de pruebas y entrenamiento sobre aspectos psicológicos y psicosociales para las tripulaciones; por lo tanto, es relevante tener en cuenta variables como la ejecución cognitiva, la adaptación y la respuesta emocional (De la Torre y Ramallo, 2012).

Investigaciones que se han realizado por más de cincuenta años han demostrado cómo las condiciones fisiológicas del espacio afectan los sistemas biológicos de las plantas, de los seres humanos y de las bacterias. Al exponer a tripulaciones a vuelos espaciales, los resultados de estas investigaciones han arrojado que estar en confinamiento en un entorno peligroso en gravedades cero afecta el cuerpo humano en aspectos como la parte ósea, muscular, cognitiva y cardiovascular, pero también en la parte psicológica por la separación de la familia, la carga de trabajo, los trastornos del ciclo circadiano y la pérdida del sueño (Saavedra-Torres *et al.*, 2021). Las misiones análogas, en particular aquellas de aislamiento y confinamiento, contribuyen a mitigar riesgos presentes en un vuelo espacial que afectan aspectos fisiológicos y psicológicos en el ser humano (Choukér y Stahn, 2020).

En el campo de la exploración científica en temas espaciales, llevar a cabo misiones que involucren a tripulaciones humanas ha sido un desafío por todos los aspectos que implica. Por eso, es necesario realizar una preparación rigurosa antes de una misión análoga espacial, la cual requiere no solo la prueba de equipos, sino también enfrentar a las tripulaciones a un ambiente hostil que permita el manejo y la mitigación de diferentes tipos de emergencias (Deems y Baroff, 2008). Adicionalmente, se debe realizar una gran cantidad de planificación, pruebas y desarrollos tecnológicos de acuerdo con las recomendaciones suministradas por la NASA (2011b). Desde las primeras misiones espaciales, como Apolo de la NASA, se llevaron a cabo actividades extravehiculares, transporte de superficie, capacidades geofísicas y misiones análogas espaciales. En sus inicios, estas misiones eran llamadas salidas de campos geológicas y se hicieron en terreno y/o climas que eran similares a los de la superficie lunar (NASA, 2009).

Como resultado experimental de una misión de aislamiento y confinamiento de cerca de 120 días, con perfiles que involucran ingenieros, médicos y profesionales asociados a ciencias básicas, se infiere que los efectos psicológicos son un aspecto fundamental para evaluar en las tripulaciones que se someten a experimentos de aislamiento y confinamiento. Por ello, la afinidad entre sus miembros es fundamental para obtener resultados en la experimentación sin verse afectados por las diferencias en la convivencia (Heinicke *et al.*, 2021)

Estar expuesto a condiciones de aislamiento y confinamiento influye en una disminución en la alerta situacional durante operaciones espaciales para un asentamiento humano en Marte o en una base lunar, donde se realizan tareas profesionales como teleoperación, patrones de comportamiento y calidad del sueño. Dado lo anterior, el desempeño de la tarea se ve afectado por el estado mental de la tripulación, concluyendo que la sensación de encierro es directamente proporcional al estado de ánimo con un enfoque negativo. Así mismo, asociar estos parámetros con rasgos de personalidad específicos podría ayudar en la selección de candidatos para futuras misiones y en un resultado encaminado a la seguridad y confiabilidad de la misión (Gil *et al.*, 2021).

Además de la experimentación del cuerpo humano en condiciones de aislamiento y confinamiento, también se experimenta con la implementación de tecnologías trascendentales para tener lecciones aprendidas en relación con tardanzas en la comunicación y reducción del ancho de banda.

Por lo anterior, se considera necesario establecer una evaluación general de riesgos para tener una retroalimentación que aporte a las lecciones aprendidas producto de la experimentación. Con un análisis previo necesario para este tipo de operaciones, esta evaluación se puede abordar desde un análisis de árbol de fallas y estrategias para la reducción de riesgos (Del Mastro *et al.*, 2022), a fin de que en la interacción entre la tripulación y quienes soportan la misión a nivel externo se puedan suministrar planes de contingencia ante una exposición al confinamiento no asistido (Lalla *et al.*, 2021).

Desarrollo

Para preparar a los astronautas en torno a los retos de vivir más allá de la órbita terrestre baja, es necesario realizar misiones análogas de exploración en ambientes extremos terrestres similares a los que existen en el espacio. Las ubicaciones actuales de estos escenarios incluyen entornos desérticos, árticos, volcánicos, acuáticos y de órbita terrestre baja. La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) realizó un proyecto de investigación con el fin de identificar estos escenarios análogos en Colombia, y así implementar un hábitat análogo para realizar misiones análogas y a futuro preparar a su personal en misiones simuladas, así como realizar una recopilación a nivel internacional como referente de otros ambientes y hábitats análogos simulados.

