

Recibido: 17 mayo de 2022

Aceptado: 16 julio de 2022

**AISLAMIENTO Y CONFINAMIENTO: ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO
 HUMANO DE UNA TRIPULACIÓN ANÁLOGA EN SIMULACIÓN
 ANALÓGICA ESPACIAL.**

**ISOLATION AND CONFINEMENT: ANALYSIS OF THE HUMAN
 PERFORMANCE OF AN ANALOG CREW IN SPACE ANALOG
 SIMULATION.**

J. Sequeda¹ , I. Bejarano² , C. Campos³ , D. Malpica⁴ , D. Cortes⁵ ,
G. Jiménez⁶ , N. Buitrago⁷ .

*** Fuerza Aérea Colombiana**

Jefatura de Educación Aeronáutica y Espacial JEAES
Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación DICTI
Centro de Investigaciones Biomédicas, Aeronáuticas y Espaciales CIBAE
Bogotá – Colombia.

E-mail: joseph.sequeda@fac.mil.co.

<https://orcid.org/0000-0002-6550-4117>

<https://orcid.org/0000-0002-7981-2356>

<https://orcid.org/0000-0002-6908-1318>

<https://orcid.org/0000-0002-2257-4940>

<https://orcid.org/0000-0003-3132-0149>

<https://orcid.org/0000-0001-9748-1370>

<https://orcid.org/0000-0003-1743-2312>

Resumen: Los tripulantes en misiones análogas participan en misiones espaciales simuladas que experimentan aislamiento y confinamiento con el fin de educar y realizar experimentos de ciencia, tecnología, ingeniería entre otros. Estos tripulantes análogos suelen ser estudiantes o personas dispuestos a desarrollar una carrera en la ciencia espacial y la industria. En este artículo se describe la primera simulación análoga lunar realizada por profesionales militares de la Fuerza Aérea Colombiana, misión que fue diseñada para proporcionar capacitación eficiente para futuras operaciones que van encaminadas en la línea del desarrollo del programa nacional de capacitación de astronautas en Colombia. La misión THOR (Team of Human Operation Research) se realizó en agosto del 2022, con el apoyo de un Centro de Control de Misión (MCC), misión análoga de aislamiento y confinamiento de siete días la cual tenía como objetivo promover el desarrollo cognitivo, físico, fisiológico, psicológico y tecnológico durante esta misión espacial simulada. La misión THOR fue la misión número 50 del Centro de Entrenamiento para Astronautas Análogos (AATC), se dividió en una tripulación dentro del hábitat compuesta por 5 tripulantes análogos con roles específicos basados en su experiencia, antecedentes y adecuados a los roles proporcionados por el AATC, y dos miembros de tripulación externos adicionales que brindaron apoyo remoto e investigación externa. Durante el periodo de misión se realizaron pruebas tales como

aprendizaje espacial, memoria de trabajo, abstracción, velocidad sensorio-motora, orientación espacial, identificación de emociones, razonamiento abstracto, toma de decisiones de riesgo, dinámica e equipo, calidad y cantidad de sueño, puntuaciones de fatiga, intervalo R-R, mediante actigrafía de muñeca y antropometría, la vigilancia psicomotora, la percepción del tiempo y tareas críticas en el hábitat se midió simulando una misión corta en la superficie lunar mediante encuesta NASA-TLX, así como las aplicaciones móviles Brainness y Subjective Time Perception. Los sujetos fueron expuestos a crioterapia y aceleraciones.

Palabras clave: misiones análogas, aislamiento, confinamiento, desarrollo cognitivo.

Abstract: Crew members on analog missions participate in simulated space missions that experience isolation and confinement in order to educate and conduct science, technology, engineering, and other experiments. These analog crew members are typically students or individuals seeking careers in space science and industry. This article describes the first lunar analog simulation carried out by military professionals from the Colombian Air Force, a mission that was designed to provide efficient training for future operations that are aimed at developing the national astronaut training program in Colombia. The THOR (Team of Human Operation Research) mission was carried out in August 2022, with the support of a Mission Control Center (MCC), a seven-day analog isolation and confinement mission whose objective was to promote cognitive development, physical, physiological, psychological and technological during this simulated space mission. The THOR mission was the 50th mission of the Analog Astronaut Training Center (AATC), it was divided into a crew within the habitat composed of 5 analog crew members with specific roles based on their experience, background and appropriate to the roles provided by the AATC, and two additional external crew members who provided remote support and external investigation. During the mission period, tests such as spatial learning, working memory, abstraction, sensory-motor speed, spatial orientation, emotion identification, abstract reasoning, risk decision making, team dynamics, quality and quantity of sleep, were performed. Fatigue scores, R-R interval, using wrist actigraphy and anthropometry, psychomotor alertness, time perception, and critical habitat tasks were measured by simulating a short mission to the lunar surface using the NASA-TLX survey, as well as the Brainness mobile apps. and Subjective Time Perception. Subjects were exposed to cryotherapy and accelerations.

