

Creación de un Módulo Análogo Lunar en el Salar de Uyuni para simulaciones espaciales, como propuesta de educación para fomentar ciencias espaciales en jóvenes Latinoamericanos

Loretto Sanjines¹ Student, Alejandro Herrera, Student² and Jorge Soliz, Ph.D.³
^{1,3}Universidad Privada Boliviana, Bolivia, loresanjinesb@gmail.com, jorgesoliz@upb.edu
²Universidad Mayor de San Simon, Bolivia, 01alejandroh31@gmail.com

Abstract– *The Moon is a fundamental part of space exploration, being the most studied natural satellite. It is considered a potential site for human settlements due to its proximity to Earth and Mars. Analog missions play a crucial role in the success of off-Earth exploration. Currently, there are some habitats that offer the experience of an analog mission outside of Latin America, but they are inaccessible to many people due to the distance and high costs involved, which represents a significant barrier to accessing these opportunities.*

The Lunar Phaxsi research module, to be developed in the Uyuni Salt Flat located in Bolivia, offers a similar and unique environment with high radiation, extreme temperatures, special altitude, and pressure, as well as an otherworldly appearance. These factors make the experience more realistic. Given that the lunar environment presents numerous challenges for surface structural designs as well as human survival, it is necessary to experiment in a place on Earth that closely resembles it. This article reviews the challenges and proposes a new vision and concept to innovate in education and opportunities.

This proposal aims to revolutionize education by leveraging the creation of the Lunar Phaxsi research module in the Uyuni Salt Flat. By creating accessible analog missions, it seeks to inspire Latin American and Bolivian youth in the field of space sciences. The module will provide unique experiences, specialized training, practical learning, and serve as a global hub for research and innovation. The goal is to empower students, promote scientific and technological development, and inspire the next generation to become Latin astronauts and space explorers.

Keywords– *Astronaut Analog, Uyuni Salt Flat, Research Station, Lunar Module. Space Education.*

I. INTRODUCCION

Los conocimientos sobre el espacio y sobre la Luna continúan creciendo a la vez que impulsan avances tecnológicos y científicos. Desde las primeras observaciones, la humanidad ha estudiado en mayor detalle la Luna con telescopios, con naves desde el espacio, con robots que han alunizado y hasta con humanos. Desde que se enviaron tecnologías satelitales, como ser sondas, satélites, la URSS tuvo proyectos desde 1966: Primera sonda en realizar un alunizaje y transmisión desde la superficie de la Luna, en 1966: Primera sonda en la órbita lunar.

Durante la era de las misiones Apolo, se pensaba que no había agua en la Luna. Luego, a finales de la década de 1990, las misiones Clementine y Lunar Prospector dieron indicios de

la posible presencia de hielo de agua almacenado dentro de cráteres ubicados en regiones de sombra perpetua. Fue recién en 2020 que la NASA confirmó el descubrimiento de agua en forma de hielo en una parte iluminada de la Luna. Hoy, la presencia de este recurso impulsa las misiones Artemis, que llegarán al oscuro e inexplorado polo sur lunar..

A. Lugar de la serie de expediciones de investigación de exploración de la Luna

El Salar de Uyuni, Salar de Coipasa, desierto de Salvador Dalí, entre otros lugares, fueron evaluados de manera exhaustiva a lo largo de este proyecto, para poder obtener la probabilidad de realizar misiones análogas exitosas, y entrenamientos rigurosos de astronautas análogos, abordando todas las características de estos lugares, así como también la investigación que se podría realizar.



Fig. 1 Ubicación general del Salar de Uyuni, Bolivia

A lo largo de este proyecto, se determinó el Salar de Uyuni, ubicado en el país de Bolivia, como la opción mas semejante al ambiente lunar. El Salar de Uyuni es un lugar que tiene el

clima, y condiciones geológicas que se requieren y también tiene una calidad alta de radiación. La sal y el litio que existen en el territorio afectan al correcto funcionamiento de los componentes [1], una cualidad que nos parecería interesante simular en busca de una futura exploración humana misión a la Luna.



Fig. 2 Ubicación exacta del Habitat Lunar Phaxsi

II. MARCO CONCEPTUAL

A. Condiciones ambientales en la luna

La Luna es el único satélite natural de la Tierra, es el quinto satélite más grande del sistema solar, el segundo satélite más denso. Se encuentra en relación sincrónica con la Tierra, siempre mostrando la misma cara hacia el planeta [2].

A pesar de ser, en apariencia, el objeto más brillante en el cielo después del Sol, su superficie es en realidad muy oscura. La influencia gravitatoria de la Luna produce las mareas y el aumento de la duración del día. La distancia orbital de la Luna, cerca de treinta veces el diámetro de la Tierra, hace que se vea en el cielo con el mismo tamaño que el Sol y permite que la Luna cubra exactamente al Sol en los eclipses solares totales.