En la revisión de los diferentes escenarios en donde se realizan misiones análogas, se entrenan astronautas o simplemente se realizan pruebas de tecnología, se identificaron los siguientes tipos de escenarios análogos (figura 1).



Figura 1. Escenarios análogos identificados a nivel internacional
Fuente: elaboración propia.

Escenario análogo desértico

Las misiones análogas en desierto son utilizadas para apoyar investigación basada en la Tierra en busca de la tecnología, las operaciones y la ciencia requeridas para la exploración espacial humana en Marte (Mars Society, 2022). Las condiciones ambientales se parecen a las de Marte, pues la temperatura máxima en

verano oscila alrededor de 40 °C y la mínima puede caer por debajo de 10 °C, mientras que en invierno la temperatura mínima puede estar entre -12 °C y -18 °C y la máxima entre -4 °C y 0 °C. Las características geológicas de este tipo de escenarios son de suelos arenosos y rocosos de color rojo o gris (Schmidt, 6 de enero de 2009), donde pueden llevar a cabo pruebas de actividades extravehiculares, de comunicaciones, robóticas, y estudio de factores humanos en aislamiento y confinamiento para misiones de larga duración. Este tipo de escenarios han sido utilizados por la NASA, la ESA y organizaciones no gubernamentales como el Foro Espacial Austriaco y la Estación de Investigación del Desierto de Marte (figura 2).



Figura 2. Estación de Investigación del Desierto de Marte, ubicada en el desierto de Utah (Estados Unidos)
Fuente: Mars Society (2022).

El estudio análogo Desert RATS de la NASA ha evaluado prototipos de *hardware* de alta fidelidad, equipos de trajes espaciales, robots, *rovers*, módulos de habitación, vehículos de exploración, técnicas de navegación y cartografía de superficie, y sistemas de energía y comunicación en el desierto alto cerca de Flagstaff, Arizona, Estados Unidos (figura 3). Los prototipos de investigación y desarrollo brindan una base de conocimientos que ayuda a los científicos e ingenieros a diseñar, construir y operar mejores equipos, y a establecer requisitos para operaciones y procedimientos (Crew Flight Division Integration, 2011).



Figura 3. Prueba extravehicular de la NASA en Arizona
Fuente: <https://blog.azgs.arizona.edu/sites/default/files/inline-images/Fig2a.jpg>

Escenarios análogos Antártida

La Antártida forma parte de los escenarios análogos en donde se han realizado estudios en condiciones de aislamiento y confinamiento, pruebas de equipos, adaptación de trajes espaciales, estudios de microorganismos, etc. Este es un continente inhóspito y hostil para el ser humano; vivir y permanecer allí se convierte en un reto físico y psicológico, y tiene varias condiciones requeridas para la exploración espacial humana en la Luna y Marte (Naveira y Barbarito, 2016). Por tal razón, este escenario es propicio para llevar a cabo misiones análogas, ya que supone enfrentar restricciones de un espacio aislado y en confinamiento (*icc-isolated confinement environment*), lo cual afecta la psicología humana y las relaciones interpersonales. En este escenario, se han registrado temperaturas extremas por debajo de los -50 °C y una máxima de 8 °C (National Science Foundation, 2019), y los suelos de las zonas de permafrost están compuestos por gravas, gravas arenosas, arcillas limos y arcilla de grano fino, según United Soil Classification System, Corps of Engineers y Bureau of Reclamation (Linell y Jonston, 1973). De tal modo, se genera un ambiente ideal para los desafíos propuestos en la práctica de los investigadores en temas espaciales (NASA, 2018).

La NASA ha realizado misiones en la base McMurdo (figura 4), la cual “es un centro de investigación antártico construido sobre la roca volcánica de la parte

sur de la Isla de Ross en la orilla de la ensenada McMurdo, en la Antártida. La estación es actualmente operada por los Estados Unidos a través de la National Science Foundation (NSF)” (StratoCat, 2020). Allí, las investigaciones se basan en aerodinámica, astrofísica, ciencias geoespaciales, biología y ecosistemas, geología y geofísica, glaciología, geomorfología, núcleos de hielo, y sistemas climáticos y oceánicos.



Figura 4. Base McMurdo (Estados Unidos)
Fuente: Gills y Corum (1 de agosto de 2017).

Otros escenarios utilizados para este tipo de misiones incluyen, por ejemplo, la base Concordia (figura 5), que es una estación propiedad de Francia e Italia para la ESA, ubicada a 3200 msnm, utilizada para estudio de comunicaciones, confinamiento, aislamiento y en altura (ESA, 2011); y el cráter Haughton, ubicado en la isla Devon en Canadá (figura 6).