Keywords: analog missions, isolation, confinement, cognitive development

1. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de astronautas ha sido una práctica común desde el comienzo de los vuelos espaciales tripulados. Por lo general, estaba restringido a un número muy limitado de personas especialmente seleccionadas. En la era del Nuevo Espacio, las simulaciones de misiones

y el entrenamiento comercial de astronautas llamado entrenamiento de astronautas analógicos se convirtieron en una forma asequible y exploratoria de sentirse astronauta, desarrollar una carrera espacial e incluso inducir nuevas fronteras de investigación científica (Cromwell et al., 2021). El objetivo de las misiones analógicas espaciales es simular un

entorno espacial para comprender lo que sucede en el cuerpo humano mientras se realiza una misión de larga duración y, en segundo lugar, formar una carta psicológica de los individuos más adecuados para el espacio los desafíos a enfrentar en el profundo espacio de las misiones de exploración (Inoue & Tachibana, 2013). En el Centro de Entrenamiento de Astronautas Analógicos (Cracovia, Polonia) este tipo de entornos se pueden recrear con una buena fidelidad en el simulador de la base lunar llamado hábitat (Cinelli, 2020). Para la misión THOR se simuló una misión análoga de siete días con cinco tripulantes análogos en un hábitat análogo lunar en la cual estuvieron aislados del exterior sin aire fresco ni luz natural. Durante estos siete días, la tripulación fue sometida a múltiples pruebas psicológicas y fisiológicas para una mejor comprensión de los efectos del aislamiento en el cuerpo y la mente humana (Planck & Development, 2022). Mientras tanto, dos miembros externos de la tripulación proporcionaban orientación y apoyo remoto desde el Centro de Control de la Misión (MCC) en tierra.

2. LA TRIPULACIÓN ANÁLOGA THOR

La complejidad de la misión y la sobrecarga general con experimentos a bordo de la base lunar simulada, requieren que las tripulaciones dividan las tareas entre sí. Los tripulantes análogos seleccionan roles específicos en la fase de preparación antes de la misión apoyada por el servicio del MCC. La composición de la tripulación está dada de la siguiente manera (Tabla 01).

Tabla 01 Roles de la misión

Rol	Sigla
Comandante de misión	C
Oficial de Comunicación	CO
Ingeniero Espacial	SE
Ingeniero Biomédico	BME
Oficial de datos	DO

Medico Oficial de la tripulación	CMO
Comunicador de capsula	CapCOM
Oficial Soporte Remoto	RSO

Los roles principales para cada tripulante, así como los roles secundarios y terciarios de respaldo en caso de que fueran necesarios durante la misión, se asignaron antes de la misión. También se definió una lista jerárquica de roles para que el objetivo general de la misión pudiera cumplirse, incluso si algunos tripulantes resultaran heridos o discapacitados de tal manera que no pudieron completar las tareas asignadas.

2.1 Comandante de misión

Este rol consistía en realizar la gestión diaria de la tripulación que se revisaba durante las sesiones informativas diarias. Las decisiones tomadas a bordo del hábitat debían ser aprobadas por el MCC a través de un canal de comunicación compartido. Además, el comandante se aseguró de que la moral de la tripulación se mantuviera lo suficientemente alta como para poder realizar todas las tareas necesarias.

2.2 Oficial de comunicación

Este rol estaba a cargo de registrar, monitorear y comunicarse con el MCC. Para esta misión, el comandante y el oficial de comunicación fueron ocupados por la misma persona.

2.3 Ingeniero Espacial

Este rol tenía como objetivo apoyar las áreas de ingeniería requerida durante la misión. En particular el ingeniero espacial se encargaba de mantener los sistemas de comunicación en condiciones normales, de las situaciones de emergencia y de asegurar el buen funcionamiento de los sistemas de monitoreo en el hábitat.

2.4 Ingeniero Biomédico.

Este rol del tripulante análogo se encargaba de controlar las actividades y experimentos de la tripulación relacionados con aspectos

bioquímicos, incluidos los fluidos corporales, la manipulación de sustancias químicas, así como el control de elementos químicos generados dentro del hábitat. Esta persona asume la responsabilidad de todos los dispositivos biomédicos utilizados durante la misión.

2.5 Oficial de datos

El oficial de datos fue el responsable de mantener el registro de datos e información que respalda todos los experimentos, el estado de salud y la verificación continua de alteraciones o flujos de mediciones ambientales internas o externas al hábitat. Llevaba el control diario todas las variables medidas dentro del hábitat, como peso, cantidad de agua ingerida, temperatura corporal, horas de ejercicio, cantidad de sueño entre otros.

2.6 Oficial médico de la tripulación

Rol importante dentro de la misión ya que se encargó de garantizar la salud y el bienestar de los tripulantes durante todas las etapas de una misión, incluida la recolección de muestras, el chequeo continuo del estados físicos, psicológicos y emocionales de la tripulación. Este tripulante se encarga de la recopilación repetible de datos de acuerdo con las demandas científicas.

2.7 Comunicador de capsula

El CapCom es el enlace de comunicación entre MCC y el hábitat, teniendo responsabilidades para la preparación de la misión en tierra, el apoyo a la misión en tiempo real y los informes de estado al director de Vuelo. Representa tanto al equipo de control técnico como a los tripulantes análogos. Se utilizaron canales específicos dedicados para las comunicaciones bidireccionales, así como la terminología estándar de transmisión de radio.

