

# PUERTO LUNAR INTERNACIONAL

Propuesta de infraestructura para habitar el contexto lunar como contribución arquitectónica para los programas espaciales cooperativos.

Caso de estudio: Polo Sur lunar

# Motivaciones

*“Designing for space travel is the ultimate challenge for architects and engineers. It requires creativity, innovation, and a deep understanding of the scientific and technical aspects of space exploration.”*

*- Bjarke Ingels*

Durante la pandemia del 2020 muchas instituciones comenzaron a ofrecer conferencias, charlas formativas y cursos online, Digital Futures fue una de ellas donde se estaba impartiendo el curso “Explore Moon Architecture” de Valentina Sumini, el hecho que fuese impartido por un arquitecto y que pudiese participar con personas de otros países llamó mi atención.

Durante el periodo de entrega tuve la oportunidad de aprender y discutir bastante sobre como el campo de la arquitectura se ha expandido al área aeroespacial. Entre las discusiones me asombro la diversa cantidad de personas de distintas naciones que estaban trabajando o buscaban ser parte de esta industria.

Yo no era la excepción, en ese círculo de personas muchas les interesaba principalmente trabajar a la par con personas de diversas culturas, cosa que igualmente, me fascinaba. Soy nacido en Chile, pero desde muy pequeño tuve la oportunidad de migrar y vivir en otros países por más de la mitad de mi vida, teniendo experiencias donde he podido rodearme de varias culturas y ser parte de ellas. Gracias a los idiomas que he ido acumulando desde mi niñez tuve la oportunidad de entender las vidas de otras personas que estaban constantemente desplazándose de sitio en sitio.

Mi vida se ha rodeado siempre en torno al viaje, a los cambios de lugar, al descubrimiento, la lejanía y a veces a la ausencia de seres queridos. Por lo mismo, me motivaba abarcar un proyecto que tomará como temática el viaje, cómo afecta a sus usuarios y la exploración del espacio que me parece que es la expresión máxima de expandir el entendimiento de nuestro mundo. Además, quería seguir aprendiendo y probando mis capacidades profesionales en mi última etapa universitaria con un tema que además de ser fascinante y, del que me he informado bastante, también ofrecía aprendizajes constantes de otros profesionales en áreas de interés personal.

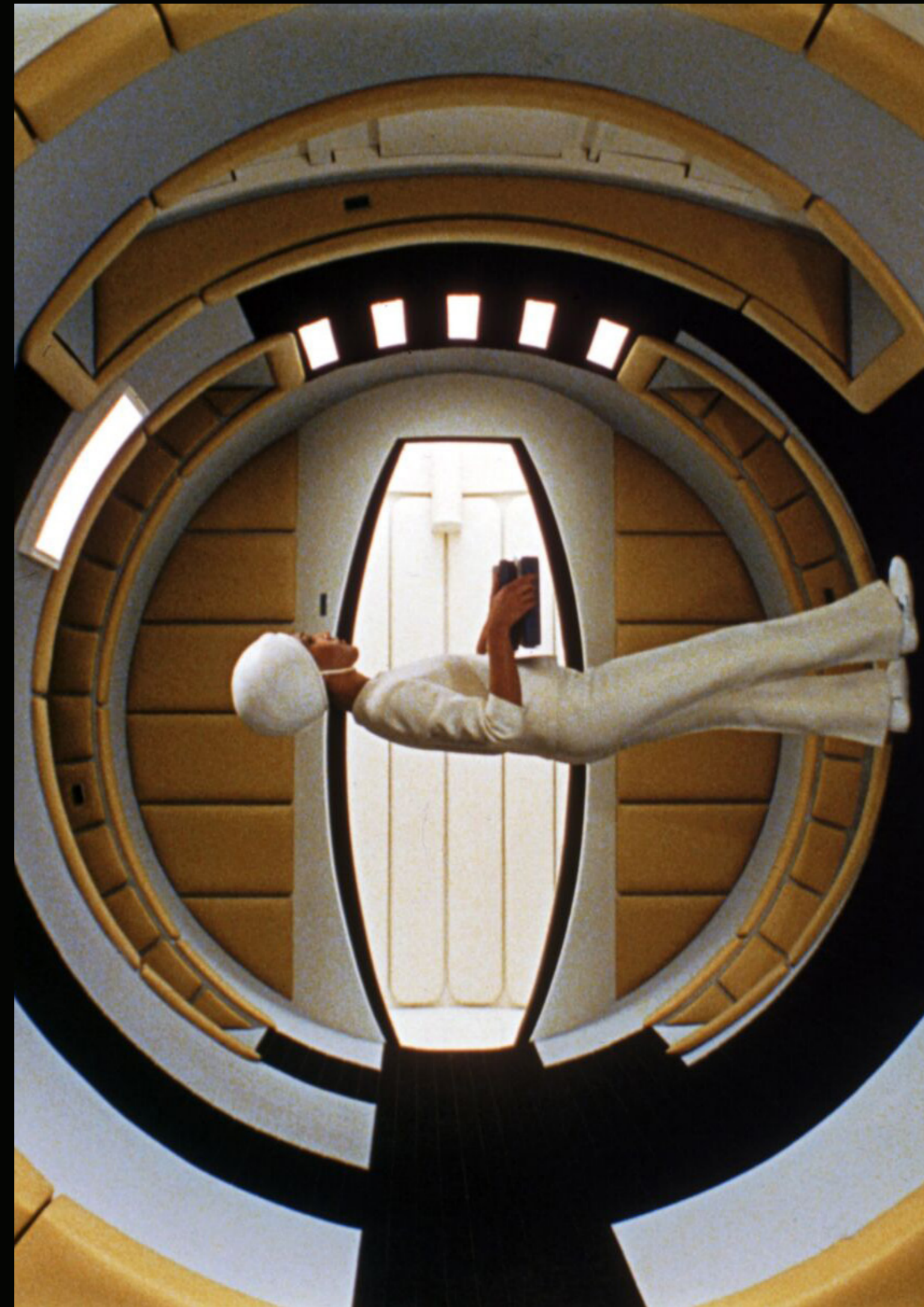


Imagen 2: Escena de “2001 a Space Odyssey

# Agradecimientos

*A las instituciones de Inclusive Digital Futures y la arquitecta Valentina Sumini del MIT Media Lab por su introducción holística en las nociones del diseño para vivir en el espacio, referencias bibliográficas e información importante para formular este proyecto.*

*Al físico e ingeniero eléctrico Juan Pablo García de la misión de lanzamiento e instalación del SWI en el satélite JUICE para los estudios de Júpiter. Por su tiempo, conocimientos y objetividad sobre su experiencia que informó esta memoria.*

*A mi profesor guía Patricio Arias y al arquitecto Diego Contreras Proveste por sus correcciones, conocimientos en habitáculos espaciales y discusiones de diseño que aportaron a esta memoria.*

*A mis compañeros y profesionales en diversas áreas por su tiempo, conocimientos y aporte bibliográfico.*

*A los viajes que han inspirado mi vida.*

*A mis amigos por alentarme y creer en mí.*

*A mi madre por su enorme cariño y apoyo.*

*A mi padre por su presencia y compartir películas de ciencia ficción conmigo...*

Las personas llevan siglos proyectando desde sus creencias y valores propios los nuevos territorios que colonizan, donde los viajes de exploración han impulsado a descubrir nuevos mundos logrando abrir nuevas perspectivas a otros modos de vida. Durante la historia, el humano ha imaginado cómo sería llegar a vivir en la Luna, donde mediante las primeras observaciones hasta el primer alunizaje cada vez se ha vuelto más familiar su territorio. Hoy en día, el fuerte interés por comprender los cuerpos planetarios y estudiar el espacio han abierto las puertas para que la humanidad lleve a cabo nuevos viajes de exploración, bajo tratados y acuerdos internacionales mediante el Programa Artemis que reúne a 25 naciones que en visionan enviar a la humanidad devuelta a la Luna con la intención de permanecer en ella, siendo paso previo a los futuros envíos de misiones a Marte.

Esta memoria busca crear un nexo entre el sentido del viaje y los desafíos de habitar el contexto extremo lunar, indagando en las formas que el humano ha comprendido la exploración a nuevos sitios, las infraestructuras que surgen producto de la estadía y su relación cultural e histórica con la Luna como fuentes que permiten comprender la fascinación por habitar sitios desconocidos.

De este modo, formulando una propuesta que involucre los conceptos de exploración, el apoyo humanitario y el desafío del usuario en habitar el contexto extremo lunar, la propuesta se funda desde los estudios de diversas fuentes bibliográficas y apoyo multidisciplinar considerando variables climáticas del satélite natural como zonas de recursos esenciales para habitar, la geografía, radiación solar e impacto de micro meteoritos. Además, tomando en cuenta las intenciones científicas por parte de los tratados del espacio exterior y el interés de utilizar la Luna como punto estratégico para mandar envíos y estudiar otros cuerpos planetarios.

Para esto, se problematiza en torno a las propuestas arquitectónicas ya existentes de hábitats espaciales, la astro-política de los programas entre naciones y el sentido histórico del viaje para responder ¿Qué otras propuestas desde la arquitectura y la ciencia pueden emerger para dar solución a las necesidades de las tripulaciones y sus naves?, ¿Qué modos de vida serán posibles en el futuro cercano gracias a la noción de enfrentar un sitio extremo desde la cooperación entre diversas naciones? Y gracias a la posibilidad hoy en día de envíos de cohetes desde el sector privado, ¿Cómo la arquitectura puede posibilitar a otras naciones fuera de los acuerdos entre potencias con capacidad de envío a tener acceso a los beneficios globales de habitar y estudiar la Luna?

La propuesta, por lo tanto, se centra en estrategias de diseño que abarcan principalmente la preparación del sitio entorno a un cráter aprovechándolo como barrera de protección, la construcción mediante impresión en 3D automatizada, utilizando los recursos in situ de la Luna específicamente el regolito lunar, la menor cantidad de recursos enviados desde la tierra y en el diseño de interiores neumáticos por su versatilidad de aplicación en formar atmósferas artificiales.



Imagen 3: Escena de "2001 a Space Odyssey"



1  
La aproximación del humano a la luna

Pg. 10-15



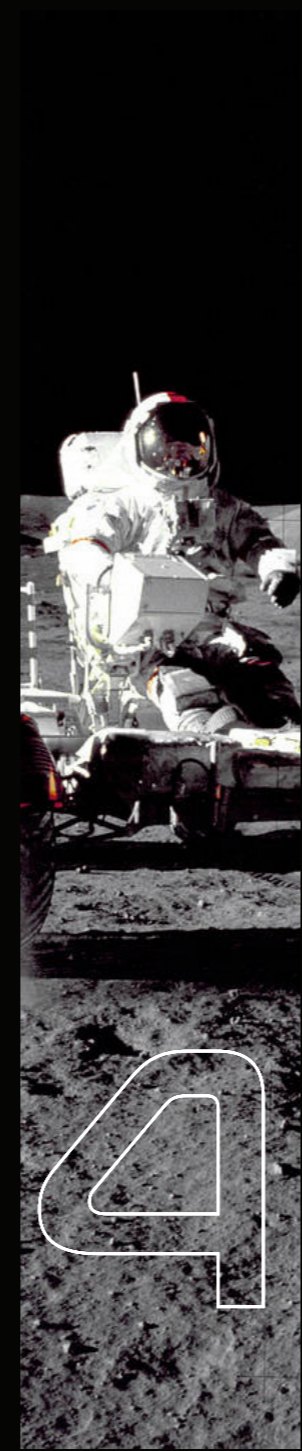
2  
La aproximación del humano al viaje

Pg. 16-19



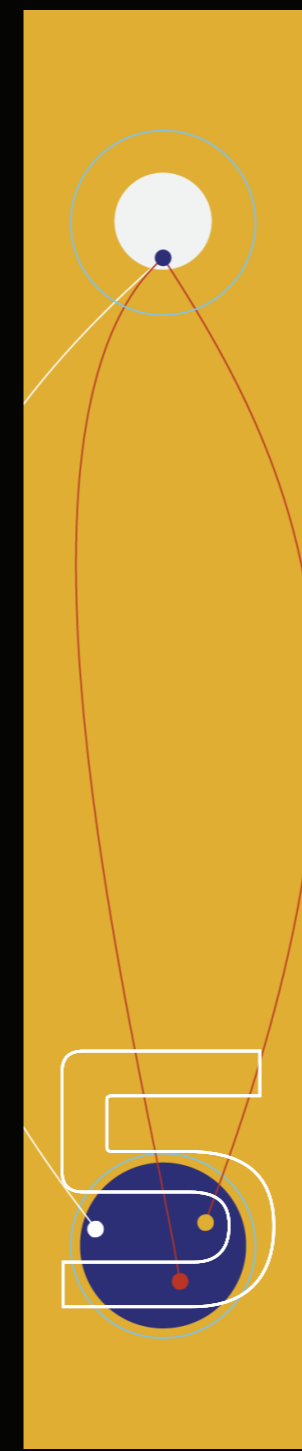
3  
Actualidad: Programas espaciales

Pg. 20-23



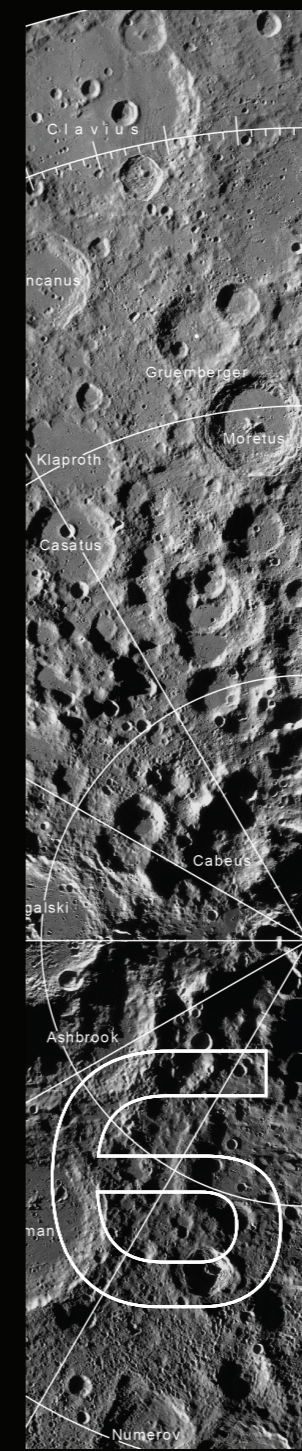
4  
Hábitat extremo: El viaje al Polo Sur lunar

Pg. 24-35



5  
Problemática disciplinar

Pg. 36-37



6  
Caso y Lugar: Cráter Clavius

Pg. 38-41



7  
Propuesta

Pg. 42-57



8  
Fuentes/Referencias

CONTEXTUALIZACIÓN

PROPUESTA Y ESTRATEGIAS

FUENTES/  
REFERENCIAS

# La aproximación del humano a la luna



Imagen 3: Ilustración de Gustave Doré sobre los relatos de Samosata sobre viajar a la Luna.



Imagen 5: Ilustración (1835) del diario The Sun de cómo se viajaría a la luna.

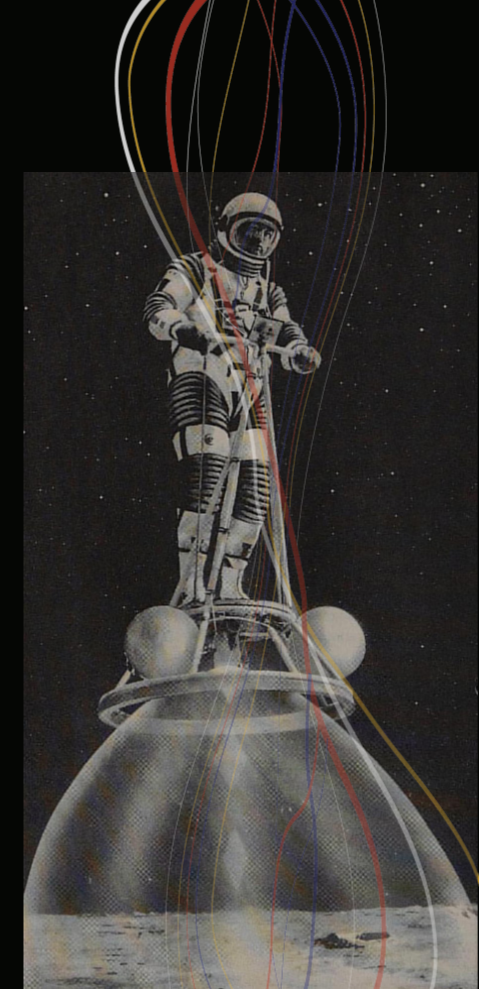


Imagen 6: Ilustración de bastón de pogo como posible medio de transporte lunar.

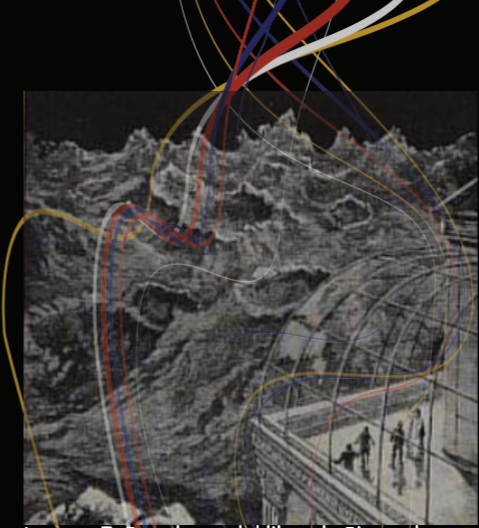


Imagen 7: Base lunar del libro de Pierre de Sélènes (1898).

Desde el inicio de la historia las sociedades han estado atraídas a la Luna como objeto de misterio, espiritual, religioso y cultural. Simbolizando la atracción del humano por explorar mundos desconocidos. Las primeras observaciones lunares de Galileo Galilei fueron la transición del paradigma cultural a acercarse a la exploración científica de su superficie. Tal hecho despertó el interés por imaginar la vida fuera de la tierra tras dar comprensión del espacio como un lugar y a la Luna como nuevo mundo en relación con la Tierra. (Brunner, 2010)

La razón principal de este fenómeno es porque anteriormente la única forma de proyectar en la Luna provenía de la imaginación, donde el viaje hacia ella se volvía una fascinación para los viajeros del mundo durante los Siglos XVIII y XIV (Brunner, 2010), puesto que los viajes de exploración a sitios desconocidos como las heladas superficies de la Antártida o las vistas desérticas del Sahara eran "Como si los paisajes permitieran a los viajeros experimentar sensaciones trascendentales que ya no sentían en las ciudades ni en el campo cultivado" (De Botton, 2003). Pero, la luna era un sitio inaccesible desde todos los sentidos del cuerpo, pero con el desarrollo de diversas tecnologías como telescopios y cohetes de a poco hemos ideado como sería el viaje para alcanzarla.

Tal hecho impulsó a lograr el primer alunizaje humano por las misiones Apollo, siendo un hito en la historia de la humanidad en su embarque a lo desconocido. Tras los hallazgos, más misiones de estudio lunar han ocurrido, pero el ámbito científico no es el único motivo de exploración. Existe un sentido histórico en torno al viaje en cómo expandimos nuestra noción de mundo, que hoy en día gracias a nuestros diversos medios hemos ido representando de forma más certera y precisa la geografía lunar, planteándonos cómo podríamos llegar a habitar su superficie. Resultando en ambiciones de soberanía territorial, competencia y cooperación entre naciones que han gatillado una creciente demanda industrial que apuesta por explotar recursos y usarlos para construir in situ.

En fin, la relación del humano con la Luna es compleja y cambiante desarrollándose desde tiempos antiguos hasta la actualidad, teniendo como objetivo acercarnos a ella por nociones científicas, territoriales, económicas, naturales y culturales de aventurarnos a lo desconocido.



Imagen 8: Escena de "Viaje a la Luna" (1902).



Imagen 9: Ilustración de "El Viaje al Mundo en la Luna." (1768).

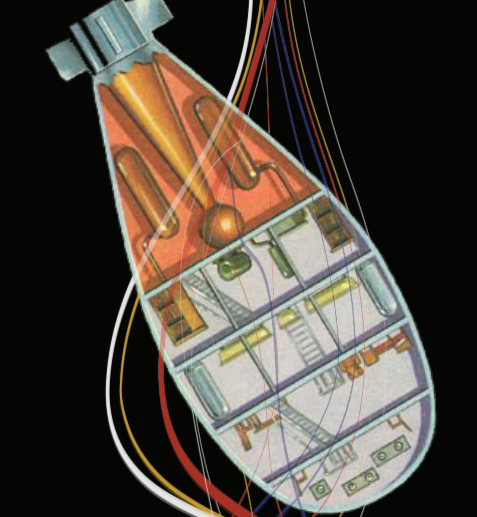


Imagen 10: De los primeros diseños de naves espaciales por Tsiolkovsky.

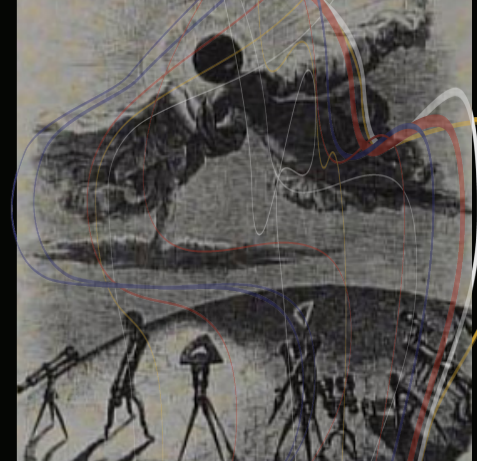


Imagen 11: Ilustración de eclipse solar por Grandville (1844).

# 1.1) SURGIMIENTO DE LAS MISIONES LUNARES

Las misiones lunares surgen en 1609 con la invención del primer telescopio por Hans Lippershey, las cuales revelaron las primeras capas de información mediante representaciones que ofrecieron comprensión física del terreno. Actualmente, la diversidad de hallazgos ayuda a entender cómo la Luna afecta al clima terrestre y revela los orígenes de nuestro planeta. Los análisis de las muestras estiman que la Tierra y la Luna son el resultado de un impacto gigante entre un protoplaneta primitivo y un cuerpo astronómico llamado Theia indicando que la Luna origina de la tierra (Council et al., 2007).

# 1.2) COMPETENCIA ESPACIAL

Los periodos de las Guerras Mundiales definieron distintos grados de soberanía sobre los territorios. Donde los intereses políticos y territoriales significaron no solo ganancias de riquezas, sino que dominio ideológico. Durante la Guerra Fría (1947-1991) se generó una carrera armamentística que potenció enormemente la inversión tecnológica para guardar soberanía e influencia sobre otros territorios. Debido a los conocimientos sobre misiles y cohetes de la Segunda Guerra Mundial, la gran inversión tecnológica formó organizaciones por parte de Estados Unidos y la Unión Soviética que se desempeñaron únicamente en el desarrollo aeronáutico espacial, formando una gran competencia de misiones (Darrin & O'Leary, 2009).

# 1.3) ¿POR QUÉ SE ESTUDIA LA LUNA?

Gracias a los estudios del alunizaje Apollo, sabemos más aspectos de la Luna que sobre cualquier otro planeta fuera del nuestro, aun así, solo apenas hemos comenzado a resolver sus innumerables misterios (Council et al., 2007). Existe la idea que la Luna ha ofrecido toda la información relevante que puede dar y que científicamente es un mundo "conocido", pero tal afirmación es lejana a la realidad. Está es testigo de 4.500 millones de años de historia del sistema solar, registrando esa historia de forma más completa y clara que ningún otro cuerpo planetario, debido a la ausencia de atmósfera, movimientos de placas, vulcanismo, meteorización y erosión. Permitiendo que su geografía encapsule como un museo geológico el origen de los cuerpos celestes (Council et al., 2007). La ciencia planetaria comprende la importancia de la Luna como punto de partida en la evolución de los mundos rocosos. Su interior conserva registro de los inicios de la evolución planetaria temprana, registrando los procesos geológicos en su forma más pura. Convirtiéndola en una pieza crucial para descifrar la formación de mundos, aunque las limitaciones en muestras y los datos actuales impiden una interpretación precisa, implicando la necesidad de regresar al territorio (Council et al., 2007).

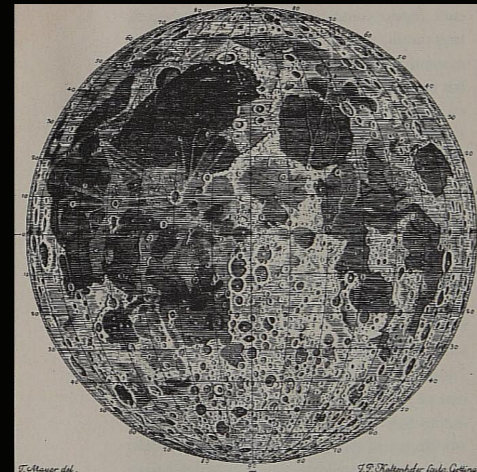


Imagen 12: Mapa Lunar de Tobias Mayer (1748).



Imagen 13: Misil V-2 de Wernher von Braun.



Imagen 14: Muestra de lava basáltica lunar.

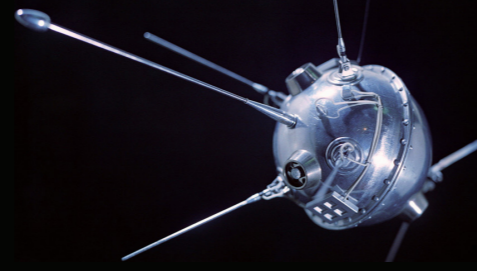


Imagen 15: Satélite Luna 1.

*“La Luna...ofrece un lugar único para la investigación en otros campos de la ciencia. La superficie de la Luna está en contacto directo con el medio interplanetario, y la interacción de la Luna con el plasma del viento solar que fluye desde el Sol forma un laboratorio único de física del plasma.”*  
(Council et al., 2007)

# 1.4) ¿POR QUÉ REALMENTE SE ESTUDIA LA LUNA?

La idea de regresar humanos a la Luna implica viajes más prolongados para seguir las exploraciones científicas en sitio, motivado por una serie de factores como verificar hipótesis, conseguir mayores muestras, explotar recursos, beneficios económicos, grandes acumulaciones de agua, entre otros.

*“Estas razones tienen en común el hecho de que pueden discutirse en los círculos... de políticas públicas. Pueden justificarse... ponderarán más unos factores... otros menos, pero la mayoría estaremos de acuerdo en que son... factores relevantes.”*

*Pero, ¿quién habla así? ¿Quién habla de hacer algo con fines científicos, económicos o de seguridad nacional si no es en círculos políticos?...*

*... Cuando le preguntaron a Sir George Mallory por qué quería escalar el Everest, dijo: “Porque está ahí”. No dijo que fuera por un beneficio económico.*

*Las verdaderas razones por las que hacemos cosas como explorar el espacio implican competitividad, curiosidad y construcción de monumentos.”*

-Michael D. Griffin, Antiguo Administrador de NASA

Los motivos anteriores se categorizan como Razones Aceptables por Griffin, las cuales son razones válidas objetivamente, son eminentemente lógicas, pero ni intuitivas ni emocionalmente convincentes. Griffin distingue las razones esenciales sobre la exploración, llamándolas Razones Reales al carácter competitivo y curioso de la humanidad por dejar monumentos de quienes fuimos, aunque sean solo huellas (D. Griffin, 2007).