Figura 5. Base Concordia
Fuente: ESA (2013).

El cráter Haughton ofrece un entorno rocoso del desierto ártico. Sus características geológicas y atributos biológicos proporcionan un ambiente óptimo para posibles misiones análogas robóticas y humanas a Marte. En este escenario, se han realizado diferentes actividades extravehiculares, de interacción robótica, de ingeniería de rovers, de trajes y de comunicación de datos a largo plazo (Crew Flight Division Integration, 2011).



Figura 6. Estación de investigación
Fuente: Proyecto Haughton Mars.

Escenarios análogos acuáticos

Este tipo de escenario análogo se puede simular en piscinas, lagos y océanos, pues son espacios que brindan facilidades bajo el agua para obtener experiencia y formación en parámetros como la movilidad, las pruebas de soporte respiratorio en trajes espaciales y la reproducción de tareas simulando el entorno de ingravidez del espacio, dada la resistencia del agua en este ambiente. Un claro ejemplo de estos escenarios es el laboratorio subacuático Aquarius, a cargo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, ubicado en el Santuario Nacional Marino de los Cayos de la Florida; sirve como sitio de prueba para los proyectos de la Misión de Operaciones en Ambientes Extremos de la NASA, conocida como NEEMO (figura 7). Este laboratorio es similar en tamaño de la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés), mide 13,8 m de largo, 3,9 m de diámetro y está a 5 km de la costa de Cayo Largo (Loff, 2017).



Figura 7. Escenario acuático NEEMO. El hábitat de acuario y sus alrededores proporcionan un análogo convincente para la exploración espacial
Fuente: Loff (2017).

A su vez, el Laboratorio de Flotabilidad Neutra (figura 8) está ubicado en el Centro Espacial Johnson de la NASA en Houston (Estados Unidos). Allí, se preparan astronautas en una piscina oscura para futuras misiones a la Luna y se entrenan para realizar caminatas espaciales. Este tipo de simulaciones se realizan en difíciles condiciones de iluminación, en el fondo de una piscina de 12 m de profundidad; alguna de estas simulaciones implica “apagar todas las luces en las instalaciones, instalar cortinas negras en la piscina para reducir los reflejos, y usar una poderosa lámpara cinematográfica subacuática para obtener las condiciones correctas justo antes del próximo entrenamiento” (NASA, 2022)

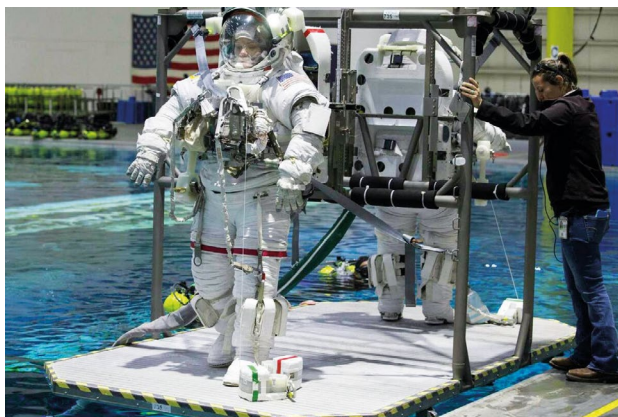


Figura 8. Escenario acuático en el Laboratorio de Flotabilidad Neutra. Las astronautas Anne McClain (izquierda) y Zena Cardman en entrenamiento de caminatas espaciales en Houston
Fuente: Leinfelder (23 de marzo de 2020).

También, se destaca el proyecto de investigación del Lago Pavilion, el cual es un esfuerzo científico multidisciplinario y de exploración internacional que buscó explicar el origen de las microbialitas de agua dulce que crecen en Pavilion y Kelly Lakes en British Columbia (Canadá), haciendo uso del submarino DeepWorker, que se muestra en la figura 9 (Reagan *et al.*, 2012). Estos fósiles son algunos de los primeros restos de vida en la Tierra antigua; los estudios y las técnicas utilizados en esta investigación pueden ser aplicados para la búsqueda de vida en nuestro sistema solar.



Figura 9. Submarino DeepWorker busca microbialitas durante pruebas de campo en British Columbia
Fuente: https://www.wikiwand.com/es/The_Abyss

Escenario análogo en órbita baja

La ISS está ubicada en órbita baja, a unos 403 kilómetros de la tierra. Cuenta con cuarto para la tripulación, una cúpula para que la tripulación vea hacia la tierra, comunicación en tiempo real con el controlador de vuelo, cirujanos espaciales, psicólogos y personal de apoyo a la misión, lo cual facilita la interacción social y que la tripulación en la ISS sienta el calor de amigos y familia (Landon *et al.*, 2018). Es necesario entender el impacto que tienen las misiones de larga duración en las tripulaciones de vuelo y cómo apoyar desde la tierra al equipo, y para eso los investigadores examinan continuamente los factores humanos de las misiones, y estudian y experimentan en escenarios para

aplicarlos en misiones reales futuras y, sobre todo, en misiones en ambientes marcianos.

