

ARTÍCULO ORIGINAL

Propuesta de Diseño de Estación Análoga en RV para la Simulación de Misiones en Marte

Koo-Saenz, Katherine Ellie^{1*} , Montenegro-Arrasco, Dessiree Anghely² , Fernández-Lagos, Elam Hazael Salomón³ , Pilares-Aique, John Guillermo⁴ 

Afiliación Institucional

¹ Beijing Institute of Technology, Beijing, China, katherinekoo.pe@gmail.com

² University of Chicago, Illinois, USA, montenegrodessiree@gmail.com

³ Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, elamfernandezlagos@gmail.com

⁴ Universidad Continental, Cusco, Perú, 60995510@continental.edu.pe

***Autor correspondiente:** Koo-Saenz, Katherine Ellie (katherinekoo.pe@gmail.com)

Presentación previa: Una versión preliminar de este trabajo fue presentada como ponencia oral en el XIII Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE 2025).

RESUMEN

El diseño de estaciones análogas en Marte con Realidad Virtual (RV) representa una oportunidad para simular las misiones análogas que se realizan en la Tierra actualmente. Este estudio presenta la propuesta de diseño y estructura inicial de una estación análoga con el potencial del uso de la RV como herramienta clave para su desarrollo. La RV ofrece la ventaja de simular entornos marcianos de manera accesible, replicando factores como la geografía y condiciones climáticas. Por otro lado, su uso en misiones análogas es compatible para garantizar una salud física y psicológica a la hora de la inmersión con complementos de inteligencia artificial (IA). Se concluye que el diseño de esta propuesta, apoyada en realidad virtual, optimiza la planificación y preparación de misiones análogas. Permitiendo así, evaluar y mejorar diversos factores como la habitabilidad, la capacitación y reducción de costos. De este modo, se consolida a la RV como un pilar naciente en la simulación marciana.

PALABRAS CLAVE

Realidad virtual; estación análoga; misiones análogas marcianas; simulación espacial; hábitat marciano; entrenamiento inmersivo; exploración a Marte.

CITAR COMO

K. E. Koo-Saenz, D. A. Montenegro-Arrasco, E. H. S. Fernández-Lagos, and J. G. Pilares-Aique, "Propuesta de diseño de estación análoga en RV para la simulación de misiones en Marte," *Latin American Journal of Astronautics*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2026.

ORIGINAL ARTICLE

Design Proposal for an Analog Station in VR for Mars Mission Simulation

Koo-Saenz, Katherine Ellie^{1*} , Montenegro-Arrasco, Dessiree Anghely² , Fernández-Lagos, Elam Hazael Salomón³ , Pilares-Aique, John Guillermo⁴ 

Institutional Affiliation

¹ Beijing Institute of Technology, Beijing, China, katherinekoo.pe@gmail.com

² University of Chicago, Illinois, USA, montenegrodessiree@gmail.com

³ Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, elamfernandezlagos@gmail.com

⁴ Universidad Continental, Cusco, Perú, 60995510@continental.edu.pe

*Corresponding author: Koo-Saenz, Katherine Ellie (katherinekoo.pe@gmail.com)

Previous presentation: A preliminary version of this work was presented as an oral presentation at the 13th Argentine Congress of Space Technology (CATE 2025).

ABSTRACT

The design of Mars analog stations using Virtual Reality (VR) represents an opportunity to simulate analog missions currently conducted on Earth. This study presents a proposed design and initial structure for an analog station, highlighting the potential use of VR as a key tool for its development. VR offers the advantage of simulating Martian environments in an accessible way by replicating factors such as geography and climatic conditions. In addition, its use in analog missions can support physical and psychological well-being during immersive experiences through artificial intelligence (AI) complements. It is concluded that this VR-supported proposal optimizes the planning and preparation of analog missions, allowing the evaluation and improvement of factors such as habitability, training, and cost reduction. Thus, VR is positioned as an emerging pillar in Martian simulation.

KEYWORDS

Virtual reality; analog station; Martian analog missions; space simulation; Martian habitat; immersive training; Mars exploration.

HOW TO CITE

K. E. Koo-Saenz, D. A. Montenegro-Arrasco, E. H. S. Fernández-Lagos, and J. G. Pilares-Aique, "Propuesta de diseño de estación análoga en RV para la simulación de misiones en Marte," *Latin American Journal of Astronautics*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2026.

I. INTRODUCCIÓN

Es un consenso entre las agencias espaciales que los próximos pasos para la exploración espacial humana deberían ser hacia la Luna y más tarde hacia Marte [1]. Para comprender el avance tecnológico en la exploración marciana, es clave notar cómo se ha impulsado el desarrollo de tecnologías innovadoras, entre ellas la Realidad Virtual (RV), la cual ha ganado relevancia en diversos sectores, incluyendo el espacial. En los últimos años, la RV ha experimentado un crecimiento en el mercado internacional, con gigantes tecnológicos como Microsoft, Google y Facebook impulsando su desarrollo en hardware y software [2]. Si bien ha beneficiado principalmente a las industrias del entretenimiento, medios de comunicación y moda, también ha impactado la producción y los lugares de trabajo, mejorando la capacitación y optimizando flujos de trabajo en la industria espacial [3]. En este contexto, la RV ha ampliado su campo de aplicación hacia entornos aeroespaciales, donde sus capacidades de simulación y entrenamiento resultan valiosas.

Desde la implementación de simuladores de vuelo y entrenamiento espacial por la NASA en la década de 1970, diversas tecnologías pioneras de visualización y control han sido adoptadas para optimizar la formación en este ámbito [4]. Dentro del sector espacial, la RV ha sido una herramienta clave para la mejora de las misiones análogas, proporcionando entornos inmersivos que permiten a los usuarios interactuar con herramientas tanto digitales como físicas [5]. A pesar de los significativos avances de implementar la realidad virtual (RV) en diversos proyectos, esta carece de aplicación/uso en el diseño de misiones análogas para la simulación interactiva. Específicamente en regiones, como Latinoamérica, en las cuales el sector espacial se encuentra en desarrollo [6].

Con el objetivo de poder determinar una alternativa de hábitat marciana se analizaron prototipos y diseños antecesores a nuestra investigación, los cuales han sido referentes en su estructura y funcionalidad para lograr un diseño simplificado y escalable.

Basándonos en investigaciones previas hemos propuesto el diseño de una estación marciana con capacidad de ser prototipo para aplicación en RV. Nuestro estudio sugiere que la posible simulación de la experiencia dentro de un hábitat marciano generado por realidad virtual (RV) podría incrementar la calidad de la inmersión, el realismo percibido y la introducción a habilidades técnicas. Esto gracias a través del uso de tecnologías actuales, permitiendo así el modelamiento y creación de espacios análogos tan parecidos a un entorno no simulado. Esto es consistente con prototipos y diseños antecesores a nuestra investigación, significando una clara eviden-

cia del uso de la realidad virtual en el desarrollo de estructuras y complejos que sirvan de interacción y capacitación para futuras misiones.

II. DESARROLLO

Bajo los objetivos ya mencionados, se decidió adoptar un enfoque exploratorio asociado con el diseño. Para compilar los elementos claves, como la infraestructura y contexto geográfico, se empleará un análisis y revisión cualitativa basada en revisión de literatura, estudio de los reportes y estructuras de anteriores misiones análogas.