Imagen 17: Huella de Neil Armstrong.

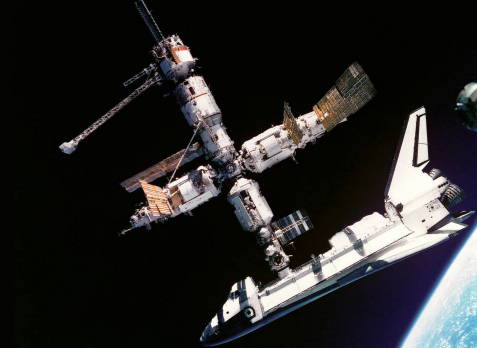


Imagen 18: Acomplamiento entre transbordador Atlantis y estación espacial MIR.

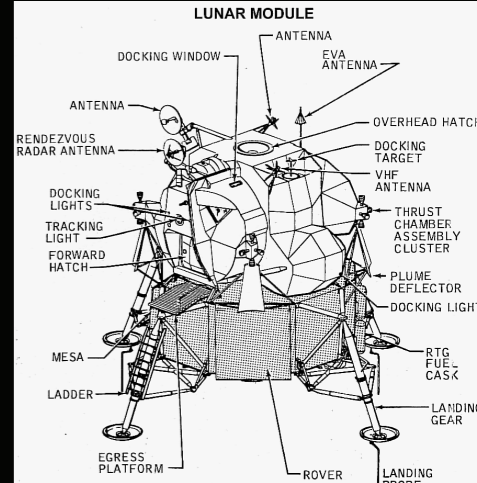


Imagen 19: Diagrama del módulo lunar Apollo.

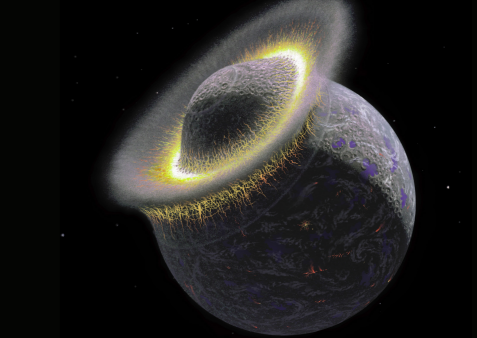


Imagen 20: Ilustración de Theia por Don Davis.

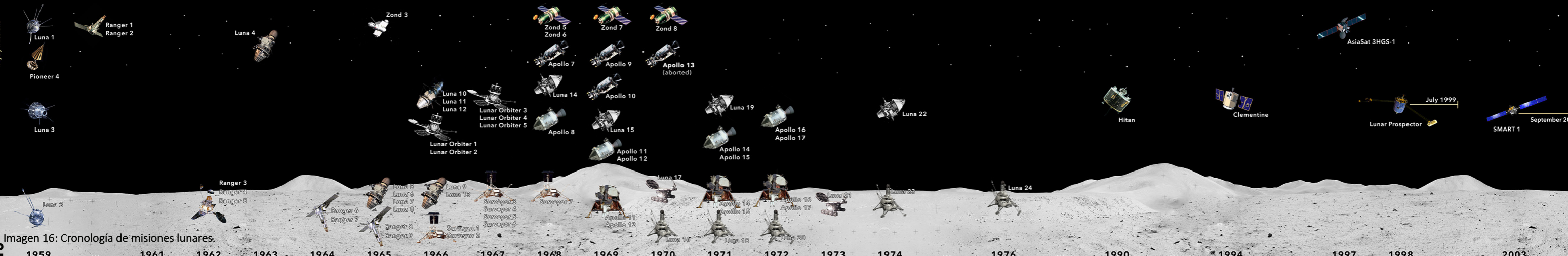


Imagen 16: Cronología de misiones lunares.

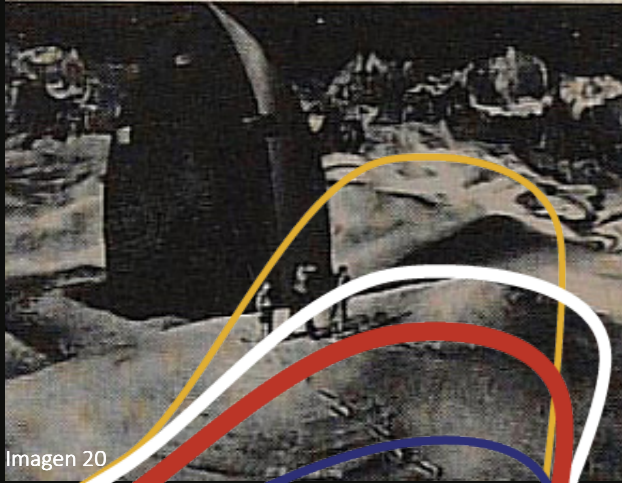


Imagen 20

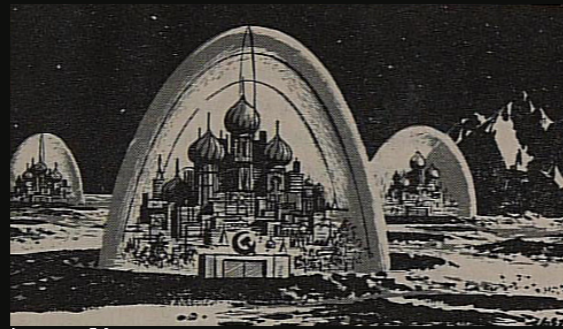


Imagen 21

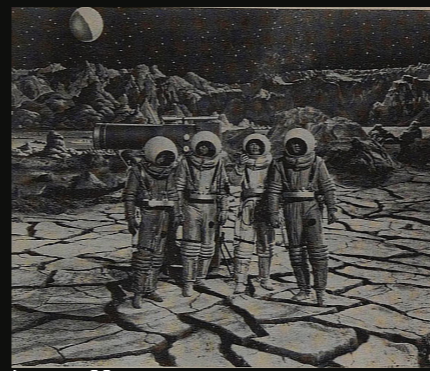


Imagen 22

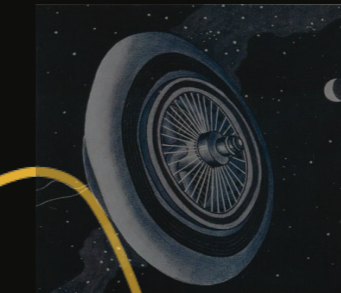


Imagen 23



Imagen 24

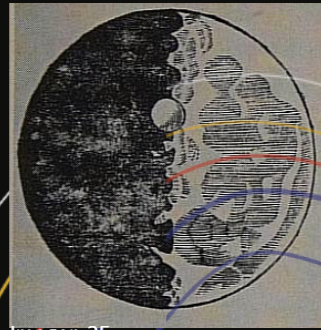


Imagen 25

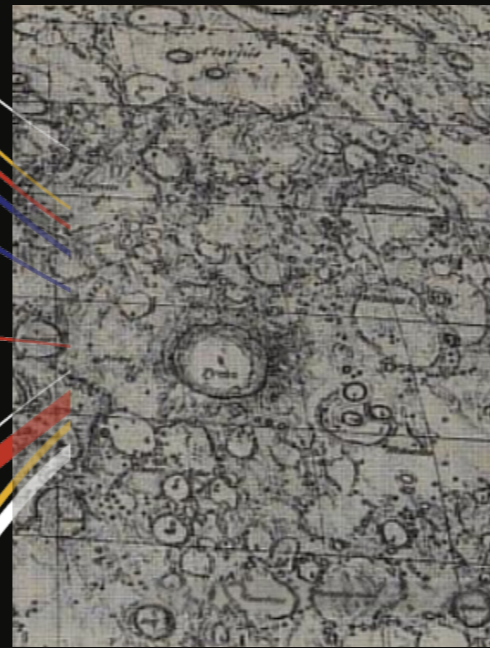


Imagen 26

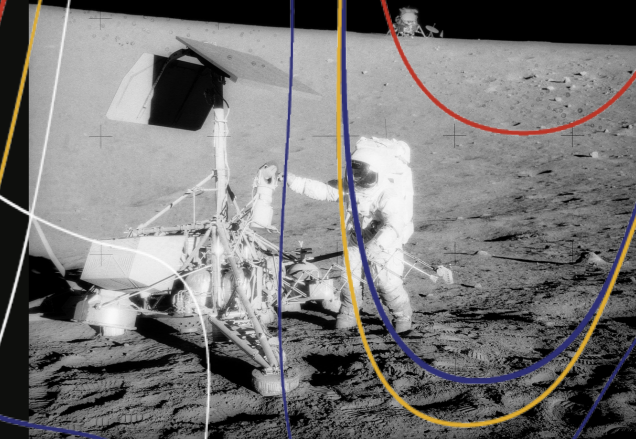


Imagen 28

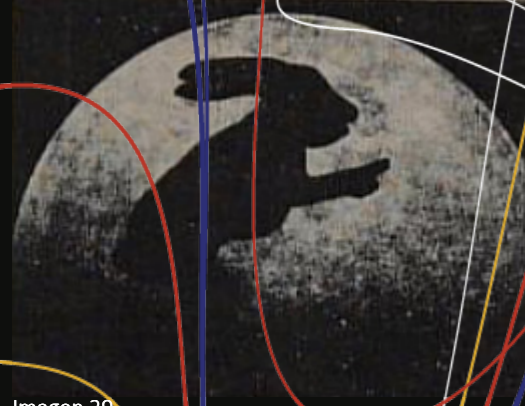


Imagen 29

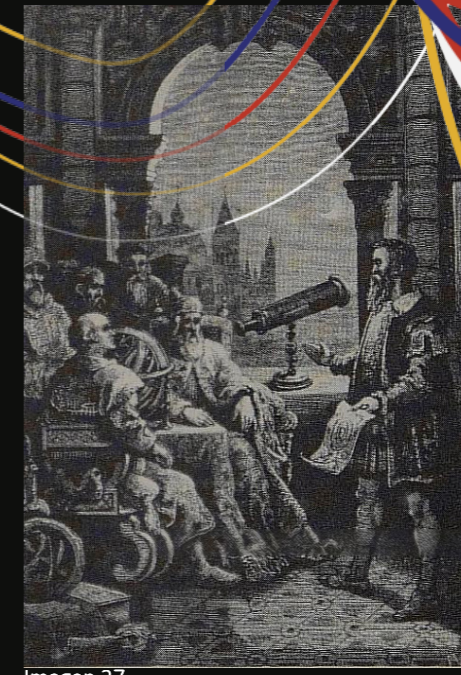


Imagen 27

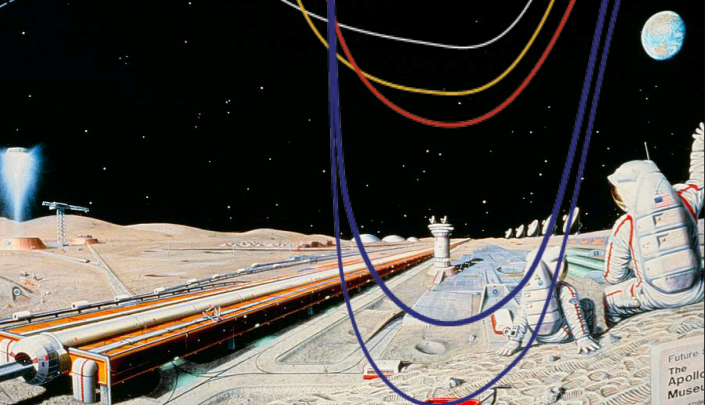


Imagen 30

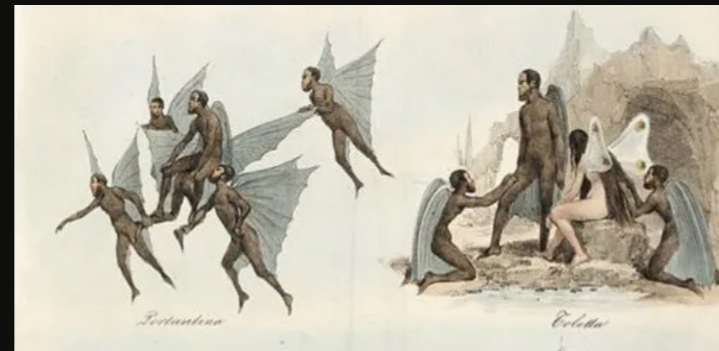


Imagen 31

Imagen 20: Escena de "Woman on the Moon" de Fritz Lang (1929).

Imagen 21: Ilustración de Science Digest de estructuras de cupulas en la Luna (1958).

Imagen 22: Primeros hombres en la luna en "Destination Moon" (1950).

Imagen 23: Estación espacial diseñada por Herman Potočnik Noordung (1929).

Imagen 24: Ilustración de llegada a la Luna del libro de Jules Verne "De la Tierra a la Luna" (1867).

Imagen 25: Representación de la Luna por Galileo.

Imagen 26: Detalle del mapa de Madler y Beer (S.XVI).

Imagen 27: Galileo presentando los hallazgos de su telescopio.

Imagen 28: Alan Bean, astronauta del Apolo 12, inspecciona el Surveyor 3.

Imagen 29: Ilustración de creencias respecto a las sombras lunares.

Imagen 29: Ilustración de creencias respecto a las sombras lunares.

Imagen 30: Representación de futuras colonias lunares por Pat Rawlings.

Imagen 31: Versión italiana del gran engaño de la Luna por Leopoldo Galluzzo (1836).



# La aproximación del humano al viaje



Imagen 32: Escena de 2001 Space Odyssey llegada al contexto lunar

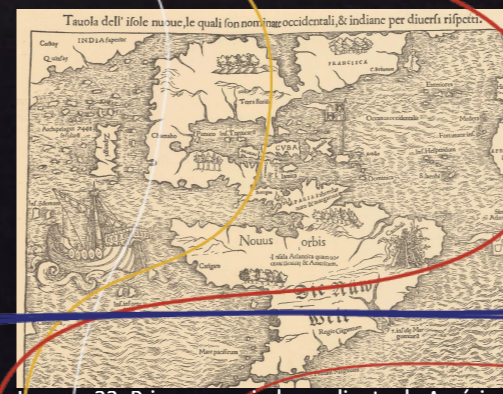


Imagen 33: Prime mapa independiente de América

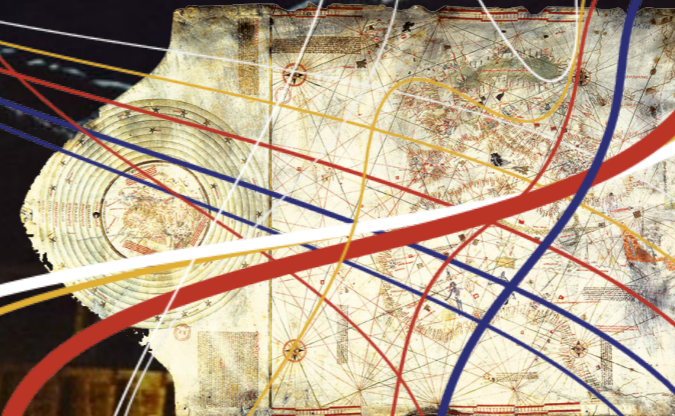


Imagen 34: Carta Náutica atribuida a Cristobal Colon



Imagen 35: Descubrimiento de Brasil de Oscar Pereira da Silva

La decisión de explorar el espacio proviene de múltiples fascinaciones por descubrir lo que se esconde más allá de nuestra conciencia presente. En sí, los viajes de exploración materializan el comportamiento de expansión, de colonizar, de desplazarnos a nuevos sitios y de imaginar cómo será la estadía.

Por esto, la exploración casi siempre suena como una fantasía, porque en sí es descubrir un nuevo mundo, que aún culturalmente no es propio, pero que siempre está pisando entre la realidad y la ficción. Como ejemplo, La novela de Jules Verne "De la Tierra a la Luna", para elaborarla utilizó conocimientos científicos de la época, particularmente sobre balística en base a conocimientos de proyectiles en vuelo, anticipando los lanzamientos de cohetes para llegar y volver del espacio, volviéndose predicción de los viajes Apollo, en una época donde los viajes en globo aerostático eran un modo de transporte reciente y parecía no existir mayor diferencia entre viajar fuera de la superficie de la tierra como viajar en el espacio, puesto que ambos parecían logros imposibles (Brunner, 2010).

Enfatizando, la obra de Verne fue un ejercicio de imaginación y proyección por retratar cómo sería la superficie lunar, alejándose de las ideas de seres divinos y habitantes lunares, aproximándose al entendimiento que poseemos actualmente de la Luna como lugar. El gran logro de Verne en su tiempo fue hacer plausible la idea del viaje fuera de la tierra, habiendo fallas técnicas de cómo lograrlo, pero identificando aspectos salientes sobre los vuelos espaciales (Brunner, 2010).

En el fondo, la innovación y la tecnología son parte sustancial de los viajes, son el medio que conduce al descubrimiento de nuevos territorios bajo ensayos y errores. Las carabelas de Colón que en un inicio no fueron aceptadas (Villanueva, 2019), son ejemplo de tal ambición, son un conjunto de repetidos fracasos en busca de nuevas rutas de comercio a las Indias que culminó en descubrir América.

Las expediciones marítimas de Cristóbal Colon, Fernando de Magallanes y Vasco de Gama cambiaron el modo de cómo se entendía nuestro mundo geográficamente, transformando su representación global. Pero, no, fascinante de la exploración como solo las llegadas a las tierras nuevas, sino el gran descubrimiento de nuevas tierras, nuevas tierras,



Imagen 36: La conquista del Colorado por Augusto Ferrer Dalmau.



Imagen 37: Space Odyssey poster.

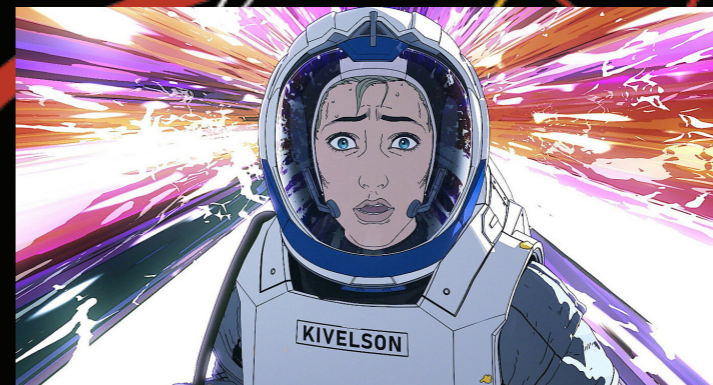


Imagen 38: Escena de "The very pulse of the machine" de Love, Death + Robots.



Imagen 39: Ilustración de vida fuera de la tierra por Don Davis

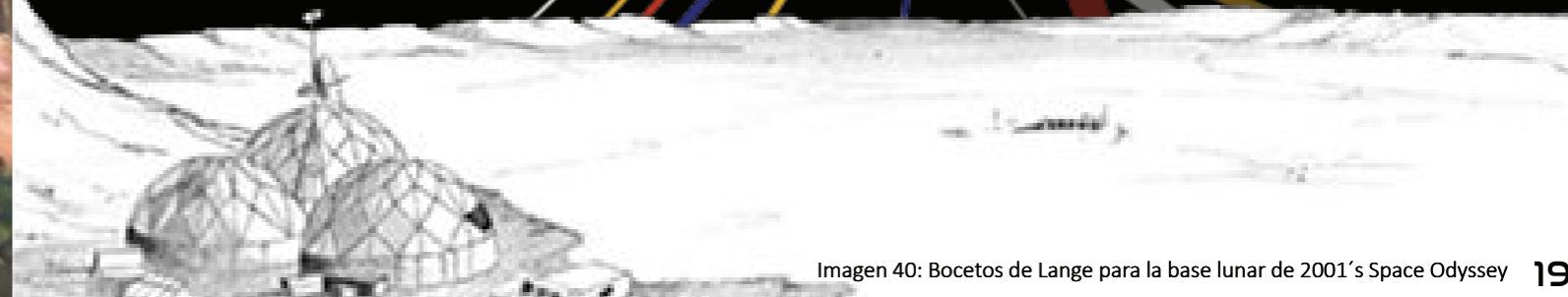


Imagen 40: Bocetos de Lange para la base lunar de 2001's Space Odyssey

donde el desarrollo náutico y cartográfico es lo que permitió el avance de tales compañías de exploración para la Santa María, la Niña y la Pinta. Hoy en día, pasa lo mismo tras los descubrimientos del primer alunizaje donde han pasado 50 años de estudios de muestras, mapeos más precisos por satélite, avances en propulsión de cohetes y desarrollos de comunicación que posibilitan volver a habitar la Luna.

Si bien, viajar es dejar atrás el mundo conocido, después procede establecerse en el nuevo mundo. Parte del desafío de viajar es descifrar la arquitectura que necesitarán los nuevos sitios descubiertos, estos, casi siempre están regidos por relaciones entre países, el medio ambiente y al mismo tiempo por la cultura que carga el explorador consigo. Tales factores son principalmente lo que ha dado forma a nuestros puertos, estaciones, hubs y zonas de estadía.

De este modo, se forman las rutas de comercio como la ruta del incienso o de la seda que son fruto de relaciones comerciales entre naciones. Los sitios que conforman la geopolítica de estas relaciones son los puntos que reciben transporte, mercancía y personas. A modo de ejemplo, en las ciudades puerto Latinoamericanas, fue el puerto el origen del sistema urbano, sirviendo como el nodo estratégico que definió la función urbana característica propiciando crecimiento, conformación y estructuración de las zonas que actuaban como enlaces en el área costera, constituyéndolas como núcleos importantes de servicios (Redondo Gómez, 2014). Tales puntos están compuestos por arquitecturas de transportes que atribuyen la funcionalidad e identidad del sitio de llegada posteriores a las colonias que se emplazan como símbolo de seguridad y soberanía lograda tras múltiples viajes, lo cual expande la comprensión geográfica del mundo.

# 3

En la actualidad, múltiples naciones invierten en sus propios programas espaciales, los cuales tienen como objetivo el regreso a la Luna durante el 2024 como paso previo a eventuales misiones humanas a Marte. Se afirma que la exploración espacial camina entorno a la extracción de recursos en otros planetas y asteroides, que contienen minerales y metales importantes para la estadia humana. Existiendo una industria creciente en distintos campos para el desarrollo de tecnologías de explotación minera, exploración científica y transporte (High-Level Advisory Group on Human and Robotic Space Exploration for Europe, 2023)

“¡Pongamos a Europa a la vanguardia de la exploración espacial! Si no lo hacemos, nos quedaremos rezagados y dependeremos de los demás”

- Anders Fogh Rasmussen



Imagen 41: Hangar de Space X con nave Falcon.

## 3.1) PARTICIPACIÓN COOPERATIVA/ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL

En un comienzo La carrera espacial mostraba el carácter competitivo de dos grandes potencias. En la actualidad los programas espaciales se gestionan por varias naciones, donde el carácter de soberanía ha evolucionado de competitivo a cooperativo entre diversos actores, presentándose como una noción de viaje con un rol más humanitario.

Siendo el caso de la Estación Espacial Internacional, un satélite artificial habitable en órbita terrestre baja (LOE). Es dirigido por el programa ISS, gestionado en conjunto a las agencias espaciales de Roscosmos (Rusia), JAXA (Japón), ESA (Europa), CSA (Canadá) y NASA (Estados Unidos).

Funciona como laboratorio de investigación de micro gravedad y medio ambiente espacial donde los miembros de la tripulación realizan investigaciones y actividades mediante una colaboración internacional efectiva. Realizando experimentos en diversos campos de exploración como biología, fisiología, física de fluidos y combustión, ciencias de los materiales, física fundamental y astrobiología. (NASA, 2005)

## 3.2) ASTRO-POLÍTICA

Los programas espaciales representan oportunidades para que múltiples naciones puedan apoyarse en el financiamiento y gestión de recursos que se envían al espacio, rigiéndose bajo acuerdos que definen los marcos de trabajo para las actividades espaciales. De este modo, se asegura que haya libertad equitativa por todas las naciones y actores en sus actividades, mientras sean con fines pacíficos y responsables. (Simpson & Weeden, 2017) Su fin es involucrar las actividades espaciales en un marco internacional donde los programas con sus propuestas aseguren la cooperación entre naciones y actores privados, prometiendo que los envíos resultantes sean responsabilidad de cada nación.

## 3.3) PROGRAMA ARTEMIS

El programa Artemis de la NASA es actualmente la propuesta más relevante respecto de regresar a astronautas a la Luna antes del 2025 conformándose por medio de tres etapas en la cual la primera ya ha sido lograda con éxito. Con la finalidad de preparar infraestructura básica que permita la exploración lunar y marciana. El programa funciona mediante la cooperación de múltiples naciones que ejecutan tareas de envíos de cargas útiles para las misiones, designando distintos actores privados dentro de la industria espacial para gestionar la elaboración de maquinarias, robots, naves y suministros. El programa principalmente es un reflejo de la geopolítica espacial que se quiere mantener en el futuro, siendo la base de cómo serán los vuelos espaciales hacia la Luna y a Marte (NASA's Plan for Sustained Lunar Exploration and Development, 2020).

Para minimizar el número de sistemas involucrados en el aterrizaje humano del 2024, las futuras misiones lunares utilizarán el Gateway. El Gateway será un puerto espacial que servirá como un puerto polivalente en órbita alrededor de la Luna que proporciona apoyo para el retorno humano a largo plazo a la superficie lunar y sirve como punto de escala para la exploración del espacio profundo (Artemis Plan, 2020).



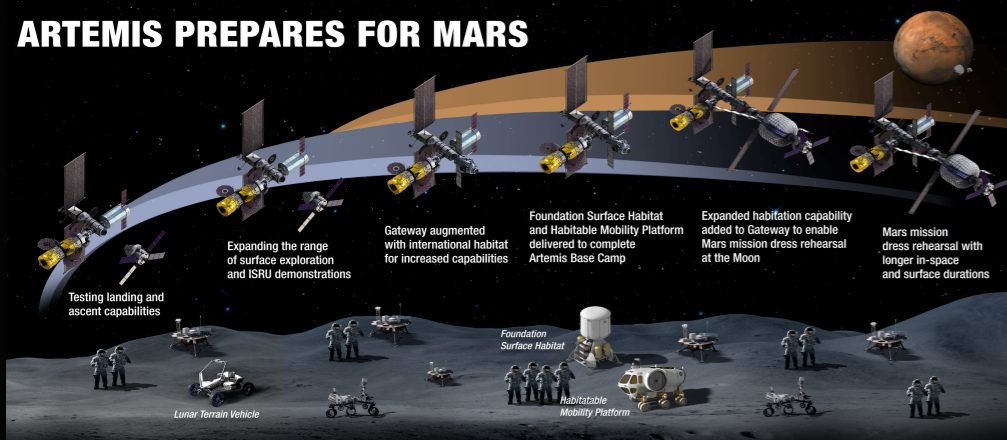
Imagen 42: Estación Espacial Internacional.