La ISS ofrece una plataforma única para probar futuros sistemas y operaciones de exploración, la cual suministra un entorno espacial de gravedad cero de larga duración y la oportunidad de evaluar muchos factores que no están disponibles en otras misiones análogas en tierra. La NASA utiliza la ISS como un sitio de prueba para misiones de larga duración, con lo que se identifican los riesgos y desafíos para la salud y seguridad de los astronautas. Es indispensable prepararse para las operaciones autónomas de la tripulación necesarias en el manejo de los retrasos en las comunicaciones, ejercitar el entrenamiento de elementos terrestres, desarrollar tecnología, y evaluar nuevas exploraciones, sistemas y capacidades a medida que estén disponibles (ESA, 2010).

La ISS (figura 10) ha sido útil para responder preguntas de exploración planetaria y en el estudio del impacto de la microgravedad, así como en “ciencias humanas, biológicas, fisiología, ciencias físicas, materiales, ciencias de la Tierra y el espacio. Hasta el momento, en más de 10 años de permanentes investigaciones en la estación espacial se han realizado más de 600 experimentos” (Rodríguez, 2016, p. 39). Algunos de los proyectos que se llevan a cabo en la ISS son los siguientes: proyectos de purificación del aire, modelos para flujo de fluidos, distrofia muscular de Duchenne, duración de materiales, control de la contaminación planetaria, ultrasonido a distancia, liberación de drogas para tratamientos de cáncer, desarrollo de vacunas, etc. (NASA, 2011a).

En enero de 2031, esta plataforma será puesta fuera de servicio y se espera que llegue a aguas del punto Nemo, una parte inhabitada del océano Pacífico, a donde van a parar los activos espaciales que quedan fuera de funcionamiento o “*de-orbit*”, como se refiere la NASA a este evento (Hassan y Davenport, 3 de febrero de 2022). Esto ocurre porque, según la NASA, la ISS no puede estar por siempre orbitando sobre nosotros, y también por los planes de las actividades de órbita baja de las agencias de Estados Unidos, pues patrocinadores, usuarios de laboratorio, investigadores, industria, academia y otros socios comerciales privados

de la ISS, como SpaceX, Blue Abyss y Axiom Space, han establecido una destinación comercial para el 2030 (NASA, 2018).



Figura 10. Estación Espacial Internacional

Fuente: https://www.enterarse.com/20200611_0001-la-estacion-espacial-internacional-un-laboratorio-suspendido-en-el-firmamento

Marte se puede abordar desde la óptica de su superficie, es desértico, rocoso y frío; así mismo, su fama de ser el planeta rojo parte del hierro oxidado que tiene en el suelo. Tanto Marte como la Tierra tienen estaciones y casquetes polares cuya temperatura en primavera es de -120°C . También tiene volcanes, pero inactivos; su atmósfera poco densa se compone de dióxido de carbono, nitrógeno y argón. El agua está contenida en polvo helado a razón de la presión, y en algunas laderas marcianas, se han encontrado pruebas de agua líquida salada (Rees, 2020). La estimación de duración del día en Marte se establece en 24,6 horas, pero la duración anual equivale a 687 días, es decir, casi el doble de la duración terrestre (Adler *et al.*, 2012). En Marte, la temperatura en la superficie depende de la latitud y su media es de unos -55°C ; la variación diurna de las temperaturas es fluctuante: en verano alcanza los 20°C o más, mientras las mínimas nocturnas llegan fácilmente a -80°C .

La Luna es el satélite natural del planeta Tierra y su temperatura superficial media varía entre $+117^{\circ}\text{C}$ en el día y -153°C en la noche: “Estas variaciones tan amplias de la temperatura se deben a que la Luna carece de atmósfera y vapor de agua, que son los elementos que regulan la temperatura en nuestro planeta” (Iglesias, 2007). La topografía lunar muestra montañas de

mediana altura que habitualmente se limitan a grandes valles, existen rocas dispersas de tamaño diverso y presenta fallas geológicas importantes; el hemisferio visible de la Luna posee extensas cuencas o planicies. A diferencia de la Tierra, la Luna no tiene “campo magnético, por lo tanto, no existen vientos, lluvias ni ningún otro fenómeno atmosférico; no existe protección contra la radiación cósmica que llega a la superficie con toda su intensidad” (Loredo, 2009). Así mismo, “carece de las bellezas naturales que tanto apreciamos en la Tierra como son: praderas, bosques, ríos, lagos, montañas cubiertas de vegetación o de nieve, playas, océanos extensos, cielo azul y nubes, entre otras cosas” (Iglesias, 2007, p. 28).