A. Antecedentes y Referencias de Diseño

Proyectos como MarsVR y V-Mars Program, han demostrado el potencial de la RV en la preparación para misiones espaciales. En este contexto, la RV se presenta como una herramienta clave para mejorar la planificación y ejecución de misiones espaciales, optimizando el entrenamiento de astronautas, la simulación de condiciones extremas y la validación de estrategias operativas antes de su implementación en el espacio [7, 8].

Nombre del hábitat	Marciano	Lunar
HI-SEAS	•	
LunAres		•
LESA		•
UHM		•
Mars Dune Alpha	•	
MaMBA	•	•
EDEN ISS	•	•

Tabla 1. Hábitats usados de referencia.

Como se muestra en la Tabla 1, los hábitats que se han tenido como referencia tienen presentan diferencia según el tipo de hábitat, sea marciano o lunar. Se tuvo como principales referentes a 3 hábitats con diseño lunar, 2 con diseño marciano y 2 que tuvieron diseños para acoplar ambos entornos.

Además, el poder simular un nuevo entorno con atributos tanto de hábitat marcianos y lunares enriquece el diseño, ya que tanto la Luna como Marte poseen condiciones extremas de temperatura y radiación, lo que hace que los modelos sean parecidos [9].

B. Plano de la estación

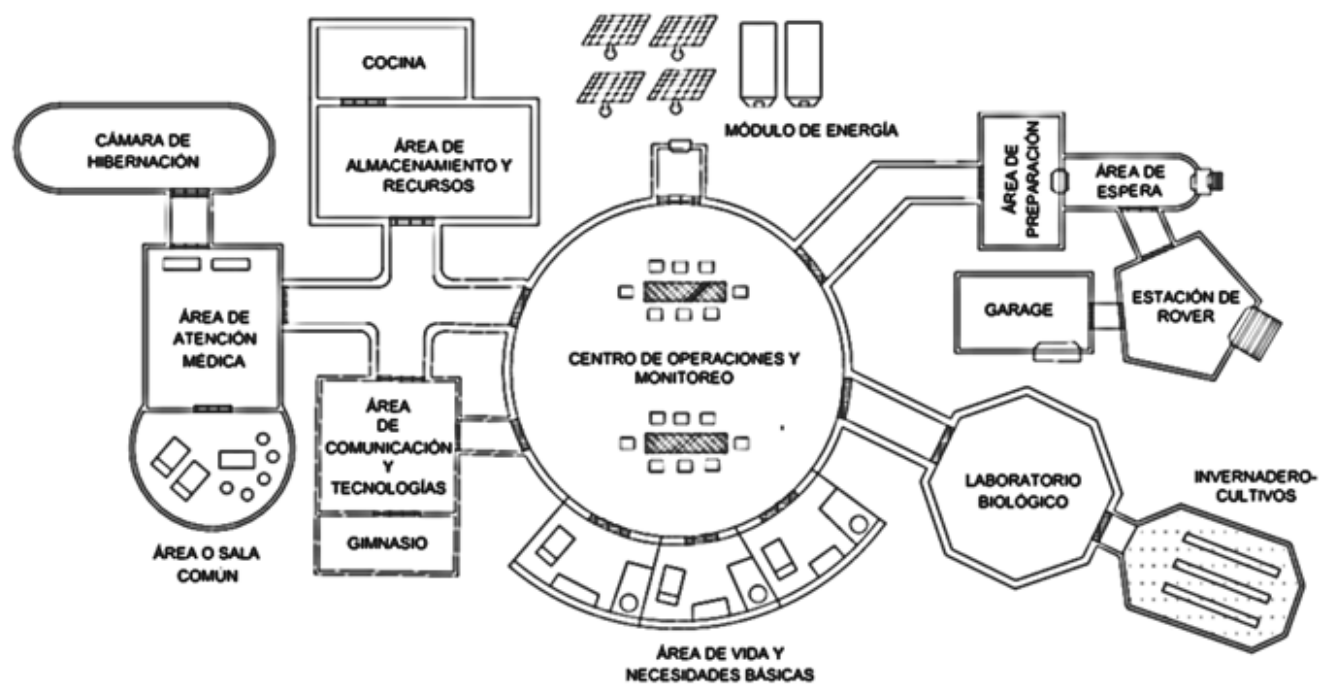


Figura 1. Estructura en formato de plano de la estación análoga en formación.

La Fig. 1 representa el diseño preliminar y distribución de la estación análoga. Representa una combinación de ideas basadas en las misiones: con el uso de sus habitaciones contiguas, las cuales se aprecian por el “centro de operaciones y monitoreo” y tres habitaciones contiguas, respectivamente.

Asimismo, se incluyen áreas esenciales como el centro de operaciones, laboratorios, módulos de energía, zonas de recreación, gimnasio y almacenamiento.

C. División de sectores

Se realizó la división por colores en la Fig. 2 con el fin de organizar las labores y clasificar las áreas por el tipo de actividades que se realizan.

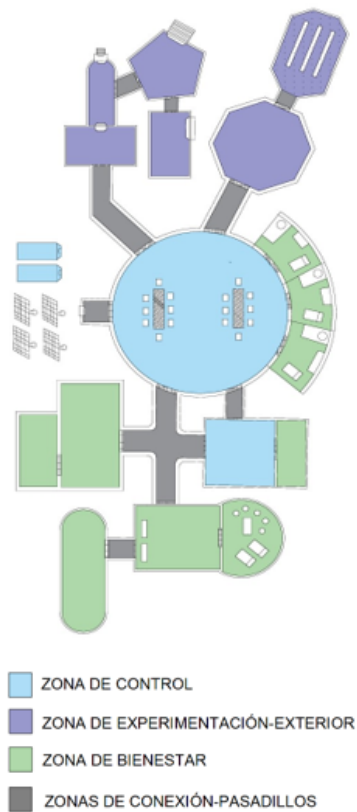


Figura 2. División del Diseño de la Estación por colores.

D. Zona de control

En la zona de control se encuentran las áreas “Centro de operaciones y monitoreo” y la “Área de comunicación y tecnologías”, las cuales son para la simulación de comunicación y el uso de prácticas con tecnologías de optimización.

1. Centro de Operaciones y Monitoreo

El mantener un centro que tenga como rol la vigilancia de toda la estación es fundamental para estar al tanto de diferentes actividades en simultáneo. Este Centro de Operaciones y Monitoreo (como se aprecia en la Fig. 3) posee una pantalla grande para la videovigilancia. Además, posee 2 pantallas menores de monitoreo individual junto a 4 computadoras encargadas de presentar las imágenes y hacer trabajos en computadora. Como complemento están las mesas de discusión para las reuniones y toma de decisiones en la estación.

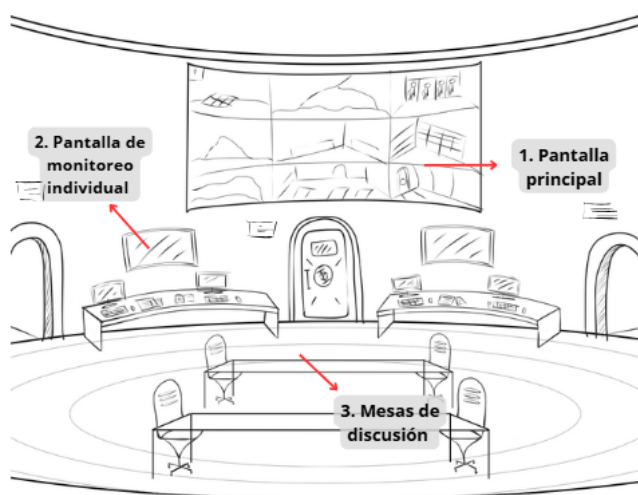


Figura 3. Diseño del Centro de Operaciones y Monitoreo.