La Luna está suficientemente lejos de la Tierra y la fuerza de gravedad ejercida por el Sol es significativa. Dada la complejidad del movimiento, los nodos de la Luna, no están fijos, sino que dan una vuelta en 18,6 años. El eje de la elipse lunar no está fijo y el apogeo y perigeo dan una vuelta completa en 8,85 años.

Comparando las condiciones ambientales más relevantes, entre nuestro planeta Tierra y el Satélite Natural, como se puede ver en la tabla 1.

Como podemos observar, las condiciones son extremas entre la Tierra y el Satélite Natural, llega a ser todo un desafío para las futuras misiones, es por ello que es necesario realizar simulaciones en la Tierra, para tener éxito en una misión real.

TABLE I
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA LUNA Y LA TIERRA

Parámetros	Luna	Tierra
Masa (10^{24} kg)	0.07349	5.97
Gravedad (m/s^2)	1.62	9.81
Radiación Solar UV (W/m^2)	1367	1000
Radiación de ionización cósmica (mSv/a)	600 a 1200	1 a 2
Presión (mbar)	29.9	1013
Rango de Temperatura ($^{\circ}C$)	-233 a 123	-90 a 60
CO ₂ (%)	Casi inexistente	0.04
N ₂ (%)	Casi inexistente	78.1
O ₂ (%)	0.1	20.9
Ar (%)	0.00001	0.9

B. Radiación

En el entorno lunar encontraremos diversas condiciones extremas que representan riesgos significativos para la integridad de la misión. Se describirán y estudiarán a continuación. Finalmente, se desarrollarán las soluciones diseñadas para proteger cada uno de estos riesgos.

El tema de la radiación ionizante es sumamente importante, para considerar en los siguientes puntos, en el diseño y los materiales respectivos para los módulos lunares, debido a las condiciones en la Luna, el cual provoca un cambio en las propiedades de fricción de la superficie, también consideramos que en el vacío las cargas no se disipan de manera fácil, causando cambios en los componentes, dado que los iones y electrones de las cargas del viento solar, afectan en el regolito lunar con cargas eléctricas, tomando en cuenta los anteriores puntos, se protege a los circuitos electrónicos de posibles daños que puede causar la acumulación de carga, y de la adherencia del regolito lunar por las fuerzas electrostáticas, que pueden causar a los componentes.

C. Radioactividad en la superficie lunar

Considerando la falta de un blindaje atmosférico y magnético sustancial en la superficie de la Luna, en comparación con la superficie de la Tierra. La ausencia de blindaje magnético y atmosférico permite que los rayos cósmicos de todas las energías inciden en la superficie lunar. Se tomo en cuenta diversos estudios en los que mencionan lo necesario de la detección y medición de la radiación para futuras misiones.

D. Caracterización térmica lunar

La luna no tiene atmósfera, lo que sumado a su largo ciclo de rotación crea un ambiente térmico que se encuentra entre los más extremos de cualquier cuerpo planetario en el sistema solar. Esto presenta un gran desafío para la construcción y despliegue de equipos y rovers en la superficie lunar, ya que las temperaturas en el punto subsolar se acercan a los 400 K,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

mientras que a la sombra pueden ser, en algunos casos, inferiores a los 40 K.

Razones para ir a la Luna: Desde la primera misión de Artemis, se planean muchos experimentos para estudiar el impacto de esta radiación en los organismos vivos y para evaluar la eficacia de trajes antirradiación. La ISS a menudo se puede reabastecer, los viajes a la Luna, mil veces más lejos, son mucho más complejos [3]. Todo esto con el fin de ampliar, innovar y crear nuevas tecnologías, que pueden servir en el planeta Tierra.

Los nuevos descubrimientos, como ser de recursos minerales, recursos hídricos, entre otros. Como el agua en forma de hielo, que se ha confirmado que existe en el polo sur lunar, podría transformarse en combustible para cohetes rompiéndola en sus átomos separados de hidrógeno y oxígeno [3]

Los humanos en conjunto con las tecnologías, lograrán investigar adecuadamente otros mundos, en un futuro, para responder a las preguntas más apremiantes sobre el origen y destino de los humanos y la posibilidad de que exista vida en otros lugares. Además, que el vuelo espacial tripulado está a punto de abrir oportunidades comerciales rentables, descubrimiento de posibles recursos, creación de nuevas tecnologías, futuros asentamientos humanos en la luna y, quizás lo más importante, continuar con el inmutable deseo humano de explorar