Part A:  
Information provided in conformity with the Registration Convention or General Assembly Resolution 1721 B (XVI)

New registration of space object	Yes <input type="checkbox"/>	Check Box
Additional information for previously registered space object	Submitted under the Convention: ST/SG/SER.E/ <input type="checkbox"/>	UN document number in which previous registration data was distributed to Member States
	Submitted under resolution 1721B: A/AC.105/INF. <input type="checkbox"/>	
Launching State/States/International intergovernmental organization		
State of registry or international intergovernmental organization	<input type="text"/>	Under the Registration Convention, only one State of registry can exist for a space object.
Other launching States	<input type="text"/>	
Designator		
Name	<input type="text"/>	
COSPAR international designator	<input type="text"/>	
National designator/registration number as used by State of registry	<input type="text"/>	
Date and territory or location of launch		
Date of launch (hours, minutes, seconds optional)	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Coordinated Universal Time (UTC)
Territory or location of launch	<input type="text"/>	
Basic orbital parameters		
Nodal period	<input type="text"/>	minutes
Inclination	<input type="text"/>	degrees
Apogee	<input type="text"/>	kilometres
Perigee	<input type="text"/>	kilometres

Imagen 43: Ficha de información de envíos al espacio.

## ARTEMIS PREPARES FOR MARS



### SUSTAINABLE LUNAR ORBIT STAGING CAPABILITY AND SURFACE EXPLORATION

MULTIPLE SCIENCE AND CARGO PAYLOADS | INTERNATIONAL PARTNERSHIP OPPORTUNITIES | TECHNOLOGY AND OPERATIONS DEMONSTRATIONS FOR MARS

Imagen 44: Infografía sobre la evolución de las actividades lunares en la superficie y en órbita de Artemis

## 3.4) CARGO Y MINERALES

La NASA visualiza que dentro de una década habrá gente viviendo en la Luna, con mayor aumento en la industria minera, comercial y científica, volviéndose un sitio que podemos proyectar en 100 años, debido a las demandas que empuja la industria. Según el “Comité sobre el Contexto Científico para la Exploración de la Luna”, está presenta un lugar único para la investigación en varios campos de la ciencia, siendo una oportunidad para ampliar las actividades de despegue y envíos desde la órbita lunar hacia otros lugares, contribuyendo como un punto estratégico para el lanzamiento de cohetes a Marte. (Council et al., 2007) Significando mayores cantidades de envíos y extracción de bienes materiales del territorio lunar.

El Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre prohíbe la apropiación sobre cualquier bien dentro del espacio incluyendo la Luna, y solo su uso para cumplir con objetivos científicos. Pero, el acuerdo Artemis define que “la extracción de recursos espaciales no constituye intrínsecamente una apropiación nacional”, siempre que “los contratos y otros instrumentos jurídicos relativos a los recursos espaciales sean compatibles con el Tratado” (The Artemis Accords, 2023).

La NASA para garantizar la sostenibilidad de las misiones humanas a largo plazo, dentro del plan Artemis prevé el aprovechamiento de los recursos espaciales para desarrollar las misiones, por ejemplo, extraer oxígeno e hidrógeno de las rocas y cúmulos de agua en cráteres lunares.

En otras palabras, las naciones que extraen los recursos de la Luna no adquieren ningún derecho de propiedad sobre esos recursos. Pero al firmar un tratado donde naciones con agencias aeroespaciales capaces de tener sistemas de envío, permite que las naciones que entren tengan acceso para usar tales recursos en el espacio definiendo infraestructura propia de cada nación sobre la Luna.



Imagen 45: Vehículo de lanzamiento de Artemis.



Imagen 46: Orion



Imagen 47: Gateway

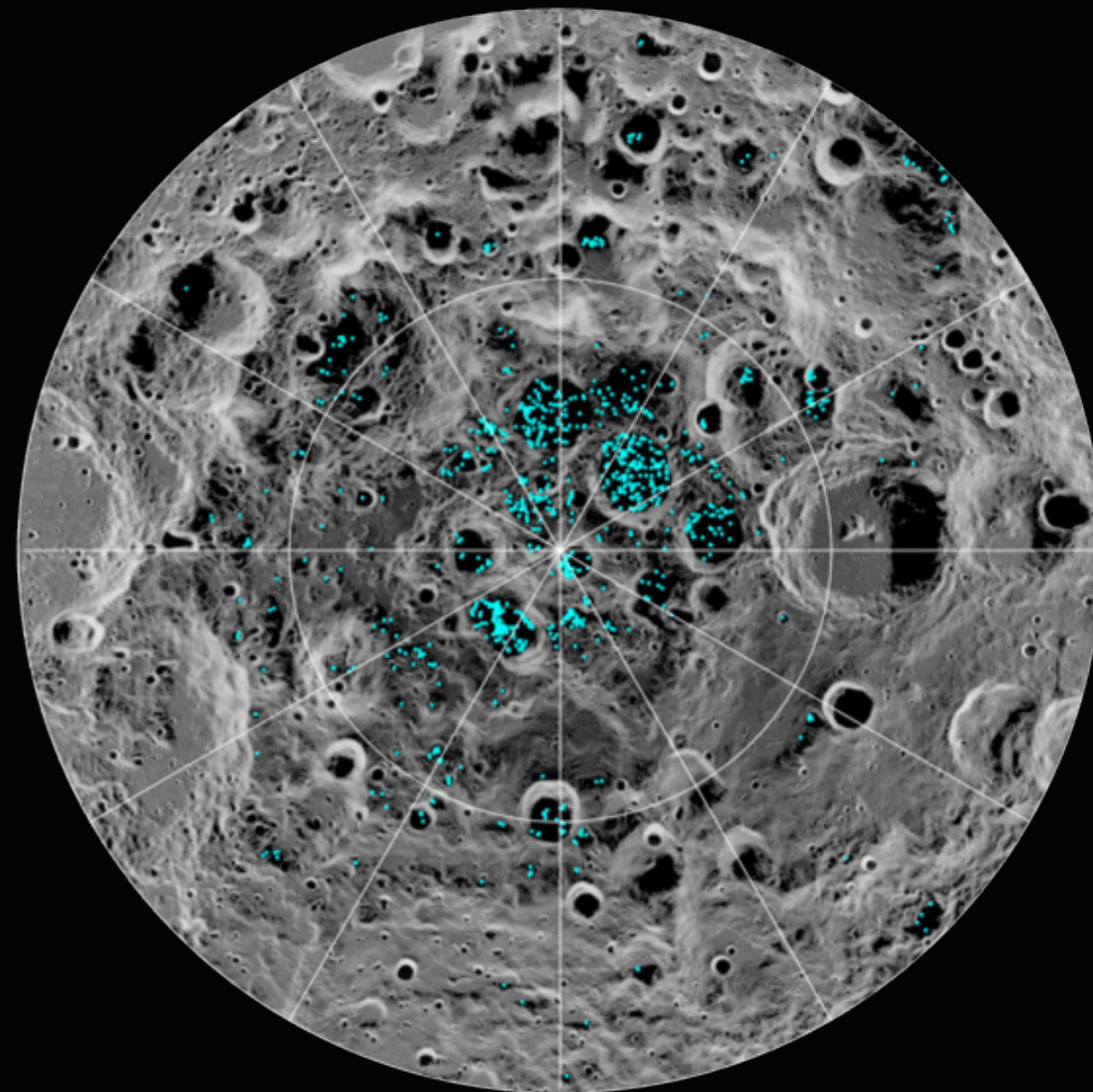


Imagen 48: Distribución de superficies de hielo en el Polo Sur.

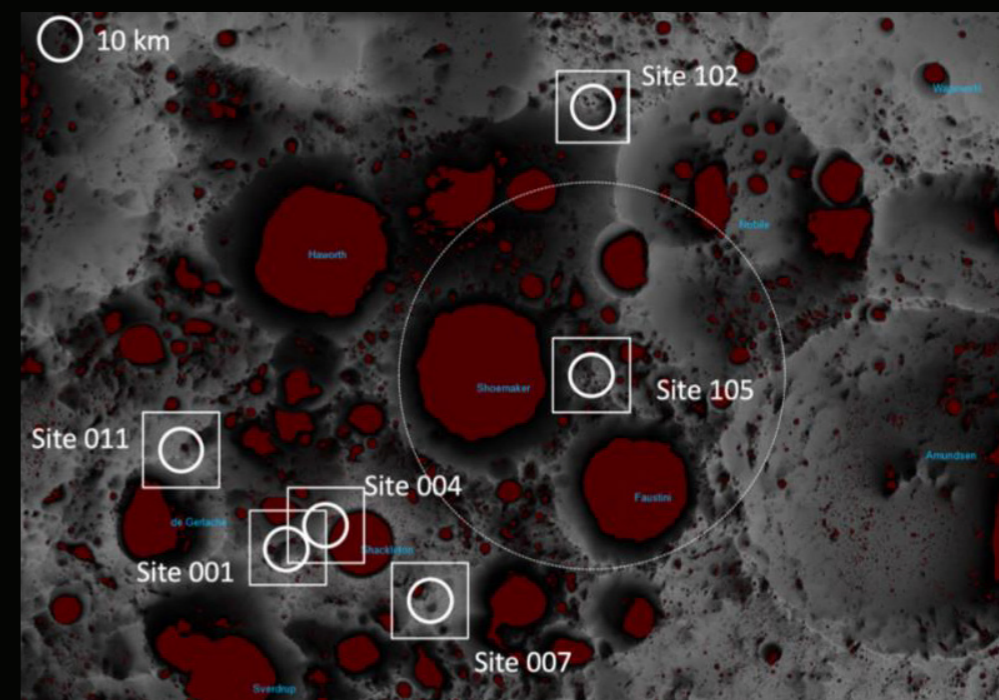


Imagen 49: Lugares de aterrizaje en el Polo Sur cerca de regiones permanentemente ensombrecidas.

# Hábitat extremo: El viaje al Polo Sur lunar



Imagen 50: Comandante Eugene A. Cernan manejando Vehículo Lunar Móvil.

## 4.1) POLO SUR LUNAR Y POLO SUR TERRESTRE

Un sitio con condiciones geopolíticas y climáticas similares al polo sur lunar es la Antártida. El sitio es un claro ejemplo de múltiples soberanías bajo un tratado que les define un marco de trabajo, estableciéndola como un territorio neutro que al igual que la Luna prohíbe conflictos armados, destinando el uso del territorio principalmente para la investigación científica que depende de la colaboración entre los países participantes para garantizar infraestructuras in situ.

Al igual que el hábitat lunar, la Antártida presenta un contexto extremo y desolado, acumulando numerosos desafíos para la vida humana, debido a las condiciones climáticas del territorio, donde los equipamientos y sistemas de vida son esenciales para garantizar la estadía, aunque la permanencia dentro de un espacio seguro pero confinado puede resultar agotadora y frustrante para los habitantes. Por lo tanto, las amenazas no son solamente físicas sino también psicológicas desde la relación entre el usuario y su espacio. Existiendo la necesidad de contemplar espacios que asimilen al ocio y al despeje en la tierra.

Los acuerdos internacionales permiten el funcionamiento de bases de cada país con tipologías de tipo concuna, tren, comprimida y mixta para enfrentar el hábitat Antártico. Existiendo alrededor de 80 bases de 42 países en el continente. La gran diferencia con el Polo Sur lunar son los medios de transporte por los que se llega al sitio, donde en el contexto Antártico es mediante el transporte aéreo y en agua, ofreciendo infraestructuras de alrededor de 20 aeropuertos, 30 estaciones operadas por 16 gobiernos y un único puerto (Davies, 2022).

## 4.2) CONDICIONES CLIMÁTICAS

### 4.2.1) Radiación y protección

Una consideración primordial en el diseño es que la estructura debe ser capaz de proteger contra los tipos de peligros que se encuentran en la superficie lunar: Radiación solar/cósmica continua, impactos de meteoritos y variaciones extremas de temperatura (Ruess et al., 2006).

### 4.2.2) Luz y sombras

Como el Sol está cerca del horizonte y la topografía del polo sur es tan dramática, se proyectan sombras que producen un sombreado irregular, siendo marcadas y prolongadas girando lentamente durante el año. Definiendo prolongados meses de luz y otros de constante oscuridad. El Sol pasa cerca del horizonte y rodea los polos, a medida que se desplaza por el horizonte de la región polar, puede iluminar parcialmente algunas superficies, como las paredes de un cráter. Aunque todas las paredes del cráter pueden estar iluminadas, una parte del suelo del cráter puede permanecer sombreada (NASA-Svs, 2021).

#### Datos

Período de órbita y rotación: 27,32 días terrestres  
Masa: 0,0123 de la Tierra  
Rango de temperaturas: -248°C a 123°C  
Duración del día: 708.7 horas  
Atmósfera: Tenue de una presión de 0 bar  
Gravedad: 1/6 de la gravedad de la Tierra (0,166G)  
Campo magnético: Muy débil en comparación con el de la Tierra, dada la ausencia de un campo magnético dipolar.



Imagen 51: Base Jang Bogo.



Imagen 52: Suministros de Estación Polar.

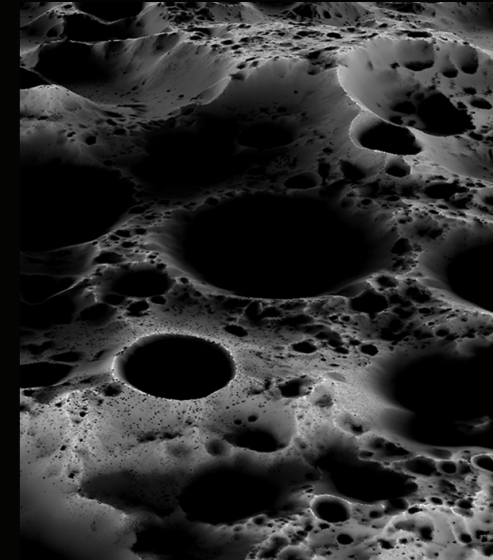
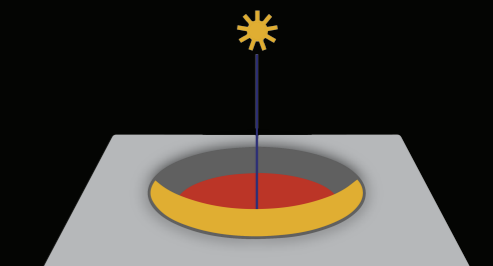


Imagen 53: "Picos de luz eterna" en cráteres.



Esquema 1: Entradas de luz y zonas de sombra permanente en cráteres.

## 4.3) GEOGRAFÍA LUNAR

### 4.3.1) Tierras altas y Marías

Las tierras altas son Zonas fuertemente craterizadas y montañosas. Las marías son grandes llanuras planas de lava solidificada, algunas de las marías son circulares, lo que indica que se originaron por el impacto de asteroides que crearon grandes cuencas. Las Marías son más suaves, bajas y oscuras que las tierras altas.

### 4.3.2) Cráteres con minerales y volátiles

El regolito lunar acumula productos desde hace miles de millones de años por la exposición a la radiación solar, galáctica y a los plasmas espaciales. Estos productos tienen valor científico y valor práctico. Los fríos polos lunares contienen grandes cantidades de agua que pueden proporcionar información para caracterizar las fuentes de volátiles en el sistema solar primitivo. Las grandes zonas de oscuridad permanente en las regiones polares conservan volátiles recogidos a lo largo del pasado de la Luna. Siendo útiles para mantener presencia en la Luna y permitir exploraciones profundas en el espacio, por su utilidad como fuente de propulsión para las naves y componentes necesarios para los sistemas de vida. La exploración tripulada y la robótica sobre estas regiones son lo que determinará los controles sobre la distribución, el transporte y la retención de volátiles (Spudis et al., 2008).

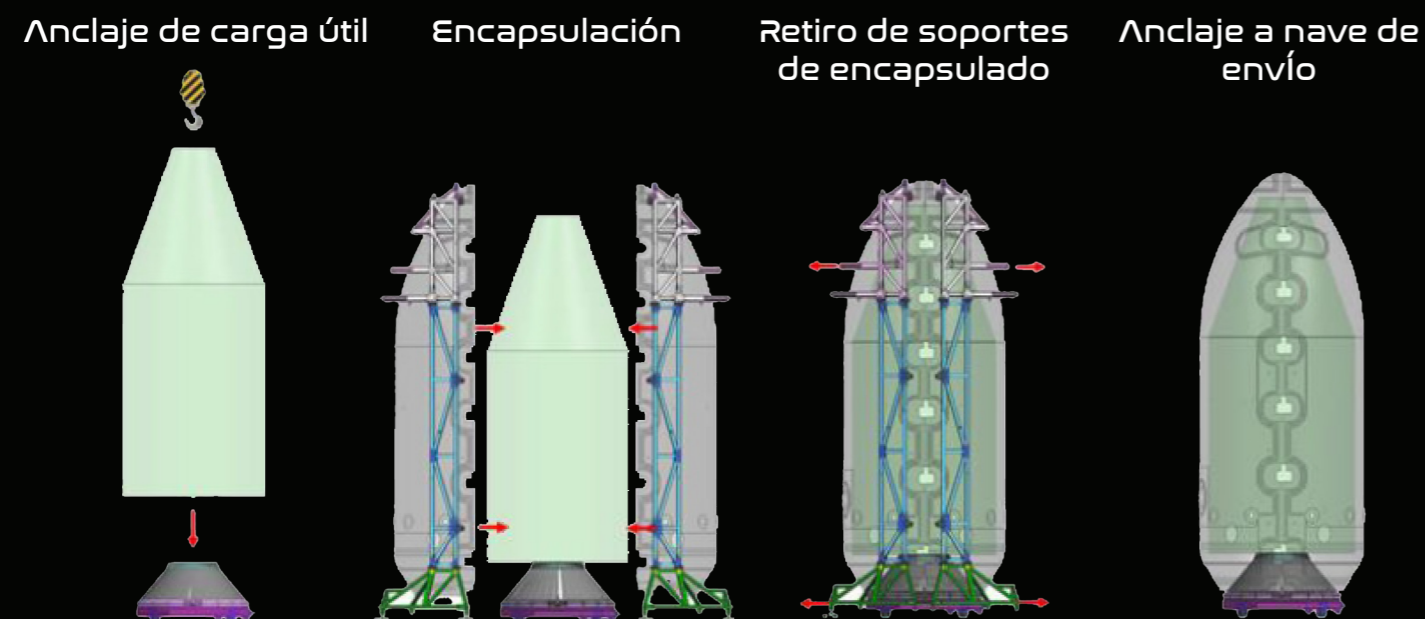
## 4.4) LOGÍSTICA DE ENVÍOS

Los hábitats de superficie extraterrestre están limitados en cuanto al diseño de los módulos, las dimensiones y las orientaciones dependen del vehículo de lanzamiento seleccionado, el ensamblaje orbital y la transferencia. Las limitaciones de la masa y la carga útil de transporte son los principales impulsores de los requisitos de diseño críticos. Por lo tanto, el tipo de cohete y naves definen la cantidad de tripulantes, equipos y materiales para construir en la superficie lunar (SAGA Space Architects et al., s. f.).

Falcon 9 y Falcon Heavy pueden lanzar múltiples satélites en una sola misión integrando múltiples cargas útiles. Como vehículo de lanzamiento de propulsante líquido con capacidad de reinicio, los lanzadores Falcon también ofrecen la flexibilidad de desplegar cada satélite en una órbita diferente (Space X, 2021).

Vehículo de lanzamiento	Longitud del compartimiento	Volumen del compartimiento	Capacidad de masa a la Luna
Falcon Heavy	13.1 m	145 m <sup>3</sup>	8.6 toneladas
SLS	19.1 m	145 m <sup>3</sup>	12 toneladas

Tabla 1: Vehículos de lanzamiento (Elaboración Propia).



Esquema 2: Preparación de cargas de envío.

## 4.5) NAVES ESPACIALES

Las principales naves actualmente son Orion diseñada por Lockheed Martin dentro del programa Artemis siendo un vehículo tripulado de exploración y Dragon de Space X que bajo contrato es utilizada para llevar carga de suministros, donde ya ha probado éxito en la Estación Espacial Internacional. Las misiones de la NASA solo se conducen en tripulaciones de 4 pero Orion tiene una capacidad de hasta 6 tripulantes y Dragon tiene una capacidad de tripulación para 7.

Vehículo de Nave	Tamaño de tripulación	Dimensiones/ volumen de carga
ORION	4-6	5.03m $\phi$ x 3.30m alt. Volumen: 20 m <sup>3</sup>
DRAGON 2	4-7	4.00m $\phi$ x 8.10m alt. Volumen: 37 m <sup>3</sup>

Tabla 2: Vehículos de naves de envío (Elaboración Propia).

## 4.6) ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN

Los planes de colonización en cuerpos rocosos deben controlar los riesgos asociados a poner futuros astronautas a la construcción dado que es un riesgo que ante cualquier falla y por tiempo pone en peligro a los futuros habitantes (Ruede, A, 2018). Como las misiones robóticas automatizadas precursoras a la llegada no implican a seres humanos durante el vuelo espacial ni las operaciones de despliegue se presentan como un vía segura para la construcción, las misiones de ensamblaje orbital deben planificarse en función del punto de llegada de la tripulación y de su integración en las operaciones de la misión.

Para llevar a cabo una construcción in situ sin la presencia de humanos, es necesario el uso de robots programados y controlados de manera remota desde la tierra, esencialmente en impresión 3D aprovechando los recursos lunares como el regolito lunar. La impresión 3D se rige principalmente por su condición móvil o estática, el brazo flexible, el recipiente o mezclador y la boquilla de extrusión.

Los principales que aportarona a la construcción del Puerto Lunar son:

Robots de Boston Dynamics con capacidades de inspección:

- Inspección visual
- Lectura de calibre
- Sensores térmicos
- Detección de fugas
- Escaneado laser

Otros robots que colaboran en el proyecto son:

- Robots Exploradores Plegables Planos
- BRUIE (Buoyant Rover for Under-Ice Exploration)
- Robots de impresión 3D
- Vehículos operados por control remoto (ROV)
- Sistema manipulador remoto (RMS)



Imagen 54: Nave Dragon de Space X

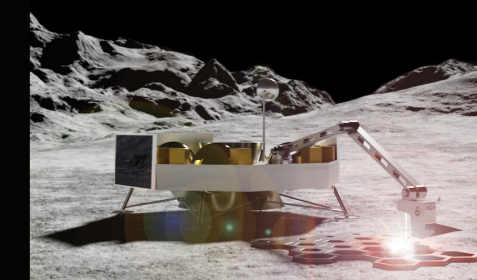


Imagen 55: Impresora 3D tipo araña de ICON.



Imagen 56: impresora 3D DCP.

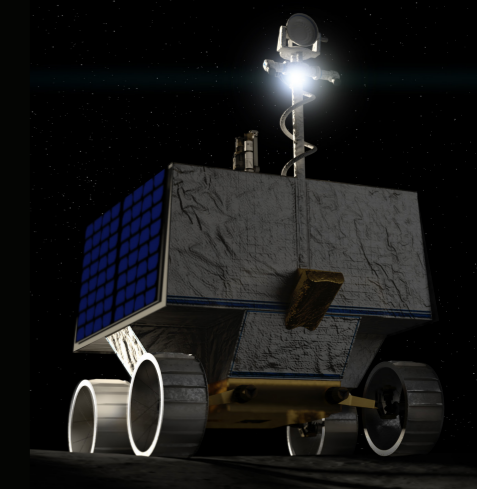


Imagen 57: ROVER VIPER de Artemis.

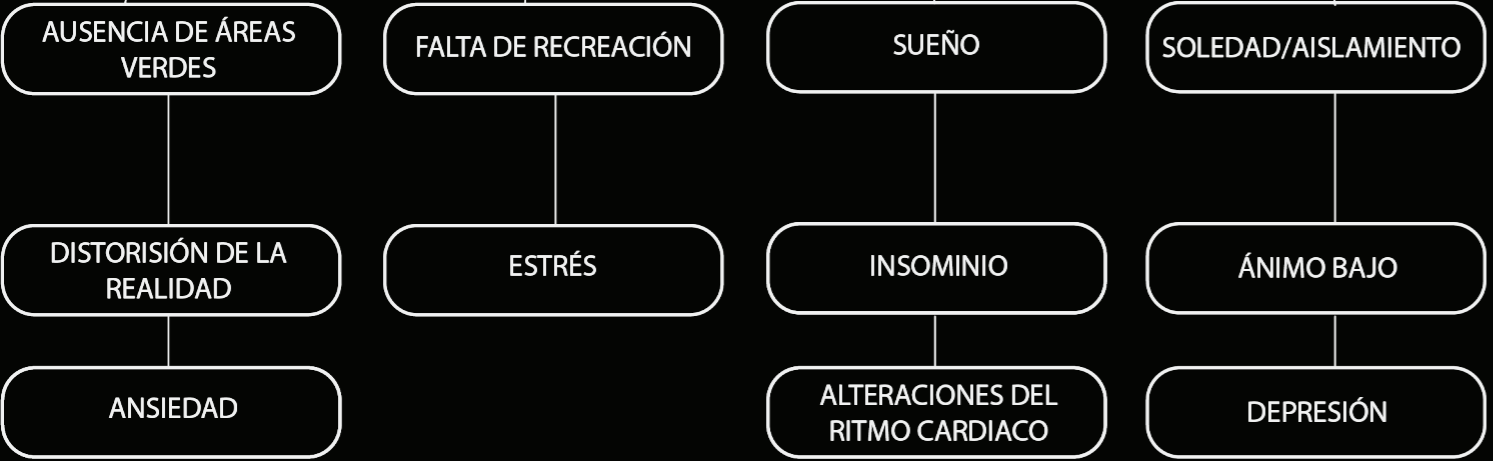
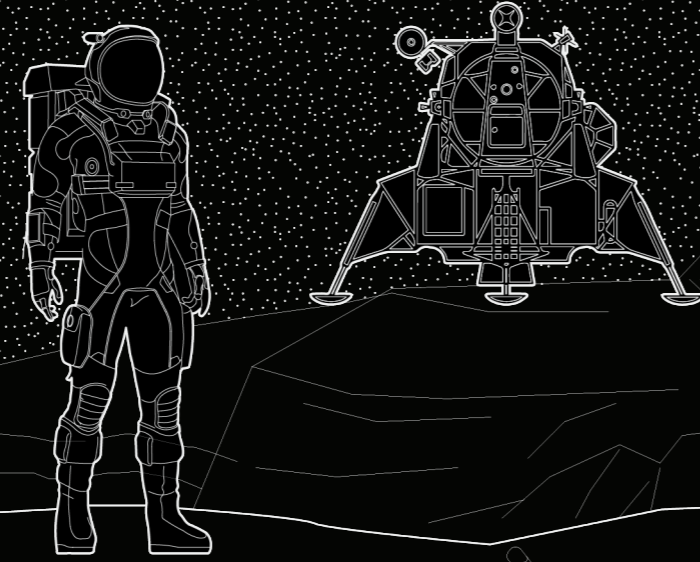
VARIABLES FÍSICAS

4.6) DESAFÍOS DEL SITIO

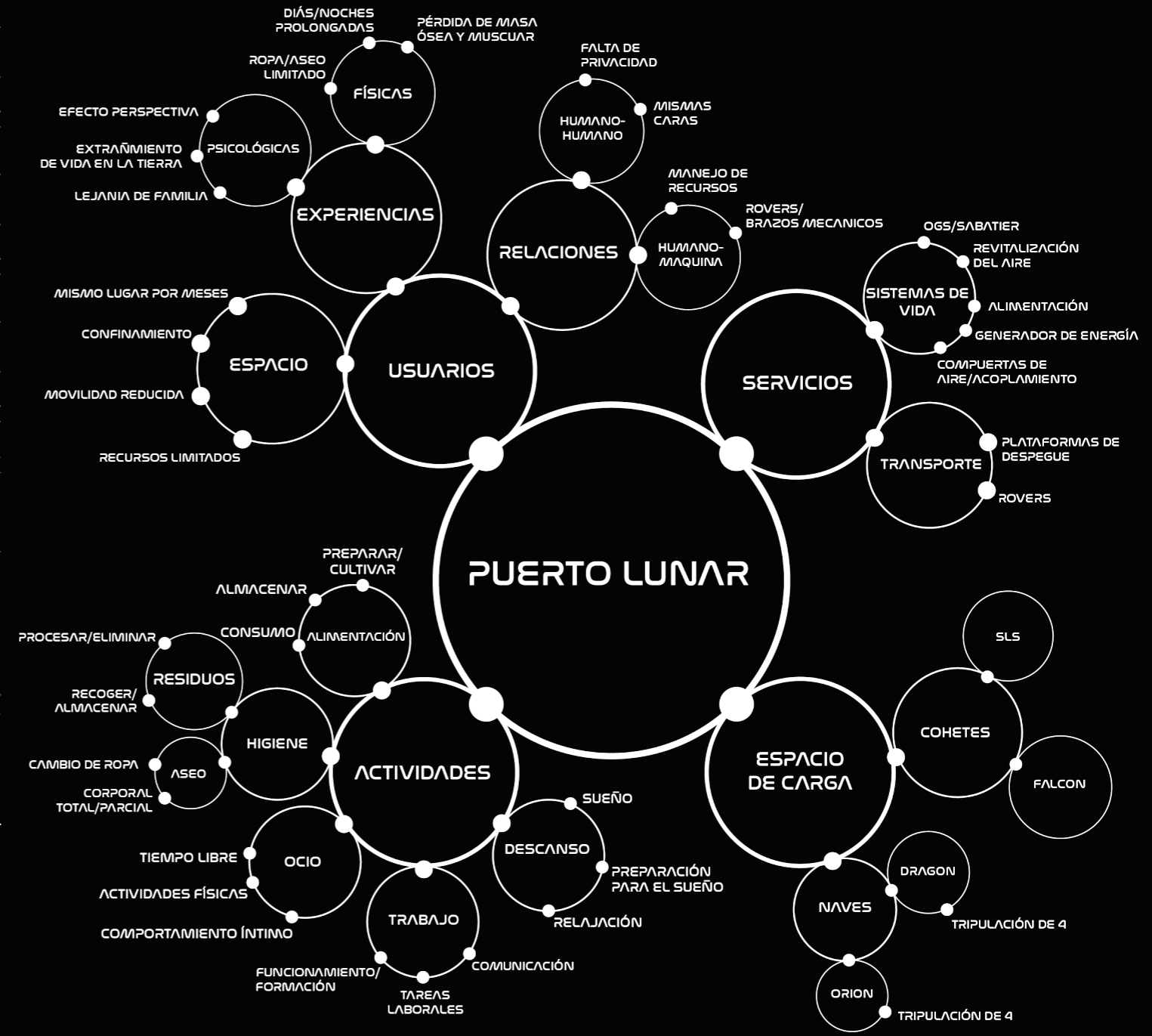
4.7) MAPA DE CONSIDERACIONES DEL HABITAT LUNAR



USUARIO



VARIABLES PSICOLÓGICAS



Esquema 3: Variables de riesgo.