En la tabla 1, se pueden apreciar los valores de características y variables que se encuentran en Marte y la Luna.

Tabla 1.
Valores característicos en la Luna y Marte

Escenario	Temperatura	Estructura	Características relevantes
Luna	-170°C a 110°C	Suelo sólido y rocoso. Multitud de escombros, cráteres y cuencas.	Montañas de hasta 9140 metros de altura. Volcanes. Valles de 480 km de largo.
Marte	-87°C a 20°C	Rocoso, atmósfera poco densa, compuesto por minerales que contienen silicio, oxígeno. Superficie cubierta de polvo de grano fino de óxido de hierro.	Casquetes polares Volcanes inactivos Clima Estaciones

Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior, y del estudio de investigación titulado “Necesidades y riesgos para el desarrollo de operaciones análogas espaciales colombianas (estudio para su implementación)”, liderado por el Centro de Investigaciones Biomédicas, Aeronáuticas y Espaciales (Cibae) de la FAC, se llevaron a cabo una serie de salidas de campo a diferentes locaciones en el

territorio nacional, en las que se identificaron los escenarios análogos en Colombia que se describirán a continuación.

Desierto de la Tatacoa (figura 11). Se encuentra en el departamento del Huila, muy cerca del municipio de Villavieja y a dos horas de la ciudad de Neiva. Tiene una temperatura promedio de 24 °C a 40 °C y una altura promedio de 430 msnm (Travelgrafía, 2021).

Tiene condiciones sociales, geológicas o ambientales similares al planeta Marte. En este hábitat, se pueden realizar misiones tripuladas, con énfasis en investigación del comportamiento humano en condiciones de aislamiento, y exploración extravehicular, robótica, de biología, de seguridad en el área de operación, de adaptación de trajes espaciales, etc. Lo anterior, de acuerdo con el tipo de misión análoga que se lleve a cabo y los procedimientos establecidos para cada una de ellas, debido a la exposición a temperaturas entre 38 °C y 42 °C, siendo las temperaturas extremas del desierto.



Figura 11. Desierto la Tatacoa, escenarios misiones análogas
Fuente: elaboración propia.

Desierto de Villa de Leyva (figura 12). Ubicado en la provincia de Ricaurte, en el departamento de Boyacá, tiene una altitud de 2143 msnm, se encuentra a 40 km al occidente de Tunja, capital del departamento (Organizaciones Colparques, 2021).

Se identificaron escenarios que se asemejan al planeta Marte, un terreno semiplano con una reserva de agua similar. Allí, hay clima cálido sin llegar a temperaturas muy altas, lo cual puede ser útil para misiones

análogas que no requieran infraestructura, como pruebas de equipos de robótica, tecnología, comunicaciones y drones exploratorios.



Figura 12. Desierto de Villa de Leyva, escenarios misiones análogas
Fuente: elaboración propia.

Nevado del Ruiz (figura 13). El volcán Nevado del Ruiz se localiza en el eje de la cordillera central de Colombia ($4^{\circ}53'43''\text{N}$, $75^{\circ}19'21''\text{W}$), alcanza los 5321 msnm y corresponde a un estrato de un volcán activo expuesto (Mejía *et al.*, 2012).

Se identificó un escenario en el Valle de las Tumbas a 4540 msnm, el cual es un terreno plano y con características ambientales semejantes a las condiciones de la Luna. Este lugar no es recomendable para instalar



Figura 13. Nevado del Ruiz, escenarios misiones análogas
Fuente: elaboración propia.

un laboratorio temporal de misiones, debido a la actividad geológica del volcán. Sin embargo, al cumplir las características físicas similares a la Luna y a Marte por el entorno que tiene, se podrían realizar actividades de investigación que no dependan de una infraestructura estática, y hacer pruebas con prototipos extravehiculares como los *rovers*, de comunicación, de tecnologías, y estudios de microbiología y geología, que son procedimientos dinámicos que aportan a la investigación de los equipos que se utilizarán en desiertos de bajas temperaturas como la Antártida, con el fin de disminuir los costos cuando se realice el desplazamiento de la misión.

Marandua (figura 14). Municipio del departamento del Vichada que hace parte de los Llanos orientales (figura 14), se localiza en las coordenadas $5^{\circ}31'28''\text{N}$, $68^{\circ}41'08''\text{W}$ y tiene una altitud de 81 msnm (MapCarta, 2020).