2.8 Oficial de soporte remoto

El papel de la RSO, como apoyo al CapCom y a los tripulantes análogos en el hábitat, fue ayudar y supervisar las actividades programadas y los procedimientos de emergencia asignados por el director de Vuelo. Adicionalmente, este rol estuvo a cargo de un experimento que consistió en un análisis de datos basado en los resultados del software MATB-II NASA que fue realizado

durante tres días por cada uno de los miembros de la tripulación que se encontraban en el hábitat. Junto con el CapCom, este rol colaboró con el diseño de emergencias y el registro detallado de las acciones, tiempos e información evidenciado durante las emergencias realizadas.

Además, el CapCom y el RSO llevaron a cabo experimentos de fuerza G, flotabilidad neutra y recolección de datos.

3. ARQUITECTURA DE LA MISIÓN

La misión THOR se compone de tres secciones las cuales son:

- Preentrenamiento
- Experimentos dentro del hábitat
- Experimentos fuera del hábitat

3.1 Pre-entrenamiento

Con el fin de generar confianza, afianzar los lazos de trabajo, el trabajo en equipo, competencias de liderazgo, en el preentrenamiento se realiza recolección de datos sobre respuesta fisiológica y psicológica.

3.1.1 Test de selección psicológica para astronautas.

Se realizaron cuestionarios y dibujos psicológicos a la tripulación análoga con el objetivo de identificar el estado del comportamiento de la tripulación, caracterizar a cada tripulante y conocer sus capacidades mentales y habilidades de comunicación (Saltin & Ra, 1998).

3.1.2 Cámara de crioterapia.

La respuesta fisiológica a temperaturas extremadamente bajas se probó en el Centro de Crioterapia de Cracovia, estos datos se recopilaron mediante una banda con un multisensor que se coloca en el pecho para la adquisición de ECG, aceleración 3D, velocidad angular, presión barométrica del aire y temperatura (ECGMove4, Movisens GmbH, Alemania). Después de un examen médico y 2 minutos de calibración de los sensores, los tripulantes análogos fueron expuestos a un baño de nitrógeno líquido durante dos minutos a -120°C (Steimle & Norberg, 2021). La piel estaba protegida por pantalones cortos, camisetas, calcetines y guantes (Figura 1). A todos los participantes se les pidió que caminaran en la

cámara durante la exposición al frío. Después de la crioterapia, se realiza una reactivación en bicicletas estacionarias durante 10 minutos (Saltin & Ra, 1998).

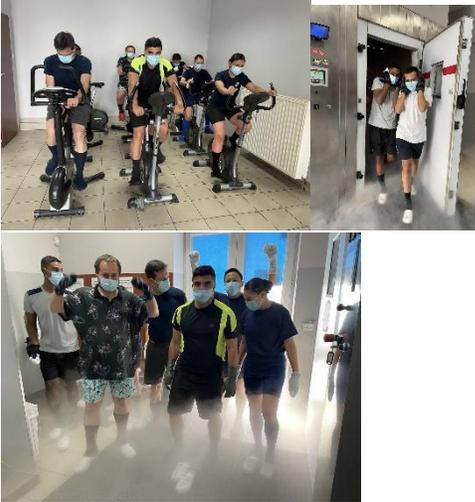


Figura 1: Experimento de crioterapia

Los datos de los sensores movisense se visualizan en el software Unisens Viewer, para cada sujeto se analizó y recopiló la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

3.1.3 Dinámica de equipo, orientación espacial y prueba de memoria en equipo.

La velocidad sensoriomotora de la tripulación, el aprendizaje espacial, la memoria de trabajo, la orientación espacial, la toma de decisiones de riesgo y la atención vigilante se obtuvieron a través de la dinámica de equipo realizada en agua fría y en condiciones nocturnas.

Durante la actividad acuática, la tripulación nadó alrededor de 50 m de distancia (Figura 2), esto a realizarse en el menor tiempo posible en equipo, el tiempo a registrarse debía ser el del ultimo tripulante en llegar al final, luego, la siguiente prueba en el agua consistía en flotar durante 10 minutos mientras las manos se encontraban en la cabeza por encima del nivel del agua, cada tripulante debía encontrar su propia técnica para no hundirse, seguida a estas pruebas, la prueba final dentro del agua consistía en responder una serie de preguntas, preguntas realizadas una sola vez al mismo tiempo (alrededor de 7 preguntas) y en el mismo orden en que fueron realizadas, esto

con el propósito de recordar y poner a prueba la memoria.



Figura 2 Actividad acuática

Durante la dinámica de equipo en la noche, la tripulación corrió 7 km bajo condiciones de lluvia comenzando a una altura de 210 m y alcanzando un pico de mitad de ruta de 347 msnm, el tiempo que tardó el equipo en llegar a la cima de la colina ((Pilsudski Mould en Cracovia), se midió y comparo con tripulaciones anterior, esta tarea fue ejecutada por la tripulación THOR en 45 minutos, Los datos fisiológicos se registraron a través de los sensores Movisense, en esta actividad no se permitían luces, lo cual dificultaba la navegación, visión nocturna y la autopercepción. La tarea final luego de alcanzar la cima fue volver al principio utilizando habilidades de memoria espacial y trabajo en equipo (Figura 3). Tomó más que el promedio en comparación con otras tripulaciones alrededor de 2h.