Esquema 4: Mapa de consideraciones para el hábitat lunar

### 4.8) ESTADO DEL ARTE

#### 4.8.1) Lunar Habitation / Foster + Partners

la Agencia Espacial Europea junto a Foster + Partners presentó en 2012 una residencia espacial desarrollada por estudios y experimentación que podría albergar hasta cuatro personas. Los arquitectos detrás del proyecto exploran la impresión 3D para construir viviendas en el polo sur de la Luna. Su forma general es una curvatura continua, ya que así podrá soportar mejor la presión interna. La capa sucesiva del hábitat es una especie de escudo, cuya estructura catenaria abarca el volumen presurizado interno, de forma que se garantiza que sobre la estructura actúen principalmente fuerzas de compresión.

Entre la estructura inflada y el escudo catenario se deja un desplazamiento de protección de 30 centímetros, de modo que las dos capas no entren directamente en contacto, la catenaria se coloca por encima de este límite, de modo que se ajuste lo más posible al límite inferior. En los estudios de "Living on the Moon: Topological Optimization of a 3D-Printed Lunar Shelter" se planteó optimizar múltiples aspectos del proyecto entre el uso de múltiples capas de regolito para enfrentar el impacto de meteoritos y el uso de teselaciones como relleno de espesor (Benvenuti et al., 2013).

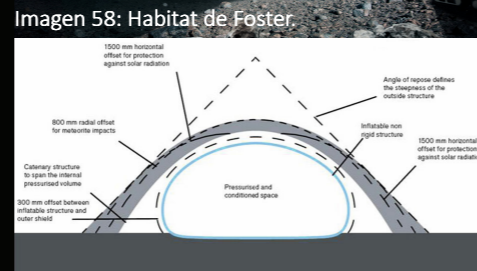
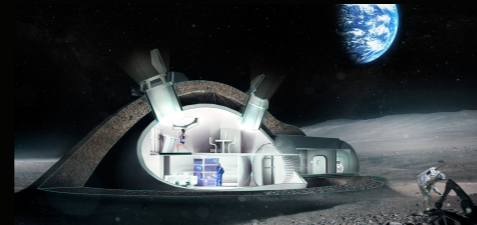


Imagen 59: Detalle de cubierta.



Imagen 60: Marsha



Imagen 61: Axonométrica de hábitat



Imagen 62: Axonométrica de capsulas.



Imagen 63: 3D printed Habitat

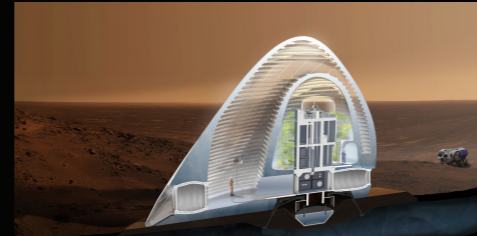


Imagen 64: Axonométrica de interior.

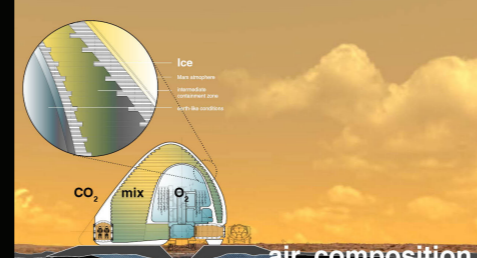


Imagen 65: Detalle de composición.

#### 4.8.2) MARSHA / AI Space Factory

El prototipo Marsha, es la propuesta ganadora del "Desafío del Centenario de la NASA". Construido con tecnología de impresión 3D, incorpora ventanas instaladas por robótica automatizada, la máquina tiene capacidad móvil que le permite desplazarse en torno al edificio durante su construcción. El proyecto experimenta con distintos materiales constructivos, como fibra de basalto extraída de rocas marcianas y bioplástico, formando una mezcla entre regolito marciano y un polímero aglomerante para otorgar protección de la radiación solar.

La propuesta contempla dos capas donde la exterior protege de la radiación solar y de los rayos cósmicos, mientras que la interior funciona como una membrana continua que almacena los programas funcionales del proyecto.

#### 4.8.3) 3D PRINTED HABITAT / HASSEL STUDIO

Junto a la colaboración de la ingeniería estructural de EOC, 3D Printed Habitat propone un armazón exterior fabricado con regolito marciano local bajo construcción por brazos robóticos de tipo enjambre autónomos previos a las llegadas de las tripulaciones de exploración que se encargan de construir el interior, ajustando una serie de cápsulas desplegables que contendrían los elementos necesarios para la vida en Marte.

#### 4.8.4) MARS ICE HOUSE

Para lograr la impresión del habitáculo se emplaza en el núcleo central del proyecto los equipos de impresión 3D, de este modo ocupándola como base para imprimir en hielo las capas exteriores. Tal metodología también es plausible en la Luna teniendo en cuenta sitios con grandes cantidades de depósitos de agua congelada como los cráteres del Polo Sur lunar.

### 4.9) ANÁLISIS DE HABITATS

HÁBITAT	LUNAR HABITATION	MARSHA	3D PRINTED HABITAT	MARS ICE HOUSE
	MOON; ESA; FOSTER+PARTNERS	MARS AI SPACE FACTORY	MARS; HASSEL; EOC	MARS;SEARCH+
VOLUMENES/ TRIPULACIÓN	TRIPULACIÓN: 4	TRIPULACIÓN: 4	TRIPULACIÓN: 4	TRIPULACIÓN: 4
	TRABAJO 376 M <sup>3</sup>	TRABAJO 121 M <sup>3</sup>	TRABAJO 665 M <sup>3</sup>	TRABAJO 60 M <sup>3</sup>
	ALIMENTO 303 M <sup>3</sup>	ALIMENTO 378 M <sup>3</sup>	ALIMENTO 95 M <sup>3</sup>	ALIMENTO 33 M <sup>3</sup>
	HIGIENE 303 M <sup>3</sup>	HIGIENE 10.2 M <sup>3</sup>	HIGIENE 125 M <sup>3</sup>	HIGIENE 27 M <sup>3</sup>
	OCIO 303 M <sup>3</sup>	OCIO 55.2 M <sup>3</sup>	OCIO 65 M <sup>3</sup>	OCIO 262 M <sup>3</sup>
	DORMIR 303 M <sup>3</sup>	DORMIR 74.4 M <sup>3</sup>	DORMIR 95 M <sup>3</sup>	DORMIR 48 M <sup>3</sup>
FUNCIONES HORIZONTALES				
FUNCIONES VERTICALES				
ENVOLVENTES				
	Hábitat inflable cubierto por domo de regolito impreso en 3D	Cilindro de regolito impreso + estructura	Hábitat inflable cubierto por domo de regolito impreso en 3D	Hábitat inflable cubierto por doble capa protectora de hielo impreso en 3D
MATERIALES PREFABRICADOS				
	Membrana inflable pre-fabricada	Ventanas pre-fabricadas aluminio+poli-carbonato	Membrana inflable pre-fabricada	Membrana externa de etpe y capa aislante de aerogel cubren el hielo.
MATERIALES IN SITU				
	Envoltante impresa en regolito: Polvo recogido y fusionado con soluciones químicas aglutinantes	Envoltante impresa en 3D con mezcla de regolito y basalto	Envoltante impresa en regolito: polvo recogido y fusionado con soluciones químicas aglutinantes	Dos capas de hielo impresas son los principales escudos contra la radiación

Esquema 5: Análisis de programa y estructuras de referentes



## 4.10) REFERENTES ARQUITECTONICOS

### 4.9.1) Moon Village / SOM

Moon Village es una idea de arquitectura abierta basada en la cooperación global entre múltiples naciones y socios que combinan sus diversos conocimientos con el objetivo de permitir la exploración a largo plazo de la superficie lunar. Se enfoca en unidades singulares de habitación en superficie, diseñadas como módulos multifuncionales adaptables, aprovechan tecnologías emergentes como la combinación de recipientes presurizados estructurales. Situado en el borde del cráter Shackleton, aborda un master plan del polo sur lunar, el desarrollo maximiza la utilización de recursos in situ gracias a la proximidad a depósitos de hielo y energía solar, utilizando ubicaciones de gran altitud con largos periodos de irradiación solar continua (SOM et al., 2019).



Imagen 66: Colonias lunares de Moon Village.



Imagen 67: Preparación de modulo para envío.



Imagen 68: Hábitat Lunark.



Imagen 69: Interior de habitáculo.

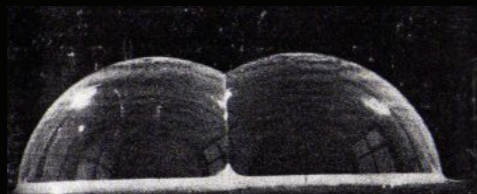


Imagen 70: Estudio de burbujas.



Imagen 71: Cúpulas de Estación Stuttgart.



Imagen 72: Pilar anti-clástico.

### 4.9.2) LUNARK / SAGA Space Architects

El hábitat simula el entorno vital real de la Luna. El hábitat se prueba durante dos meses en el norte de Groenlandia, donde el clima es en simula el del polo sur de la Luna como temperatura extrema, "pico de luz eterna" y la lejanía.

La iluminación del hábitat implica la creación de un entorno luminoso en un espacio cerrado con condiciones de vida que toman en cuenta el ritmo circadiano, el sentimiento emocional y las respuestas biológicas. Ante la ausencia de luz natural, utilizan la iluminación artificial para casi todos los elementos básicos de las actividades visuales y no visuales. El LED, es utilizado como iluminación, especialmente por su característica "digital" con tamaño flexible y sintonizable.

El exterior principal del hábitat es una carcasa de fibra de carbono. La estructura es de paneles sándwich con un núcleo de espuma para mayor aislamiento que están unidos por una goma compuesta plegable. La fibra de carbono es ideal porque es ligera y resistente, como beneficio al transporte y el despliegue tomando en cuenta las dimensiones del contenedor de cargas de una nave.

### 4.9.3) ESTUDIO DE BURBUJAS / FREI OTTO

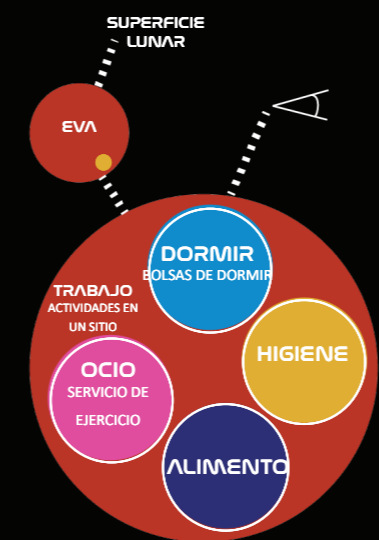
Los estudios de burbujas de jabón son una exploración funcional para generar sistemas interiores presurizados que puedan extenderse a lo largo de una superficie de geometría cóncava. En sí, permite entender desde una metodología de form-finding el desarrollo de formas neumáticas, donde las formas de cualquier burbuja de jabón o conjunto de ellas siempre adoptará la forma correspondiente al mínimo de superficie para encapsular un volumen de aire, teniendo membranas tensada de igual magnitud en cada punto y dirección de la superficie.

Las Estructuras con forma de burbuja son favorables para el estado mínimo de tensiones, donde una burbuja en una superficie siempre tiene un hemisferio, pero donde cualquier forma que se pueda hacer con esta puede ser reproducida en una membrana neumática.

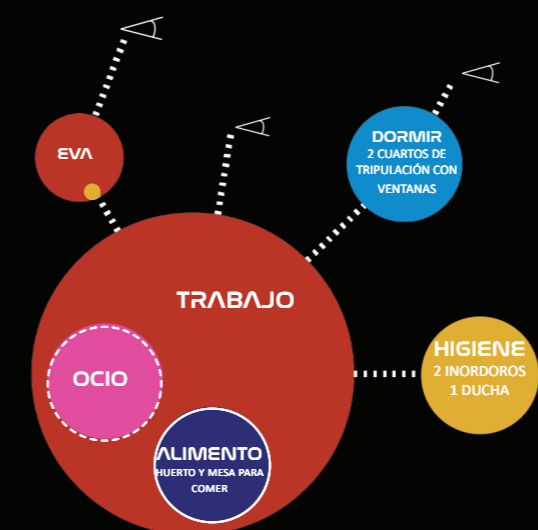
### 4.9.4) ESTACIÓN DE TRENES STUTTGART

Consiste de una cubierta peatonal resolviéndose mediante una estructura de geometría compleja que trabaja solo con esfuerzos a compresión, reduciendo el espesor. Los pilares de forma anti-clásticas responden a la transmisión de las cargas, otorgando lucanas para la entrada de luz al subterráneo. Como objetivo el proyecto buscó la optimización y eficiencia de sus procesos constructivos, reduciendo los materiales, los espesores mínimos necesarios y la utilización de encofrados de hormigón reversibles o componentes modulares prefabricados.

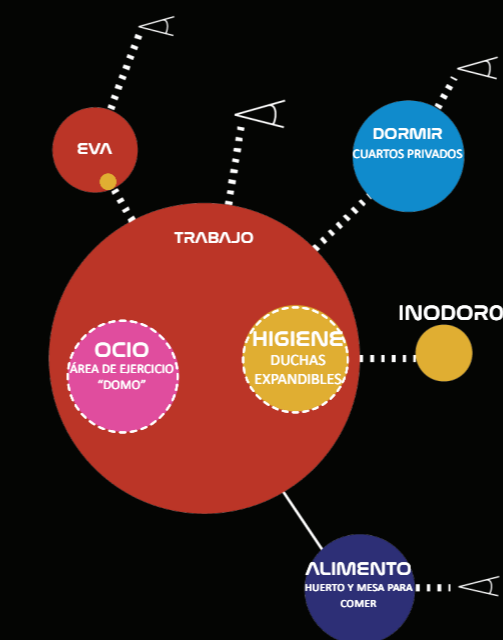
## 4.11) ANÁLISIS PROGRAMÁTICO DE ESTACIONES ESPACIALES



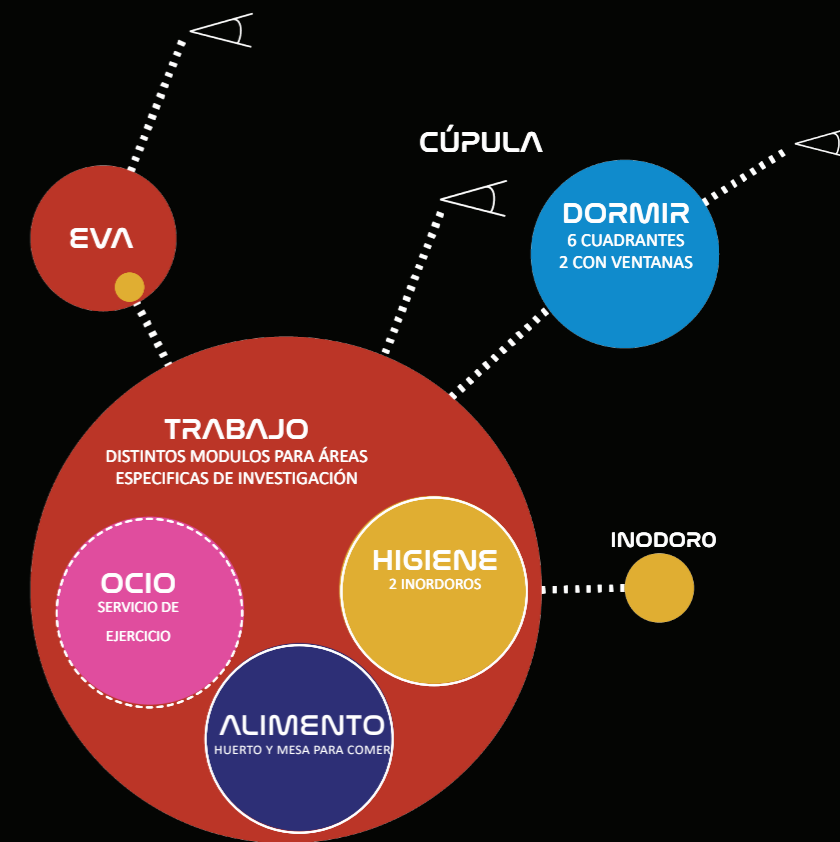
Esquema 6: Programa hábitat lunar Apollo.



Esquema 7: Programa Estación Espacial MIR.



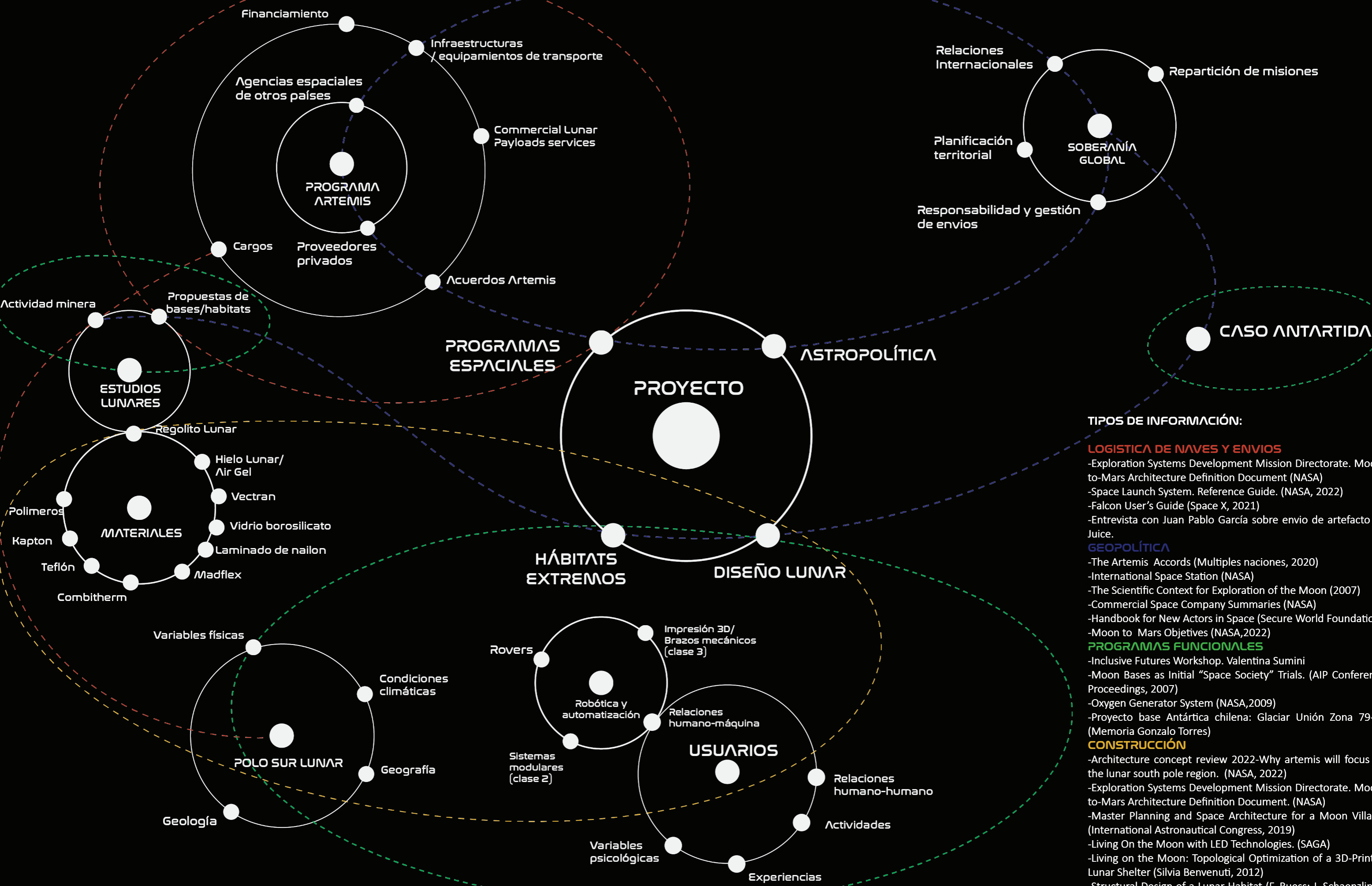
Esquema 8: Programa de Estación espacial Skylab.



Esquema 9: Programa de Estación espacial internacional (ISS).

- EVA** Actividad extravehicular
- Funciones se superponen
- Funciones se superponen pero pueden separarse temporalmente
- Vistas
- Espacios separados y pueden cerrarse
- Espacios separados pero visualmente juntos

**INFORMACIONES PARA FORMULAR PROPUESTA:**



**TIPOS DE INFORMACIÓN:**

**LOGÍSTICA DE NAVES Y ENVÍOS**

- Exploration Systems Development Mission Directorate. Moon-to-Mars Architecture Definition Document (NASA)
- Space Launch System. Reference Guide. (NASA, 2022)
- Falcon User's Guide (Space X, 2021)
- Entrevista con Juan Pablo García sobre envío de artefacto en Juice.

**GEOPOLÍTICA**

- The Artemis Accords (Múltiples naciones, 2020)
- International Space Station (NASA)
- The Scientific Context for Exploration of the Moon (2007)
- Commercial Space Company Summaries (NASA)
- Handbook for New Actors in Space (Secure World Foundation)
- Moon to Mars Objectives (NASA, 2022)

**PROGRAMAS FUNCIONALES**

- Inclusive Futures Workshop. Valentina Sumini
- Moon Bases as Initial "Space Society" Trials. (AIP Conference Proceedings, 2007)
- Oxygen Generator System (NASA, 2009)
- Proyecto base Antártica chilena: Glaciar Unión Zona 79-45 (Memoria Gonzalo Torres)

**CONSTRUCCIÓN**

- Architecture concept review 2022-Why artemis will focus on the lunar south pole region. (NASA, 2022)
- Exploration Systems Development Mission Directorate. Moon-to-Mars Architecture Definition Document. (NASA)
- Master Planning and Space Architecture for a Moon Village. (International Astronautical Congress, 2019)
- Living On the Moon with LED Technologies. (SAGA)
- Living on the Moon: Topological Optimization of a 3D-Printed Lunar Shelter (Silvia Benvenuti, 2012)
- Structural Design of a Lunar Habitat (F. Ruess; J. Schaezlin; H. Benaroya, 2006)

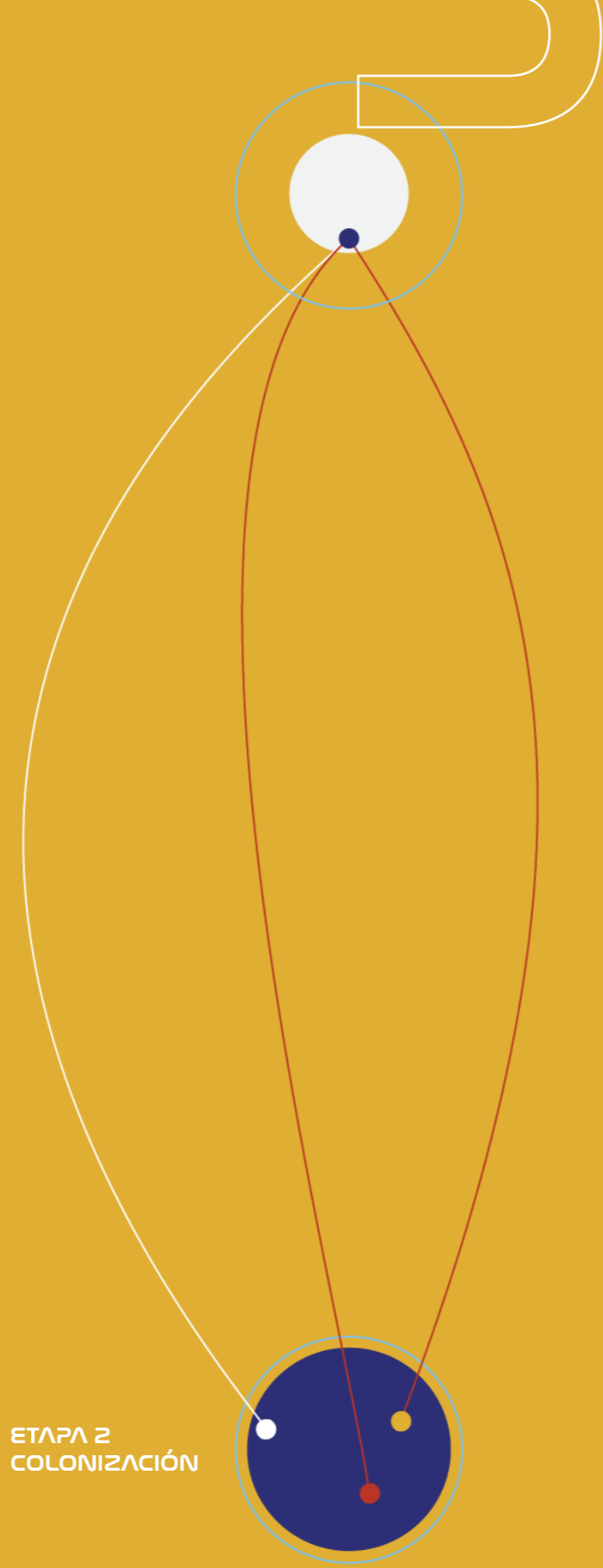
Esquema 10: Formulación de propuesta.

