

# Proyecto FOCARIS, habitar la Luna

## *FOCARIS project, inhabit the Moon*

Yasmina Eid-Macheh-Sánchez<sup>(\*)</sup>, Juanjo García-Valverde<sup>(\*\*)</sup>, Jesús Martínez-Frías<sup>(\*\*\*)</sup>, Vicente Blanca-Giménez<sup>(\*\*\*\*)</sup>

### RESUMEN

Contar con nuevos hábitats frente a la colonización de otros planetas surge de la motivación innata en los seres humanos de “traspasar fronteras”, llevando implícita la persecución del avance científico, tecnológico y sociocultural por medio del estudio y puesta en marcha de nuestras capacidades junto a la búsqueda de desarrollo. Así, Stephen Hawking encontraba necesario “ir donde nadie ha ido nunca aún”, con el fin de poder sobrevivir frente a “peligros y desastres” múltiples. En este sentido, proyectar y construir en base a las necesidades de máxima seguridad, confort, y mínimo consumo energético se hace necesario para cumplir, como decía Alvar Aalto (pionero en la arquitectura moderna), con “las plenas exigencias de una sociedad positiva”. Reflexiones estas, que ayudaron a plantear uno de los diez hábitats finalistas de un concurso internacional para el diseño de un futuro hábitat extraterrestre pensado con el fin de albergar vida humana en nuestro satélite, la Luna, denominada FOCARIS.

**Palabras clave:** habitar la luna; hábitats extraterrestres; arquitectura planetaria; arquitectura espacial.

### ABSTRACT

*New habitats in the face of the colonization of other planets arise from the innate motivation of human beings to “cross borders”, implicitly leading to the pursuit of scientific, technological and sociocultural advancement through the study and implementation of our capabilities along with the pursuit of development. Thus, Stephen Hawking found it necessary to “go where no one has ever gone before”, in order to be able to survive in the face of multiple “dangers and disasters”, so that designing and building on the basis of the needs of maximum safety, comfort and minimum energy consumption becomes necessary to meet, as Alvar Aalto (pioneer of modern architecture) said, “the full demands of a positive society”, these reflections helped us to design one of the ten finalist habitats in an international competition for the design of a future extraterrestrial habitat specifically designed to house human life on the Moon, named FOCARIS.*

**Keywords:** inhabit the moon; extraterrestrial habitats; planetary architecture; space architecture.

(\*) Arquitecta. Universidad Politécnica de Valencia. Directora de Proyectos en GAREID PROYECTOS, Estudio de Arquitectura Planetaria, Valencia (España).

(\*\*) Arquitecto Técnico e Ing. de Edificación. Director de Ejecuciones de Proyectos en GAREID PROYECTOS, Valencia (España).

(\*\*\*) Dr. Ciencias Geológicas. Investigador Científico, Jefe del Grupo de Investigación de Meteoritos y Geociencias Planetarias del CSIC. Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC-UCM), Madrid (España).

(\*\*\*\*) Dr. Arquitecto. Profesor Titular Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Investigador Instituto COMAV. Universitat Politècnica de València, Valencia (España).

**Persona de contacto/Corresponding author:** [yasmina@gareidproyectos.com](mailto:yasmina@gareidproyectos.com) (Y. Eid-Macheh-Sánchez).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8496-2834> (Y. Eid-Macheh-Sánchez); <https://orcid.org/0000-0002-7858-8479> (J. García-Valverde); <https://orcid.org/0000-0002-2609-4485> (J. Martínez-Frías); <https://orcid.org/0000-0003-3738-6085> (V. Blanca-Giménez)

**Cómo citar este artículo/Citation:** Yasmina Eid-Macheh-Sánchez, Juanjo García-Valverde, Jesús Martínez-Frías, Vicente Blanca-Giménez (2023). Proyecto FOCARIS, habitar la Luna. *Informes de la Construcción*, 75(569): e487. <https://doi.org/10.3989/ic.93103>

**Copyright:** © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 20/01/2022

Aceptado/Accepted: 03/10/2022

Publicado on-line/Published on-line: 27/03/2023

## 1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de contar con hábitats extraterrestres, dada la perseguida búsqueda de la colonización de otros mundos –tanto en el ámbito novelístico de ciencia ficción, como de manera real– bajo la jurisdicción de aquellos organismos oficiales, de diferentes países pertinentes, nace de la motivación innata en los seres humanos de “traspasar fronteras” o alcanzar metas elevadas. Dicho estado, lleva implícito la búsqueda de avance científico, tecnológico y sociocultural con todo lo que conlleva en materia aeroespacial y sanitaria, entre otras, por medio del estudio y de la “puesta en marcha” de nuestras capacidades, es decir, de nuestra búsqueda de avance y desarrollo. Así, pese a contar con la posibilidad de enviar exclusivamente robots a planetas lejanos, pudo expresarse sobre este aspecto Stephen Hawking (1942-2018), según quien, “las misiones con robots son mucho más baratas..., pero no logran atrapar la imaginación de la gente del mismo modo, y tampoco son capaces de extender la especie humana hacia el espacio, algo que debería ser nuestra estrategia a largo plazo. Si queremos sobrevivir durante otro millón de años, tendremos que ir donde nadie ha ido nunca aún. La vida en la Tierra está cada vez más amenazada por peligros y desastres como el calentamiento global, las armas nucleares, virus modificados genéticamente.... Creo que el único futuro del ser humano pasa por viajar al espacio” (1). De este modo, si llega a hacerse realidad el asentamiento humano en otros mundos o colonización, no se deberían olvidar las lecciones aprendidas en materia de vivienda y, a este respecto, Alvar Aalto apuntaba en su texto sobre “El

problema de la vivienda” que, “Cada individuo representa una reserva de energía... Lo que hoy investigamos se puede resumir en lo siguiente: ¿Qué requisitos mínimos hay que establecer en la vivienda, en su construcción y en su consumo interno, para que cumpla las plenas exigencias de una sociedad positiva?” (2), reflexiones que ayudaron a plantear el diseño de una posible futura vivienda espacial pensada específicamente para albergar vida humana en nuestro satélite, la Luna (Figura 1).

**Inicios.** Hasta el momento, se puede señalar, a modo de primer hábitat extraterrestre, al módulo lunar “Eagle” –del Apolo 11–, que aterrizó en la Luna, al sur del Mar de la Tranquilidad (*Mare Tranquillitatis*) el 20 de julio de 1969, donde permanecerían Neil A. Armstrong y Edwin E. Aldrin Jr. durante 21 horas y 36 minutos. Allí trabajaron, se alimentaron y conciliaron 7 horas de sueño, entre otras actividades. A partir de ese momento, las misiones se fueron alargando, en cuanto a tiempo de duración se refiere, hasta llegar a las 75 horas de permanencia en la superficie lunar. La última misión Apolo –A.17 (1972)–, por ejemplo, duró poco más de 3 días, período durante el cual, tanto el comandante de la misión, Eugene A. Cernan, como el piloto del módulo lunar y geólogo, Harrison H. Schmitt –primer y único científico en pisar la Luna–, se convertían entonces en los humanos con mayor tiempo de permanencia en un hábitat emplazado en un cuerpo extraterrestre (3).

Como aportación de la arquitectura en este nuevo campo que se abre, en cuanto a la preparación de misiones espa-