En este lugar, se identificaron escenarios que cumplen con las características de un ambiente extremo físico similar a Marte, por lo cual se contemplaría realizar operaciones análogas de comportamiento humano en condiciones de aislamiento y confinamiento. En las actividades tecnológicas, se contempla la realización de procedimientos extravehiculares, pues el terreno es plano y árido en gran parte de su cobertura, así como pruebas de adaptación de los trajes espaciales según los cambios de temperatura debido a



Figura 14. Llanos orientales (Marandua, Vichada), escenarios misiones análogas
Fuente: elaboración propia.

que el ambiente es muy variable tanto en el día como en la noche; también, pruebas de los *rovers* exploratorios, los equipos comunicación, los equipos de bioingeniería y la seguridad operacional en la misión para las pruebas de equipos, infraestructura y personal.

En la tabla 2, se pueden apreciar los valores producto de las salidas de campo nacionales e internacionales en cada uno de los escenarios, haciendo uso de equipos de medición medioambientales.

La Jefatura de Educación Aeronáutica y Espacial y la Dirección de Ciencia Tecnología e Innovación de la FAC han tenido un enfoque activo en el desarrollo de la investigación, alineados de acuerdo con el plan de trabajo para conseguir la formación del primer astronauta FAC en el 2030. Así mismo, se ha desarrollado la adquisición de activos e instalaciones mediante el diseño y la construcción del primer laboratorio de misiones análogas móvil, con áreas determinadas para

Tabla 2.
Valores de variables ambientales obtenidos en las salidas de campo a los diferentes escenarios naturales

	Desierto de la Tatacoa		Desierto de Villa de Leyva		Nevado del Ruiz		Marandua		Antártida (isla Rey Jorge)	
Mes de medición (2020)	Octubre		Octubre		Octubre-noviembre		Noviembre		Enero	
Mediciones ambientales	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)
Temperatura (°C)	40,4-30	25-18	34,4-27,5	20-10	18,2- 5,1	-1,0-6,0	40-31,3	29-18,4	5,6-3,0	2,7-1,6
Humedad relativa (%)	50,34-27,3	60,8-30,4	57,3-30,3	70-35,4	70,4-35	80,4-40,6	55-35,2	70,1-38	68,1-51,4	67,9-52,7
Nivel de luz (Lux)	780-285	No aplica	600-327	No aplica	No aplica	No aplica	750-300	No aplica	No registro por el equipo. Afectación por ambiente antártico.	
Nivel de ruido (Db)	58-31,7	54-26,4	58-42,86	60-29,2	70,2-40,6	67,1-35,9	54,7- 28,3	48,5- 24,5	97,5-53,6	68,6-50,4

Fuente: elaboración propia.

El futuro trae consigo etapas de preparación, investigación y emprendimiento; con esta premisa, a través de un análisis prospectivo que permite definir las principales características a corto (2022), a mediano (2030) y a largo plazo (2042), la FAC ha generado una hoja de ruta para ubicarse a la vanguardia de la defensa y la seguridad nacional, y consolidarse como una fuerza avanzada tecnológicamente, dominante en el aire, el espacio y el ciberespacio. Es por ello que, desde el Cibae se han gestionado proyectos de investigación en el campo de las ciencias biomédicas aplicadas al campo aeronáutico y espacial, en un ambiente en condiciones extremas como lo es la Antártica. Esta participación se ha dado en proyectos de caracterización de terreno en la Antártica, comparándolo con los hallazgos producto de la investigación en el Nevado de Ruiz en Colombia en contribución al crecimiento científico y tecnológico de la FAC a nivel nacional e internacional.

trabajo, descanso, alimentación, monitoreo y deporte. Se contempla contar con equipos de microgravedad, fisiología, neuropsicología, inteligencia artificial y robótica, teniendo como resultado la capacidad de realizar misiones de aislamiento y confinamiento en factores humanos alineadas con los estándares internacionales para el fortalecimiento de las capacidades en el aire, el espacio y el ciberespacio.

Conclusiones y recomendaciones

Una vez identificados los escenarios análogos en Colombia de acuerdo con los parámetros y las variables medidas, se puede decir que en Colombia contamos con análogos desérticos y análogos similares a la

Antártica. Los cuatro escenarios estudiados en Colombia se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Escenario análogo desértico: desierto de la Tatacoa, desierto de Villa de Leyva y Marandua (Vichada).
- Escenario análogo similar al antártico: Nevado del Ruiz.

A partir de esta identificación, se puede inferir que Colombia es un país con un gran potencial para realizar misiones análogas, ya que cuenta con diversidad en su entorno ambiental y en sus pisos térmicos; por otro lado, estos escenarios identificados permiten llevar a cabo misiones de aislamiento y confinamiento para análisis psicológicos, neurológicos, fisiológicos, cognitivos y de parámetros que abarquen el rendimiento humano.