Figura 3 Actividad nocturna

3.2 Experimentos dentro del hábitat

3.2.1 Experimento de Francesco

Los tripulantes análogos durante la misión escribían informes diarios en una aplicación (Francesco App). La aplicación de Francesco permitió a la tripulación análoga llenar un diario personal analizando sus emociones. Se recopilaron múltiples parámetros, como la autoevaluación del rendimiento subjetivo, los

eventos principales de la semana, el número de juegos de memoria jugados y la retroalimentación.

3.2.2 *Vinci Power Nap*

La reducción del estrés y la mejora del rendimiento se estimularon utilizando una parte del sistema Vinci Power Nap (Filcek, 2022). Este experimento consistía en utilizar una tela flexible que permitía medir los datos corporales según la posición y el tipo de oscilación (dorsal, lateral, rotatorio). La siesta se realizaba justo después de entrenar en el gimnasio, todos los días a la misma hora, en esta siesta el tripulante no debía tener ningún equipo que le permitiera saber la hora, esto con el fin de no tener control de cuánto tiempo descansaba. Se recogieron parámetros fisiológicos como frecuencia cardíaca, presión arterial, oximetría de pulso y percepción subjetiva del tiempo antes y después de la siesta (Figura 04). Además, al final del procedimiento se le pidió a cada persona que resolviera un sudoku. Se analizaron las comparaciones antes y después de la siesta.



Figura 4 Experimento Vinci Power Nap

3.2.3 Experimento hidropónico

Un sistema hidropónico instalado en el hábitat permite un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas y la germinación de las semillas y podría ser una plataforma disponible para la cosecha en la superficie de otro planeta. El dispositivo estaba equipado con un tanque de agua y dos bandejas, un sistema hidráulico alimentado por una bomba que permite que el agua fluya y mantenga vivas las plantas. La calidad del agua y las condiciones ambientales, como el dióxido de carbono, la humedad relativa y la temperatura, se medían tres veces al día. Además, la química del agua, como pH, nitritos, nitratos, fosfatos,

oxígeno, amonio, dureza de carbonato, cobre, hierro, silicato y dureza de carbonatos se midió utilizando un kit de acuario de agua dulce JBL Pro AquaTest Lab (Figura 05).

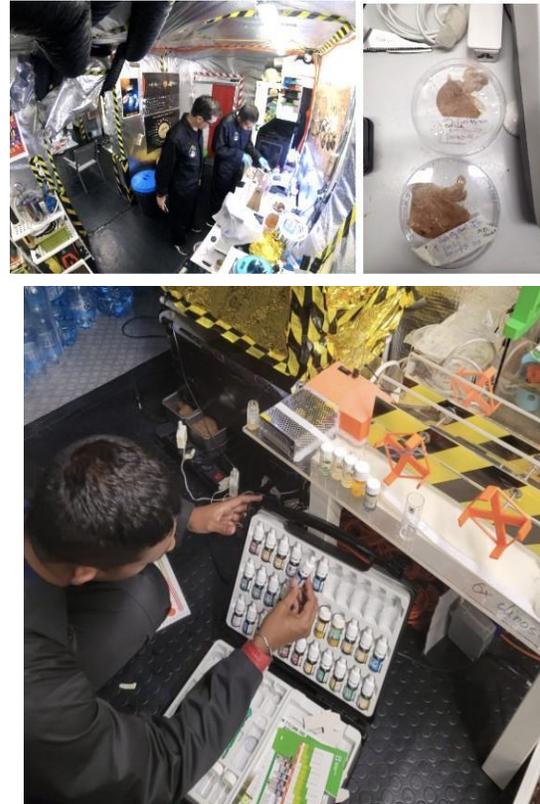


Figura 5 Experimento cultivo hidropónico

3.2.4 Kombucha

Kombucha es el único entorno simbiótico hecho artificialmente que existe en la Tierra. No existe en el entorno natural, y sólo puede ser cultivado por los seres humanos. La bebida microbiana Kombucha se basa en té endulzado expuesto a la fermentación simbiótica de varias bacterias y especies de levadura. Para este experimento, se analizaron las propiedades químicas y bacterianas de la kombucha para usos funcionales en propiedades de la piel de la cara, analizando textura de la piel antes y después de colocar el Kombucha sobre la cara (Figura 06).



Figura 6 Experimento Kombucha

3.2.5 Datos circadianos

Muchos estudios han correlacionado el ritmo circadiano con la temperatura corporal (Lindert & Someren, 2018). Esta serie de mediciones considera las variaciones de la temperatura corporal central cada dos horas para cada día de la misión y la forma en que el hipotálamo marca el ritmo de varios procesos circadianos en la fisiología de los astronautas (Mallis & DeRoshia, 2005). A los tripulantes análogos se les pidió que comieran regularmente y que realizaran actividad física regular (Figura 7). Registrando los datos cada dos horas tanto el peso como la temperatura corporal.



Figura 7 Toma datos circadianos

3.2.6 Experimento MATB-II

La batería de tareas multiatributo (MATB-II) de NASA se utilizó en computadoras para evaluar el rendimiento y la carga de trabajo de los tripulantes análogos. Esta prueba simuló tareas y actividades que los miembros de la tripulación de la aeronave realizan durante el vuelo (R. J. Arnegard & J. R. Comstock Jr, 1991). A cada tripulante análogo se le pidió que realizara esta prueba 3 veces durante la misión (Figura 8).