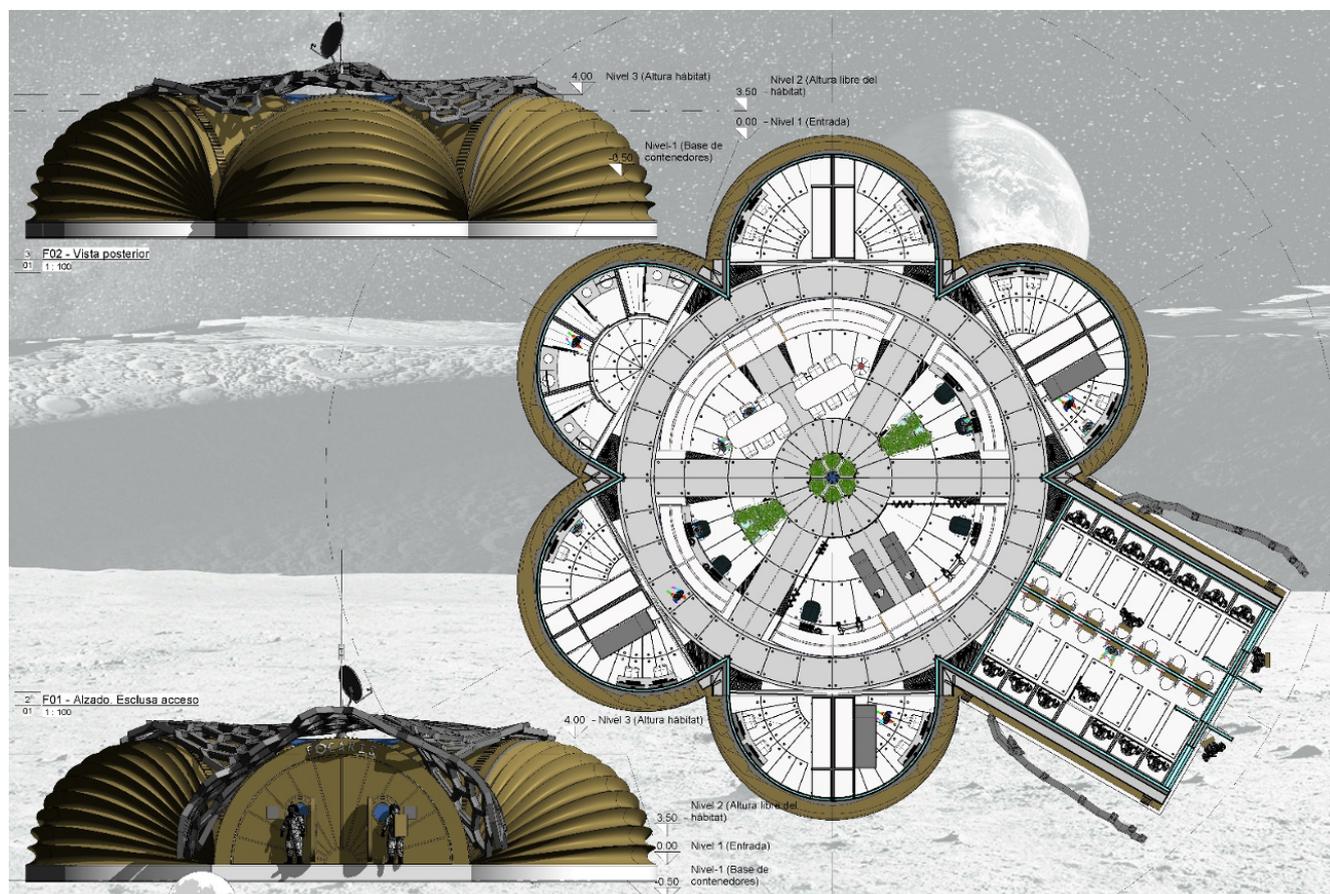


Figura 1. Panel de planta y perspectivas del hábitat proyectado (4).

ciales, cabe destacar, la aportación de la arquitecta Galina Balashova, que sería la primera en formar parte en estos equipos interdisciplinarios, encargados de resolver la habitabilidad de estos recintos. Siendo esta arquitecta, la responsable del diseño del interior tanto de los vehículos espaciales, como de las estaciones orbitales, en el marco del inicio del programa espacial soviético, por medio de la distribución de los espacios destinados a los cosmonautas, teniendo en cuenta además, los colores, las formas y los materiales a emplear para hacer más humanos estos espacios. Diseñó el interior de la nave espacial Soyuz, y el de las estaciones espaciales Saliut y Mir, y fue la asesora para el programa Buran; su trabajo lo desempeñó desde 1957 a 1991 (Meuser, 2015), por lo que debería considerarse la precursora de la Arquitectura Planetaria (cosmo-arquitectura, continuando con la tradición rusa de anteponer con el término “cosmo”, a las acepciones relacionadas con el espacio).

Actualmente, una vez se ha superado con creces la permanencia continuada en una estación orbital, la humanidad se encuentra en la encrucijada de poder llegar a Marte y, como paso previo, se requiere el regreso a la Luna, junto al asentamiento en esta, sobre una base que permita dar el paso al planeta rojo; así lo tienen marcado las diferentes agencias espaciales, como la NASA. De hecho, esta última agencia, se encuentra –desde hace años– trabajando en su próxima misión al satélite, denominada ARTEMISA (5).

El proyecto FOCARIS, que aquí se analiza, es la propuesta finalista española planteada para *Moon Society's First Moon Base Design Contest 2021* (6), siendo la MOON SOCIETY una comunidad de investigadores, organizaciones y compañías, concebida desde el compromiso de un asentamiento permanente en la Luna y su futura evolución. Con ese fin, promueve diferentes iniciativas a través de la creación de sinergias interdisciplinarias e internacionales, con objetivo de fomentar el interés por la exploración, investigación y desarrollo de la humanidad hacia nuestro satélite (7).

## 2. EL HÁBITAT: IDEA Y COMPOSICIÓN

Partiendo de la cara exterior del hábitat, existe una envoltura a modo de cápsula, que sirve como protección al mismo.

En base a la definición de **cápsula** del lat. *capsula*, dim. de *capsa* “caja” y que, según la RAE, se refiere a la “envoltura soluble en la que se suministran ciertos medicamentos” e incluso, el “conjunto de la cápsula y el medicamento en ella incluido”, entre otras acepciones (8), es este concepto del que partimos para llevar a cabo nuestro último proyecto de hábitat lunar al que denominamos FOCARIS. Se trata de un recinto para la protección de los astronautas en un medio diferente al terrestre, con una envoltura la cual, además de resistente frente a los impactos exteriores asumibles y a la presión interior, se plantea como fácilmente construible; ligera en comparación con otras soluciones, e integrada en el entorno extraterrestre. Cuenta, a su vez, con la posibilidad de ser eliminada de una manera sencilla con el fin de generar soluciones de hábitats inmersas en el grupo de las construcciones itinerantes (fácilmente reutilizables, con menor trabajo de desmontaje y casi nula carga de residuos), que las constituidas como pesadas o fijas casi

a perpetuidad. Se plantea como la envoltura soluble del medicamento que, una vez cumplida su misión como oniscídeos (oniscídea) –protegiendo aquello que alberga en su interior–, se disipa sin mayor daño o rastro. De este modo, se busca respetar lo máximo posible el cuerpo celeste por explorar, sin alterarlo de forma abrupta.

En este caso, se trata de un cuerpo exterior arquitectónico que cuenta con cinco elementos fundamentales:

**Semicúpulas.** Con apertura del tipo acordeón, se encuentran compuestas por una estructura funcionalmente equiparable a los alambres que conforman ciertos elementos decorativos tales como los farolillos de papel, actuando como costillas sobre las que se acopla la envoltura a modo de manta o capa plegable protectora (Figura 2). Una vez desplegadas, se inyecta en su interior el “regolito” basáltico, que le dará las funciones de aislamiento frente a la radiación, y consistencia frente a microimpactos, como se detallará más adelante. Estos elementos hacen función de caparazones a modo de exoesqueletos plegables sobre sí mismos con el movimiento propio de un acordeón, facilitando dicho plegado, similares a los presentes en los crustáceos isópodos terrestres conocidos como oniscídeos (Oniscídea) o, vulgarmente denominados, bichos bola (Figura 3).



Figura 2. Envoltura exterior correspondiente a módulo de hábitat, a modo de semicúpula prefabricada; transformable, resistente y ligera (4).



Figura 3. Crustáceo (Oniscídea), o bicho bola (9), y farolillo.

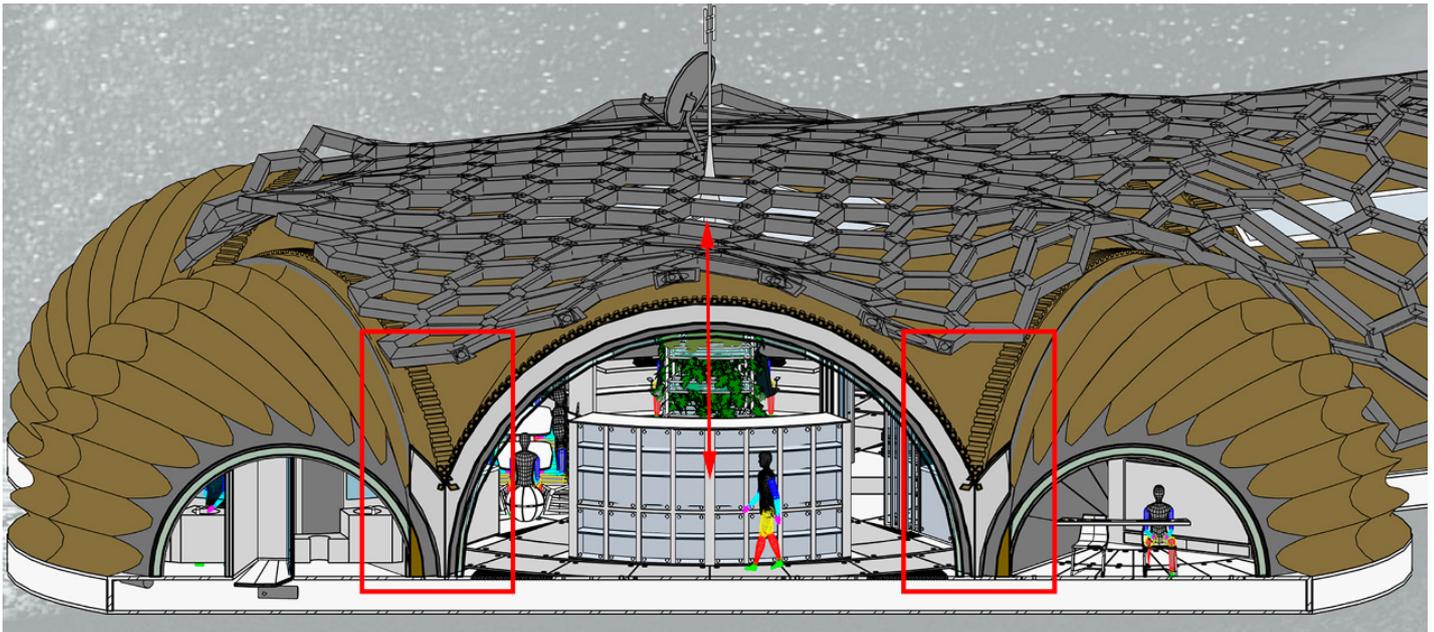


Figura 4. Unión entre módulos exteriores, y cuerpo de estructura principal, superior(4).