Es importante para la FAC desarrollar investigación en escenarios análogos, como los primeros pasos para conseguir su objetivo al 2030 de la puesta en órbita en el espacio ultraterrestre del primer astronauta de la FAC. A partir de esta investigación, se pueden derivar diferentes proyectos en temas espaciales en el análisis del rendimiento humano, desarrollo de trajes para realizar misiones análogas, prueba de tecnología e implementación de un hábitat análogo en alguno de los lugares seleccionados en este estudio.

Finalmente, la investigación en temas espaciales cobra cada vez más importancia, pues la humanidad sigue en esta carrera para conquistar el espacio y con ello establecer bases en territorios espaciales poco explorados. Más entrenamiento en misiones análogas, conocimiento del funcionamiento del cuerpo en condiciones extremas, desarrollo y prueba de tecnologías permitirán, en un futuro, que los humanos conquisten lugares fuera de órbita.

Referencias

- Adler, M., Owen, W. y Riedel, J. (2012). Use of MRO *Optical Navigation Camera to Prepare for Mars Sample Return* [ponencia]. Concepts and Approaches for Mars Exploration. Houston, Texas. Junio 12-14 de 2012. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012LPICo1679.4337A/abstract>
- Bell, S. T., Brown, S. G. y Mitchell, T. (2019). What We Know about Team Dynamics for Long-Distance Space Missions: A Systematic Review of Analog Research. *Frontiers in Physiology*, 10, 1-21. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00811>
- Choukér, A. y Stahn, A. C. (2020). COVID-19 — The Largest Isolation Study in History: The Value of Shared Learnings from Spaceflight Analogs. *NPJ Microgravity*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41526-020-00122-8>
- Crew Flight Division Integration. (2011). *Johnson Space Center*. <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fs-2016-10-002-jsc.pdf>
- De la Torre Benítez, G. G. y Ramallo Luna, M. Á. (2012). Psicopatología y misiones espaciales tripuladas. *Apuntes de Psicología*, 28(3), 377-389. <https://www.apuntesdepsicologia.es/index.php/revista/article/view/226>
- Deems, E. C. y Baroff, L. E. (2008). *A Systems Engineering Process for the Development of Analog Missions for the Vision for Space Exploration*. Space Architect. <https://spacearchitect.org/pubs/AIAA-2008-7899.pdf>
- Del Mastro, A., Salotti, J. M. y Garofalo, G. (2022). A Method for Analog Space Missions Risk Analysis. *Journal of Space Safety Engineering*, 9(2), 132-144. <https://doi.org/10.1016/J.JSSE.2022.02.004>
- European Space Agency (ESA). (2011). *Misiones del Traslador Espacial*. http://www.esa.int/esaCP/SEM6CW6TLPG_Spain_2.htm
- European Space Agency (ESA). (2013). *The Remotest Base on Earth*. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Concordia/The_remotest_base_on_Earth#:~:text=Concordia%20research%20station%20in%20Antarctica,temperature%20of%20%E2%80%93350%C2%B0C
- Gil Calle, E., Mimoso, D., Pouzin, R., Lizy-Destrez, S. y Roy, R. N. (2021). Correlation Analysis of Sleep Quality, Mood and Teleoperation Performance in the MDRS206 Analog Mission. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(4), 312-316. <https://doi.org/10.1016/J.JSSE.2021.08.005>
- Gills, J. y Corum, J. (2017, 1 de agosto). En el interior de la base McMurdo, el centro de investigación más ambicioso de la Antártida. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/es/2017/08/01/espanol/en-el-interior-de-la-base-mcmurdo-el-centro-de-investigacion-mas-ambicioso-de-la-antartida.html>