Figura 8 Explicación experimento MATB- II

3.2.7 Máscara de restricción de oxígeno

Algunos estudios sugieren el beneficio de usar una máscara para mejorar la resistencia física. Esta prueba consistía en recopilar información sobre las variables fisiológicas simples como la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la oximetría en cada uno de los miembros de la tripulación durante el entrenamiento físico, así como en las condiciones de microgravedad simuladas en la cama en un grado negativo de 6 grados (Watenpaugh, 2016), (Figura 9,10).



Figura 9 Experimento restricción de aire con máscara de oxígeno



Figura 10 Condiciones de microgravedad simulada.

3.2.8 Montaje Rover

Las aplicaciones robóticas son cruciales para la seguridad durante las misiones de exploración espacial humana, por lo tanto, los astronautas deben estar familiarizados con el ensamblaje y las operaciones robóticas (Brinkmann et al., 2019). Durante la misión, los tripulantes ensamblaron un

rover con detección y evitación de movimiento utilizando Arduino y C ++, capaz de ver en primera persona (FPV) a través de video de 2.4 GHz a un dispositivo electrónico portátil (Figura 11).



Figura 11 Experimento rover

3.2.9 Dragón space

El reflejo emocional de la tripulación no solo era visible en los informes diarios, sino también en una tarea especial de dibujo llamada Space Dragon (Figura 12). El dibujo reflejaba el estado real de un tripulante análogo que indicaba ambientes interiores y exteriores. El dibujo consistía en dibujar el mapa de su mano y en el interior de ella dibujar como el tripulante se percibía a sí mismo y en la parte exterior como cree que el mundo exterior tiene una percepción del tripulante, este dibujo debía ser explicado ya que todo lo plasmado tenía un significado para cada tripulante análogo.



Figura 12 Experimento Space Dragon

3.2.10 Identificación del tono del sistema nervioso autónomo a través de una encuesta

El estrés es una característica importante que debe considerarse y monitorearse cuidadosamente durante las simulaciones de vuelos espaciales y en misiones en análogos

espaciales. Esta encuesta se administró a los miembros de la tripulación para identificar el predominio del sistema nervioso autónomo en cada tripulante y a su vez monitorear diariamente el nivel de glucosa en sangre de cada tripulante análogo. El análisis preliminar sugiere que la mayoría de la tripulación tiene un predominio de tono simpático durante el aislamiento y el confinamiento (Figura 13).



Figura 13 Toma muestras glucometría

3.2.11 Encuestas

3.2.11.1 Epworth

Los tripulantes análogos estuvieron sometidos a privación del sueño donde presentaron un desempeño aceptable en tareas críticas (Wu et al., 2018). Los miembros de la tripulación reportaron somnolencia diurna excesiva utilizando la versión colombiana de la Escala de Somnolencia de Epworth. La mediana fue 5, 019 5% (3.9 - 6.7), varianza 16.8. Solo un miembro de la tripulación reportó valores superiores a 10 puntos durante 4 días consecutivos, principalmente debido a la incomodidad subjetiva con la temperatura ambiente, siendo demasiado bajo, lo que causó una mayor excitación durante la noche.

3.2.11.2 Karolinska

Los vuelos espaciales humanos y las actividades extravehiculares requieren una atención humana sostenida que puede verse afectada por los cambios en el sueño, el ritmo circadiano y la carga de trabajo exigente (Glaros, 2020). La somnolencia subjetiva se evaluó a través de la Escala de Somnolencia Karolinska antes y durante la misión. La mediana de somnolencia fue de 2, con el valor más alto 6 y el más bajo 1.

3.2.11.3 Samn-Perelli

La calificación subjetiva de fatiga ha sido ampliamente validada en la industria de la aviación (Bendak & Rashid, 2020). Los tripulantes análogos estimaron los niveles de capacidad para realizar tareas críticas como simulaciones de emergencia durante cada día de aislamiento. Esta prueba se administró en un iPad y los resultados aún se investigarán junto con los datos de sueño obtenidos.

3.2.11.4 NASA-PVT

La prueba más sensible para determinar el tiempo de reacción se aplicó a través de NASA-PVT+. Estos datos se correlacionaron objetivamente con la calidad y cantidad de sueño registrada utilizando el método de actigrafía (Wu et al., 2018).

3.2.11.5 NASA-FMS

Las habilidades motoras finas no deben verse afectadas por la microgravedad y esta es una habilidad importante para la integración exitosa del sistema humano (Geiger et al., 2010). El control motor fino puede verse afectado por la fatiga y la microgravedad, es por eso que la tripulación fue sometida a su evaluación a través de una aplicación de la NASA, administrados en un iPad diariamente (Holding et al., 2019).

3.2.11.6 PANAS

El afecto se altera durante el aislamiento y el confinamiento durante las misiones espaciales (Liu et al., 2016). Esta es una medida auto informada del afecto positivo y negativo en una escala Likert para estimar el impacto del aislamiento en el confinamiento diario. La tripulación de THOR fue examinada a través de un formulario electrónico presentado en un iPad diariamente y se ha utilizado en medicina espacial y psicología en escenarios operativos.