**Estructura principal.** El hábitat se genera desde un hexágono regular de ocho metros de lado –donde se ubican los seis arcos torales existentes–, dando apoyo a las cinco semicúpulas esféricas y al arranque del conducto de acceso y salida del hábitat; cierra el espacio central con la configuración de una bóveda de arista sexpartita donde su clave, a la vez, descansa y es arriostrada por un pilar central (Figura 4). Este refuerzo central, es necesario, al tener que someter al sistema estructural a las acciones propias de la gravedad (peso propio del sistema, junto a cargas permanentes tanto del “regolito” –del casco exterior–, como del agua de la membrana térmica interior, y

sobrecargas de uso y mantenimiento, junto a las acciones contrarias producidas por la gran diferencia de presión entre el interior y el exterior del hábitat). Esta última consideración, apenas relevante en las construcciones sobre la Tierra, –salvo en instalaciones especializadas, sometidas a sobrepresión– han sido consideradas en este proyecto, en función de su posible ubicación, según se tratase de la Luna, –con una presión atmosférica inexistente, o tenue–, o de Marte –con una media de presión de 600 Pa, existente en dicho planeta, frente a la presión de 101300 Pa necesarios al interior del hábitat, simulando la presión terrestre– (Figuras 5 y 6).

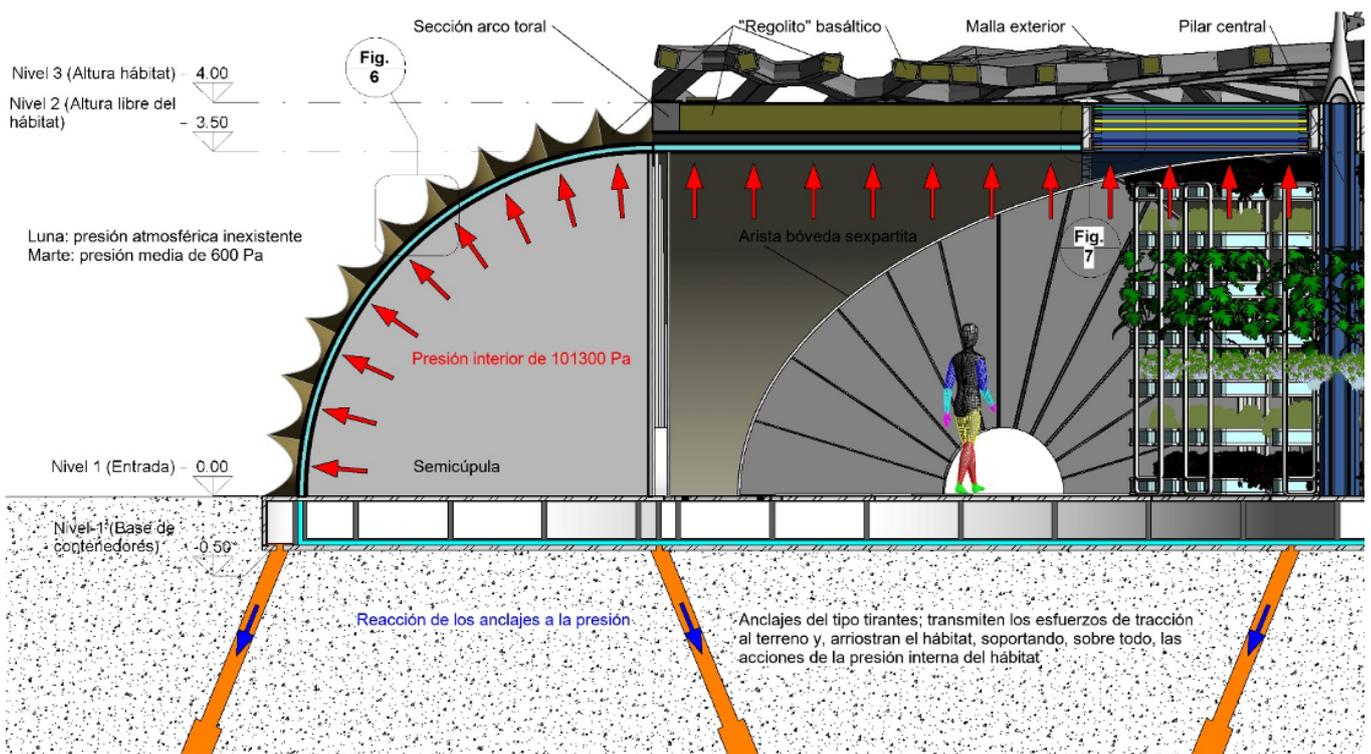


Figura 5. Sección ampliada de la semicúpula, el cañón de la bóveda central y el óculo (4).

En la zona donde se cruzan los cañones, se vacía su plentería formando un óculo –con función de lucernario–, igualmente poligonal, de seis trapecios isósceles curvos.

**Lucernario central.** Gran óculo con dimensiones de rosetón, de tracería recta, que se proyecta como lucernario hexagonal de 3 metros de lado, apoyado y arriostrado en su centro, al pilar central, y *quasi* plano en vez de semiesférico el cual, no solo disminuye considerablemente los esfuerzos transmitidos a la base del hábitat, sino que es capaz de generar una sensación de mayor amplitud espacial hacia el exterior siendo capaz igualmente, de dotar, al interior del conjunto proyectado, protección frente a la radiación e iluminación artificial a falta de luz exterior, y de reproducir, a su vez, los ciclos circadianos como apoyo a la actividad humana que, al interior del hábitat, podría

establecerse en consonancia con los parámetros y horarios terrestres. De esta manera, conseguimos obtener un recinto diáfano, iluminado y conectado visualmente al espacio circundante, por medio de un gran óculo de vidrio de cuarzo (resistente a la radiación), multicapa, al igual que el ya instalado en el mirador llamado *Cupola*, del módulo *Tranquility* de la Estación Espacial Internacional (10). Se contempla, igualmente, la posibilidad de sustituir o intercalar capas de plástico acrílico, más resistente incluso, que el vidrio, y menos pesado que este; sustitución ya experimentada, en las ventanas del módulo de la misión Orión desde el 2014 (11), a través del que se consigue compartir vistas estelares, aportando condición de ligereza a la ya existente. Dicha búsqueda de continuidad entre exterior e interior, genera mayor integración en el entorno y así, un menor impacto ambiental (Figura 7).

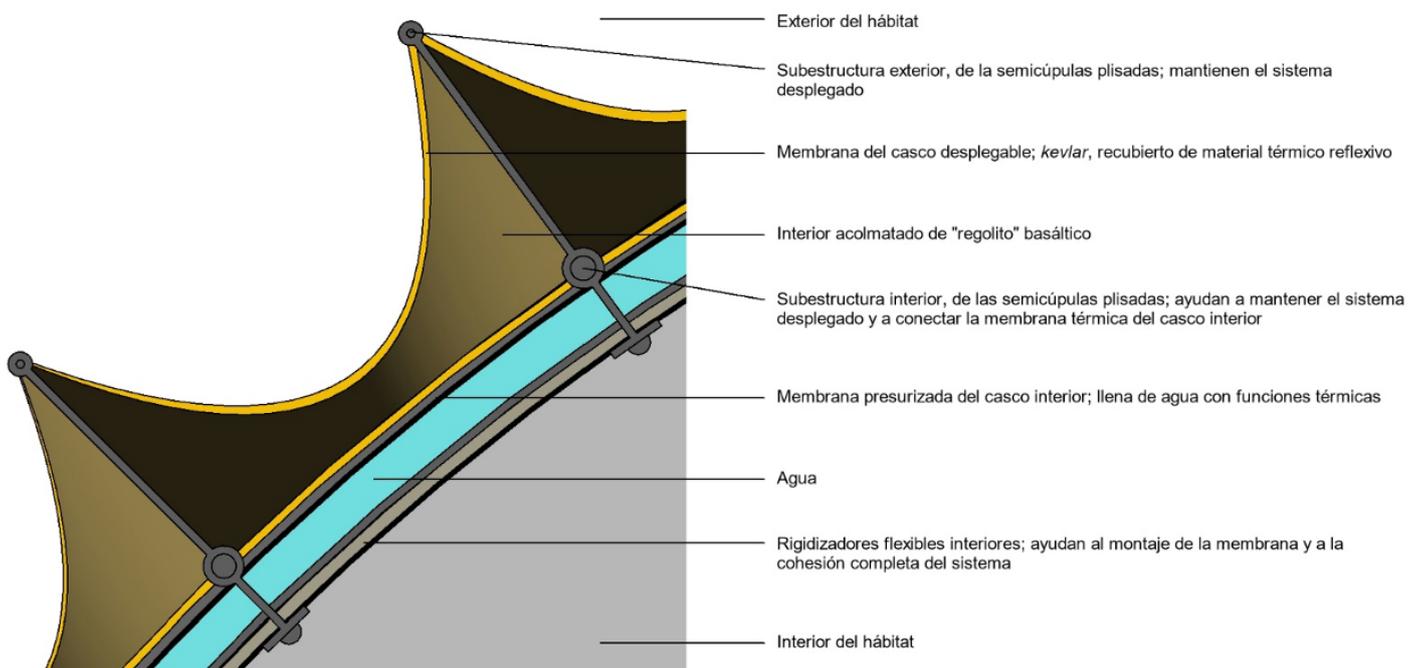


Figura 6. Sección ampliada de la semicúpula, el cañón de la bóveda central y el óculo (4).