2. Área de comunicación y tecnologías

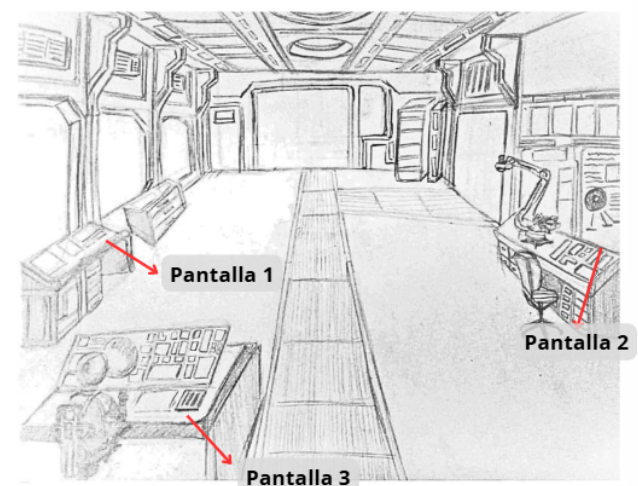


Figura 4. Diseño del Área de Comunicación y Tecnologías.

La habitación en la Fig. 4 presenta las siguientes características para su simulación en realidad virtual:

1. **Pantalla 1 - Monitoreo Externo.** Se encarga de revisar las condiciones atmosféricas, temperatura, velocidad del viento.
2. **Pantalla 2 - Estado de la Base.** Encargada de analizar que la base se encuentre en estado óptimo con referencia a las condiciones del oxígeno, presión interna y reserva de agua.
3. **Pantalla 3 - Comunicación.** Encargada de verificar las señales de comunicación a distancia, recibir y emitir mensajes.

3. Módulo de Energía

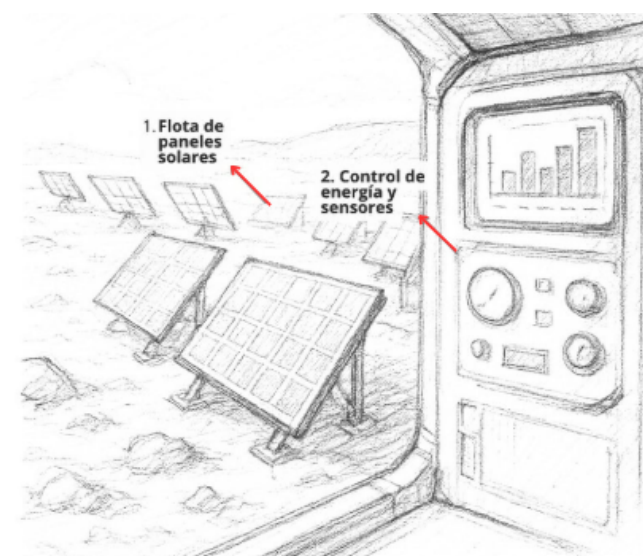


Figura 5. Diseño interno y externo del Módulo de Energía.

Espacios actuales como el HI-SEAS emplean este tipo de sistema de energía, su energía primaria se genera mediante un sistema fotovoltaico (FV) [10]. Por ende, el módulo de energía (Fig. 5) constituye una parte importante en la producción de energía eléctrica del hábitat en la misión análoga. En el exterior, se cuenta con una flota de paneles solares orientables que captan energía y la almacenan en baterías.

La radiación solar que entra en la atmósfera marciana es de tan solo aproximadamente el 0,2 % de la constante solar terrestre, y la acumulación de polvo puede reducir significativamente la eficiencia de los paneles solares [11]. Como respuesta a este problema, se cuenta además con sensores que monitorean la radiación y activan sistemas de limpieza de los paneles solares. Dentro, la sala de control supervisa la producción y distribución de energía mediante pantallas de monitoreo, controles de distribución y sistemas de respaldo.

E. Zona de Experimentación - Exterior

Esta zona se encuentra relacionada debido a que comparten un mismo nivel de importancia con relación al cuidado de la tripulación y las investigaciones constantemente. En cuanto a la experimentación, se realizan actividades de evaluación y análisis de fenómenos dentro de la estación.

1. Experimentación

a) Área de Cultivo-Invernadero

Se detalla el entorno de crecimiento de plantas en el invernadero (como se muestra en la Fig. 6), así también como su tratamiento. Los sistemas del módulo son configurables, esto le permite adaptarse a las condiciones necesarias para una eficiente producción de alimentos.

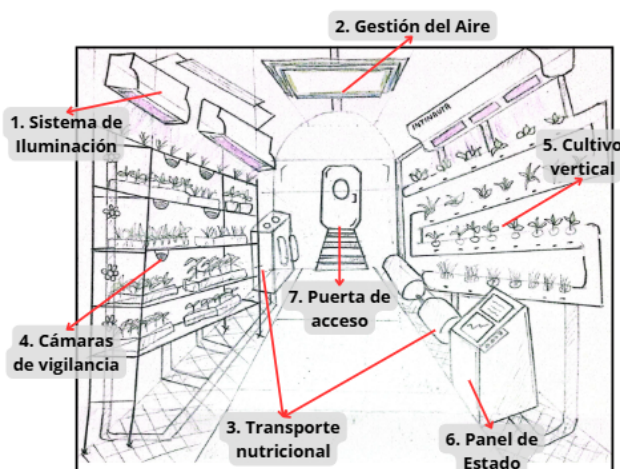


Figura 6. Diseño del Área del Invernadero.

La habitación presenta forma cilíndrica y su interior consta de un sistema de iluminación que brinda los espectros de luz necesarios para las actividades metabólicas de las plantas. Por otro lado, se ha dispuesto en el techo mecanismos que funcionan como reguladores de la humedad, temperatura y capaces de eliminar microorganismos en el aire mediante luz UV, su configuración se da por medio del Panel de Estado.

Estudios realizados en la Universidad de Villanova, como parte del Proyecto Jardines de Marte, han demostrado que es posible cultivar plantas con éxito en regolito marciano simulado. Sin embargo, el regolito marciano es naturalmente estéril y su proceso previo al uso en actividades agrícolas presenta múltiples desafíos. Dada esta situación surgen los sistemas hidropónicos como una gran alternativa para la agricultura marciana, pues su fácil absorción de nutrientes mediante solución nutritiva permite que las plantas crezcan grandes y en corto tiempo [12]. Un ejemplo de esto fueron los experimentos realizados con plantas seleccionadas en el sistema hidropónico LunAres durante

la misión análoga LEARN, se dispuso de macetas en columnas, conectadas verticalmente mediante tubos por donde pasaba el sustrato [13].

Tomando en cuenta estos antecedentes, el diseño del invernadero hace uso de dos sistemas hidropónicos, aeroponía y sistema NFT. El transporte de los nutrientes se da a través de bombas de agua y tuberías que pasan por debajo de rejillas de piso. El trabajo compartido entre el invernadero y el laboratorio se da en el uso de cámaras de seguimiento para cada cultivo.

b) Área de Laboratorio de Cultivos

El área del Laboratorio de Cultivos está preparada para elaborar investigaciones sobre los cultivos con herramientas que nos permitan evaluar su resistencia al entorno marciano, su comparación con un entorno terrenal y analizar parámetros como crecimiento, fotosíntesis y eficiencia hídrica en RV.