3.2.12 Datos ambientales con Arduino

Dos Arduinos fueron equipados con un sensor BME680 para medir la presión barométrica, temperatura, humedad relativa, sensor FC-22 para medir el dióxido de carbono en ppm y un sensor de gas multicanal V2 para estimar monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y carbohidratos en monóxido. Este desarrollo fue escrito en C++ con la capacidad de grabar los

datos en la tarjeta microSD. El sensor portátil se sometió a la cámara hipobárica con una batería portátil para analizar su rendimiento en condiciones extremas (Figura 14). Este desarrollo se puede ajustar para soportar datos ambientales dentro de una unidad de movilidad extravehicular en simulaciones analógicas de tripulantes análogos.



Figura 14 Toma datos ambientales con Arduino

3.2.13 Pruebas neuropsicológicas

Uno de los problemas más desafiantes en la exploración del espacio profundo es la estabilidad emocional y el rendimiento cognitivo de los astronautas (S. D. Mhatre, 2021). Se realizó un protocolo para explorar los síntomas psicológicos y psicosomáticos utilizando instrumentos validados como LSB-50, también evaluamos el Inventario de Ansiedad Estado-Rasgo en el día uno y siete y el inventario de rasgos para la depresión (IDER). En el quinto día incluimos un NEO PI-R que investigó rasgos de personalidad en 240 preguntas, búsqueda y matrices de símbolos de escala de inteligencia WAIS-IV, prueba de modalidades de dígitos de símbolos (SDMT) y, finalmente, una prueba de figura compleja de Rey y un Trial de reconocimiento como se muestra en la Figura 15. Estas pruebas serán analizadas por neuropsicólogos clínicos y especialistas en rendimiento humano para que coincida mejor con un candidato adecuado para la exploración espacial expuesto al aislamiento y confinamiento.



Figura 15 Realización pruebas neuropsicológicas

3.2.14 Análisis del estado de ánimo y el estrés de forma aislada

Las emociones se identificaron a través de archivos de video utilizando métodos de inteligencia artificial (Hussain et al., 2020). La correlación de las emociones con la frecuencia cardíaca fue un experimento que corroboró que según la adaptación de la exposición al entorno análogo que representa algo nuevo para el ser humano, hubo días de debilidad, desacuerdo, ira, lo que se reflejó en el aumento de la tendencia de la frecuencia cardíaca. En condiciones de felicidad o motivación, los niveles estaban más cerca de la normalidad con cada vida.

3.2.15 Simulación de emergencias

Durante la misión se presentaron dos diferentes emergencias simuladas, la primera una eyección de masa coronal y micro meteoritos donde se simuló el impacto de un micro meteorito en el hábitat y la tripulación debió reparar este problema, derivado de esto se evidenció un aumento a la exposición de radiación, esto con el fin de probar las habilidades, entrenamiento, conocimiento y psicología de los tripulantes análogos.

3.3 Experimentos fuera del hábitat

Durante la misión THOR, dos miembros de la tripulación estuvieron fuera del hábitat brindando apoyo en la misión desde la estación entierra, además de su función de apoyo realizaron dos experimentos que se describen a continuación-

3.3.1 Datos aceleración Fuerza G

Se registraron datos obtenidos de los miembros en el exterior, respecto a experimentar fuerza G y aceleraciones en diferentes montañas rusas (ubicadas en Zator, Polonia), para la obtención de estos datos, se usaron equipos como acelerómetros de Arduino adicionales y los sensores movisense. La longitud de una de las montañas rusas es de 1500 m, 77 m de altura y una velocidad de 142 km/h, una fuerza G de 4,8 según la base de datos de la montaña rusa (<https://rcdb.com/14462.htm>), los sensores estaban dispuestos en el pecho de cada miembro y como resultado previo se evidencia que el resultado de estos miembros reveló fuerzas G más bajas (max 3.5) en comparación con la información disponible en internet (Figura 16)

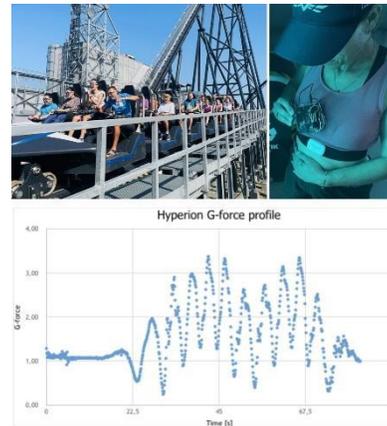


Figura 16 Recolección datos aceleración fuerza G

3.3.2 Entrenamiento de flotabilidad neutra

La flotabilidad neutra es uno de los entrenamientos básicos para los astronautas para facilitar la adaptación a la microgravedad y las actividades extravehiculares en el espacio exterior (EVA). En Mszczonów, Polonia hay uno de los simuladores de buceo más profundos de la Tierra llamado Deepspot (www.deepspot.com/en). Dos miembros de la tripulación (Figura 17) experimentaron la inmersión evaluando los niveles de presión y resistencia en este sitio de entrenamiento único