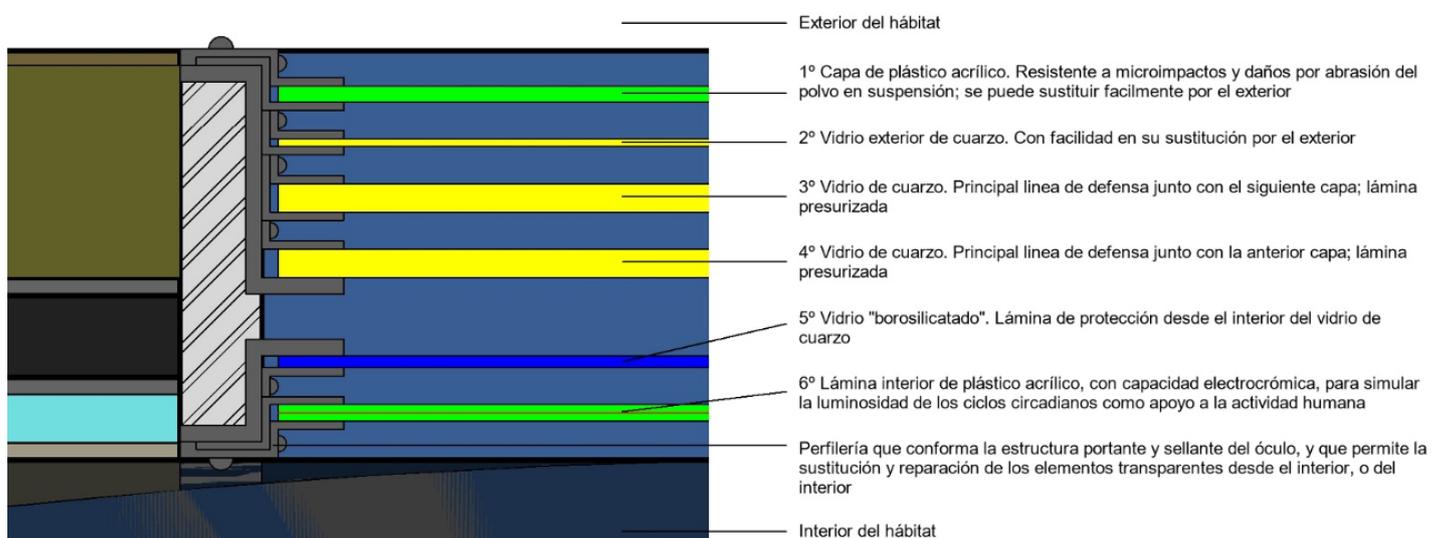


Figura 7. Sección ampliada de la composición laminada del óculo central (4).

**Malla exterior.** Como protección de la envolvente superior del hábitat, frente a posibles impactos de micrometeoritos y pequeños cuerpos celestes en suspensión, así como para facilitar la generación de una jaula de Faraday, que pueda proteger a los habitantes del recinto frente a las radiaciones electromagnéticas ionizantes, entre otras. Dicha malla, se compone de estructuras tubulares unidas entre sí a modo de capa horadada (Figura 8), construidas con fibras de carbono de alta resistencia, gran conductividad eléctrica y baja conductividad térmica; se generan por medio de la tecnología de impresión 3d, rellenándose, una vez ubicadas en el lugar correspondiente, de destino, de “regolito” basáltico. De esta manera, se consigue aligerar peso y a su vez, introducir plasticidad en este elemento constructivo, de modo que pueda amoldarse al diseño exterior del propio hábitat.

Se trata del enlace de estructuras hexagonales similares a aquellas que, por medio de sus átomos de carbono, conforman la estructura química del grafito –como el utilizado para la confección de la mina de los lápices–, confiriendo una similitud entre los esquemas internos de este, con el aspecto de la malla exterior diseñada para el hábitat lunar.



Figura 8. Estructura de malla que conforma el revestimiento superior del hábitat proyectado (4).

En cuanto a la similitud con el esquema interno del grafito, investigadores del laboratorio de Geofísica de la Institución Carnegie (EEUU), detectaron carbono en su forma de grafito –siendo esta una de las formas alotrópicas en las que puede presentarse el primero–, en el satélite, que parece se encuentra en el mismo desde el “cataclismo lunar”, o período de considerable bombardeo de asteroides y otros entes, sobre aquel, que tuvo lugar hace entre 4,1 y 3,8 millones de años aproximadamente. De hecho, se ha encontrado grafito en una forma de “largas y delgadas estructuras enrolladas, conocidas como “bigotes de grafito”, que se forma en reacciones a muy altas temperaturas (entre 1000 y 3600 °C), que se inician tras un impacto”

(12). De esta forma, se genera un esquema a base de la unión plástica de formas ya integradas en el mismo entorno lunar que, aún no visibles, se encuentran –de igual modo– siguiendo formas curvas en algunos constituyentes geológicos del satélite, de modo que se susciten sinergias, en busca de un escenario armónico que, aún en grado subyacente, integre y reconozca al hábitat.

De igual modo, se basa en la geometría del *Paleodictyon* (13), con el fin de reproducir una estructura en sintonía con la estructura compuesta por malla de hexágonos registrada geológicamente durante las primeras etapas del desarrollo de la Tierra, entre el Precámbrico y el Cámbrico inferior hasta el Eoceno, como guiño a un posible inicio de colonización y así, comienzo de una nueva vida en otro cuerpo celeste (Figura 9).



Figura 9. *Paleodictyon* del Mioceno (14).

**Base estructural.** Plataforma sobre la que descansa el resto del hábitat, que sirve como apoyo y así, cimentación sobre la que recaen las cargas, y a su vez, como zona de almacenaje de víveres e instrumental, además de ser zona de paso de instalaciones.

### 3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

En el diseño del proyecto se ha utilizado la modelización paramétrica, mediante la metodología BIM (Building Information Modeling), lo que permite simulaciones digitales, previa consideración de unos requisitos de partida, integrados en un programa de necesidades estudiado con anterioridad. Se coordina, así, toda la información pertinente a un proyecto de arquitectura, pudiéndose facilitar

**Tabla 1.** Masa y pesos de los elementos transportados desde la Tierra.

ELEMENTOS TRANSPORTADOS CARGA ÚTIL	Número de piezas	Volumen de material por pieza (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )	ρ Densidad (gcm <sup>-3</sup> )	Masa (t)	Peso en la Tierra (kN)	Peso en Marte (kN)	Peso en Luna (kN)
Fibra de carbono malla exterior	252	0'018	4'437	1'750	7'765	76'179	28'948	12'950
Semicúpulas plisadas	5	0'483	2'416	1'440	3'479	34'128	12'969	5'802
Membranas interiores semicúpulas	5	0'396	1'980	1'440	2'851	27'970	10'629	4'755
Bóvedas centrales membrana interior	6	0'245	1'472	1'440	2'120	20'796	7'903	3'535
Contenedores base del hábitat	340	0'060	20'296	4'430	89'910	882'016	335'166	149'943
Carga útil de los contenedores	340	0'393	133'597	0'222	29'674	291'099	110'618	49'487
Muebles y Equipamiento	1	193'158	193'158	0'071	13'797	135'348	51'432	23'009
<b>TOTAL A TRANSPORTAR</b>			<b>357'355</b>		<b>149'596</b>	<b>1467'536</b>	<b>557'664</b>	<b>249'481</b>