# Problemática disciplinar



ETAPA 1 COLONIZACIÓN

● Gateway ● Naciones dentro de Artemis ● Envíos de Artemis ● Puerto Lunar Internacional ● Actores externos a Artemis ● Envíos de otros actores ● Colonias Lunares



ETAPA 2 COLONIZACIÓN

Esquema 11: Etapas de propuesta

La relación entre la humanidad y la Luna ha sido un ejercicio constante de nosotros en acercarnos a ella desde los sentidos empíricos hasta la noción de explorar su geografía. Las formas estéticas y narrativas sobre el viaje nos conducen a entender las maneras que descubrimos nuevos sitios, exploramos e intentamos permanecer en ellos mediante la evolución de la tecnología transportándonos y expandiendo nuestra conciencia del mundo, definiendo la arquitecturas propias de cada lugar. Los viajes de exploración han sido testimonio de distintas ambiciones de la naciones, como símbolo de poder y control militar. Aunque, hoy en día la noción de la exploración espacial busca de manera globalizada el apoyo cooperativo entre naciones y actores privados para gestionar los viajes mediante el programa Artemis en un marco de trabajo pacífico y desarmado. Actualmente, el sentido histórico del viaje y los avances tecnológicos ha aproximado a la humanidad a conocer los sitios desconocidos del Polo Sur Lunar, impulsando misiones que se enfrentan a un contexto extremo y desolado con condiciones climáticas ajenas con fin de formar estadias más extensas sobre el territorio. Invitándonos a proyectar de manera informada las formas estéticas y narrativas de cómo será habitar el contexto lunar.

De este modo, se plantea desde el sentido histórico del viaje y el surgimiento de la arquitectura en nuevos sitios problematizar sobre qué otras infraestructuras y modos de vida son posible proyectar en el contexto extremo lunar. Aprovechando la funcionalidad de las estaciones espaciales existentes, las infraestructuras como el Gateway que propone Artemis, las propuestas de habitáculos de estudios de arquitectura, los conocimientos constructivos sobre impresión 3D en regolito y los conceptos de apoyo humanitario, se plantea una propuesta que problematiza en torno a cómo enfrentar el hábitat en un sitio inhóspito como la Luna desde una mirada informada científicamente y la capacidad creativa del arquitecto, ideando sobre otros tipos de infraestructuras surgentes del tipo de transporte de naves que se proponen actualmente, además, planteando en cómo presentar una arquitectura que involucre internacionalmente a exploradores y profesionales de otras naciones que no están dentro de acuerdos internacionales, posibilitándolos de acceder a los beneficios globales de habitar la Luna.

## 5.1) TEMÁTICA Y PROGRAMA

Desde la mirada arquitectónica y la comprensión científica de utilizar la Luna como terminal estratégico para el envío de naves y el estudio del espacio, la actual proyección del Gateway que propone Artemis como puerto espacial en órbita lunar puede ser aprovechado junto a las propuestas con tipologías de “colonia y “aldea” de estudios de arquitectura para plantear un puerto internacional como terminal de naves para el envío de naves hacia otros cuerpos celestes.

Para esto, la propuesta comprende la cooperación de naciones y actores privados para realizar envíos de cohetes fuera de la tierra que posibilita a otras naciones interesadas en poder financiar programas espaciales habitar el contexto lunar. Como diagnóstico se evidencia la ausencia de infraestructuras de transporte en las tipologías propuestas de los hábitats lunares actuales, que aporten a la llegada y envíos de futuros viajes. Por lo tanto, se propone una estación lunar internacional como infraestructura que reúna las llegadas de personas, contemplando conceptos de cooperatividad internacional, la noción social de la exploración y una relación horizontal con los sitios de interés de las futuras bases del Polo Sur. La intención es desarrollar una alternativa a las arquitecturas típicamente propuestas que aproveche el acceso a recursos del sitio para la construcción y preservación de la presencia humana, con programas relacionados a la investigación, pruebas de envíos de artefactos y naves a otros cuerpos celestes. De este modo, reduciendo los recursos enviados desde la tierra y enfrentando el desafío de habitar las condiciones extremas del sitio mediante los conocimientos actuales sobre el contexto lunar, la robótica, los beneficios sobre impresión 3D en regolito lunar y la versatilidad de sistemas neumáticos para ser transportados, abaratando costos y especulando sobre nuevas narrativas del lenguaje arquitectónico lunar.

## 5.2) OBJETIVOS Y PREGUNTAS

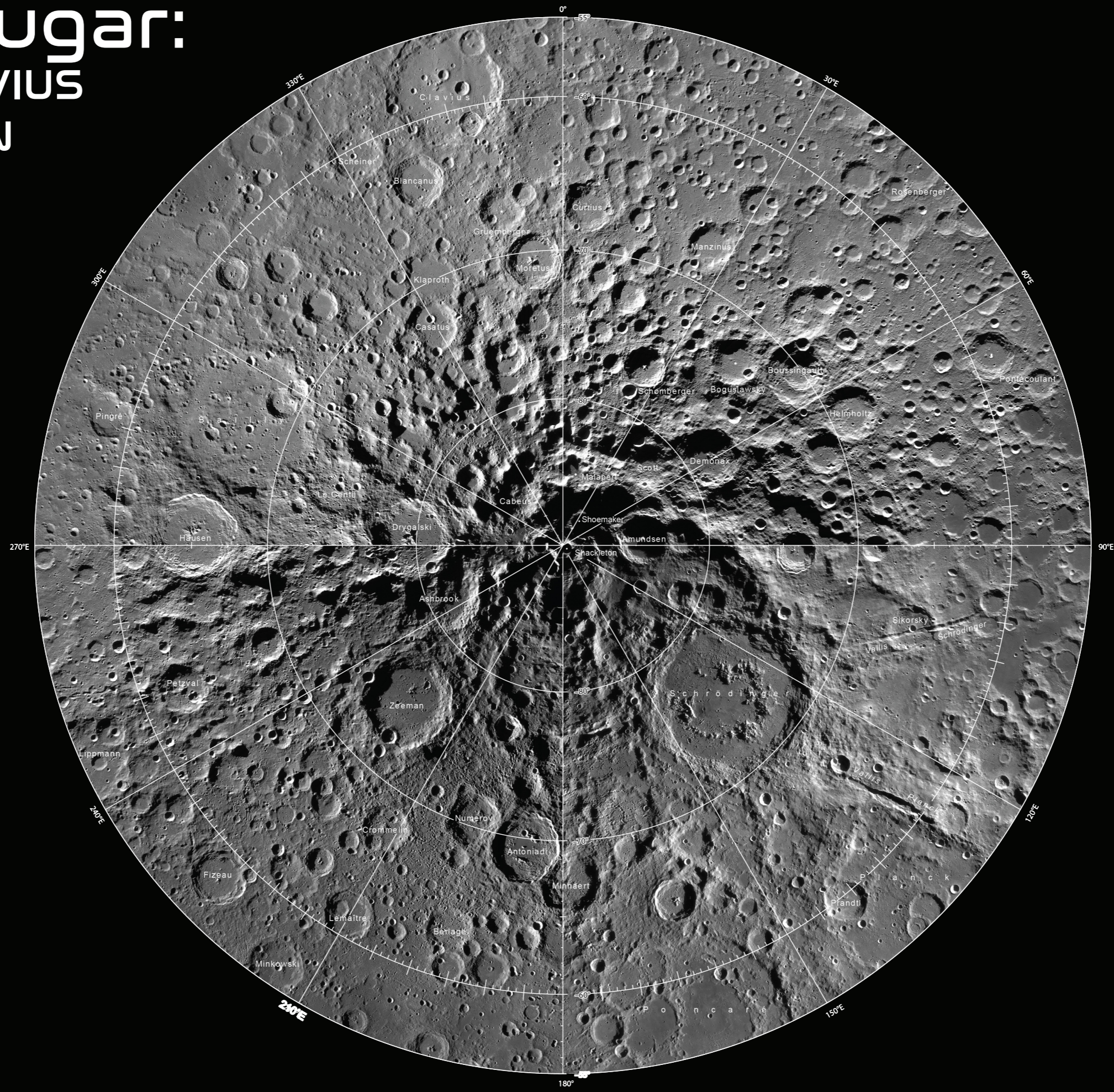
### 5.2.1) Objetivos

- 1) Investigar las formas narrativas que el mundo ha dado a la exploración terrestre y estelar como herramienta de proyección.
- 2) Lograr un nexo entre el diseño digital paramétrico y las estéticas de extrusión.
- 3) Plantear un lenguaje arquitectónico según los recursos de mezcla del contexto lunar.
- 4) Definir estrategias que se beneficien del sitio proponiendo una postura frente a la geopolítica espacial y al sentido del exploración del usuario.

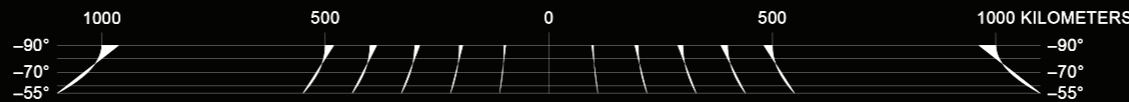
### 5.2.2) Preguntas

- 1) ¿Cómo debe la arquitectura brindar condiciones de habitables en la luna?
- 2) ¿Cuál es el lenguaje arquitectónico producto de colonizar cuerpos extraterrestres?
- 3) ¿Cómo formular un proyecto a partir de un sistema estructural híbrido entre la impresión 3D y los cuerpos inflables que dialoguen formalmente?

# Caso y lugar: CRÁTER CLAVIUS 58.4°S 14.4°W



SCALE 1:6 078 683 (1 mm = 6.078683 km) AT -90° LATITUDE  
POLAR STEREOGRAPHIC PROJECTION



SOUTH POLAR REGION

6

## 6.1) SITIO

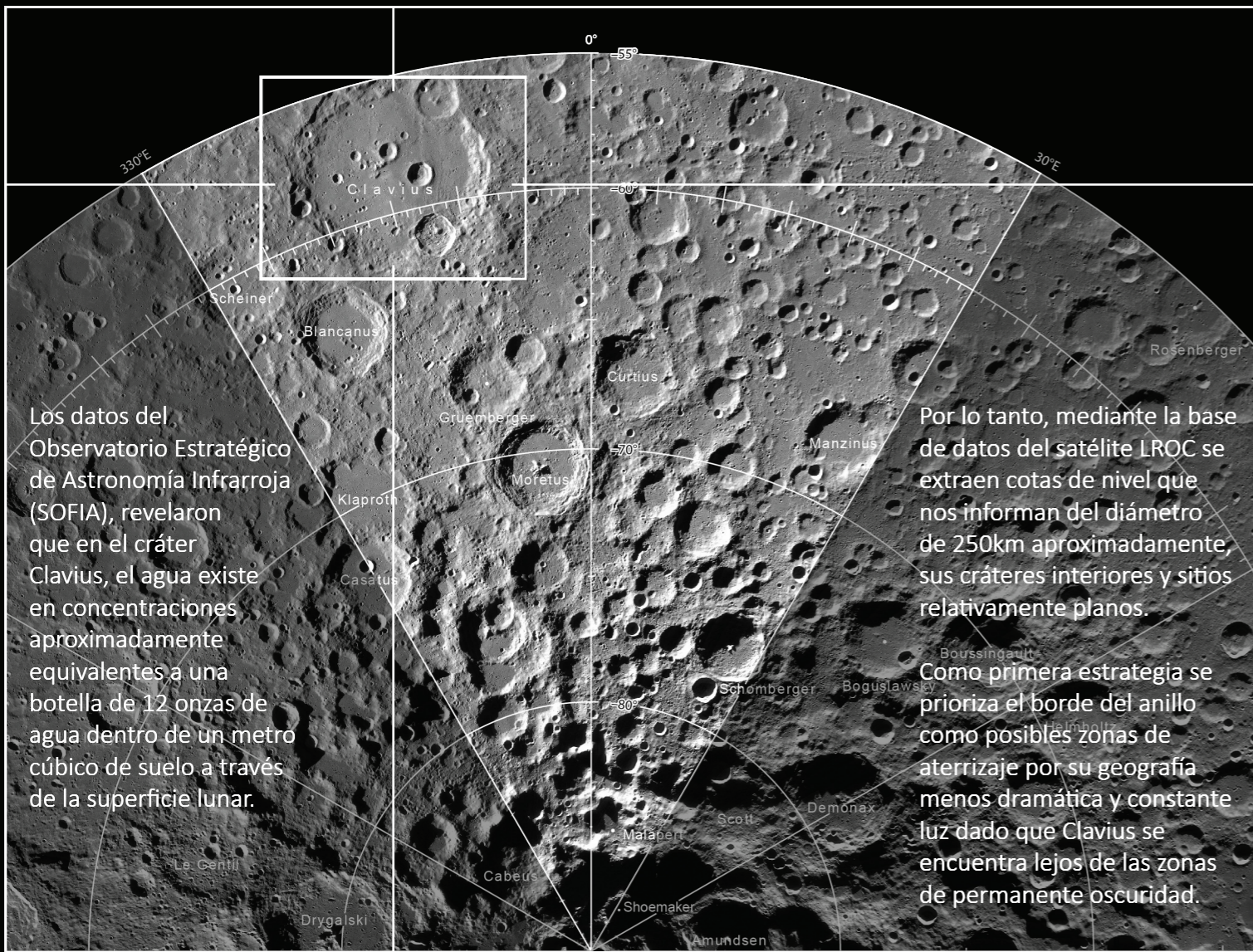


Imagen 74: ZOOM X1

## 6.2) PERSPECTIVA DE SITIO

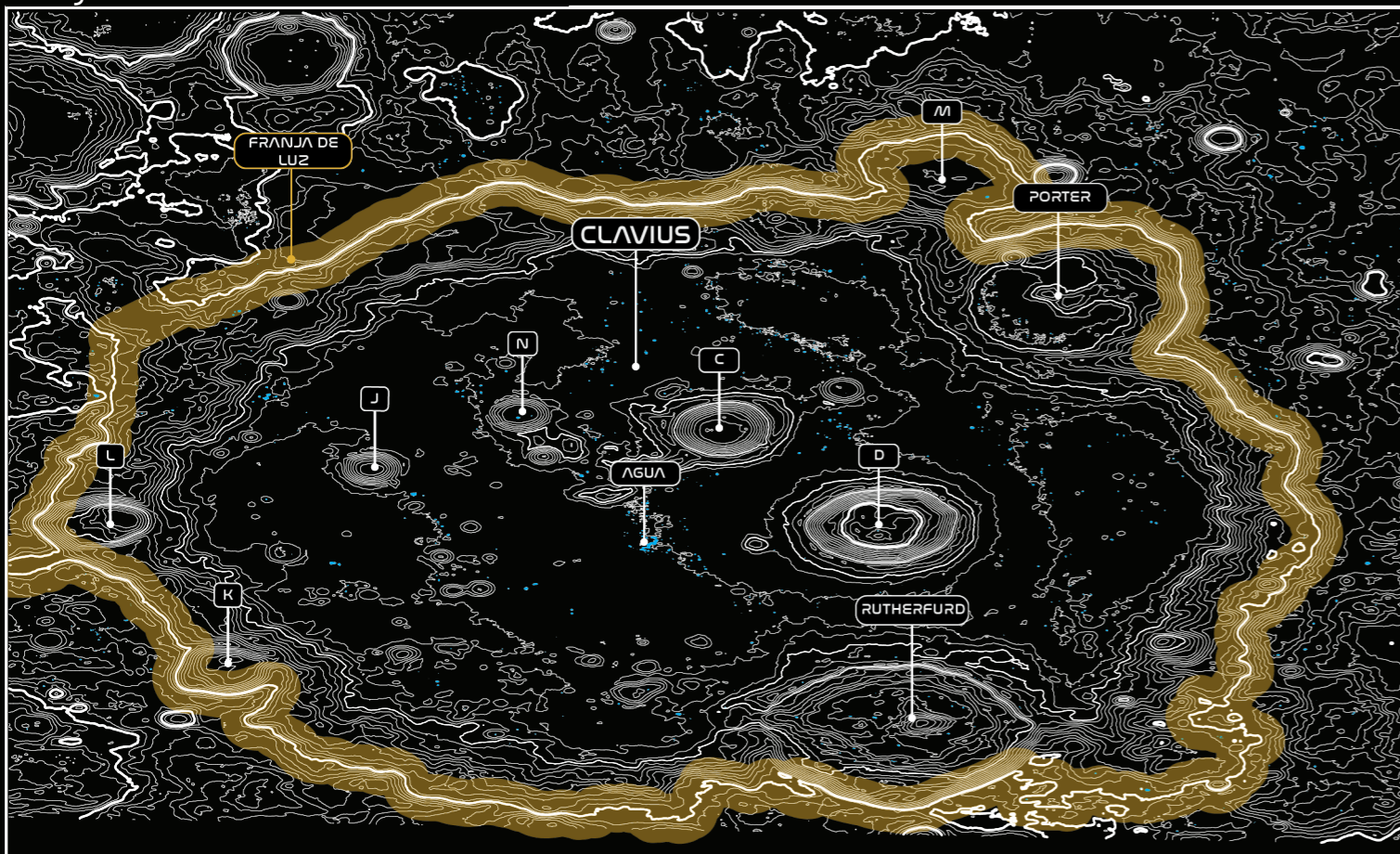


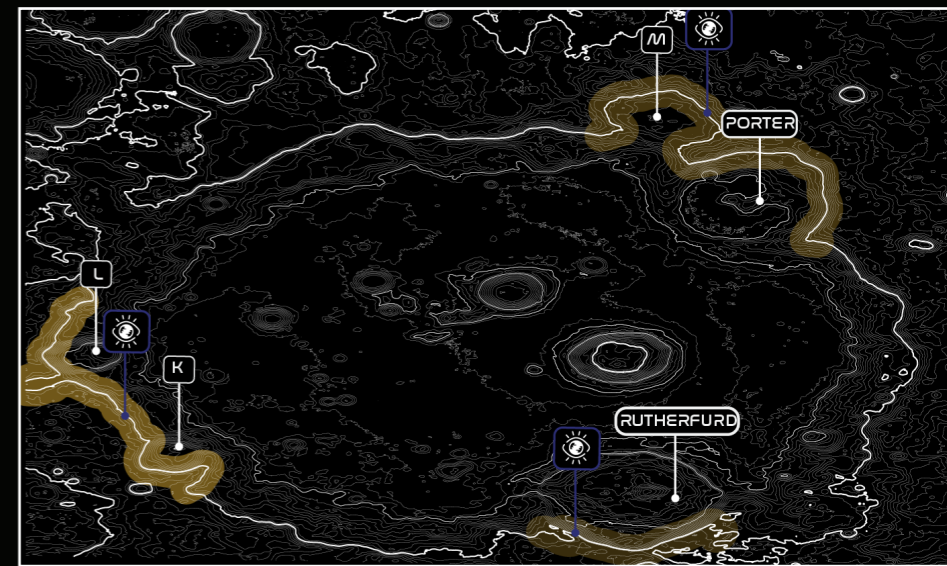
Fig 1: ZOOM X2 cotas de nivel de cráter Clavius

## 6.3) ESTRATEGIAS DE EMPLAZAMIENTO

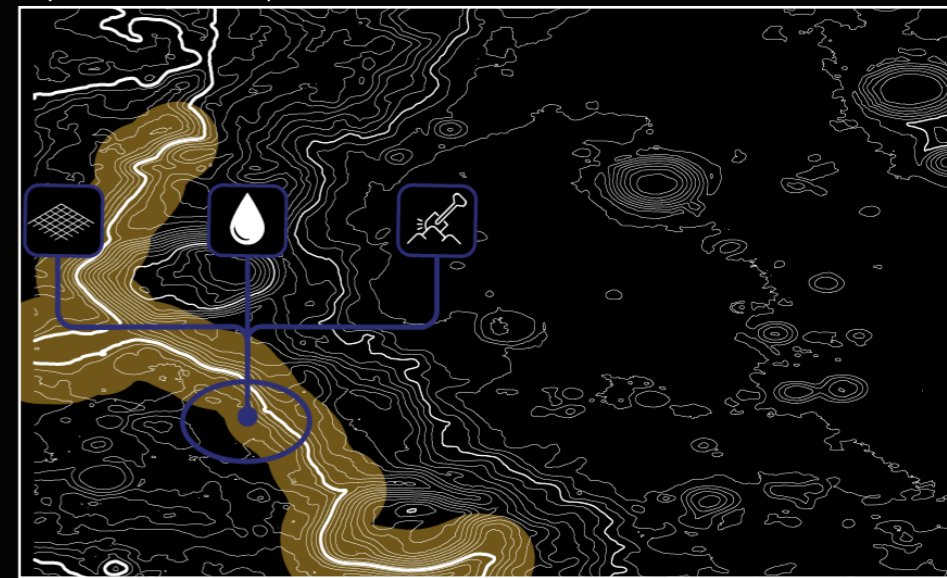
La siguiente estrategia es filtrar sitios por contexto cercano según los que tengan llegada más próxima para los astronautas, robots y vehículos para extraer muestras y recursos. Por otro lado, se privilegian los sitios que tengan visual más directa hacia la tierra.

Después se escogió la zona con suelo más parejo para emplazar el proyecto, priorizando que tuviese acceso a los recursos de agua por medio de deslindes cercanos y dos cráteres con tamaño significativo y abarcable para que múltiples grupos de astronautas de diversos programas espaciales puedan aprovecharlos como sitios de estudio.

Finalmente, se escoge un sitio entorno a un cráter de 70 metros de diámetro como sector práctico de emplazamiento para aprovechar los distintos cambios de nivel de la zona para ubicar sistemas de vida necesarios; un reactor de fusión para energía eléctrica, una planta de tratamiento de H2O y los sistemas OGS y Sabatier.



Esquema 12: Sitios de emplazamiento.



Esquema 13: Sitio de emplazamiento.

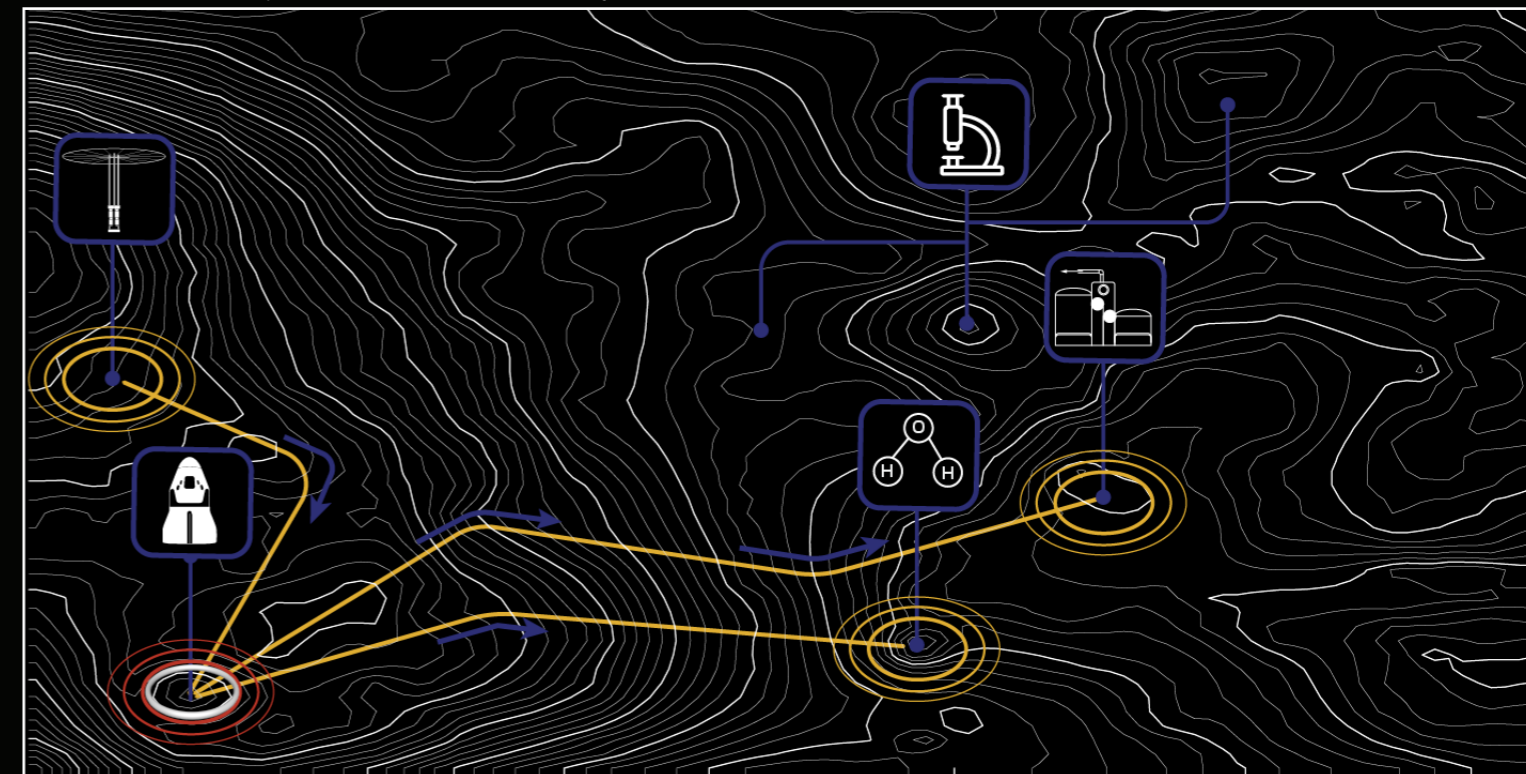


Fig 2: ZOOM X3 cotas de nivel de sitio.