E. Razones para hacer simulaciones de entornos lunares en la Tierra

En el área espacial, es necesario hacer simulaciones de entornos lunares en la Tierra, para poder preparar en cuestión de recursos energéticos, recursos económicos, recursos humanos, físicamente, psicológicamente, rumbo a los futuros viajes de expedición espacial, para garantizar mejores misiones, y mayor porcentaje de éxito en el espacio exterior

III. OBJETIVOS

Seleccionar una ubicación según las características específicas del ambiente lunar, para el Hábitat Lunar en la Tierra. Crear oportunidades, en una localización estratégica y accesible para jóvenes latinoamericanos de bajos recursos económicos, apasionados por el espacio. Cooperar e involucrar en simulaciones de astronautas análogos a estudiantes, agencias espaciales internacionales, instituciones, dentro del hábitat lunar, con fines de expandir la ciencia e investigación

IV. METODOLOGIA

La metodología empleada en este proyecto es de investigación aplicada.

A. Análisis de entornos en la tierra similares a la luna

En la Tierra existen entornos interesantes para ser estudiados como posibles asentamientos de experiencia análoga, y astronautas análogos, simulando así los entornos lunares o marcianos.

Actualmente existen los siguientes proyectos como simulaciones análogas, los cuales se encuentran operando y ofreciendo programas para tener la experiencia de ser un astronauta análogo. Algunos de los proyectos se describen a continuación:

Lunares Research Station: La estación de investigación “Lunares” (ver figura 3), es una estación de investigación analógica para la simulación de misiones espaciales tripuladas, ubicada en el aeropuerto posmilitar de Polonia. Se construyó en 2017, fue el primer proyecto de este tipo en Europa.

La estación puede albergar una misión lunar y marciana de 2 semanas, con 6 personas como tripulación, los cuales realizan desarrollos científicos y tecnológicos en la exploración espacial tripulada. La amplia gama de especialistas está involucrada en el estudio de campos como medicina extrema, psicología, biotecnología, robótica e ingeniería, sociología, arquitectura. Está completamente aislada del entorno, incluidos 250 metros cuadrados de área EVA.



Fig. 3 Estación de investigación Lunares

HI-SEAS (Hawái EE.UU): La Simulación y Análogo de Exploración Espacial de Hawái (HI-SEAS) (ver figura 4) es una estación de investigación análoga de exploración de Marte y la Luna, actualmente operada por International Moon Base Alliance.

Esta estación está ubicada aproximadamente a 8,200 pies sobre el nivel del mar, el hábitat de HI-SEAS es una cúpula de 1,200 pies cuadrados ubicada en un sitio similar a Marte en el volcán Mauna Loa en la isla de Hawái. HI-SEAS ha sido el hogar de cinco exitosas misiones de simulación de Marte de la NASA de larga duración (4 a 12 meses).



Fig. 4 Estación HI-SEAS

A. Conclusión de entorno, el salar de Uyuni

El Salar de Uyuni, ubicado en Bolivia en el departamento de Potosí, ubicado a $20^{\circ}08'02''S$ $67^{\circ}29'21''O$ tiene una altitud de 3692 msnm, es el salar más grande del mundo, con un área de 10582 km², es el único atractivo natural que se puede ver desde el espacio, área de 10582 km², es el único atractivo natural que se puede ver desde el espacio.

Su tierra está compuesta por litio, potasio, boro, magnesio, carbonatos y sulfato de sodio. Además, posee aproximadamente 11 capas de sal con espesores que varían entre los dos metros y los diez metros. Su profundidad es de 120 metros compuesta por lodo lacustre y sal muerta. Este lugar es considerado el lugar con mayor reserva del mundo Litio, albergando el 70% de las reservas mundiales de litio. Tiene condiciones las cuales son especiales para este tipo de misiones, como ser geológica, biológica, radiación, entre otros.



Fig. 5 Efecto de reflexión, 'Salar de Uyuni' Bolivia

Es importante profundizar un poco en algunas de estas características, debido a que la radiación es especial en este lugar, debido a sus condiciones, sabemos que el sol emite diferentes tipos de radiación, pero el componente a estudiar en este caso es el espectro de la radiación UV.

Finalmente, una interesante investigación se encuentra en el análisis de un mineral muy curioso que se encuentra en el

Salar de Uyuni, llamado ulexita, y piedras transparentes que tienen la propiedad de refractar en su superficie.

Por otro lado, también se observó que la radiación aumenta en presencia de superficies reflectantes como el 'Salar de Uyuni' y que la intensidad de la radiación UV que llega a la superficie terrestre aumenta en un 25% por cada 1000 metros de altitud.