**Tabla 2.** Masa y pesos de las secciones reutilizadas del vehículo espacial.

ELEMENTOS REUTILIZADOS DEL PROPIO VEHÍCULO ESPACIAL	Número de piezas	Volumen de material por pieza (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )	ρ Densidad (gcm <sup>-3</sup> )	Masa (t)	Peso en la Tierra (kN)	Peso en Marte (kN)	Peso en Luna (kN)
Sección módulo de acceso	1	6'650	6'650	4'430	29'460	289'003	109'821	49'131
Paneles cierre y separación acceso	1	3'480	3'480	4'430	15'415	151'222	57'464	25'708
Carpinterías ventanas módulo acceso	2	0'251	0'501	4'430	2'219	21'773	8'274	3'701
Vidrios cuarzo ventanas m. acceso	2	0'256	0'512	2'200	1'126	11'043	4'196	1'877
Vidrios borosilicatado módulo acceso	2	0'035	0'069	2'230	0'154	1'511	0'574	0'257
Plástico acrílico ventanas m. acceso	2	0'227	0'454	1'190	0'540	5'297	2'013	0'900
Bóvedas centrales casco exterior	6	1'051	6'303	4'430	27'924	273'930	104'094	46'568
Estructura/carpintería del óculo	6	0'128	0'771	4'430	3'414	33'496	12'728	5'694
Vidrio cuarzo del óculo	6	0'256	1'535	2'200	3'377	33'131	12'590	5'632
Vidrio borosilicatado del óculo	6	0'035	0'207	2'230	0'462	4'532	1'722	0'770
Plástico acrílico del óculo	6	0'227	1'361	1'190	1'620	15'891	6'039	2'702
<b>TOTAL A TRANSPORTAR</b>			21'843		85'711	840'829	319'515	142'941

datos fidedignos de las cantidades de recursos necesarios para la construcción del hábitat aquí descrito. De cada uno de los elementos que conforman el proyecto, se obtienen sus características dimensionales (longitudes, superficies y volúmenes) y, según los materiales empleados, se presentan las masas de cada uno de ellos. De este modo, se obtiene la masa total de los elementos transportados desde la Tierra (Tabla 1), los elementos que son secciones del propio vehículo espacial (Tabla 2) y los elementos de relleno que mejorarán la resistencia y protección ante la radiación, así como el acondicionamiento térmico del hábitat.

El grupo de estos materiales añadidos al interior de los componentes manufacturados en la Tierra, se divide en: el “regolito”, de procedencia basáltica indígena –a extraer de la Luna o Marte (Tabla 3)– y el agua líquida empleada como acondicionador térmico del hábitat (Tabla 4) y empleada, a su vez, como reservorio, dada la previsión para su consumo. Las densidades que se toman para calcular la masa de cada uno de los elementos, se plantean como hipótesis de partida, puesto que se trata de un proyecto en fase experimental. Las variables utilizadas serán: fibra de carbono ( $\rho = 1'75 \text{ g cm}^{-3}$ ), kevlar ( $\rho = 1'44 \text{ g cm}^{-3}$ ), aleación de titanio Ti-6Al-4V (Grado 5) ( $\rho = 4'43 \text{ g cm}^{-3}$ ), vidrio de cuarzo ( $\rho = 2'20 \text{ g cm}^{-3}$ ), vidrio “borosilicatado” ( $\rho = 2'23 \text{ g cm}^{-3}$ ) y plástico acrílico ( $\rho = 1'19 \text{ g cm}^{-3}$ ). Teniendo en

cuenta una densidad media de “regolito” basáltico de  $0,82 \text{ gcm}^{-3}$  (15), a emplear como relleno de los compartimentos de los cascos exteriores del hábitat, puede obtenerse una estimación fiable de su masa, y pesos en los diferentes cuerpos celestes. En una segunda fase, sería conveniente la experimentación práctica de estos materiales prescritos, en modelos a escala, que pudieran ser testeados bajo las supuestas acciones de partida.

La densidad empleada en el cálculo de cantidades de la carga útil del almacenaje de los contenedores, a utilizar como base del hábitat, se desprende de los datos calculados previamente como programa de necesidades en la preparación de una misión espacial para 16 personas durante 365 días (Tabla 5). Para estos cálculos, se han utilizado las fórmulas y los requerimientos diseñados para misiones de la NASA, extraídos de la bibliografía existente (16), y se ha extrapolado de un anterior proyecto, FALLAMARS, proyectado bajo la hipótesis de 4 personas durante 365 días (17).

#### 4. EL USO DE RECURSOS NATURALES. EL AHORRO ENERGÉTICO PARA EL DESARROLLO DEL HÁBITAT

El desafío, en cuanto al uso de materiales autóctonos para la construcción del hábitat lunar, radica en la búsqueda de

**Tabla 3.** Cantidad de regolito necesario para llenar las cámaras interiores de las carcasas exteriores.

ELEMENTOS A RELLENAR	Número de piezas	Volumen de “regolito” por pieza (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )	ρ Densidad (gcm <sup>-3</sup> )	Masa (t)	Peso en la Tierra (kN)	Peso en Marte (kN)	Peso en Luna (kN)
Relleno malla exterior	252	0'170	42'881	0'820	35'163	344'945	131'079	58'641
Semicúpulas plisadas	5	8'604	43'019	0'820	35'275	346'052	131'500	58'829
Casco exterior módulo de acceso	1	30'029	30'029	0'820	24'624	241'560	91'793	41'065
Panel cierre módulo de acceso	1	2'036	2'036	0'820	1'669	16'376	6'223	2'784
Bóvedas centrales casco exterior	6	10'505	63'033	0'820	51'687	507'049	192'679	86'198
<b>TOTAL REGOLITO BASÁLTICO</b>			180'998		148'418	1455'983	553'273	247'517

**Tabla 4.** Cantidad de agua en el interior de las secciones del hábitat.

ELEMENTOS A RELLENAR	Número de piezas	Volumen de “regolito” por pieza (m³)	Total (m³)	ρ Densidad (gcm <sup>-3</sup> )	Masa (t)	Peso en la Tierra (kN)	Peso en Marte (kN)	Peso en Luna (kN)
Membrana interior semicúpula	5	3'959	19'797	1'000	19'797	194'211	73'800	33'016
Sección módulo de acceso	1	7'013	7'013	1'000	7'013	68'801	26'144	11'696
Paneles cierre y separación acceso	1	3'998	3'998	1'000	3'998	39'221	14'904	6'668
Bóvedas centrales membrana interior	6	2'454	14'722	1'000	14'722	144'418	54'879	24'551
Cámara interior contenedores base	340	0'049	16'700	1'000	16'700	163'823	62'253	27'850
<b>TOTAL AGUA</b>			<b>62'230</b>		<b>62'230</b>	<b>610'475</b>	<b>231'980</b>	<b>103'781</b>

recursos extraterrestres disponibles en el satélite, además del porcentaje contabilizado para los terrestres, en busca de la máxima integración y eficiencia.

Partiendo de la anterior premisa, establecemos cuatro parámetros para la composición de la envolvente del hábitat:

**4.1. Recursos “indígenas”**

Se trata del uso de materiales del mismo lugar donde se hallan.

Según los elementos de la construcción del hábitat descritos en la Tabla 3 (dentro del casco exterior), se propone utilizar “regolito” lunar basáltico, como componente del polvo en la superficie de la Luna, y agua para la membrana interior, como transmisor térmico al interior del hábitat y reservorio de agua para su consumo. Todo este sistema multicasco, proporcionará a los inquilinos del hábitat una forma natural de protección contra la radiación (18).

En este sentido, el sitio propuesto para la construcción del hábitat se encuentra en el Polo Sur de la Luna y, más concretamente, próximo a los 89,54 grados de latitud sur y los 0 grados de longitud este; un área cercana al cráter Shackleton. Las dos razones principales para la elección

de esta ubicación son: a) la exposición a la luz solar, de una manera casi continua, de las zonas de máxima elevación al borde del cráter y, b) la proximidad a la posible acumulación de hielo al interior del mismo cráter, hecho de agua en vez de CO<sub>2</sub>, al encontrarse con una temperatura inferior a los -173 °C (19).

**La luz solar como fuente natural de energía, además de la energía nuclear:**

Se ha previsto, como integración a la infraestructura, el uso de paneles solares –con colectores solares–, para captar energía calorífica, junto a paneles fotovoltaicos para la generación eléctrica. Sin embargo, dada la capacidad del fino y abrasivo polvo lunar –compuesto por silicio, y con gran atracción electrostática (20) que mancha toda aquella superficie próxima al mismo–, se produciría una reducción de eficiencia energética a niveles ínfimos, por la esperada cubrición de una capa del mismo “regolito” sobre los propios paneles. De este modo, el sistema de paneles podría complementarse con aquel de energía denominado “Generador Termoelectrónico de Radioisótopos de Misiones Múltiples (MMRTG)”, que es el utilizado actualmente por el rover Perseverance, funcionando a modo de batería nuclear (21).