# Propuesta

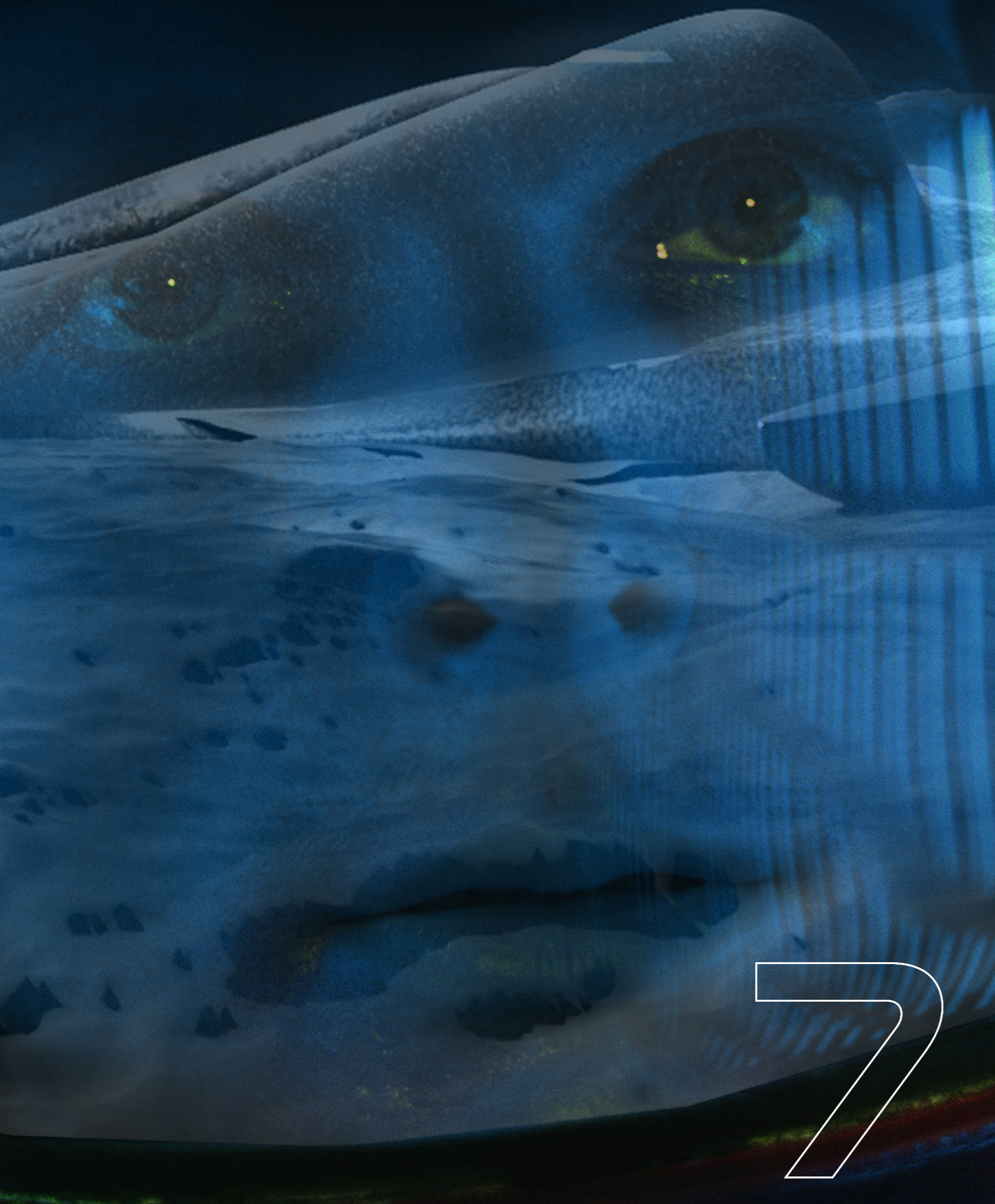
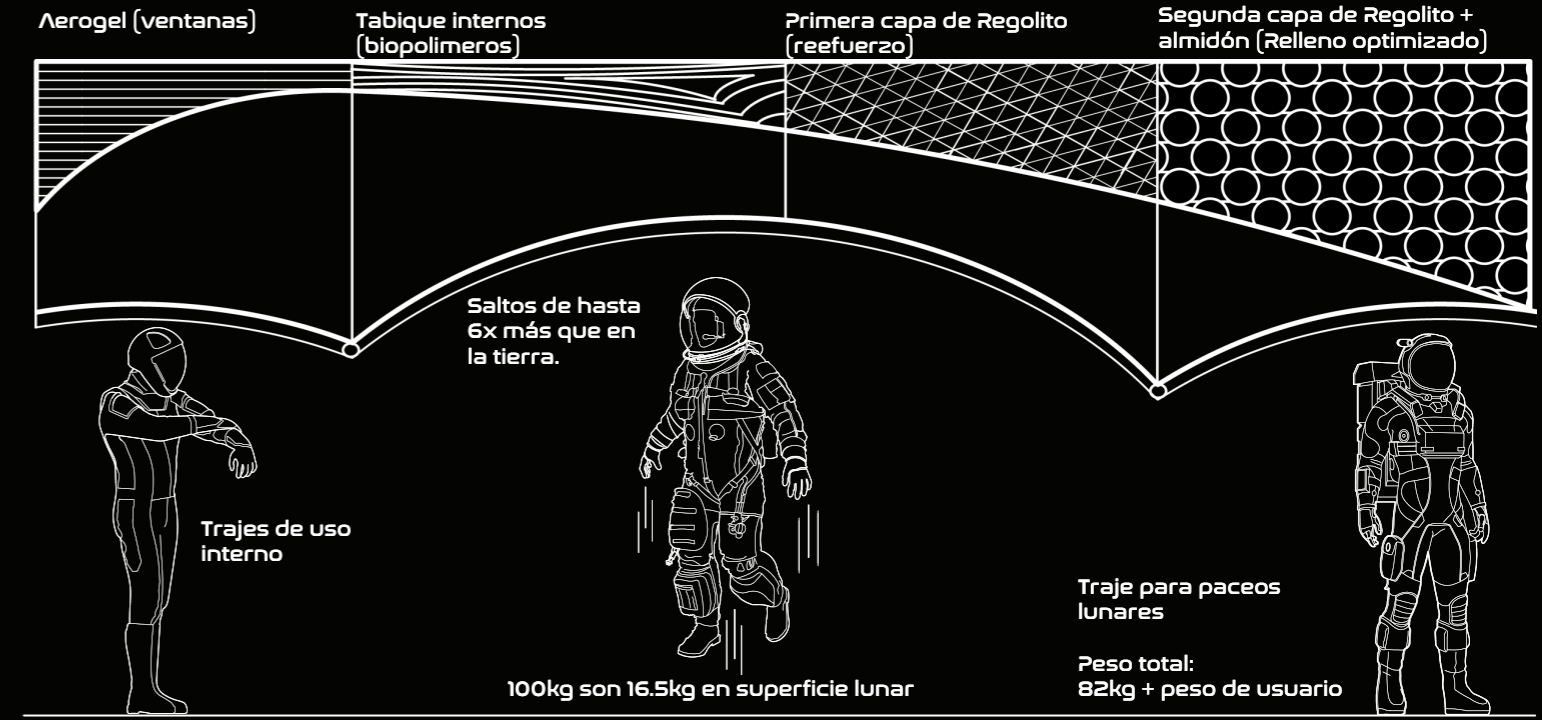


Imagen 75: Render portada

## 7.1) ASPECTOS DE LA MISIÓN

La misión requiere enfrentar períodos de más de un año de estadía con llegadas de múltiples naves de tripulaciones de cuatro personas de distintos países debiendo considerar diseños de interior que ofrezcan privacidad y espacios sociales que se ajusten flexiblemente a las necesidades de los tripulantes. En la superficie lunar hay dos tipos de radiación entrante: La radiación electromagnética y la radiación ionizante. Cualquier tipo de hábitat en la superficie lunar tendrá que protegerse de tres tipos diferentes de radiación ionizante en el espacio: El viento solar, los rayos cósmicos solares y la radiación cósmica galáctica. Incluyendo cuerpos de impacto como meteoroides (Ruess et al., 2006). Por lo tanto, los conceptos de blindaje y modularidad son clave en la selección de métodos constructivos y materiales eficientes. Incluyendo el blindaje pasivo con materiales distintos del regolito, el blindaje electromagnético, el blindaje electrostático y la radio protección química (Ruess et al., 2006).



Esquema 14: Sistemas estructurales: Clase 2 y 3 (construcción en sitio con sistemas basados en regolito + sistemas modulares traídos de la tierra).

## 7.2) LLEGADA DE LA TRIPULACIÓN

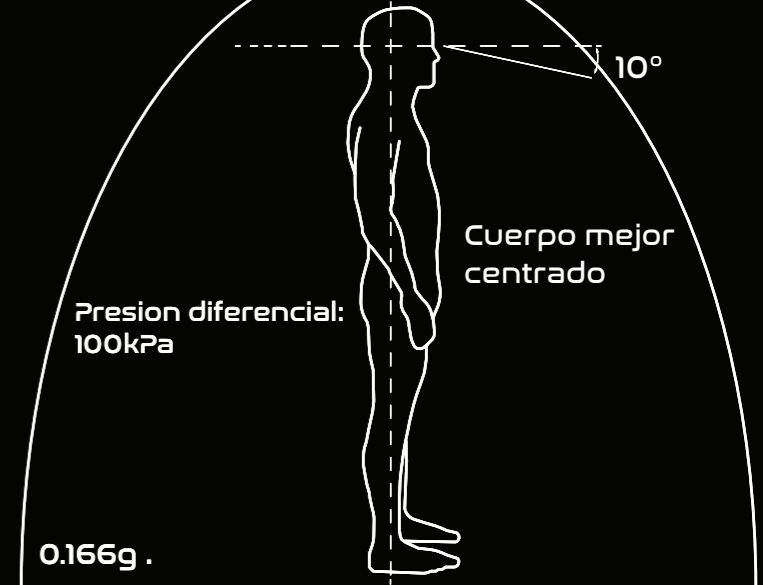
La tripulación debe llegar a un sitio ya analizado y preparado por equipos automatizados para poder descansar del viaje, recuperarse y comenzar con sus tareas lo antes posible. Como la gravedad es distinta a la tierra y más cercana a la microgravedad esta lleva a una reducción de movilidad importante, por lo tanto, es necesario reducir variables que problematicen más el movimiento de las personas y sus tareas.

En el espacio exterior la atmósfera es mínima, requiriendo una presión diferencial de hasta 100 kPa en los recintos del hábitat para mantener presiones de nivel terrestre en el interior. Las estructuras neumáticas desplegables representan el tipo de sistema más adecuado para los hábitats.

### Microgravedad



### Membrana presurizada



Esquema 15: Diferencia de suspenso y movilidad de cuerpo en microgravedad.

## 7.3) ESTRATEGIAS DE DISEÑO

### GEOMETRÍA ESTRUCTURAL

En la Luna la carga dominante no es gravitatoria. los arcos y geometrías curvas son la estructura más adecuada porque introducen momentos de flexión y trabajan mejor contra impactos dinámicos (Ruess et al., 2006).

#### 1) SITIO CIRCUNSCRITO

Se propone un torus como geometría primitiva que defina el perímetro base que bordea el cráter.

#### 2) EXPANSIÓN DE ÁREA ÚTIL

Se expanden los ejes externos del torus para definir el volumen interior del proyecto.

#### 3) EXTENSIÓN EN PUNTAS

Se busca extender en cuatro puntas que zonifican 4 habitáculos unidos por la dirección circular del loop.

#### 4) RAMIFICACIÓN

Se ramifican las caras de las puntas para definir los sitios de recibimiento, plataformas de llegada y envío de naves.

#### 5) DEFINICIÓN DE CENTRO DE LLEGADA:

Se definen centros entre las plataformas como puntos de recibimiento de los tripulantes y zonas de uso común entre habitáculos.

#### 6) ÉNFASIS DE BRAZOS:

Se enfatizan las puntas de los brazos medios para definir sitio que asimile en altura las funciones de torres de control. Además, se enfatizan las caras superiores de los brazos laterales para ser recorrida por personal o robots en caso de mantenciones.

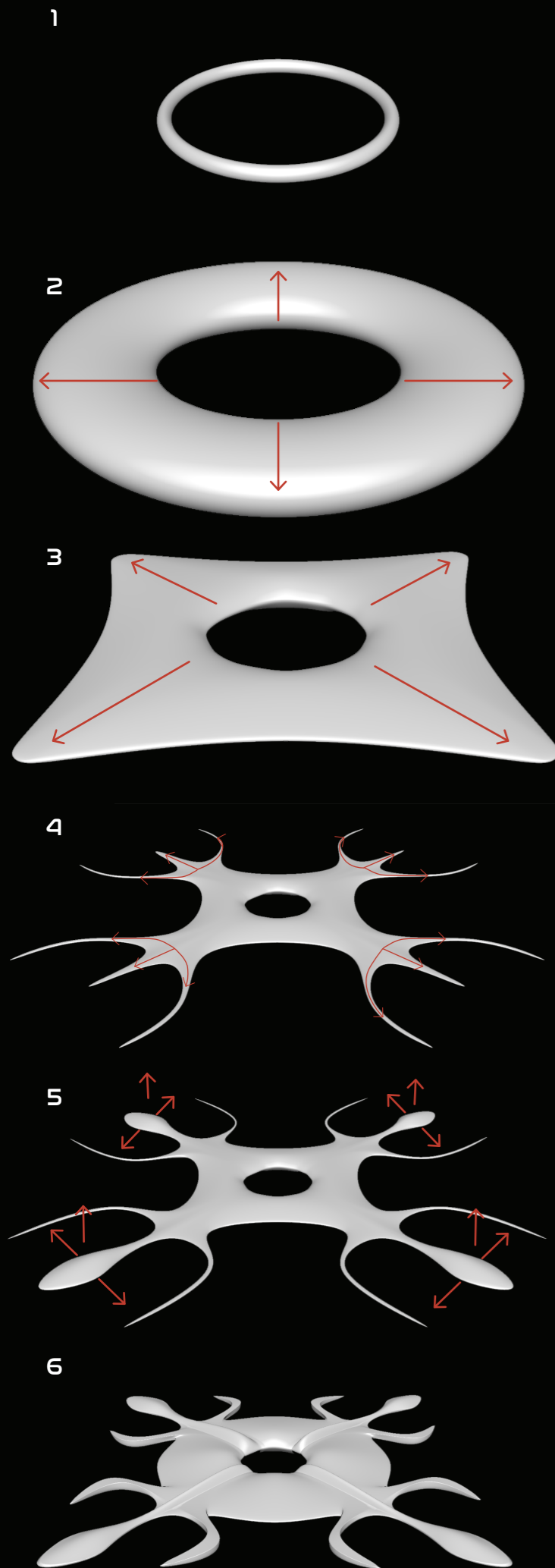
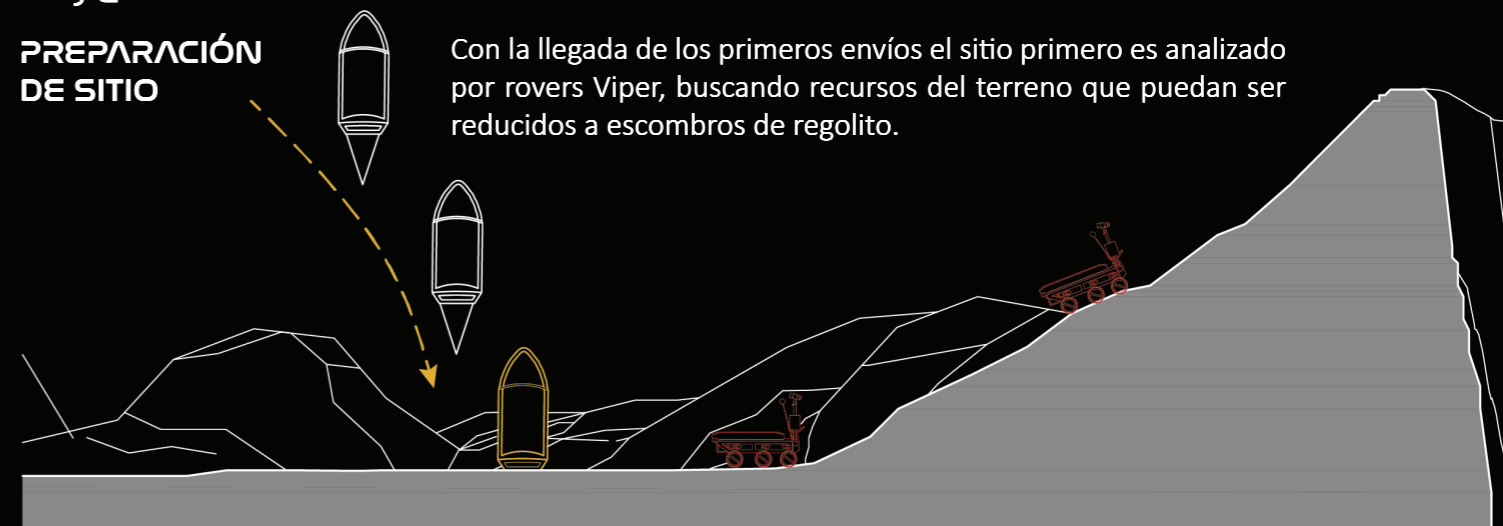


Fig 3: Estrategias de diseño.

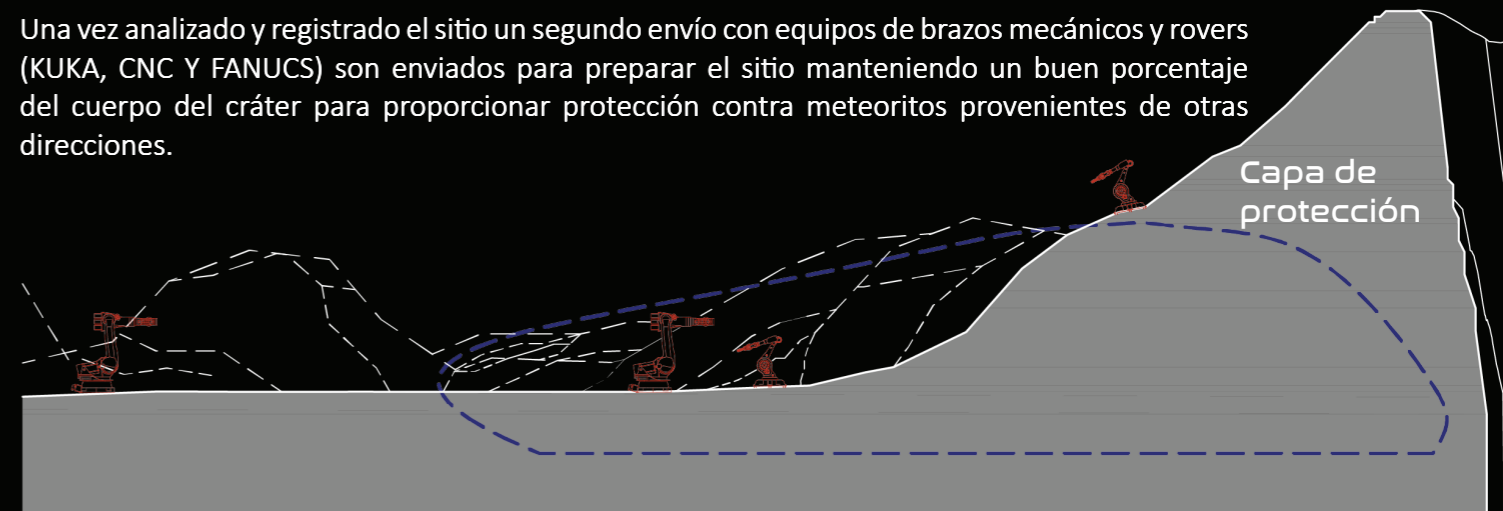
## 7.4) ¿CÓMO CONSTRUIR EN LA LUNA?

### PREPARACIÓN DE SITIO

Con la llegada de los primeros envíos el sitio primero es analizado por rovers Viper, buscando recursos del terreno que puedan ser reducidos a escombros de regolito.

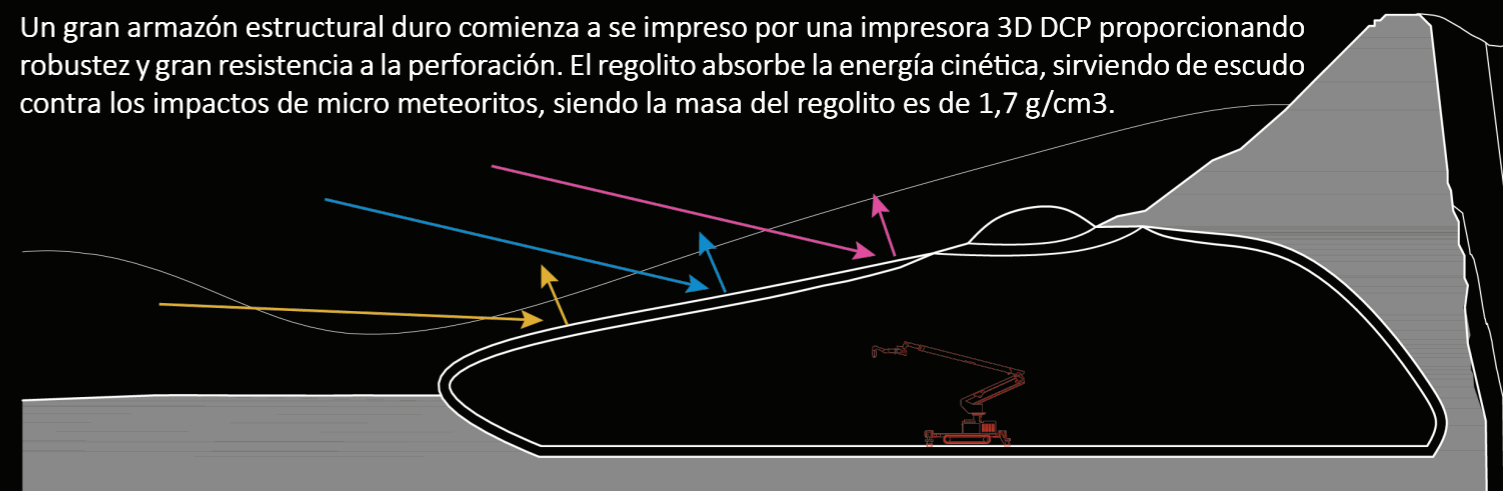


Una vez analizado y registrado el sitio un segundo envío con equipos de brazos mecánicos y rovers (KUKA, CNC Y FANUCS) son enviados para preparar el sitio manteniendo un buen porcentaje del cuerpo del cráter para proporcionar protección contra meteoritos provenientes de otras direcciones.



### IMPRESIÓN 3D CON REGOLITO LUNAR

Un gran almacén estructural duro comienza a ser impreso por una impresora 3D DCP proporcionando robustez y gran resistencia a la perforación. El regolito absorbe la energía cinética, sirviendo de escudo contra los impactos de micro meteoritos, siendo la masa del regolito es de 1,7 g/cm<sup>3</sup>.



Se construyen pilares anti-clásicos al interior en relación a una cúpula impresa en aerogel para resistir las cargas del cuerpo del cráter que descansan encima de la capa de regolito. El aerogel permite la entrada de luz a las zonas de trabajo del sitio reduciendo el paso de radiación.

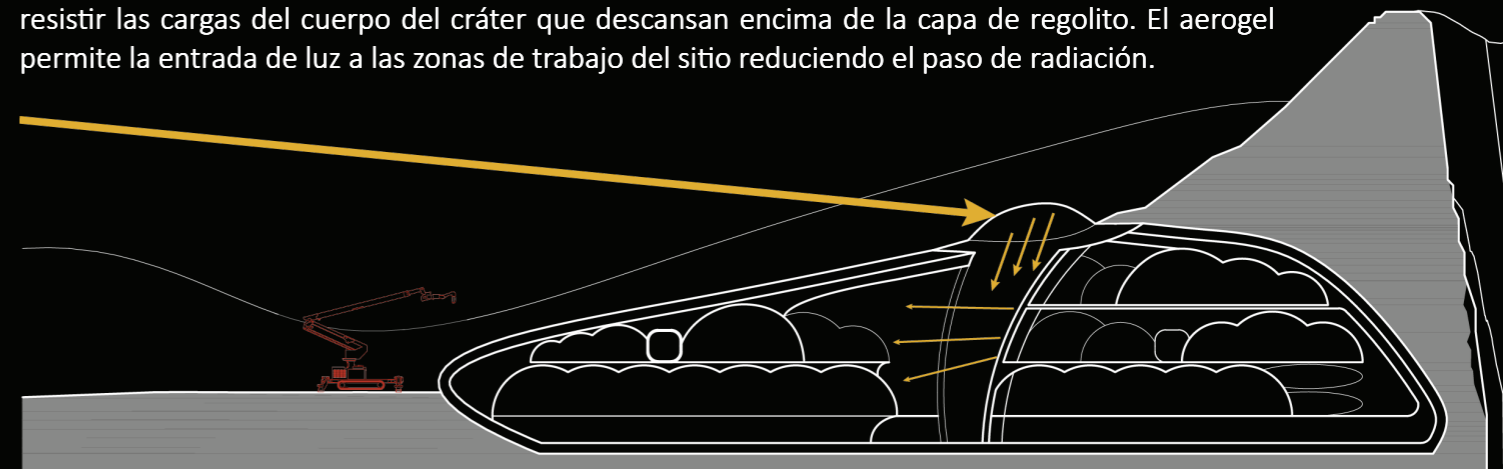


Fig 4: Estrategias de Construcción.

7.5) UNIÓN ENTRE PROGRAMAS

espacios usables						Espacio usable
Programa	Espacio Central	Espacio Central + 1 unión	Central Space + 2 uniones	Central Space + 3 uniones	Central Space + 4 uniones	Programa
Laboratorio/Sitio de trabajo						
Unidades para dormir						
Cocina/Comedor						
Invernadero						
Zonas de aseo						
Unidad Médica						
Sala de estar						
Ocio						
Área de ejercicio						

Fig 5: Unión entre programas.