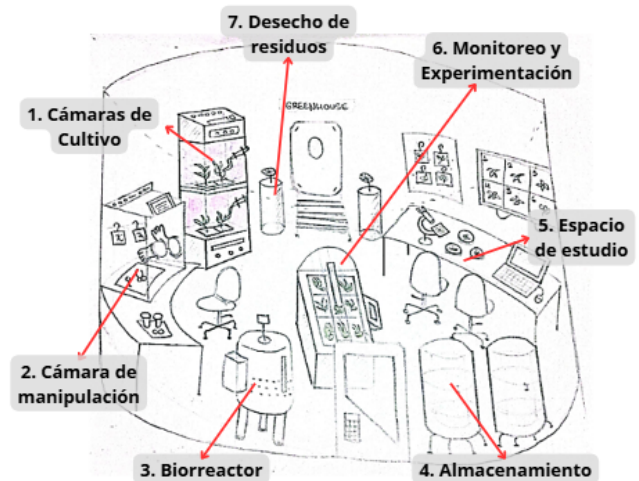


Figura 7. Diseño del Área de Laboratorio de Cultivos.

Así como se muestra en la Fig. 7, podemos hacer diferencia entre espacios que conciernen trabajo directo con material orgánico y espacios que se encargan de la propia investigación.

La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) ha probado varios sistemas para cultivar verduras frescas a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS) para que la tripulación de astronautas las recoja y las consuma [14]. Usos actuales como las cámaras de crecimiento llamadas "Veggie" están diseñadas para producir cultivos en el espacio con una masa y un tiempo de tripulación mínimos para operar. Este antecedente nos llevó a disponer de dos cámaras de cultivo inspiradas en el sistema "Veggie". También se cuenta con una cámara de manipulación para chequeos de tejidos y un biorreactor especializado en el crecimiento de microorganismos y cultivo celular. Los espacios de monitoreo y estudio comprenden el segundo caso, estos están destinados al registro, separación de

muestras y observación de los cultivos del invernadero.

2. Exterior

La sección Exterior, no solo representa la sección fuera del hábitat, sino también la preparación minuciosa previa a la salida, la cual está dividida en el Área de Espera y el Área de preparación, las cuales dedican su propósito a la correcta transición del exterior con el interior debido a la variación de temperatura, el cambio de presión y la contaminación cruzada.

a) Área de Preparación

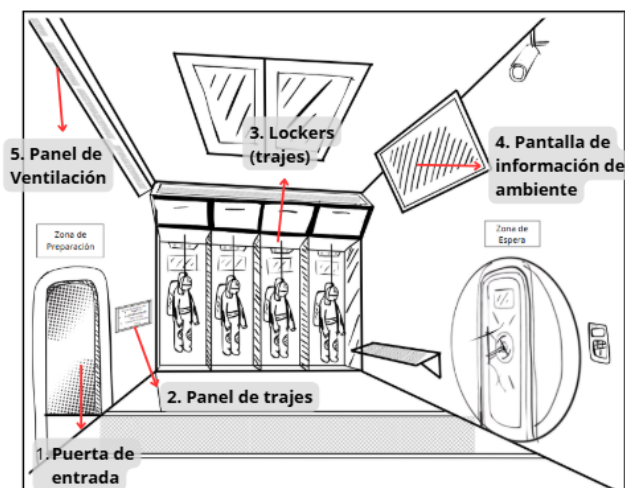


Figura 8. Diseño del Área de Preparación para el exterior.

Para poder realizar el diseño del Área de Preparación, como se muestra en la Fig. 8, se tomó en cuenta la necesidad de garantizar la seguridad de los tripulantes. Por ello, se han incorporado 4 lockers, donde se almacenan los trajes espaciales; una pantalla de información del ambiente, el cual informará sobre las condiciones del exterior; un panel táctil de trajes, el cual tiene como utilidad mostrar las condiciones de los trajes e instrucciones de uso. Además, tiene complementos como un lugar donde sentarse para brindar comodidad a la hora de colocarse el traje, paneles de ventilación, ventanas por detrás y almacenamiento por encima de cada locker.

b) Área de Espera

El Área de Espera (Fig. 9) está diseñado para ser el intermediario entre el Área de Preparación con el exterior, este posee 2 puertas de descompresión para equilibrar la presión, seguros digitales para la apertura y clausura de las puertas, sitio de descanso y, por último, eliminación de contaminantes con uso de luz ultravioleta (UV).

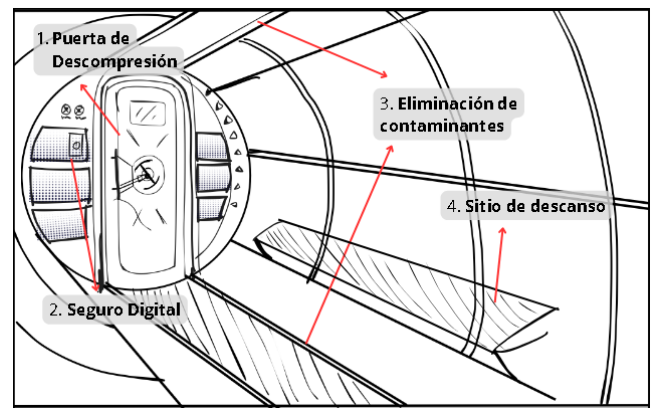


Figura 9. Diseño del Área de Espera.

c) Garaje

Marte, desde una primera instancia, ha sido un destino predilecto para la exploración, primero mediante la inspección robótica, que proporciona conocimientos básicos, y luego con la presencia humana para investigaciones exhaustivas. En ese sentido, el garaje representa parte importante del lugar de trabajo de la tripulación alrededor de las actividades de exploración o actividades extravehiculares (EVA).

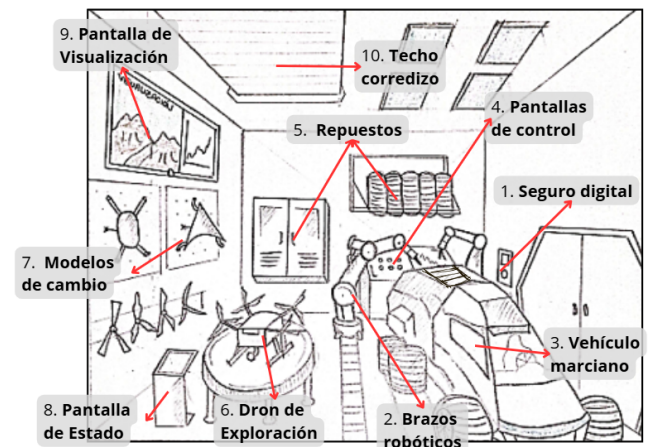


Figura 10. Diseño del Garaje.

El concepto del garaje, la cual se muestra con detalle en la Fig. 10, se ha visto complementada con el establecimiento de un taller mecánico-técnico. Con el fin de cumplir con la implementación de todos los recursos necesarios del equipo a bordo se ha incorporado una unidad vehicular de exploración, esta cuenta con una sección trasera para transportar una cantidad no mayor a 4 tripulantes y su mantenimiento viene dado por el uso de brazos robóticos automáticos, programados por las pantallas de control.