**Tabla 5.** Cantidad de productos de primera necesidad, en la programación de una misión.

PRODUCTOS DE PRIMERA NECESIDAD	4 Personas-365 días (17) Volumen (m³)	16 Personas-365 días Volumen (m³)	ρ Densidad (gcm <sup>-3</sup> )	Masa (t)	Peso en la Tierra (kN)	Peso en Marte (kN)	Peso en Luna (kN)
Agua potable (consumo personal)	3'431	13'724	1'000	13'724	134'632	51'160	22'888
Agua higiene	36'938	147'752	1'000	147'752	1449'447	550'790	246'406
<b>TOTAL AGUA</b>	<b>40'369</b>	<b>161'476</b>	<b>1'000</b>	<b>161'476</b>	<b>1584'080</b>	<b>601'950</b>	<b>269'294</b>
Comida	11'680	46'720	0'288	13'432	131'768	50'072	22'401
Productos de higiene personal	2'190	8'760	0'050	0'438	4'297	1'633	0'730
Ropa	2'880	11'520	0'297	3'424	33'589	12'764	5'710
Equipo personal	3'000	12'000	0'067	0'800	7'848	2'982	1'334
Limpieza hábitat	1'460	5'840	0'050	0'292	2'865	1'089	0'487
Suministros para operaciones investigación	0'008	0'032	10'000	0'320	3'139	1'193	0'534
Reservas anterior	0'540	2'160	0'185	0'400	3'924	1'491	0'667
Material médico	4'000	16'000	0'250	4'000	39'240	14'911	6'671
Consumible médico	2'500	10'000	0'200	2'000	19'620	7'456	3'335
<b>TOTAL PRODUCTOS</b>	<b>28'258</b>	<b>113'032</b>	<b>0'222</b>	<b>25'106</b>	<b>246'290</b>	<b>93'590</b>	<b>41'869</b>

Respecto a este punto, refiere Brian O'Brien que, "la acumulación neta de polvo a largo plazo, podría ocasionar más daño al suministro energético proporcionado por los paneles solares de la Luna que, incluso, el que pudieran experimentar los astronautas con la intensa radiación penetrante como consecuencia de un estallido solar" (22).

### Mecanismos de Control de Luminosidad y Detectores de Movimiento Humano:

Estos consisten en dispositivos controlados digitalmente, ubicados dentro del hábitat, con el objetivo final de ahorrar energía y hacer que el hábitat sea más respetuoso con el medio exterior.

### 4.2. Reutilización

Muchos de los elementos esenciales del hábitat, son secciones del propio vehículo espacial, que, una vez terminada la vida útil del hábitat –o se decida su traslado a otra ubicación–, únicamente se debe extraer el "regolito" y el agua del interior de los cascos y las membranas; de este modo, podrían devolverse al lugar de donde se extrajeron. Se contempla el posible plegado de las semi-cúpulas y, el desmontaje de las secciones de las bóvedas centrales, acoplándose nuevamente como sección de la nave de carga, pudiéndose volver a transportar las piezas constituyentes del propio hábitat, al lugar deseado.

La base del hábitat, se diseña a base de cajas, o contenedores, donde guardar los suministros o víveres, las cuales están compuestas por una aleación ligera de aluminio-titanio-vanadio, Ti-6Al-4V (Grado 5), frecuentemente utilizada en la industria aeroespacial. Dichos receptáculos, están pensados como suelo de nivel el cual, ha sido previamente incorporado, a su vez, al interior de la nave de la tripulación dado que, se han proyectado con radios similares a los interiores del vehículo espacial actualmente más avanzado.

Los contenedores proyectados serían pues, reciclados, utilizándose tanto como paredes exteriores, como de suelo suspendido en el hábitat, logrando los siguientes beneficios:

- contribuir al reciclaje (Figura 10) de los materiales procedentes de la Tierra;
- disminuir el peso de despegue de la nave espacial cuando, una vez llegado el momento, deba regresar a la Tierra;
- reducir la energía necesaria para la vuelta del vehículo una vez concluida la misión, con la perceptiva reducción de combustible necesario para ello;
- aprovechar al máximo la superficie del hábitat;
- facilitar la instalación del cableado eléctrico y las tuberías;
- mejorar el aislamiento del hábitat (temperatura y radiación);
- Proporcionar, ordenadamente, espacio para el almacenamiento de provisiones, utensilios y equipos, que la tripulación necesita para su supervivencia y comodidad al interior del hábitat (Figura 11).

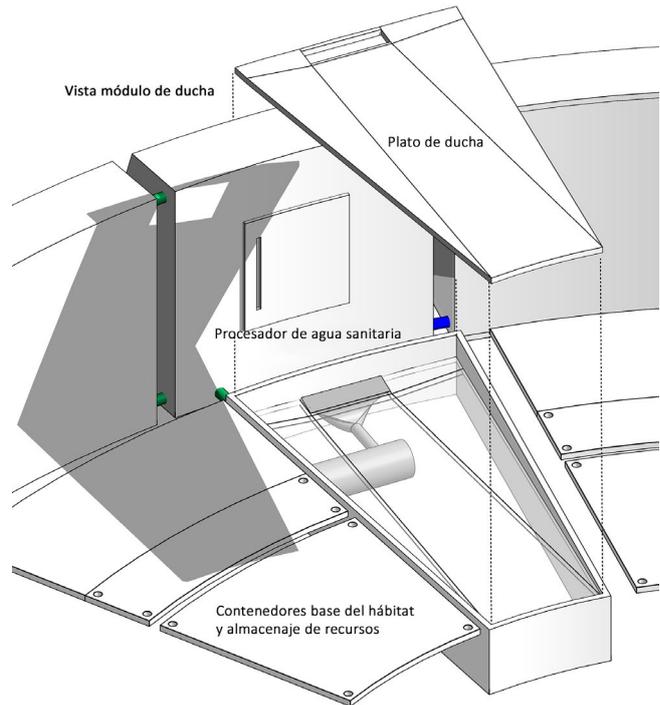


Figura 10. Instalación de ducha en el módulo para aseos (4).

### 4.3. Geoética

El hábitat propuesto, tiene como objetivo evitar posibles peligros de asentamiento provocados por el hombre, cuidando del nuevo ámbito que proporcionará refugio a los colonos. Peligros tales, como las posibles alteraciones que una cimentación estándar, pudieran generar sobre la geología lunar, o incluso el impacto ambiental originado en relación con la tipología de materiales a utilizar –y su composición–, junto a la mínima incidencia lumínica necesaria para una adecuada y rápida geolocalización, en caso de desorientación de algún astronauta durante una exploración rutinaria fuera del hábitat. De esta manera,

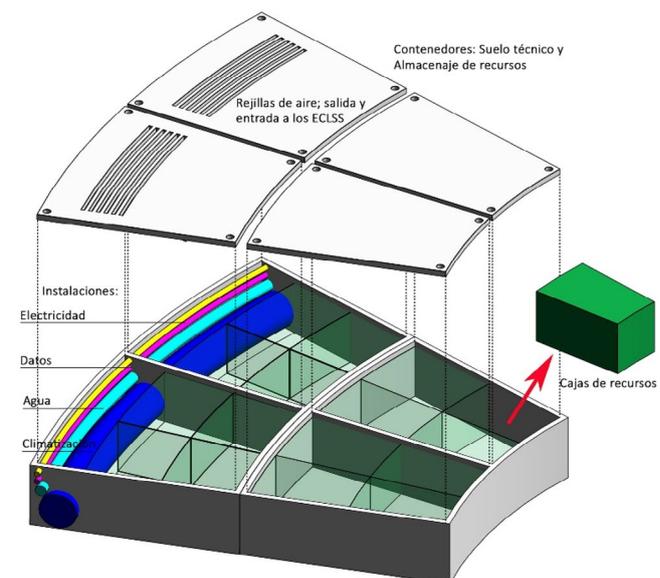


Figura 11. Estructura de suelo; almacenaje de víveres, y utensilios, para su uso normalizado, o de emergencia (4).

estamos de acuerdo con Holmes Roston III, quien afirma: “Nos enfrentamos a una naturaleza proyectiva, inquieta, llena de proyectos: estrellas, cometas, planetas, lunas y también rocas, cristales, ríos, cañones, mares. La vida en la que culminan estos procesos astronómicos y geológicos es aún más impresionante, pero forma un todo con el resto del sistema proyectivo... La naturaleza es una fuente de vida, y toda fuente –no sólo la vida que emana de ella– es de valor” (Rolston, 1988, p.197) (23)

## 5. LA AUTOCONSTRUCCIÓN

En consonancia con la construcción del hábitat, por medio de partes de la propia nave y material prefabricado ligero, fácil de montar (Figura 12), debe proyectarse una envoltura de protección para las estancias interiores que, en este caso, se compone de:

**Aislamiento térmico:** para conservar la temperatura interior del hábitat, y mantener a los astronautas cómodos en sus zonas de desarrollo de actividad, propia del ser hu-

mano, habiendo seleccionado materiales propicios, con las características requeridas para tal necesidad. Se emplean aislamientos del tipo multicapa, ya experimentados y usados en la industria aeroespacial, como los recogidos en el trabajo redactado por Finckenor, MM y Doolling, D. en su *Multilayer Insulation Material Guidelines* (24), y posteriores. La innovación que aquí se plantea se detalla en los elementos constructivos mostrados más adelante.