De hecho en poblaciones andinas como Uyuni los niveles de radiación UV salen de la escala internacional que va de 0 a 16 (ver figura 6) y tiene efectiva mostrando un valor de 0.69 ± 0.02 , lo que significa que el porcentaje de radiación reflejada, con respecto a la radiación incidente, es del 69-71%. Mientras que el albedo promedio de la Tierra es 37-39%.

Por otro lado también se pueden encontrar depósitos salinos, depósitos aluviales, fluviales, lacustres, glaciares fluviales y dunas [4].

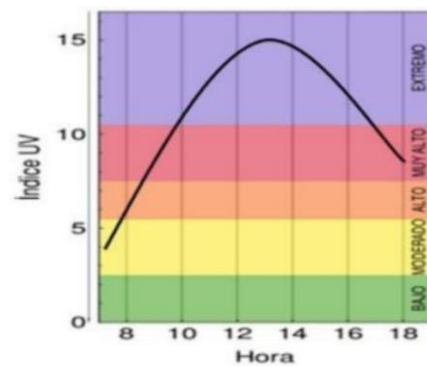


Fig. 6 Índice de radiación UV

V. RESULTADOS

Como resultado del proyecto, se determinó que el mejor lugar para las misiones de astronautas análogos, es el Salar de Uyuni, Bolivia, cuya altitud es de 3692 msnm, alberga 70% de las reservas de Litio mundial, es el salar más grande del mundo, el único atractivo natural que se puede ver desde el espacio.

Este lugar se asemeja al ambiente Lunar. La radiación aumenta en presencia de sus superficies reflectantes, la intensidad de la radiación UV que llega a la superficie terrestre aumenta en un 25% por cada 1000 metros de altitud. Tiene condiciones las cuales son especiales para este tipo de misiones, como ser geológica, biológica, radiación, entre otros. De esta manera abrirá nuevos campos en la investigación y la educación espacial en estudiantes e instituciones.

Como resultado de este proyecto en el ámbito educativo, dentro del Hábitat Lunar se implementará el siguiente programa de educación e investigación. Con el fin de fortalecer, las habilidades, inspirar y entablar cooperaciones internacionales importantes entre estudiantes futuros astronautas análogos. Ofreciendo así, una única experiencia futurista, en uno de los lugares con mayor radiación del planeta.

El Módulo o hábitat análogo lunar, el cual se llamará “Phaxsi”, por su significado en aymara de Luna, tendrá el siguiente programa de educación:



Fig 7. Programa educativo dentro del hábitat

En este módulo, los estudiantes, profesionales, y entusiastas espaciales, podrán aprender, entrenar con los mejores expertos en el área, en un ambiente futurista tecnológico, en el cual podrán absorber conocimiento acerca de todas las áreas presentadas anteriormente, además de ello, establecer cooperaciones con personas, instituciones de otros países del mundo. En el módulo lunar Phaxsi, el cual se estará desarrollando primero de manera virtual, posteriormente de manera presencial, con la siguiente estructura, basada en las futuras construcciones lunares y sobre los cimientos de la arquitectura espacial.



Fig. 8 Simulación del proyecto de módulo lunar Phaxsi, hecho en Unreal Engine

VI. CONCLUSIONES

El módulo y hábitat de simulación lunar, será un desafío de ingeniería, debido al tamaño, equipamiento:

El módulo y hábitat de simulación lunar, se llamará Phaxsi, por su significado en aymara significa Luna, y es un proyecto boliviano, que busca dar oportunidades a los latinoamericanos a seguir su sueño de ser futuros astronautas, y científicos en ciencias espaciales, a un precio accesible, viviendo la experiencia de un astronauta análogo en el Salar de Uyuni bajo todas las condiciones de alta radiación, temperatura, altura, expedición, investigación que se hará dentro y fuera del módulo. Incentivando así nuevos descubrimientos.

REFERENCIAS

- [1] A. R.-G. Natalia I Vargas-Cuentas, «THE 'SALAR DE UYUNI' AS A SIMULATED MARS,» de *Hal open science*, 2017.
- [2] J. D. P. R. R. S. B. M. B. A. C. Clarke, «A multi-goal Mars analogue expedition (Expedition Two) to the Arkaroola region, Australia,» *Mars Analog Research. Science and Technology*, vol. 111, pp. 3-15, 2016.
- [3] L. Aubourg, «PhysOrg,» 10 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://phys.org/news/2022-09-moon.html>. [Último acceso: 26 julio 2023].
- [4] NASA, «NASA ciencia,» 8 Septiembre 2005. [En línea]. Available: https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2005/08sep_radioactivemoon. [Último acceso: 26 Julio 2023].