El uso de un dron de exploración resulta oportuno, ya que le otorga más fuentes de investigación al trabajo externo. Las misiones robóticas no tripuladas, destinadas a explorar el Planeta Rojo, ya han proporcionado cartografía de algunas regiones. En

este contexto, el próximo objetivo sería cartografiar el terreno extremo y el subsuelo de cuevas y tubos de lava, inaccesibles para los rovers [15]. Para el uso de este tipo de medio en RV, se ha dispuesto en la habitación repuestos y piezas que permitan su constante mejoría, así como una pantalla de estado que analice posibles daños durante la exploración, una pantalla de visualización que brinde las imágenes o datos captados por la cámara del Dron y un techo corredizo a modo de salida del hábitat.

d) Estación del Rover

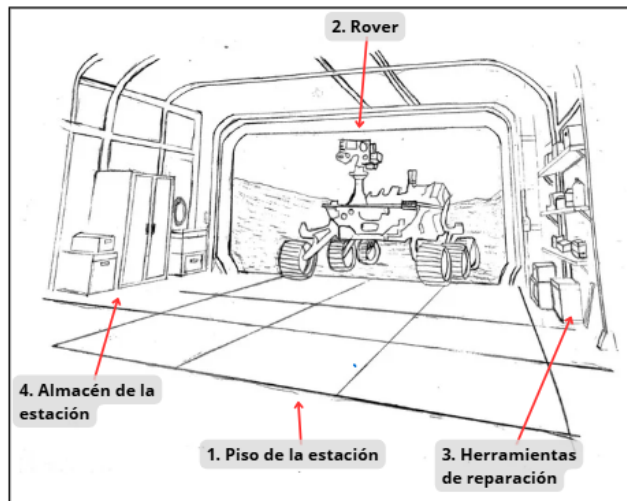


Figura 11. Diseño de la Estación del Rover.

La Estación del Rover (Fig. 11) está diseñada para el mantenimiento, reparación y la preparación de vehículos de exploración en la superficie marciana como el Rover. La estación del Rover cuenta con un piso metálico (1) (aleación de aluminio y titanio) para soportar el peso extremo. El vehículo de exploración (2) para misiones marcianas de larga duración en Marte. Cuenta con diferentes herramientas para el mantenimiento del Rover (ej. Destornilladores, llaves inglesas y de tubo, alicates, pinzas y llaves de torque). Se cuenta con un almacén (4) para la distribución y organización de las herramientas, componentes tecnológicos y repuestos.

F. Zona de Bienestar

En esta zona podemos encontrar la Sección de Sostenimiento Físico y Soporte Psicológico, las cuales están hechas para mantener una homeostasis saludable y la preservación del cuerpo humano. Esto se hace con máquinas de entrenamiento físico y tecnologías capaces de crear un ambiente saludable.

1. Sección de Sostenimiento Físico

a) Gimnasio

El gimnasio obtiene relevancia debido a que las condiciones marcianas no son las mismas que en

la Tierra. La gravedad de Marte solo es aproximadamente un tercio de la gravedad de la Tierra, por lo que podría causar pérdida de la masa muscular y deteriorar el sistema cardiovascular.

Como se observa en la Fig. 12, existen trotadoras, las cuales se han diseñado a partir del diseño propuesto por el hábitat Mars Dune Alpha [16]. Estas tienen un estilo curvado en la cinta para que manejen un trote con caída más leve a comparación de las convencionales y no reciban tanto daño las articulaciones.

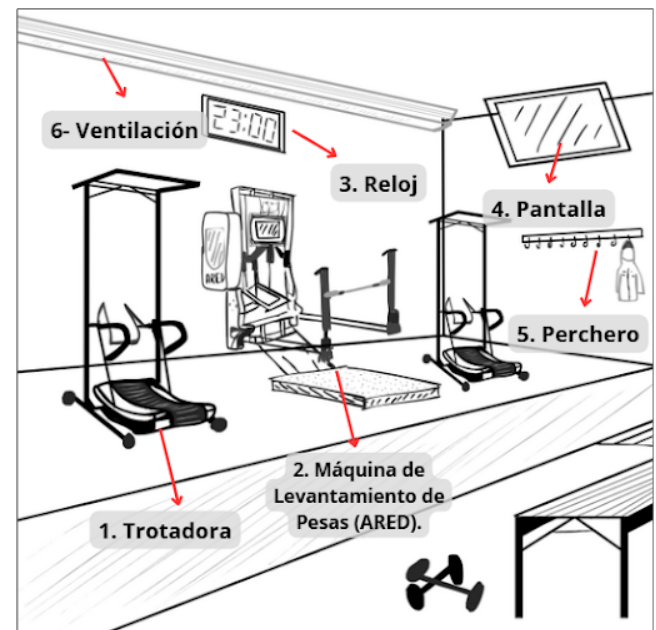


Figura 12. Diseño del Gimnasio.

Por otro lado, también está la Máquina de Levantamiento de Pesas, la cual posee cilindros de vacío que proporcionan cargas de trabajo concéntricas de hasta 270 kg y retroalimentación al astronauta durante el uso y datos a los fisiólogos del ejercicio de la NASA [17]. Como complementos, podemos mencionar a las mancuernas; el perchero, para sostener las prendas; el reloj digital, para medir el tiempo de entrenamiento; la ventilación; y la pantalla, para visualizar algún contenido del hábitat.

b) Cámara de Hibernación

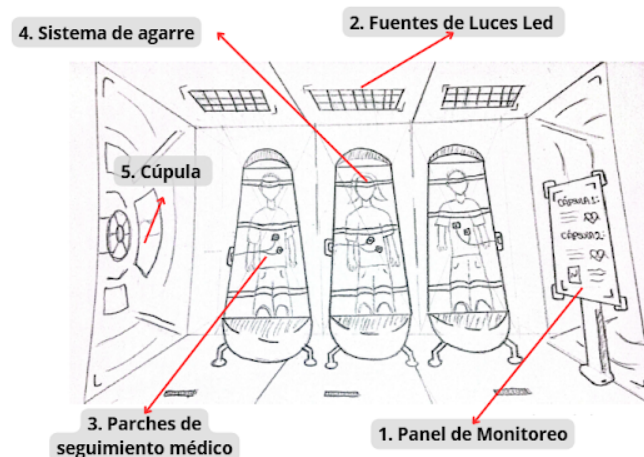


Figura 13. Diseño de la Cámara de Hibernación.

Durante décadas, las agencias espaciales han estado analizando estrategias para transmutar a los astronautas a un estado hipotérmico e hipometabólico por debajo de los límites fisiológicos conocidos, un factor clave en estas estrategias es la reducción de las necesidades fisiológicas de los astronautas mediante estados inducidos artificialmente que simulan estados naturales de letargo, como los de la hibernación [18].

El éxito de estos procesos podrían reducir notablemente el consumo de recursos, minimizar los efectos fisiológicos y psicológicos de viajes de larga duración y mantener los sistemas de soporte vital; por ello, resulta conveniente el diseño de una cámara de hibernación (Fig. 13), la cuál cuenta con 3 cápsulas, una fuente de iluminación adaptable a las condiciones de letargo y un panel de monitoreo que muestra el estado de cada hibernante, gracias a su sincronización con parches de seguimiento médico.

Una investigación dirigida por la ESA sugiere que la hibernación humana podría convertirse en una técnica revolucionaria para los viajes espaciales [19]. Esta tiene la capacidad de reducir los costos de misión, el tamaño de la nave y mantener salubres a los tripulantes.