7.6) DISTRIBUCIÓN PROGRAMÁTICA

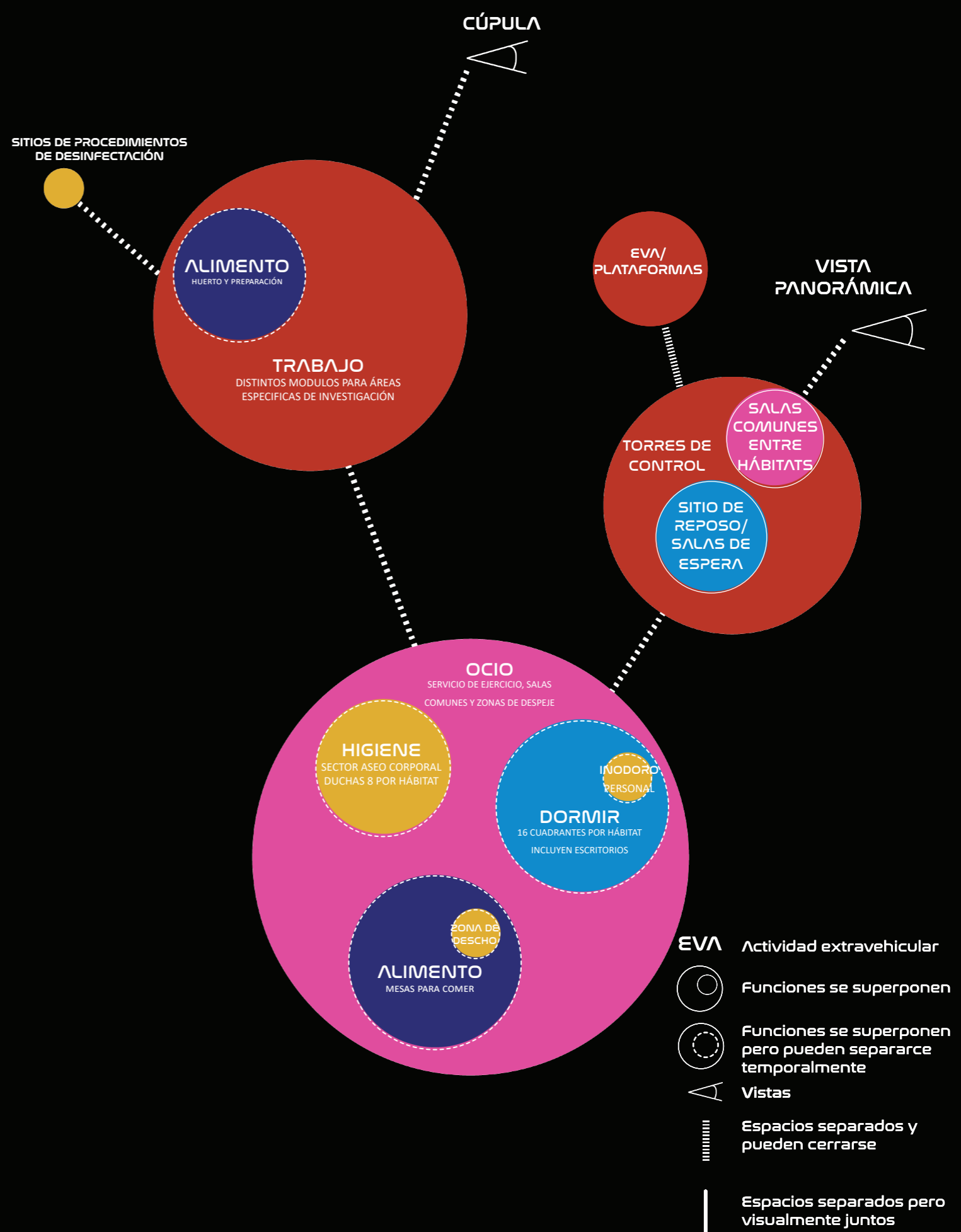


Fig 6: Distribución general de programas.



7.7) EXPLORACIÓN DE FORMA

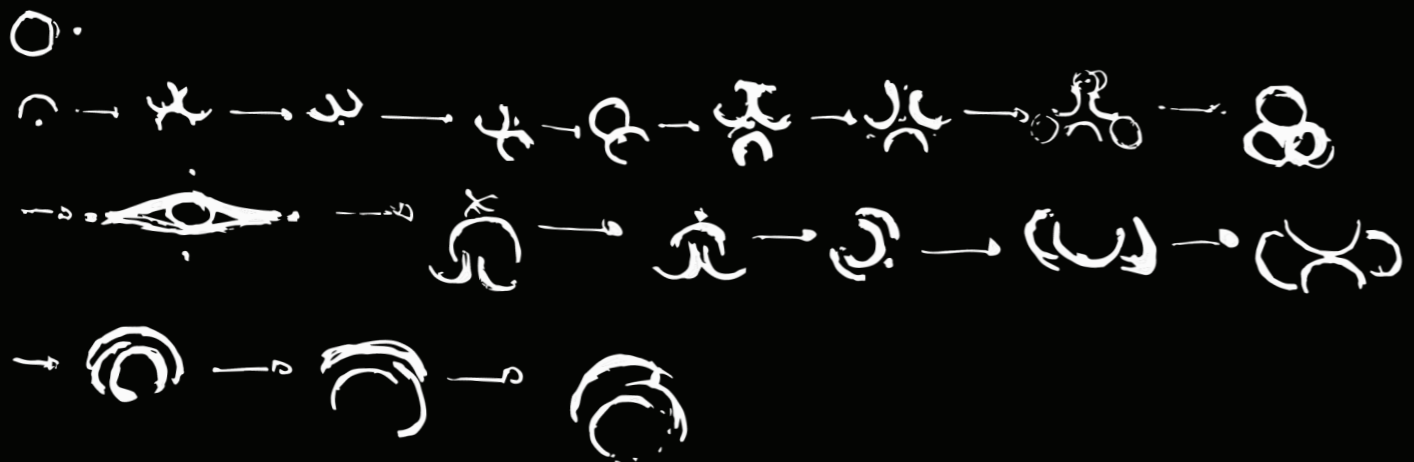
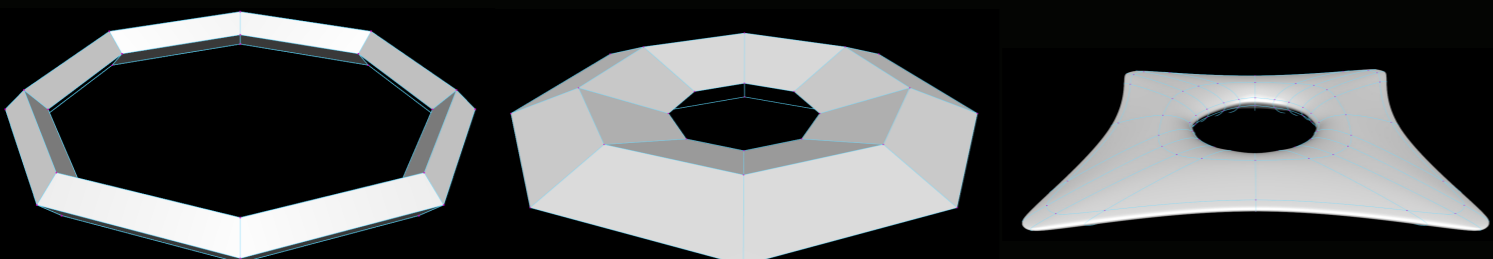


Fig 7: Dibujos de orden entre torre de control y plataformas.

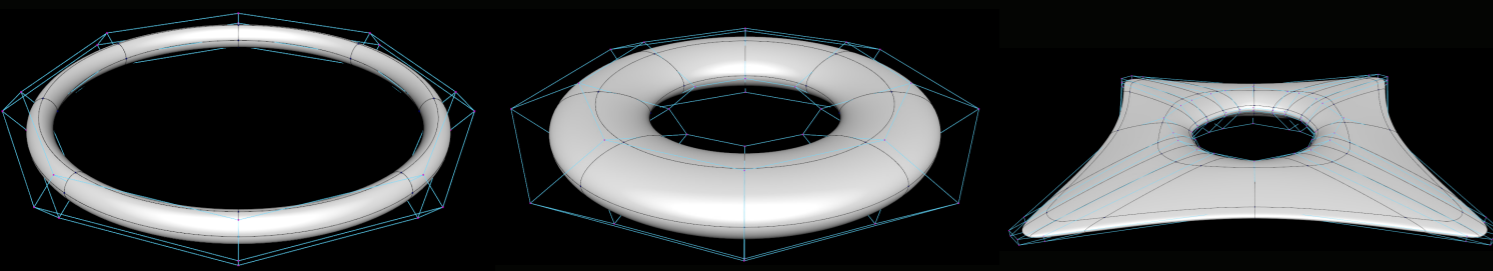
Se partió desde una serie de exploraciones en dibujo donde se necesitaba como mínimo la definición de las plataformas (Círculos) y torres de control (Punto).



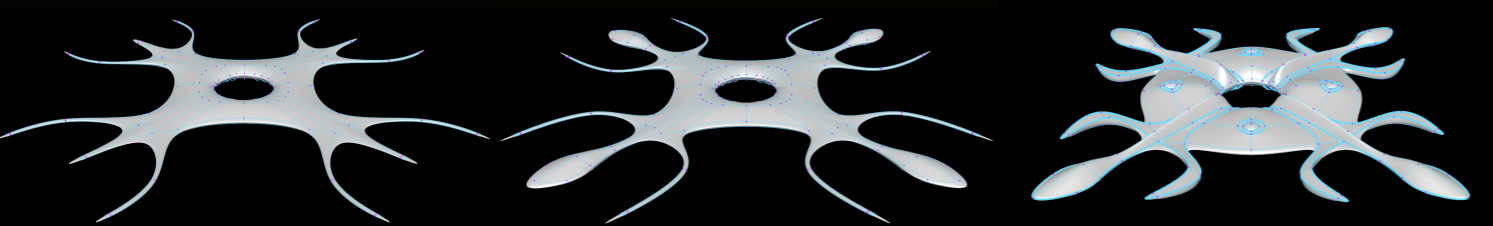
32 vértices, 64 aristas, 32 caras

32 vértices, 64 aristas, 32 caras

120 vértices, 240 aristas, 120 caras



Luego, como la geometría necesaria es cóncava y compleja se tradujeron las ideas al medio digital de Maya, partiendo con la geometría primitiva de un Torus que luego fue mutando según cada estrategia, paralelamente se fue optimizando la geometría ortogonal mediante el algoritmo Catmull-Clark.



200 vértices; 400 aristas; 200 caras

280 vértices; 560 aristas; 280 caras

336 vértices; 672 aristas; 336 caras

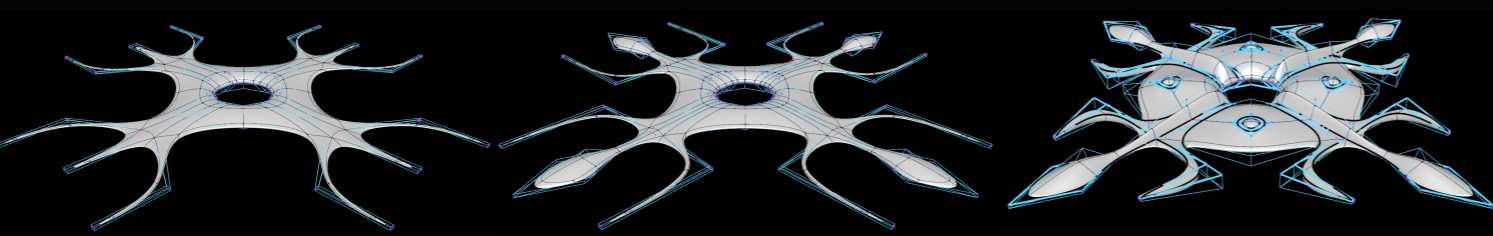


Fig 8: Registro de exploración de forma en medio digital.



Tras el proceso de modelado finalizado se hizo una serie de pruebas en impresión 3D con el programa CURA, probando con dos fases finales de la geometría de la propuesta para observar como los sistemas de impresión 3D procesan geometrías complejas, además se hicieron propuesta en corte para probar distintos rellenos entre los espesores de las capas de la propuesta. Los resultados ofrecieron una escala entendimiento de tiempos y cantidades de material que varía según la geometría propuesta, dando índices de como optimizar su uso.

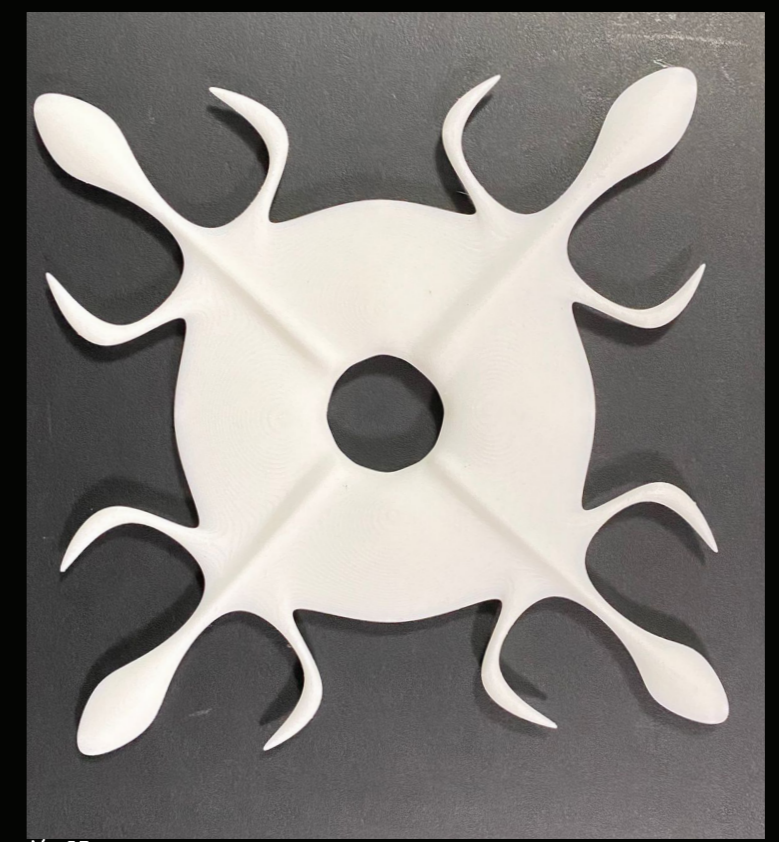


Fig 9/10: Modelos de pruebas de impresión 3D

La prueba con geometría cubica fue hecha con 10% de relleno, la cual fue igual de firme que la de giroide demorándose la mayor cantidad de tiempo (4 horas y 23 minutos) y utilizando 31 gramos de filamento.

La prueba con geometría de giroide fue hecha con 10% de relleno, la cual fue igual de firme que la cubica, pero teniendo el tiempo y cantidad de filamento utilizado más óptimo de las tres pruebas (4 horas y 2 minutos) y utilizando 29 gramos de filamento.

Otro aspecto interesante, fue la ubicación de las ultimas capas de impresión terminando en punto, donde existe una menor cantidad de material. Ofreciendo ideas de ubicación de estructuras verticales y vanos para ventanas.

La prueba con geometría de concéntrica fue hecha con 40% de relleno para conseguir estabilidad en la pieza. Si bien fue la menos firme, un aspecto interesante fue la capacidad de contracción simulando un acolchado. Demoró 4 horas y 5 minutos y utilizó la mayor cantidad de filamento de las tres pruebas 35 gramos de filamento.



Fig 12: Prueba de relleno cubica.

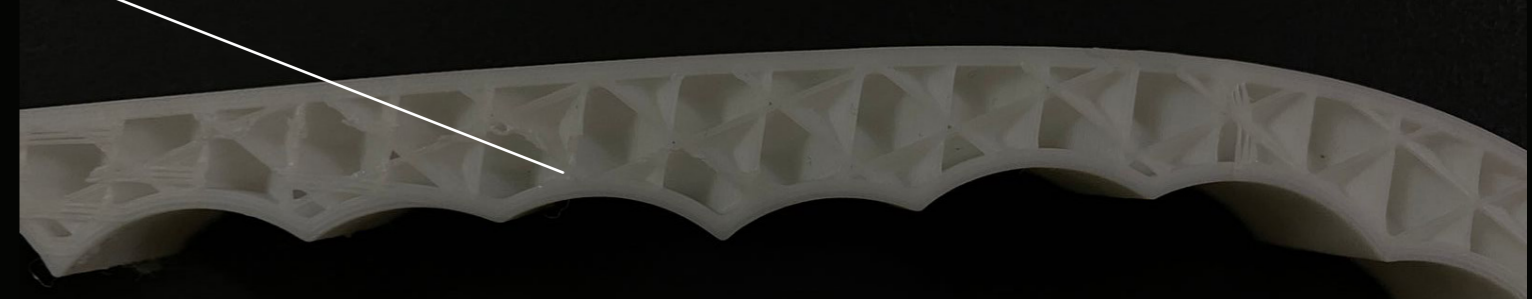


Fig 13: Detalle de prueba de relleno cubica.



Fig 14: Prueba de relleno de giroide.



Fig 15: Detalle de prueba de relleno de giroide.



Fig 16: Prueba de relleno concéntrica.



Fig 17: Detalle de prueba de relleno de concéntrica.

Fig 11: Detalle de prueba de segundo modelo impreso.

7.8) PLANIMETRÍA

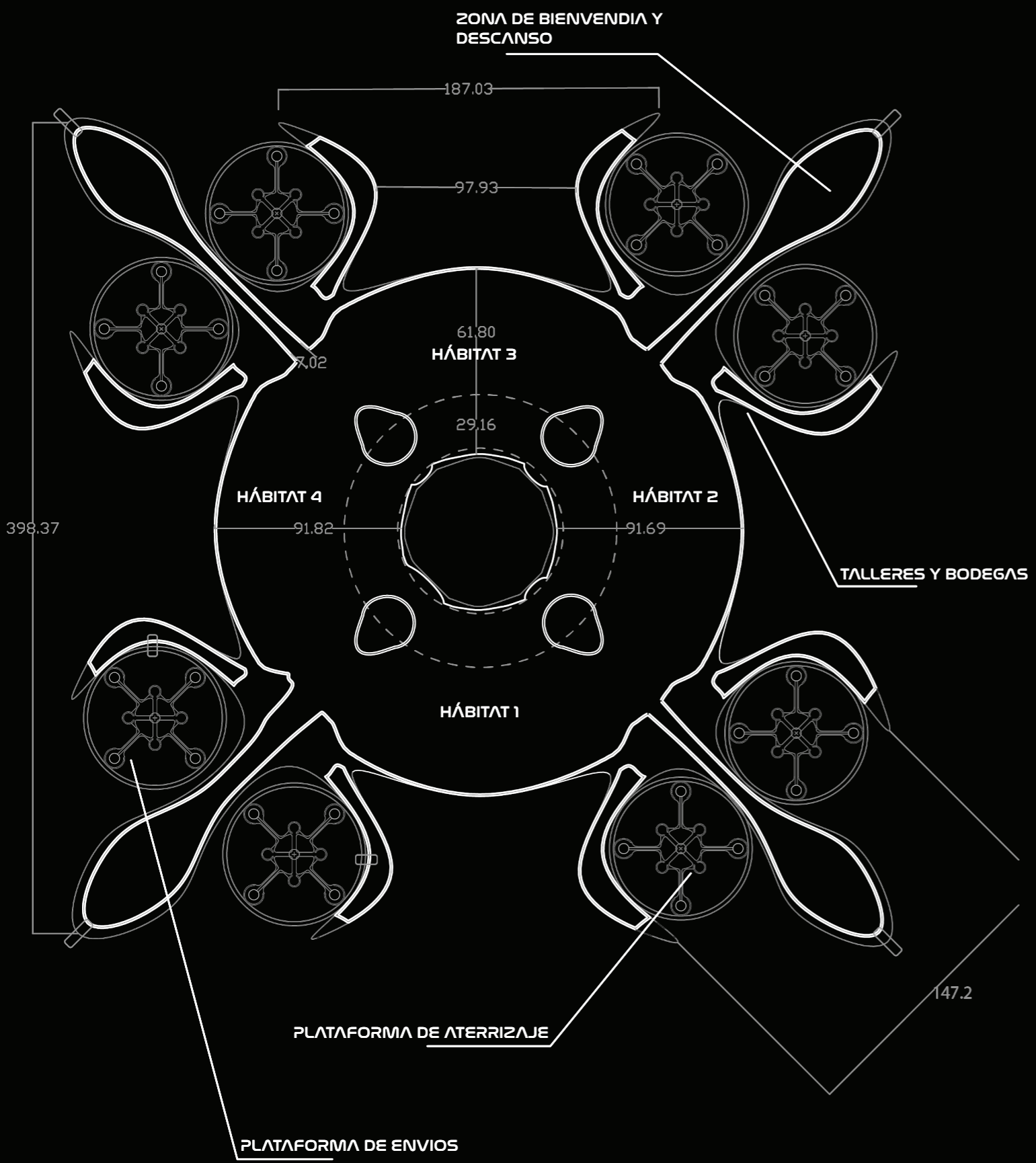


Fig 18: Planta Nivel 1. Esc. 1:2500

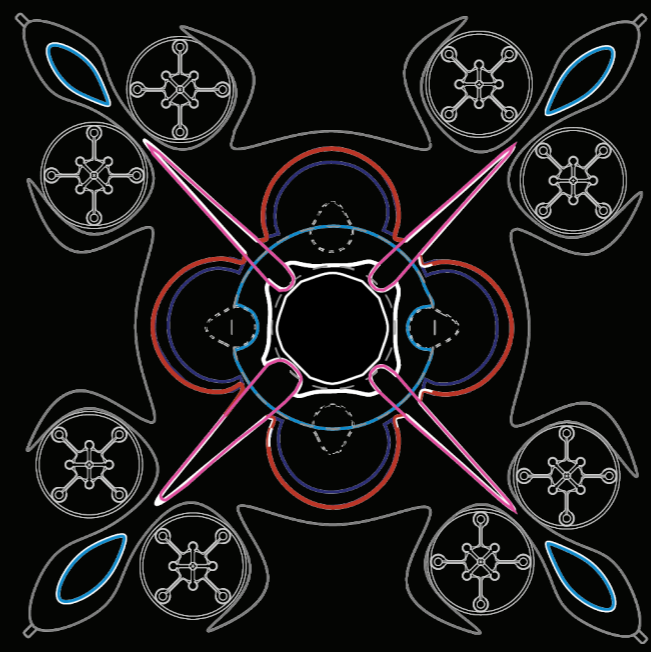


Fig 19: Planta Nivel 2. Esc. 1:5000

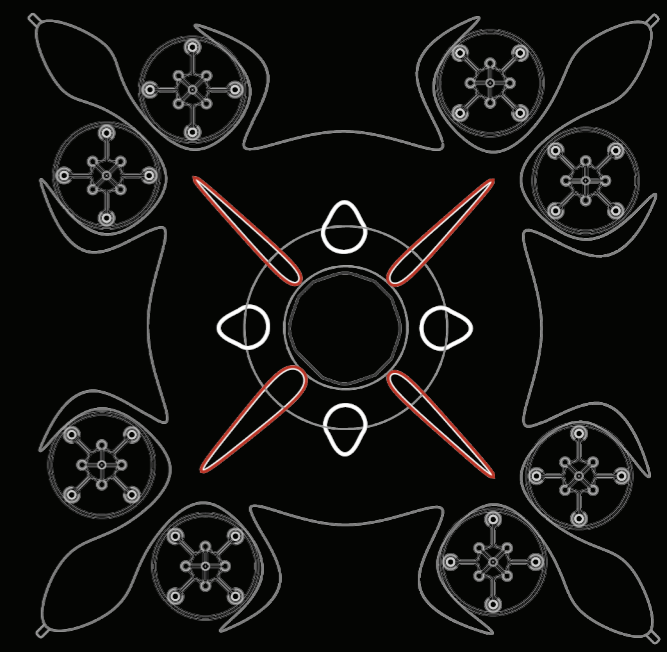


Fig 20: Planta Nivel 3. Esc. 1:5000

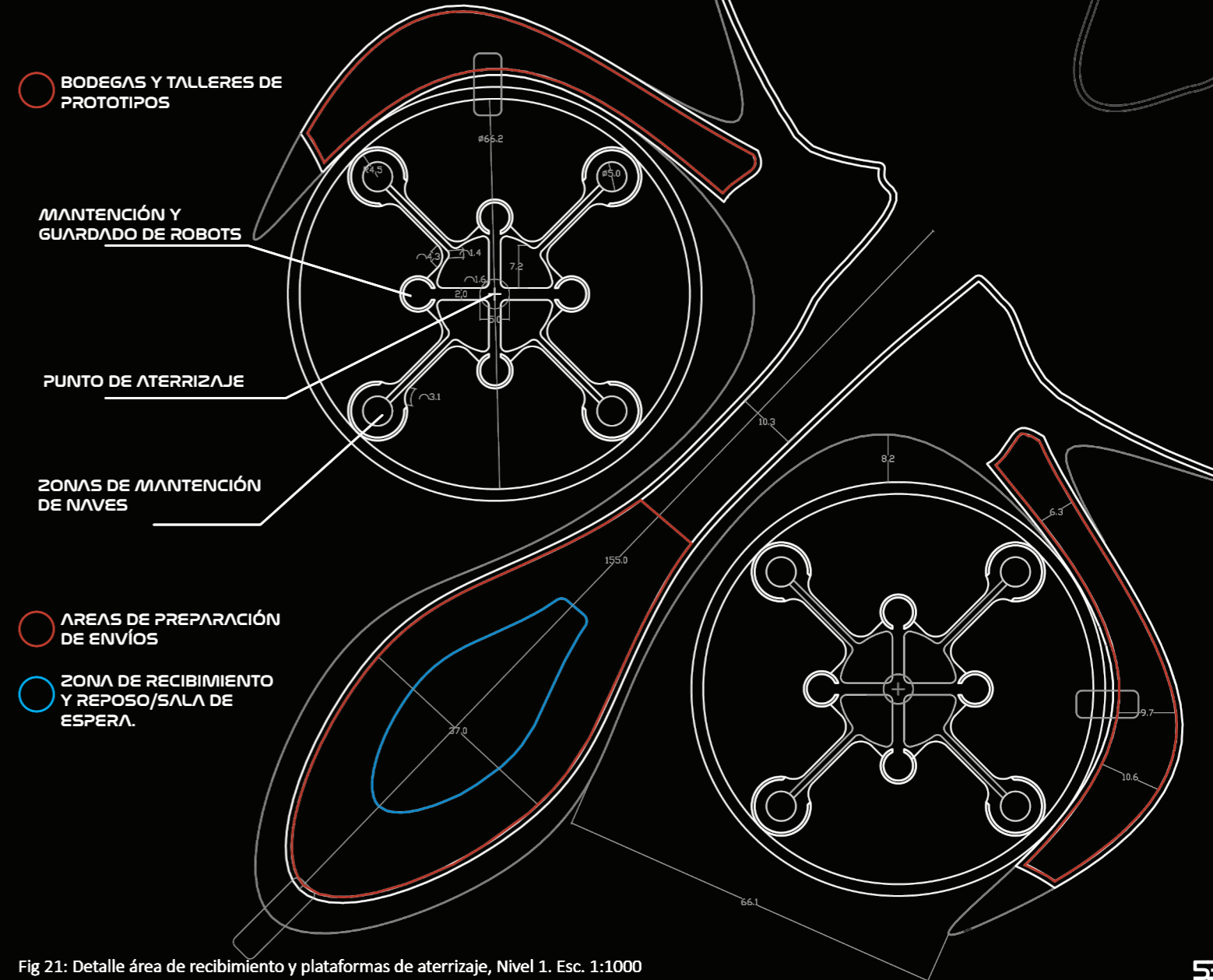


Fig 21: Detalle área de recibimiento y plataformas de aterrizaje, Nivel 1. Esc. 1:1000

- TORRES DE CONTROL  
MODULOS DE LOGÍSTICA  
TALLERES DE IMPESIÓN 3D
- ENFERMERÍA
- SALAS DE ESTAR  
CONEXIÓN ENTRE  
HABITATS

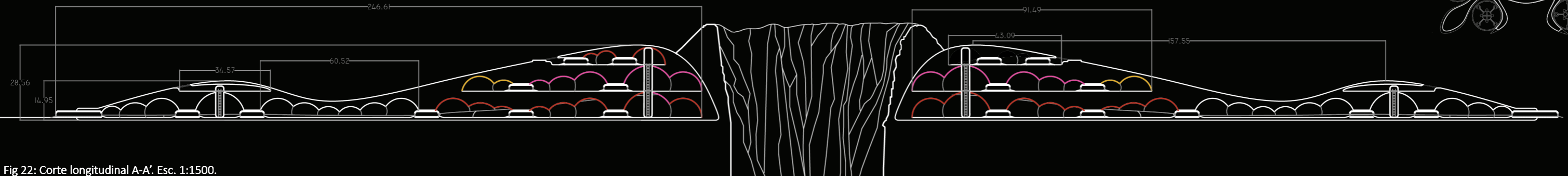
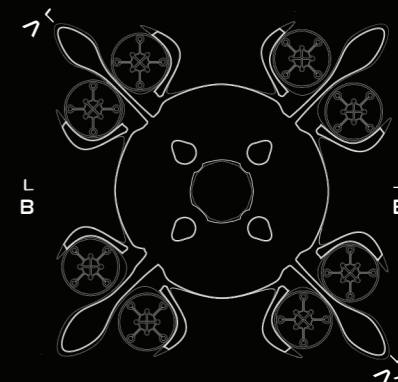


Fig 22: Corte longitudinal A-A'. Esc. 1:1500.