**Domos plisados:** (Figuras 2 y 3) con el funcionamiento del tipo farolillos de papel plegables –contando con varios anclajes periféricos para efectuar un cierre hermético–, ocuparían el espacio mínimo dentro del cohete, abriéndose una vez en el exterior. A lo anteriormente apuntado, se añade la ventaja de un menor peso a soportar por el vehículo dada la composición del material con lámina plástica multicapa de películas de “poliimida” del tipo, manta térmica reflectante aluminizada con partículas de oro, plata, aluminio, germanio, óxido de indio, y estaño, utilizada tanto en la construcción (aislamientos reflexivos), como en las situaciones de emergencia frente a accidentes. Del

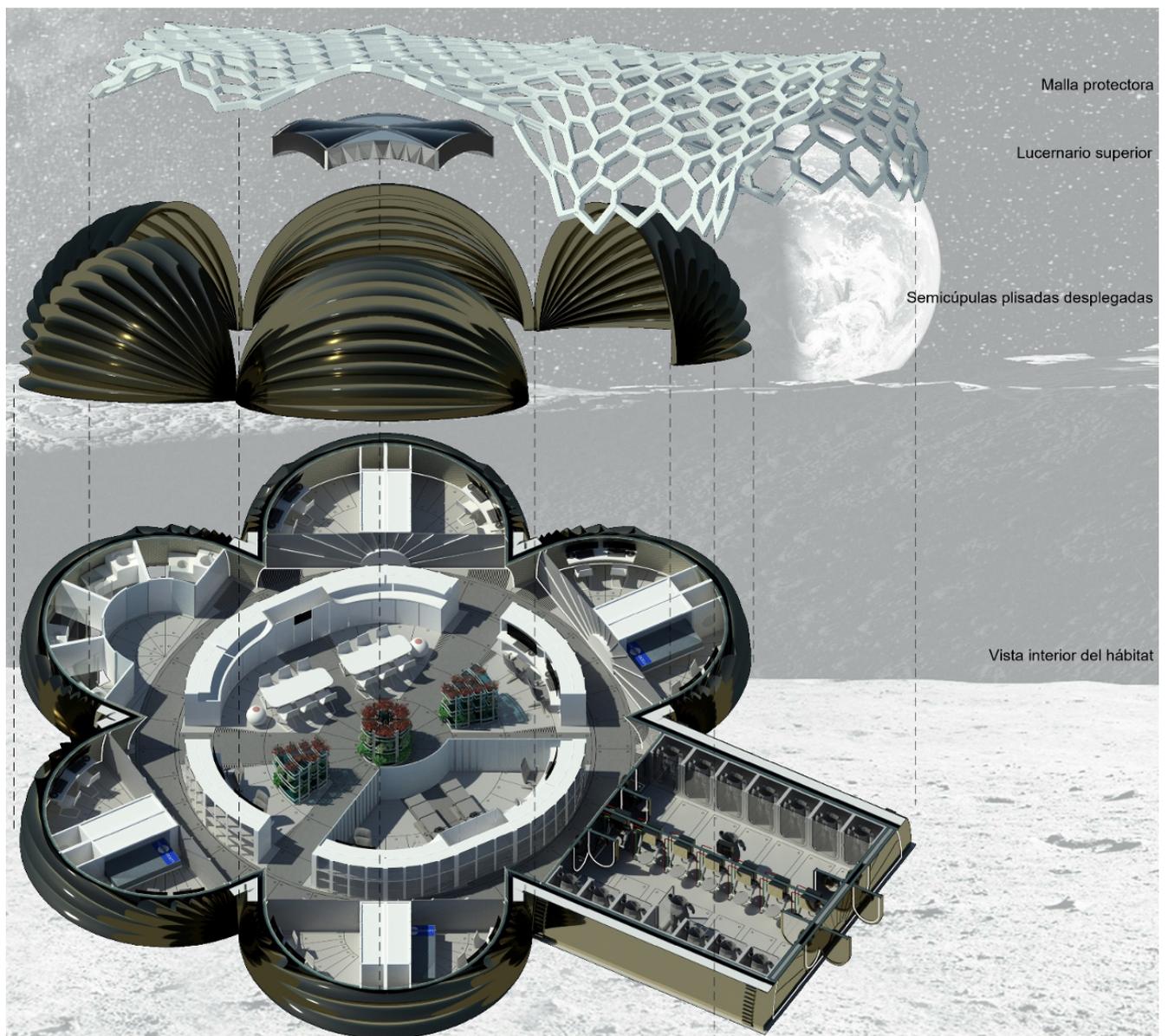


Figura 12. Imagen conceptual de la distribución y de los elementos constructivos del hábitat proyectado (4).

mismo modo, dichos materiales se encuentran en uso –incluso desde los inicios de las misiones espaciales–, por la industria aeroespacial y, a su vez, alguno de ellos –como las partículas de oro–, son utilizados en algunos EPI (equipo de protección individual) destinados a determinados profesionales, tales como los bomberos, a fin de combatir determinadas condiciones ambientales adversas, durante diferentes incidentes de proximidad. Respecto a esto último, se disponen cascos preparados –por medio de una envoltura aluminizada multicapa, y un visor o pantalla facial cubierta de oro– para combatir los altos niveles de calor radiante, conductivo y convectivo, emitidos durante los incendios. De igual modo, dependiendo de los requisitos técnicos necesarios y, en función de la disposición de dichos acabados –hacia el interior o exterior del hábitat–, sirven como aislantes frente a las bajas temperaturas hacia uno de sus lados, y como reflector de radiación térmica, hacia el otro (25 y 26).

Al mismo tiempo, deben mantener estables las tensiones estructurales creadas por la atmósfera de presión que habría que alcanzar al interior del hábitat, en consonancia con la terrestre. Además, reducirían el tiempo de construcción, aumentarían la durabilidad, y mitigarían los efectos de los ciclos de hielo/deshielo, la abrasión, y los impactos de choque en el hábitat, dada su función de cubiertas retráctiles con costillas metálicas resistentes y sustentantes, para dicha estructura.

**“Regolito” lunar:** por medio de unas pocas micras de basalto (27), tanto al interior de la doble capa que conforma los domos perimetrales, como el resto de envoltura multicapa, se consigue relleno admisible frente a la radiación, con acabado a base de “poliimidias” y metales, tal y como se ha indicado en el apartado anterior. Contarán pues, las mismas estructuras mencionadas, con alta resistencia a cambios de temperatura, como los ya soportados en el Programa Apolo, los cuales oscilaban entre los 121 °C –aproximados–, y los -204 °C –aproximados–, además de crearse un mecanismo eficaz contra la radiación térmica (28). De este modo, se logra la protección del espacio cubierto y así, de quienes lo alberguen, frente a las fuentes naturales de radiación existentes en el espacio y sus efectos nocivos siendo esta, una de las cuestiones fundamentales a tratar en referencia a la supervivencia del ser humano en otros cuerpos celestes, e incluso en órbita.

Todos los contenedores flexibles, y las piezas metálicas de la envoltura del hábitat, están diseñados con diámetros y curvas de radio similares a los posibles cohetes utilizados para la misión, como el BFR Starship/super heavy, de SpaceX (29), u otros similares, al igual que ocurre con las cajas del tipo contenedor descritas en el apartado anterior. Esto permite reutilizar materiales fácilmente, y reducir costos, estandarizando las formas (Figuras 13 y 14).

Por otro lado, la cubierta estructural superior del edificio, con su forma hexagonal de luz, proporciona un refugio y protege a sus inquilinos de posibles contingencias e inclemencias externas. Además, sirve como punto de referencia para los astronautas que deben alejarse del hábitat durante las horas de exploración.

Las nuevas tecnologías, junto con un diseño más desarrollado, se han integrado de acuerdo con una nueva era en un entorno donde todavía hay mucho más por explorar.

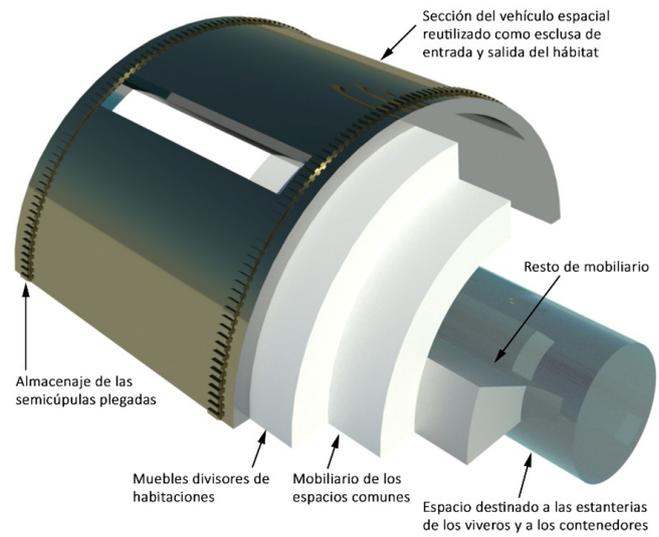


Figura 13. Imagen conceptual del volumen cilíndrico previsto para el transporte de los elementos del hábitat de FOCARIS (4), de 8 metros de diámetro por 8 metros de altura (29). Representa una sección del vehículo espacial utilizado para viajar a la Luna.