Para el diseño de la cápsula de hibernación se ha optado por un modelo práctico. Cubierta con material metálico, cuenta con una entrada transparente (vidrio), un sistema de apoyo que facilitan su inclinación o sostén, una cama suave adaptable al cuerpo y un mecanismo de ventilación, capaz de aclimatar la habitación y fácilmente configurable desde el panel de monitoreo.

c) Módulo Médico

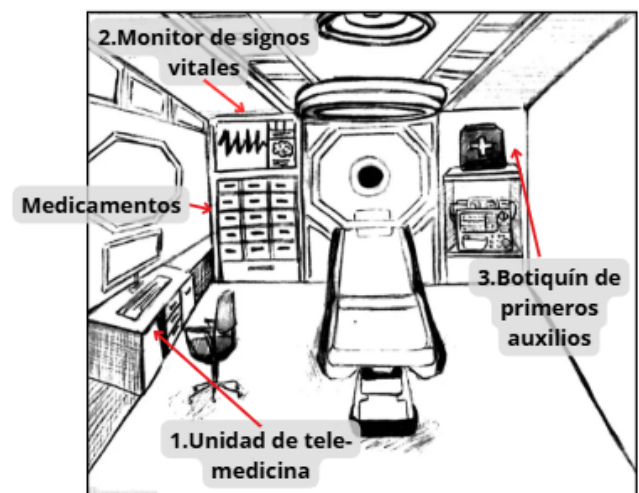


Figura 14. Diseño del Módulo Médico.

El Módulo Médico (Fig. 14) es un espacio equipado para el diagnóstico, tratamiento y monitoreo de la salud de los astronautas en Marte.

1. **Unidad de telemedicina.** Diagnósticos remotos y asistencia médica en tiempo real desde la Tierra.
2. **Monitor de signos vitales.** Registro continuo de ritmo cardíaco, presión arterial, oxígeno en sangre, etc.
3. **Botiquín de primeros auxilios.** Atención inicial de emergencias comunes. Contiene apósitos autoadhesivos, desfibrilador portátil, herramientas para sutura.
4. **Medicamentos.** Tratamiento para enfermedades comunes o específicas en misiones marcianas.

2. Sección de Sostenimiento Psicológico

La sección de Sostenimiento Psicológico da relevancia al cuidado mental del tripulante y al éxito de misiones futuras a Marte. Las repercusiones de la monotonía sensorial y social se han estudiado con anterioridad. Los resultados de estos estudios indican que los efectos del aislamiento social afectan tanto el sistema fisiológico como el psicológico de la persona [20]. Estos antecedentes representan la importancia de creación de un ambiente destinado a la interacción y distracción de los astronautas durante sus jornadas de trabajo.

a) Sala Común

El concepto de este espacio de socialización (Fig. 15) implementa una sala de estar para charlas entre miembros de la tripulación y una pantalla detrás para visualización de películas y/o series.

Además, estudios han concluido que ambientes con áreas verdes y uso de plantas en sus decoraciones aumentan la productividad y reducen el estrés [21]; por ello, decoraciones con plantas en las paredes y macetas en distintas partes de la habitación han sido esencial en su planificación.

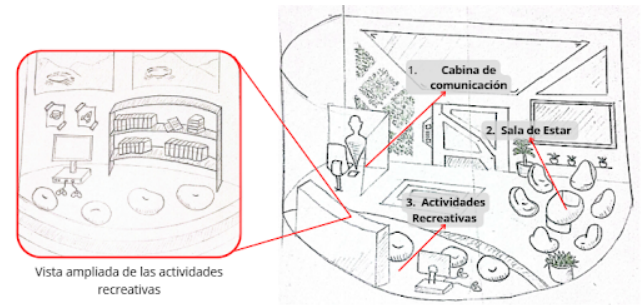


Figura 15. Diseño de la Sala Común.

Esta sala común está vinculada con el módulo médico; y está conformada por la sala de estar, la cabina de comunicación y las actividades recreativas. Además cuenta con un televisor, ventanas y decoraciones con objetivo de reducir el estrés. Parte de las actividades recreativas son el uso de cojines de piso, biblioteca para momentos de lectura, consolas o reproductores de música, lo cual puede variar dependiendo de la tripulación. La cabina de comunicación tiene un rol fundamental en la proyección holográfica con Holoportation™ [22], lo cual les permite ver a sus familiares y amigos.

3. Sección de Necesidades Básicas

El área de necesidades básicas cumple con la función de descanso y aseo personal. En esta sección se cubre: área de aseo - módulo de higiene, área de descanso - dormitorios, cocina - comedor.

a) Área de Aseo

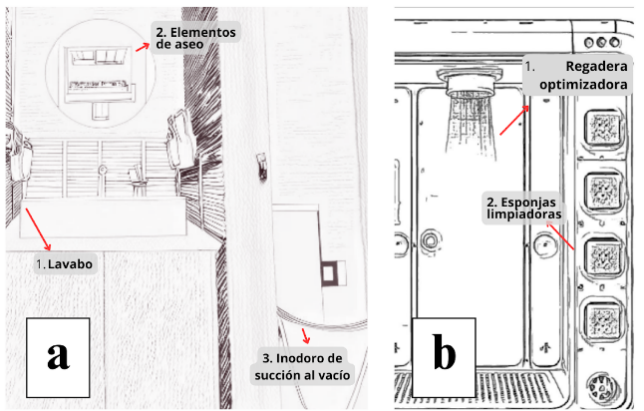


Figura 16. Diseño del Área de aseo.

El área de aseo (Fig. 16) está diseñada para optimizar el uso del agua en entornos cerrados. Incluye un inodoro de succión al vacío (a), que minimiza

el consumo hídrico, y una ducha que expulsa una fina niebla, permitiendo una limpieza eficiente con muy poca agua, la cual puede ser recolectada y reutilizada.

A su lado, se ubican dispensadores de esponjas con soluciones limpiadoras (b), que permiten mantener la higiene sin necesidad de enjuague excesivo. Este sistema equilibra funcionalidad y sostenibilidad, garantizando una higiene efectiva con el menor impacto en los recursos disponibles.

b) Cocina

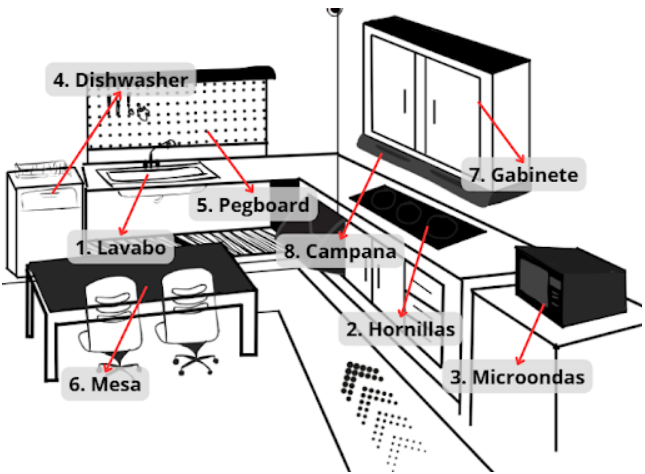


Figura 17. Diseño de la Cocina.