LUZ CONSTANTE

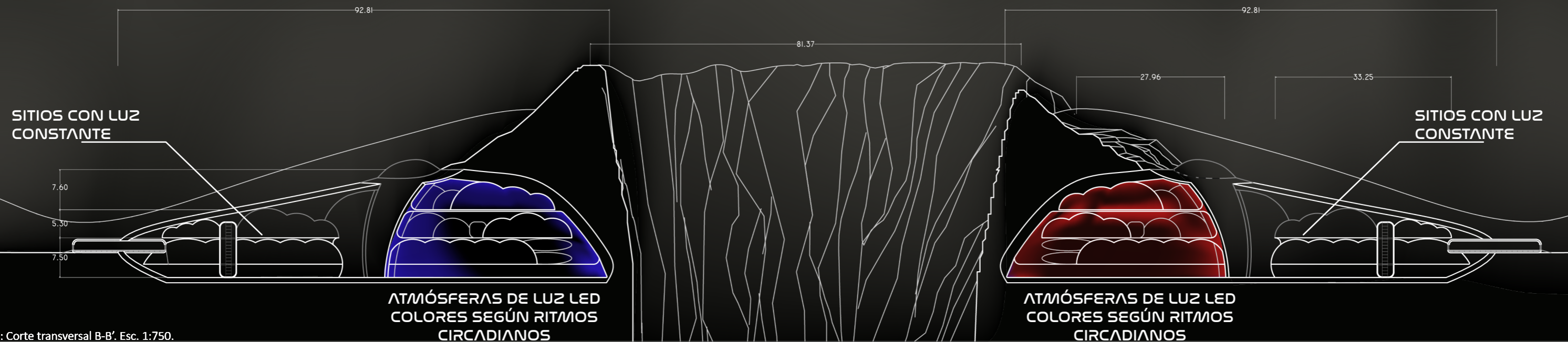


Fig 23: Corte transversal B-B'. Esc. 1:750.

- LABORATORIOS  
MODULOS DE CIENCIA  
MODULOS DE ESTUDIOS  
SALAS DE REUNIÓN
- MODULOS DE DUCHAS  
ÁREA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS
- ZONAS DE EJERCICIO  
ÁREAS DE DESPEJE  
ESPACIOS DE INTERCAMBIO CULTURAL
- MODULOS DE DORMITORIOS
- HUERTOS  
PREPARACIÓN DE ALIMENTOS  
COMEDORES

- ÁREA DE PREPARACIÓN  
PARA SALIDAS A TERRENO
- PABELLÓN DE EMERGENCIAS
- SALAS DE ESTAR  
ESPACIOS DE OCIO
- ZONA DE RECIBIMIENTO  
SALAS DE ESPERA

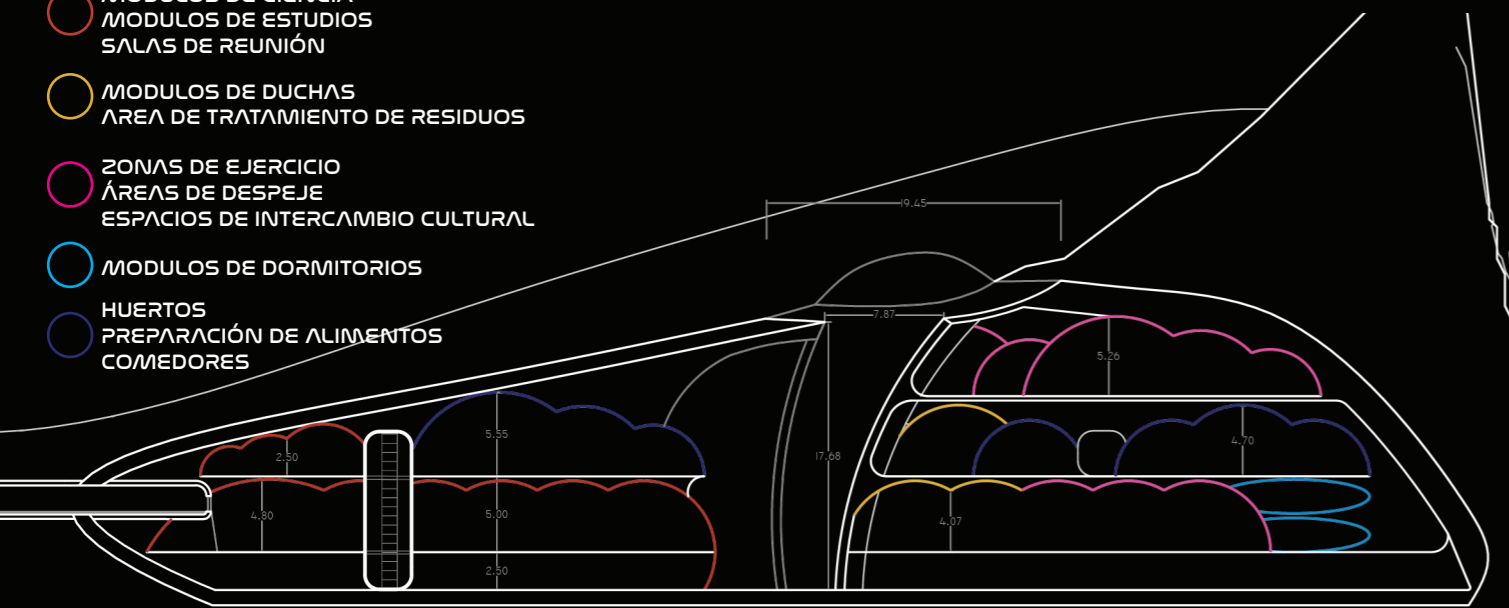


Fig 24: Detalle de hábitat. Esc. 1:500.

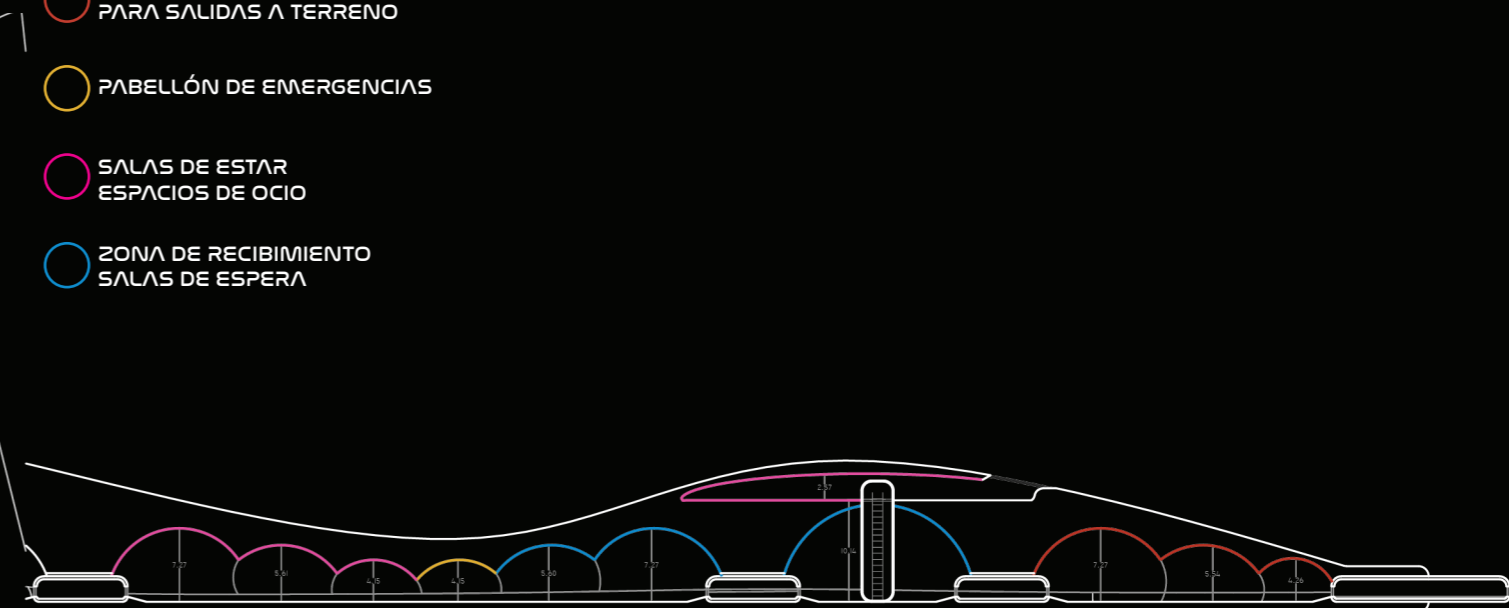
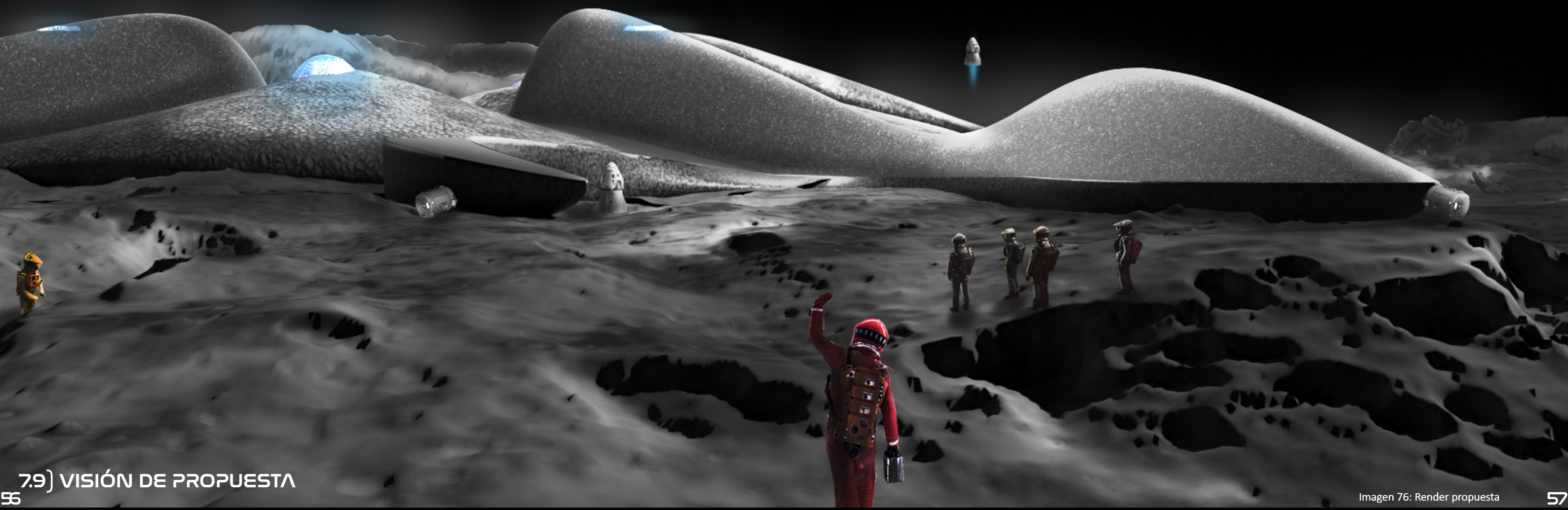


Fig 24: Detalle de área de recibimiento. Esc. 1:750



## 8.1) FUENTES DE IMAGENES

- Cubierta (elaboración propia)
- Fuente: https://www.institut-lumiere.org/actualités/50-ans-d-un-mythe.html
- Fuente: https://www.nytimes.com/2018/05/10/science/2001-a-space-odyssey-kubrick.html
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/great-moon-hoax-was-simple-sign-its-time-180955761/
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://www.imdb.com/title/tt0000417/mediaviewer/rm3786067200/?ref\_=tt\_md\_6
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/Tsiolkovsky.html
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://www.britannica.com/technology/Nike-missile
- Fuente: https://txmn.org/lindheimer/planetary-geology-and-lunar-rocks/
- Fuente: https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/quien-llego-primero-la-luna-se-cumplen-60-anos-del-arribo-una-nave-rusa-al-satelite/468146/
- Fuente: https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/
- Fuente: https://www.nasa.gov/50th/favpic/moonFootprint.html
- Fuente:https://www.nasa.gov/centers/marshall/history/images/this-week-in-nasa-history-sts-71-lanches-june-27-1995.html
- Fuente: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1969-059C
- Fuente: https://skyandtelescope.org/astronomy-news/did-the-moon-come-fromearth/
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\_feature\_1217.html
- Fuente: https://www.gutenberg.org/files/44278/44278-h/44278-h.htm
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://news.azpm.org/p/newsfeature/2019/11/18/161850-uas-special-connection-with-the-second-moon-landing/
- Fuente: https://archive.org/details/moonbriefhistory0000brun/mode/2up?view=theater (libro: Brunner, B. (2010). Moon: A Brief History. Yale University Press)
- Fuente: https://space.nss.org/lunar-bases-and-settlements/
- Fuente: https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/great-moon-hoax-was-simple-sign-its-time-180955761/
- Fuente: https://www.inverse.com/article/13003-the-mysterious-genius-of-stanley-kubrick-s-2001-a-space-odyssey
- Fuente: https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/030953.html
- Fuente: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/colon-y-reyes-catolicos\_10372
- Fuente: https://enciclopedia.itaucultural.org.br/obra6248/descoberta-do-brasil
- Fuente: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:La\_conquista\_del\_Colorado.jpg
- Fuente: https://www.filmposter.net/en/2001-a-space-odyssey-original-release-german-doublepanel-movie-poster-6039.html
- Fuente: https://www.imdb.com/title/tt20193012/
- Fuente: http://odownmagazine.com/pulse/don-davis-x-rick-guidice
- Fuente: https://www.bbc.co.uk/programmes/articles/snYy5LHkHZjtKpfB0v5cl/yesterday-tomorrow-the-art-of-2001-a-space-odyssey
- Fuente: https://www.spacex.com
- Fuente: https://www.nasa.gov/mission\_pages/station/structure/elements/space-station-assembly
- Fuente: Handbook for New Actors in Space. (Libro)
- Fuente: https://www.nasa.gov/feature/nasa-outlines-lunar-surface-sustainability-concept
- Fuente: https://www.nasa.gov/specials/artemis/
- Fuente: https://www.nature.com/articles/d41586-022-04369-x
- Fuente: https://www.nasa.gov/gateway
- Fuente: https://www.nasa.gov/feature/nasa-ames-astrogram-august-2018/
- Fuente: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/a\_sustained\_lunar\_presence\_nspc\_report4220final.pdf
- Fuente: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\_feature\_774.html
- Fuente: https://www.archdaily.com/934590/in-antarctica-architecture-is-heating-up/5e58fab26ee67e0f01000194-in-antarctica-architecture-is-heating-up-image
- Fuente: Imagen Facilitada por arquitecto Gonzalo Muñoz de su investigación de Título.
- Fuente: https://www.lpi.usra.edu/lunar/lunar-south-pole-atlas/
- Fuente: https://www.spacex.com/vehicles/dragon/
- Fuente: https://www.iconbuild.com/off-world-construction
- Fuente: https://www.media.mit.edu/projects/3d-printed-hemi-ellipsoidal-dome/overview/
- Fuente: https://www.nasa.gov/viper
- Fuente: https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation
- Fuente: https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation
- Fuente: https://www.aispacefactory.com/marsha
- Fuente: https://www.aispacefactory.com/marsha
- Fuente: https://www.hassellstudio.com/project/nasa-3d-printed-habitat-challenge
- Fuente: https://www.hassellstudio.com/project/nasa-3d-printed-habitat-challenge
- Fuente: http://www.marsicehouse.com
- Fuente: http://www.marsicehouse.com
- Fuente: https://www.som.com/research/moon-village/
- Fuente: https://www.som.com/research/moon-village/
- Fuente: https://saga.dk/projects/lunark
- Fuente: https://saga.dk/projects/lunark
- Fuente: https://wiki.ead.pucv.cl/Frei\_Otto,\_Antoni\_Gaudi,\_Richard\_Buckminster:\_estructuras\_eficientes
- Fuente: https://wiki.ead.pucv.cl/Frei\_Otto,\_Antoni\_Gaudi,\_Richard\_Buckminster:\_estructuras\_eficientes
- Fuente: https://wiki.ead.pucv.cl/Frei\_Otto,\_Antoni\_Gaudi,\_Richard\_Buckminster:\_estructuras\_eficientes
- Fuente: Hare, T.M., Hayward, R.K., Blue, J.S., Archinal, B.A., Robinson, M.S., Speyerer, E.J., Wagner, R.V., Smith, D.E., Zuber, M.T., Neumann, G.A., and Mazarico, E., 2015, Image mosaic and topographic map of the moon: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3316, 2 sheets, http://dx.doi.org/10.3133/sim3316.
- Fuente: Hare, T.M., Hayward, R.K., Blue, J.S., Archinal, B.A., Robinson, M.S., Speyerer, E.J., Wagner, R.V., Smith, D.E., Zuber, M.T., Neumann, G.A., and Mazarico, E., 2015, Image mosaic and topographic map of the moon: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3316, 2 sheets, http://dx.doi.org/10.3133/sim3316.
- Fuente: Elaboración propia.
- Fuente: Elaboración Propia.

## 8.2) FUENTES DE TABLAS

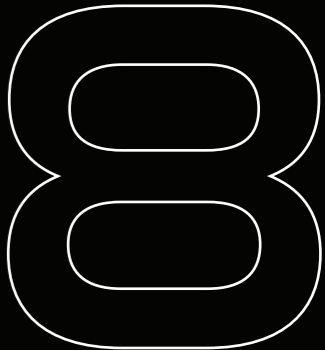
- Vehículos de lanzamiento (Elaboración Propia).
- Vehículos de naves de envío (Elaboración Propia).

# 8.3) FUENTES DE ESQUEMAS

- Entradas de luz y zonas de sombra permanente en cráteres (Elaboración propia).
- Fuente: Living on the moon with LED technologies.
- Variables de riesgo. (Elaboración Propia).
- Mapa de consideraciones para el hábitat lunar (Elaboración propia).
- Análisis de programa y estructuras de referentes (Elaboración propia).
- Programa hábitat lunar Apollo (Elaboración propia basado en esquemas de Valentina Sumini Explore moon architecture [Diapositivas]).
- Programa Estación Espacial MIR (Elaboración propia basado en esquemas de Valentina Sumini Explore moon architecture [Diapositivas]).
- Programa de Estación espacial Skylab (Elaboración propia basado en esquemas de Valentina Sumini Explore moon architecture [Diapositivas]).
- Programa de Estación espacial internacional (ISS) (Elaboración propia basado en esquemas de Valentina Sumini Explore moon architecture [Diapositivas]).
- Formulación de propuesta (Elaboración propia).
- Etapas de propuesta (Elaboración propia).
- Sitios de emplazamiento (Elaboración propia).
- Sitio de emplazamiento (Elaboración propia).
- Sistemas estructurales: Clase 2 y 3 (construcción en sitio con sistemas basados en regolito + sistemas modulares traídos de la tierra) (Elaboración propia).
- Diferencia de suspenso y movilidad de cuerpo en microgravedad (Elaboración propia).

# 8.4) FUENTES DE FIGURAS

- ZOOM X2 cotas de nivel de cráter Clavius (Elaboración propia).
- ZOOM X3 cotas de nivel de sitio (Elaboración propia).
- Estrategias de diseño (Elaboración propia).
- Estrategias de Construcción (Elaboración propia).
- Unión entre programas (Elaboración propia).
- Distribución general de programas (Elaboración propia).
- Dibujos de orden entre torre de control y plataformas (Elaboración propia).
- Registro de exploración de forma en medio digital (Elaboración propia).
- Modelos de pruebas de impresión 3D (Elaboración propia).
- Modelos de pruebas de impresión 3D (Elaboración propia).
- Detalle de prueba de segundo modelo impreso.
- Prueba de relleno cubica (Elaboración propia).
- Detalle de prueba de relleno cubica (Elaboración propia).
- Prueba de relleno de giroide (Elaboración propia).
- Detalle de prueba de relleno de giroide (Elaboración propia).
- Prueba de relleno concéntrica (Elaboración propia).
- Detalle de prueba de relleno de concéntrica (Elaboración propia).
- Planta Nivel 1. Esc. 1:2500 (Elaboración propia).
- Planta Nivel 2. Esc. 1:5000 (Elaboración propia).
- Planta Nivel 3. Esc. 1:5000 (Elaboración propia).
- Detalle área de recibimiento y plataformas de aterrizaje, Nivel 1. Esc. 1:1000 (Elaboración propia).
- Corte longitudinal A-A´. Esc. 1:1500 (Elaboración propia).
- Corte transversal B-B´. Esc. 1:750 (Elaboración propia).
- Detalle de hábitat. Esc. 1:500 (Elaboración propia).



## 8.5) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brunner, B. (2010). *Moon: A Brief History*. Yale University Press.
- De Botton, A. (2003). *The Art of Travel*. Penguin UK.
- Council, N. R., Sciences, D. O. E. A. P., Board, S. S., & Moon, C. O. T. S. C. F. E. O. T. (2007). *The Scientific Context for Exploration of the Moon*. National Academies Press.
- Darrin, A., & O'Leary, B. L. (2009). *Handbook of Space Engineering, Archaeology, and Heritage*. CRC Press.
- Villanueva, J. (2019, 25 marzo). *Colón y los Reyes Católicos*. *historia.nationalgeographic.com.es*. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/colon-y-reyes-catolicos\\_10372](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/colon-y-reyes-catolicos_10372)
- Redondo Gómez, M. (2014). *Pasado, Presente y Futuro de las Ciudades-Puerto en América Latina*. *PORTUS: The online magazine of RETE2282*, 27, 2282-5789. <https://portusonline.org/pasado-presente-y-futuro-de-las-ciudades-puerto-en-america-latina-2/>
- NASA. (2005). *International Space Station [NASA]*. [https://www.nasa.gov/pdf/55411main\\_28%20ISS.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/55411main_28%20ISS.pdf)
- D. Griffin, M. (2007). *Space Exploration: Real Reasons and Acceptable Reasons National Aeronautics and Space Administration Quasar Award Dinner Bay Area Houston Economic Partnership*. [https://www.nasa.gov/pdf/168084main\\_griffin\\_quasar\\_award.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/168084main_griffin_quasar_award.pdf)
- Simpson, M. K., & Weeden, B. C. (2017). *Handbook for New Actors in Space*.
- *NASA's Plan for Sustained Lunar Exploration and Development*. (2020). [Pdf]. [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/a\\_sustained\\_lunar\\_presence\\_nspc\\_report4220final.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/a_sustained_lunar_presence_nspc_report4220final.pdf)
- *Artemis Plan: NASA's Lunar Exploration Program Overview*. (2020).
- *High-Level Advisory Group on Human and Robotic Space Exploration for Europe*. (2023). *Revolution Space: Europe's Mission for Space Exploration*. [https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/h-lag\\_brochure.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/h-lag_brochure.pdf)
- *THE ARTEMIS ACCORDS, PRINCIPLES FOR COOPERATION IN THE CIVIL EXPLORATION AND USE OF THE MOON, MARS, COMETS, AND ASTEROIDS FOR PEACEFUL PURPOSES* (2023).
- Davies, B. (2022, 4 febrero). *Living and working in Antarctica*. *Antarctic Glaciers*. Recuperado 19 de mayo de 2023, de <https://www.antarcticglaciers.org/antarctica-2/people-in-antarctica/living-and-working/#:~:text=Working%20deep%20field-,Introduction,are%20operated%20all%20year%20around>.
- Ruess, F., Schaezlin, J., & Benaroya, H. (2006). *Structural Design of a Lunar Habitat*. *Journal of Aerospace Engineering*, 19(3), 133-157. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0893-1321\(2006\)19:3\(133\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0893-1321(2006)19:3(133))
- Svs. (2021, 1 abril). *NASA Scientific Visualization Studio | Shadows near the Moon's South Pole*. *SVS*. <https://svs.gsfc.nasa.gov/4893#:~:text=At%20the%20Moon%27s%20poles%2C%20the,with%20the%20changing%20solar%20azimuth>.
- Spudis, D., Plescia, J., Bussey, B., Beauvivre, S., & Space Exploration Institute and Micro-cameras & Space Exploration [AMIE team]. (2008). *THE GEOLOGY OF THE SOUTH POLE OF THE MOON AND AGE OF SHACKLETON CRATER*. *Lunar and Planetary Science*, XXXIX.
- SAGA Space Architects, Yujileds, & Han, D. (s. f.). *Living on the moon with LED technologies*. <https://www.yujiintl.com>
- Space X. (2021). *Falcon's user guide*. <https://www.spacex.com>
- Ruede, A.-M., Ivanov, A. B., & Leonardi, C. (2018). *Design of a Mars Research Base with Crew*. *2018 AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition*. doi:10.2514/6.2018-5311
- Sumini, V., MIT MEDIA LAB, & POLITECNICO DI MILANO. (s. f.). *Explore moon architecture [Diapositivas]*. <https://digitalfutures.international>.
- Benvenuti, S., Ceccanti, F., & De Kestelier, X. (2013). *Living on the Moon: Topological Optimization of a 3D-Printed Lunar Shelter*. *Nexus Network Journal*, 15(2), 285-302. <https://doi.org/10.1007/s00004-013-0155-7>
- SOM, Inocente, D., Massachusetts Institute of Technology [MIT], MIT Media Lab, & European Space Agency [ESA]. (2019). *Master planning and space architecture for a moon village*. *International Astronautical Congress*, 70. <https://www.som.com/research/moon-village/>