Figura 17 Entrenamiento de flotabilidad neutra

4. DENTRO DEL HÁBITAT

4.1 Horario diario

La misión lunar de 7 días tuvo un horario de trabajo de 16 horas y 8 horas de sueño. Esta fue diseñada para una tripulación de 6 personas, sin embargo, la tripulación THOR solo contaba con 5 miembros durante la misión. La tripulación tenía el reloj circadiano sincronizado en GMT +7 y tan pronto como comenzó la simulación lunar, la zona horaria cambió hacia GMT +12, y al tercer día se cambió a GMT +5:45. Se nos informó que usáramos la hora estándar lunar todas las mañanas. La tripulación tuvo que agregar +2 h para completar las tareas ordenadas por MCC. En T + 0, la tripulación realizaba la toma de medidas fisiológicas como la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, el informe de sueño, la oximetría, la presión arterial y los datos de bioimpedancia. La tripulación tomaba la prueba de percepción del tiempo subjetiva y objetiva y la prueba del chimpancé a través de la aplicación Brainess en un dispositivo electrónico portátil. En los días uno, cuatro y seis se realizó un análisis de orina con tira reactiva a cada miembro de la tripulación. En T + 1 horas después de la misión, los tripulantes hicieron los preparativos para los experimentos, el desayuno y la sesión informativa para la tripulación y para MCC. La temperatura corporal y el peso de T+3 se midieron y se repitieron cada dos horas. T + 4 el programa de ejercicios comenzaba con una zona aeróbica de una hora (60-80% de frecuencia cardíaca máxima) corriendo en una cinta que incluía los últimos 10 minutos de restricción respiratoria a través de una máscara de entrenamiento y oximetría recolectada. La VFC se midió durante todo el tiempo de ejercicio, incluido el tiempo con la "máscara de simulación de altitud". Para T + 6 h se realizaba la hora del almuerzo y la tripulación decidía qué tripulante análogo se encargaba de la preparación de la comida para los miembros de la tripulación, generalmente dos miembros de la tripulación cocinaban para el otro y hacían la limpieza. T+8 h

la tripulación continuaba trabajando en varios experimentos hasta T+10 en los que la tripulación regresaba a la cocina para preparar la cena y hacer las actividades de debriefing con MCC. En T+11 la tripulación tenía que escribir un informe descriptivo del día que incluye una narración completa de los principales aspectos del día de la misión. T+12 a T+16 se continúa tomando medidas y trabajando en los experimentos. En T+16 los tripulantes de la misión tomaban la prueba subjetiva de percepción del tiempo y las tareas de memoria de trabajo a través de la aplicación Brainess. Cada miembro de la tripulación era responsable de limpiar el hábitat diariamente.

4.2 Deportes y consumos

La tripulación debía hacer ejercicio 1 hora diaria en una cinta de correr, la programación se distribuyó 2 tripulantes análogos en la mañana y 3 tripulantes en el horario de la tarde, el objetivo principal de la carrera era mantener el consumo de oxígeno de referencia por encima de 38 ml / kg / min

En cuanto a los consumos, la tripulación análoga tenía agua limitada, la cual se debía economizar para garantizar que todos consumieran agua diaria y se usara en actividades de lavado y baño, este consumo estaba dado de 2 l por persona diarios y de 5 litros para otros usos. El análisis preliminar sugirió que el consumo promedio de agua fue de 1,6 a 2 litros por persona diario, clasificándolos en un rango el consumo de la tripulación contaba con valores que se consideran bajos a normales.

4.3 Análisis

La diuresis fue de 1,2 litros por personas diarios y los tiempos miccionales fueron tres en promedio, lo cual es normal. El análisis con tira reactiva de orina se realizó durante tres de los siete días en aislamiento y confinamiento donde el resultado sugiere una detección del límite superior del urobilinógeno. La gravedad específica también se eleva principalmente entre 1025 y 1030 durante la mayoría de los días.

En cuanto al análisis del sueño, el patrón de sueño se ve afectado por el cambio circadiano a la hora estándar lunar inducido en la tripulación desde el primer día de la misión y una carga de trabajo de 16 h de actividades continuas. Los tripulantes análogos duermen de 6 a 8 horas todos los días con una calidad de sueño de 5 a 7 de cada 10. La mayoría de la tripulación tenía un patrón de sueño

más ligero en promedio el 65% de la noche y menos sueño REM durante los días de la misión. El sueño profundo fue mayor en esta población con un 21% del tiempo dedicado a esta fase.

4.4 Bioimpedancia

Las variables de bioimpedancia incluyen peso, porcentaje de grasa corporal, masa magra, masa ósea estimada, índice de masa corporal, ingesta calórica diaria y porcentaje de agua. La pérdida de peso promedio en cada miembro de la tripulación fue de 1,8 kg durante los días de aislamiento y confinamiento, los porcentajes de agua corporal se mantuvieron estables, al igual que al comienzo de la misión, la masa muscular comenzó a perderse, pero comparando el día 1 en relación con al último día, hubo un aumento sutil y la grasa visceral de la tripulación disminuyó en un 20% en promedio. El compromiso de la actividad física es esencial como contramedida que permite mitigar la pérdida natural de masa muscular y ósea al estar en condiciones que son mayormente sedentarias en el hábitat.