El modelo de la cocina (Fig. 17) tiene un diseño parecido a las instalaciones de Hawaii Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS) [23]. La cocina está pensada para ser ergonómica, eficiente y adaptable a contextos de aislamiento prolongado, como los que se esperarían en una misión a Marte. Se han considerado elementos que permiten cubrir necesidades básicas sin ocupar demasiado espacio ni requerir recursos excesivos.

c) Área de Descanso

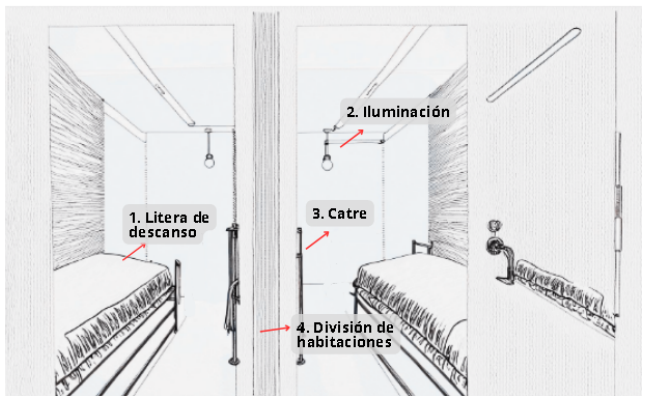


Figura 18. Diseño del dormitorio.

El diseño de los dormitorios está inspirado en el de Mars Dune Alpha (una estación con impre-

sión 3D), con habitaciones individuales (como se muestra en la Fig. 18) que ofrecen un espacio compacto pero funcional para el descanso [16]. Cada astronauta dispone de una cama simple, un escritorio plegable y áreas de almacenamiento optimizadas. Las paredes cuentan con aislamiento acústico para mayor privacidad y confort, mientras que la iluminación regulable permite simular los ciclos día-noche terrestres y mejorar la calidad del sueño en el entorno marciano.

d) Almacén de Suministros

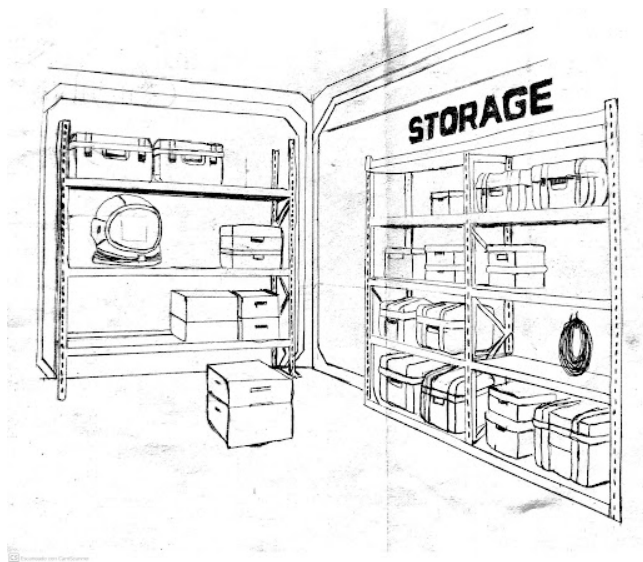


Figura 19. Diseño del Almacén de Suministros.

En el Almacén de Suministros (Fig. 19) es importante para almacenar, gestionar y distribuir recursos vitales (agua, oxígeno, alimentos, repuestos, herramientas). Este almacén funciona como un espacio de simulación logística, permitiendo entrenar en emergencias. Garantiza que los astronautas tengan acceso inmediato a todo lo necesario para sobrevivir en Marte.

El Almacén se encuentra cerca de la cocina y el módulo médico para que se pueda aprovechar de mejor manera el tiempo de abastecimiento entre cada área dentro de la estación para asegurarse que cada recurso llegue al lugar correcto y en el momento correcto.

III. DISCUSIÓN

El desarrollo de una estación análoga en RV es un hito en la simulación de escenarios operativos de misiones marcianas. La combinación de modelado tridimensional, procesamiento en tiempo real y sistemas de interacción háptica permite generar entornos inmersivos que aumentan la eficiencia del entrenamiento de astronautas y la validación de protocolos sin infraestructura física [24].

En cuanto a la zona de control, la RV presenta utilidades para visualizar datos del hábitat y del sistema de soporte vital Environmental Control and Life Support System (ECLSS) en un solo entorno interactivo [25]. La interpretación de los datos se impulsa mediante interfaces intuitivas y visualización aumentada, lo que concierne a variables como el consumo de energía, la presión interna y la gestión de recursos hídricos y atmosféricos. Asimismo, la implantación de simulaciones de fallos en tiempo real reduce el tiempo de respuesta de los astronautas a emergencias técnicas, junto con la eficiencia de problemas resueltos.

Por el lado de las zonas de experimentación en RV están diseñadas para simular el crecimiento de cultivo en un ambiente controlado, beneficiándose a la investigación en biotecnología espacial. Aunque la RV no puede replicar los factores físicos como la radiación ultravioleta y baja presión atmosférica, sí puede modelar su efecto en tiempo real a través de software dedicado. Por ejemplo, al integrar los resultados de experimentos previos sobre el efecto de la ingravidez en el crecimiento de plantas, parámetros virtuales, tales como el ciclo de crecimiento, la tasa de fotosíntesis, y la eficiencia en uso de agua se pueden ajustar y se configuran como una herramienta predictiva para la optimización de cultivos en sistemas cerrados [25].

Además, el uso de gemelos digitales permite el monitoreo y la corrección de variables en simulaciones agrícolas, mejorando el diseño de invernaderos marcianos antes de que se terminen de construir. Sin embargo, la precisión de estos modelos sigue siendo una limitación, ya que la interacción entre la biota y la microgravedad parcial aún requiere que se realicen experimentos adicionales [26].

La zona exterior se centra en el entrenamiento de actividades extravehiculares (EVA). En su diseño, la RV se utiliza para simular caminatas en superficies irregulares, exposiciones a tormentas de polvo y operaciones con equipos presurizados. Si bien esto se puede lograr mediante el uso de motores físicos más avanzados y del renderizado de partículas, esto también permite la evaluación de la movilidad en regolito suelto y la estabilidad de los trajes en entornos de baja gravedad. Además, la inclusión de sistemas de feedback háptico en guantes y botas también ayuda a aumentar la percepción sensorial, permitiendo a los astronautas entrenar en un entorno que simula las limitaciones táctiles de un traje presurizado sin que este dependa tanto de los sistemas mencionados anteriormente que haya que implementar soluciones de redundancia si faltaba la sincronización de datos o había latencia en la respuesta háptica.

Por otro lado, la RV también se utiliza en las áreas de bienestar para mitigar los efectos de

pasar mucho tiempo confinados. La ausencia de estímulos naturales y la exposición constante a entornos aburridos y monótonos afectarían la estabilidad emocional de la tripulación y la capacidad cognitiva que se desarrollara correctamente [27]. Para contrarrestar esto, la RV se puede usar para simular entornos naturales, mentales, similares y con ciclos circadianos artificiales, y los estados de ánimo pueden ser influenciados por las experiencias multisensoriales. El sistema de biofeedback ambiental que se acopla a los sensores fisiológicos también permite ajustar automáticamente el entorno virtual en función de la información biológica recopilada y, en este sentido, optimizar la respuesta psicológica de la tripulación [28].

Finalmente, tomando en consideración el ámbito de las tecnologías de optimización, la combinación de inteligencia artificial y realidad virtual permite generar escenarios de entrenamiento adaptativos para los astronautas. En tal caso, los astronautas serán capaces de enfrentar fallas simuladas en tiempo real y mejorar su capacidad de reacción. Por ejemplo, la aplicación de algoritmos de pathfinding y modelado basado en agentes permite planificar rutas seguras en actividades extravehiculares y evaluar riesgos en la distribución de recursos [26]. No obstante, el desempeño de estos sistemas depende de la capacidad computacional y la latencia de los datos, y es necesario optimizar software por medio de técnicas de procesamiento distribuido o edge computing.