- Hassan, J. y Davenport, C. (2022, 3 de febrero). When the International Space Station Retires, It Will Plunge into the Ocean to Die, NASA Says. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/science/2022/02/03/nasa-international-space-station-decommission-2031-ocean/>
- Heinicke, C., Poulet, L., Dunn, J. y Meier, A. (2021). Crew Self-Organization and Group-Living Habits during Three Autonomous, Long-Duration Mars Analog Missions. *Acta Astronautica*, 182, 160-178. <https://doi.org/10.1016/J.ACTAASTRO.2021.01.049>
- Iglesias Leal, R. (2007). La Luna primer continente cósmico. *CienciaUAT*, 2(1), 26-31. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942909001.pdf>
- Lalla, E. A., Konstantinidis, M., Czakler, C., Garnitschnig, S., Hickson, D., Such, P., Losiak, A., Ercoli, M., Frigeri, A., Hofmann, A., Lucic, T., Seikora, N., Suchantke, I., Gruber, S. y Groemer, G. (2021). Remote Science Activities during the AMADEE-18 Mars Analog Mission: Preparation and Execution during a Simulated Planetary Surface Mission. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(1), 75-85. <https://doi.org/10.1016/J.JSSE.2020.12.001>
- Landon, L. B., Slack, K. J. y Barrett, J. D. (2018). Teamwork and Collaboration in Long-Duration Space Missions: Going to Extremes. *American Psychologist*, 73(4), 563-575. <https://doi.org/10.1037/amp0000260>
- Linell, K. A., Johnston, G. H. (1973). Engineering Design and Construction in Permafrost Regions: A Review. En: *North American Contribution to the Second International Conference on Permafrost*. NRC Publications Archive. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=9598f0f8-843c-40ad-ad37-616b117254f3>
- Leinfelder, A. (2020, 23 de marzo). Astronauts, The True Experts of Isolation, Give Tips for COVID-19 Social Distancing. *Houston Chronicle*. <https://www.houstonchronicle.com/news/houston-texas/houston/article/Astronauts-the-true-experts-of-isolation-give-15151084.php>
- Loredo, A. (2009). La luna. *Cuaderna Vía*, 1(1). <https://doi.org/10.32855/cuadernavia.2009.001>
- MapCarta. (2020). *Marandua, Vichada*. <https://mapcarta.com/es/29739778>
- Loff, S. (2017). *About NEEMO (NASA Extreme Environment Mission Operations)*. https://www.nasa.gov/mission_pages/NEEMO/about_neemo.html
- Mars Society. (2022). *The Mars Desert Research Station (MDRS)*. <http://mdrs.marsociety.org/>
- Mejía, E. L., Velandia, F., Zuluaga, C. A., López, J. A. y Cramer, T. (2012). Análisis estructural al noreste del volcán Nevado del Ruiz, Colombia: aporte a la exploración geotérmica. *Boletín de Geología*, 34(1) 2012, 27-41. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349632024002>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2009). *Past and Present: Field Testing For the Moon*. <https://www.nasa.gov/exploration/analogs/then-and-now.html>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2011a). *La ciencia en la Estación Espacial Internacional*. https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/science-iss_bkgd_sp.html
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2011b). *NASA's Analog Missions: Paving the Way for Space Exploration*. https://www.nasa.gov/pdf/563511main_NASA-Analog-Missions-06-2011_508.pdf
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2018). *International Space Station Transition Report*. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2022_iss_transition_report-final_tagged.pdf
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2022). *¡Modo oscuro activado!* <https://ciencia.nasa.gov/modooscuroactivado>
- National Science Foundation (NSF). (2019). *McMurdo Station*. <https://www.nsf.gov/geo/opp/support/mcmurdo.jsp#navbarid>
- Naveira, M. L. y Barbarito, M. G. (2016). Nadie sobrevive solo en la Antártida. *Revista Borromeo*, (7). <http://borromeo.kennedy.edu.ar/ArticulosNuevos/NaveiraBarbarito7.pdf>
- Organizaciones Colparques. (2021). *Villa de Leyva*. <http://www.colparques.net/LEYVA#acceptar>
- Reagan, M., Janoiko, B., Johnson, J., Chappell, S. y Abercromby, A. (2012). *NASA's Analog Missions: Driving Exploration through Innovative Testing* [ponencia]. AIAA SPACE Conference and Exposition. Pasadena, California. Septiembre 1-18 de 2012. <https://doi.org/10.2514/6.2012-5238>
- Rees, M. (Ed.). (2020). *Universe: The Definitive Visual Guide*. DK Publishing.
- Rodríguez Sánchez, L. (2016). *Estación Espacial Internacional*. https://datospdf.com/download/estacion-espacial-internacional-iss-_5a4d7624b7d7bcb74f21a2d7_.pdf
- Saavedra-Torres, J. S., Zúñiga Cerón, L. F., Pinzón Fernández, M. V., Garcés Gómez, J. L., a Salguero Bermúdez, C. (2021). *Medicina aero espacial: los desafíos médicos que se esperan en una misión*. NASA Johnson Space Center. <https://anmdecolombia.org.co/medicina-aero-espacial-los-desafios-medicos-que-se-esperan-en-una-mision-humana-en-marte/>

Schmidt, L. J. (2009, 6 de enero). *Getting Ready for the Mars Migration*. Popular Science. <https://www.popsci.com/military-aviation-amp-space/article/2009-01/getting-ready-mars-migration/>

StratoCat. (2020). *Lanzamiento de globos estratosféricos en el mundo*. <https://stratocat.com.ar/bases/51.htm>

Travelgrafía. (2021). *Desierto de la Tatacoa*. <https://travelgrafia.co/blog/desierto-de-la-tatacoa/>