5. CONCLUSIONES

Las simulaciones análogas son una plataforma adecuada para la investigación y el desarrollo en misiones de exploración espacial humana. El comportamiento humano, la fisiología y el apoyo médico son temas de investigación de alta prioridad para planificar misiones más largas en la Luna y Marte que requieren un alto grado de independencia de la Tierra y de la misión convencional, en donde se necesita que el ser humano esté en condiciones óptimas tanto físicas como psicológicas para llevar a cabo con éxito este tipo de misiones. La exploración espacial comercial permitirá a las personas no profesionales participar en actividades espaciales y esto traerá desafíos para la selección de personal y los requisitos psicofísicos para tales misiones. Se puede concluir que la exposición a condiciones de aislamiento y confinamiento de manera controlada permite que el miembro de la tripulación tenga una condición óptima que no implique mayores riesgos para la salud. Un plan equilibrado de consumo y gasto energético con el fin de disponer de alimentos saludables que permita llevar a cabo desarrollos científicos en una misión de exploración lunar. Por último, para obtener más datos de estudio y profundizar en

estos análisis se sugieren realizar misiones de larga duración para poder obtener datos más específicos y una mayor cantidad de datos para análisis.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Bendak, S., & Rashid, H. S. J. (2020). International Journal of Industrial Ergonomics Fatigue in aviation: A systematic review of the literature. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76(February), 102928. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102928>
- Brinkmann, W., Cordes, F., Ernst, C., Koch, S., Wirkus, M., Dettmann, A., Thomas, V., & Kirchner, F. (2019). *Space Robotic Systems and Artificial Intelligence in the Context of the European Space Technology Roadmap Space Robotic Systems and Artificial Intelligence in the Context of the European Space Technology Roadmap*. November.
- Cinelli, I. (2020). *CLASSIFICATION OF ANALOGUE MISSIONS: A REFERENCE FOR MISSION DESIGN AND IMPLEMENTATION*.
- Cromwell, R. L., Huff, J. L., Simonsen, L. C., & Patel, Z. S. (2021). Earth-Based Research Analogs to Investigate Space-Based Health Risks. *New Space*, 9(4), 204–216. <https://doi.org/10.1089/space.2020.0048>
- Filcek, M. (2022). *Innovative Vinci Power Nap® Neurotechnology System—To Reset and Reconnect the Senses, Body and Mind; Reducing Stress, Improving Performance, Sleep, Health and Quality of Life BT - Resilient and Responsible Smart Cities* (H. Abdalla, H. Rodrigues, V. Gahlot, M. Salah Uddin, & T. Fukuda (eds.); pp. 249–264). Springer International Publishing.
- Geiger, L., Popp, M., Färber, B., Artigas, J., & Kremer, P. (2010). The Influence of Telem Manipulation-Systems on Fine Motor Performance. *2010 Third International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, 44–49. <https://doi.org/10.1109/ACHI.2010.46>
- Glaros, Z. L. (2020). *Influence of Night Work on Performance during Lunar Telerobotic Operations*.
- Holding, B. C., Sundelin, T., Lekander, M., & Axelsson, J. (2019). Sleep deprivation and its effects on communication during individual

- and collaborative tasks. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39271-6>
- Hussain, S. A., Salim, A., & Al, A. (2020). *A real time face emotion classification and recognition using deep learning model*. *A real time face emotion classification and recognition using deep learning model*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1432/1/012087>
- Inoue, N., & Tachibana, S. (2013). *An Isolation and Confinement Facility for the*. 867–871. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3188.2013>
- Lindert, B. H. W. Te, & Someren, E. J. W. Van. (2018). Skin temperature, sleep, and vigilance. In *Thermoregulation Part I* (1st ed., Vol. 156). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00021-7>
- Liu, Q., Zhou, R., Zhao, X., Chen, X., & Chen, S. (2016). Acclimation during space flight: effects on human emotion. *Military Medical Research*, 3–7. <https://doi.org/10.1186/s40779-016-0084-3>
- Mallis, M. M., & DeRoshia, C. W. (2005). Circadian rhythms, sleep, and performance in space. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(6 Suppl), B94-107.
- Planck, M., & Development, H. (2022). *This postprint was originally published by Elsevier / Cell Press as : Stahn, A. C., & Kühn, S. (2022). Extreme environments for understanding brain and cognition. Trends in Cognitive Sciences, Provided by: 26, 1–3.*
- R. J. Arnegard, & J. R. Comstock Jr. (1991). Multi-Attribute Task Battery - Applications in pilot workload and strategic behavior research. *NASA Technical Reports Service*.
- S. D. Mhatre. (2021). Neuro-consequences of the spaceflight environment. *Neurosci. Biobehav.* <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.09.055>.
- Saltin, B., & Ra, G. (1998). *Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise. 1.*
- Steimle, H., & Norberg, C. (2021). *Astronaut selection and training*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-23725-6>
- Watenpaugh, D. E. (2016). *Analogs of Microgravity: Space Research without Leaving Analogs of microgravity: head-down tilt and water immersion*. 76104, 904–914. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00986.2015>
- Wu, B., Wang, Y., Wu, X., Liu, D., Xu, D., & Wang, F. (2018). *On-orbit sleep problems of astronauts and countermeasures*. 1–12.