IV. CONCLUSIONES

Las conclusiones principales del manuscrito son el presentar una propuesta de diseño de una estación análoga y las ventajas de usar RV en la simulación de próximos diseños debido a la interacción eficaz que ofrece esta tecnología no solo para su recreación, sino para fines inmersivos y experimentales.

Tomando en consideración estos aspectos, podemos concluir que la integración de la realidad virtual en la simulación de estaciones análogas marcianas constituye un avance fundamental en la formación de astronautas y la validación de tecnologías claves para la exploración espacial. Aunque hoy en día las simulaciones no son suficientemente precisas, el desarrollo posterior de tecnologías promete mejorar la preparación para misiones interplanetarias y brindar una gama de herramientas para entrenamiento inmersivo, modelado predictivo y optimización operativa.

■ REFERENCIAS

[1] C. Heinicke and M. Arnhof, "A review of existing

analog habitats and lessons for future lunar and Martian habitats," *REACH*, vols. 21–22, Art. no. 100038, 2021.

- [2] K. Stecula, "Virtual reality applications market analysis—On the example of Steam digital platform," *Informatics*, vol. 9, no. 4, Art. no. 100, 2022, doi: 10.3390/informatics9040100.
- [3] A. Del Mastro, F. Monaco, and Y. Benyoucef, "A multi-user virtual reality experience for space missions," *Journal of Space Safety Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 134–137, 2021.
- [4] V. Garg, V. Singh, and L. Soni, "Preparing for space: How virtual reality is revolutionizing astronaut training," in *Proc. 2024 IEEE Int. Conf. Women Innov., Technol. Entrepreneurship (IC-WITE)*, Bangalore, India, 2024, pp. 78–84.
- [5] P. Strojny and N. Dużmańska-Misiarczyk, "Measuring the effectiveness of virtual training: A systematic review," *Computers & Education: X Reality*, vol. 2, Art. no. 100006, Jan. 2023.
- [6] J. Gołowska-Bolek, "Latin American space research—Challenges and opportunities," *Transactions on Aerospace Research*, vol. 2017, no. 4, pp. 24–34, 2017.
- [7] R. Olanda, M. Pérez, P. Morillo, M. Fernández, and S. Casas, "Entertainment virtual reality system for simulation of spaceflights over the surface of the planet Mars," in *Proc. ACM Symp. Virtual Reality Software Technol. (VRST)*, Limassol, Cyprus, 2006, pp. 123–132, doi: 10.1145/1180495.1180522.
- [8] Space Station Research Integration Office, "Nine ways we use AR and VR on the International Space Station," NASA, Sep. 20, 2021. Accessed: Aug. 5, 2026. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/missions/station/nine-ways-we-use-ar-and-vr-on-the-international-space-station/>
- [9] A. Märki, "Radiation analysis for Moon and Mars missions," *International Journal of Astrophysics and Space Science*, vol. 8, no. 3, pp. 16–21, 2020.
- [10] A. Barnard, S. T. Engler, and K. Binsted, "Mars habitat power consumption constraints, prioritization, and optimization," *Journal of Space Safety Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 256–264, 2019.
- [11] H. Sun *et al.*, "Designing sustainable built environments for Mars habitation: Integrating innovations in architecture, systems, and human well-being," *Nexus*, vol. 1, no. 3, Art. no. 100030, 2024, doi: 10.1016/j.ynexs.2024.100030.
- [12] A. Eglin and E. Guinan, "The Mars gardens: A comparison of the viability of plants grown

- in Martian simulant regolith and in a hydroponics system,” in *American Astronomical Society Meeting*, vol. 52, no. 1, Honolulu, HI, USA, Jan. 4–8, 2020.
- [13] S. Bouriat, M. Poliaček, and J. Smith, “Overview of activities conducted during the ARES-III and LEARN analog missions in the LunAres habitat,” *Space Science and Technology*, vol. 2022, 2022.
- [14] A. H. Morsi, G. D. Massa, R. C. Morrow, R. M. Wheeler, M. A. Elsysy, and C. A. Mitchell, “Leaf yield and mineral content of mizuna in response to cut-and-come-again harvest, substrate particle size, and fertilizer formulation in a simulated spaceflight environment,” *Life Sciences in Space Research*, vol. 40, pp. 106–114, 2024.
- [15] D. Beţco, P.-V. Pârvu, and S. Ciudin, “Autonomous navigation for the Martian Inspection Drone,” *Acta Astronautica*, vol. 216, pp. 55–63, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.actaastro.2023.12.052.
- [16] NASA, “NASA’s Crew Health and Performance Exploration Analog & Habitat.” Accessed: Aug. 5, 2026. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/humans-in-space/chapea/habitat/>
- [17] European Space Agency, “Space Station fitness,” Mar. 11, 2017. Accessed: Aug. 5, 2026. [Online]. Available: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/03/Space_Station_fitness
- [18] A. Choukèr *et al.*, “Hibernating astronauts—Science or fiction?” *Pflügers Archiv—European Journal of Physiology*, vol. 471, pp. 819–828, 2019.
- [19] A. Choukér, T. J. Ngo-Anh, R. Biesbroek, G. Heldmaier, M. Heppener, and J. Bereiter-Hahn, “European Space Agency’s hibernation (torpor) strategy for deep space missions: Linking biology to engineering,” *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 131, pp. 618–626, 2021.
- [20] B. Le Roy, C. Aufauvre-Poupon, A. Ferragu, A. Vannier, C. Martin-Krumm, and M. Trousselard, “Cardiac biosignal in confined nuclear submarine patrol: Heart rate variability as a marker of adaptation,” *Acta Astronautica*, vol. 203, pp. 469–482, 2023.
- [21] S. Haeuplik-Meusburger, C. Paterson, D. Schubert, and P. Zabel, “Greenhouses and their humanizing synergies,” *Acta Astronautica*, vol. 96, pp. 138–150, 2014.
- [22] Microsoft Research, “Holoportation.” Accessed: Aug. 5, 2026. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/research/project/holoportation-3/>
- [23] ABC News, “Six return to real world after four months on ‘Mars’,” Jul. 25, 2014. Accessed: Aug. 5, 2026. [Online]. Available: <https://abcnews.go.com/US/return-real-world-months-mars/story?id=24720124>
- [24] Y. Shi and G. Shen, “Haptic sensing and feedback techniques toward virtual reality,” *Research*, vol. 7, Art. no. 0333, 2024, doi: 10.34133/research.0333.
- [25] E. Messerschmid and R. Bertrand, “Environmental control and life support system,” in *Space Stations: Systems and Utilization*. Berlin, Germany: Springer, 1999, pp. 109–145, doi: 10.1007/978-3-662-03974-8_4.
- [26] M. Attaran and B. G. Celik, “Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities,” *Decision Analytics Journal*, vol. 6, Art. no. 100165, 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100165.
- [27] M. van Ombergen *et al.*, “The effect of spaceflight and microgravity on the human brain,” *Journal of Neurology*, vol. 264, suppl. 1, pp. 18–22, 2017, doi: 10.1007/s00415-017-8427-x.
- [28] M. C. Howard and M. B. Gutworth, “A meta-analysis of virtual reality training programs for social skill development,” *Computers & Education*, vol. 144, Art. no. 103707, 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103707.