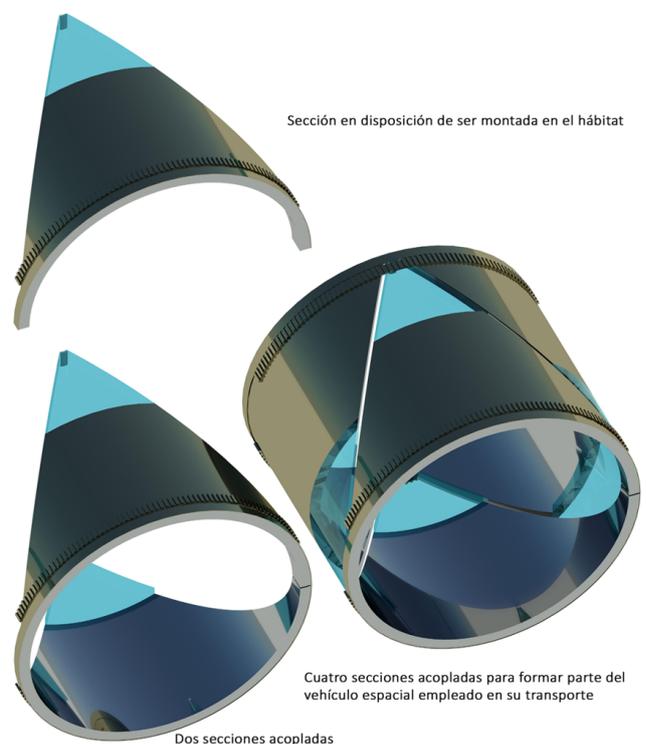


Figura 14. Imagen conceptual del acoplamiento de cuatro secciones de cañones, que conforman la bóveda central sexpartita; este conjunto, cumple igualmente con los 8 metros de diámetro de la sección del vehículo espacial utilizado para su transporte.

## 6. PROCESO DEL MONTAJE DE FOCARIS

Descripción de las fases constructivas (Figura 15), de los elementos esenciales del proyecto de hábitat.

Tras el replanteo de la ocupación en planta de los contenedores y, la preparación del terreno –corte, extracción y explanación, teniendo en cuenta previamente el estudio geotécnico–, se adoptan los anclajes del tipo tirantes (Fi-

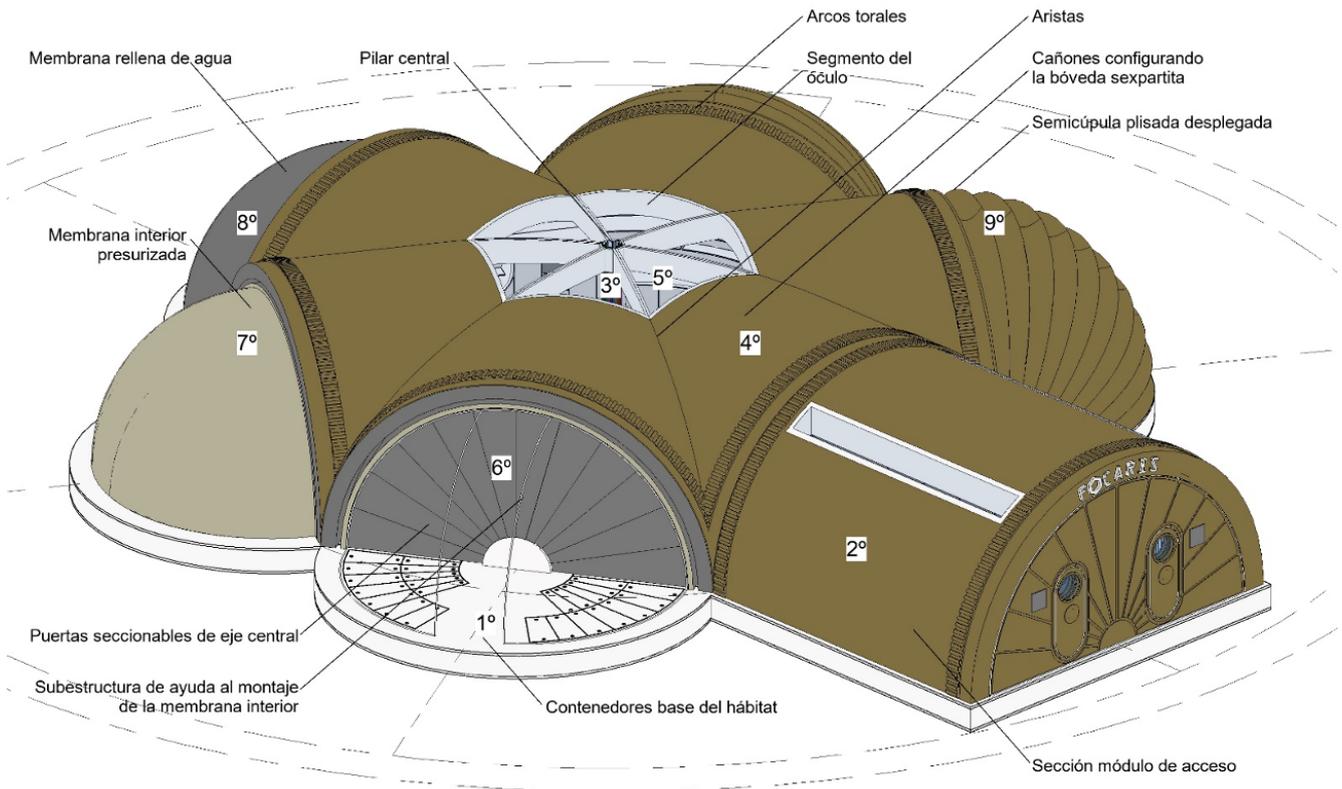


Figura 15. Imagen del proceso de montaje de los principales componentes del hábitat FOCARIS.

gura 5); estos últimos, transmiten los esfuerzos de tracción al terreno y, arriostan el hábitat, soportando, sobre todo, las acciones de la presión interna del mismo, que producen la separación con el terreno. Una vez realizados estos trabajos previos, se puede dar comienzo al montaje del hábitat:

1º. Distribución y acoplamiento de los contenedores, mediante uniones mecánicas entre ellos. Así, si se colocan anclajes sobre el terreno, los contenedores que se sitúan sobre estos serán los encargados de su unión al conjunto, manteniendo su colaboración con el terreno.

2º. Se instala la sección del módulo de acceso, junto con los paneles de cierre y división de los dos recintos de entrada y salida, poniendo la esclusa en funcionamiento. Posteriormente, se inicia el relleno del casco exterior con el “regolito” basáltico –previamente procesado–, extraído del cuerpo celeste donde se halle. Igualmente, se rellena el circuito de agua del casco interior, y se ajustan las presiones y temperaturas del soporte vital.

De esta forma, se dispone del recinto capaz de generar la presión necesaria en el hábitat.

3º. Se coloca el soporte central anclado mecánicamente al contenedor de la base central.

4º. Se monta la bóveda sexpartita, comenzando desde la sección que conecta la esclusa, que se apoya y arriosta en el pilar central. El montaje con la esclusa se realiza mediante uniones directas mecánicas del tipo cubrejuntas doble, con juntas elásticas que sellan y permiten la estanqueidad del sistema. Estos ensamblajes son considerados

“uniones críticas de seguridad” en ingeniería aeroespacial y, como tales, se procede a su instalación mediante la utilización de llaves dinamométricas que permiten apretar tornillos, tuercas y todas las piezas roscadas hasta llegar a su par de apriete o apriete óptimo. La unión entre cada una de las seis secciones de los cañones, se hace a través de las costillas primarias, formando lo que en arquitectura histórica serían las aristas de una bóveda aristada (30). Una vez unido el casco exterior, y testeada su estanqueidad, se procede a unir el siguiente casco, que quedaría al interior, procediendo igualmente a su montaje, y mismo testeado, que el producido para el anterior. A continuación, se rellena el casco exterior con el “regolito” basáltico, y el casco interior con el agua del circuito térmico.

5º. Se eliminan las protecciones de transporte de los vidrios que conforman el óculo y, se instalan las capas de protección exterior de plástico acrílico transparente –de alta resistencia al impacto de pequeñas partículas– tanto superior, como inferior, además la lámina interior con capacidad electrocrómica (31).

6º. Instalación de las puertas seccionables de eje central, de acceso a lasemicúpulas, que permiten mantener la presión necesaria en el hábitat. De esta manera, se consigue sellar el recinto central –hexágono abovedado–, y comprobar la completa estanqueidad del sistema hasta dicha fase de montaje.

7º. Se instalan las membranas interiores de lasemicúpulas, mediante uniones directas a los contenedores –en su semicírculo horizontal inferior–, y a los arcos torales de los cañones del espacio central –en su semicírculo vertical–.

8°. Las uniones de las membranas, igualmente estancas, se ponen en carga hasta conseguir la presión interior necesaria para ser habitadas y, una vez comprobada su estanqueidad, se procede a su llenado con el agua térmica.

9°. Unión y sellado de las semicúpulas plisadas, y despliegue completo de las mismas. Se procede a su presurización –interna–, junto con la comprobación de estanqueidad, requerida; tras esto, se inicia su relleno con “regolito” basáltico.

Llegado este punto, se dispone de un espacio completamente habitable en el que, únicamente, quedaría terminar de instalar los equipos redundantes o Sistema de Soporte Vital y Control de Ambiente (ECLSS, del inglés *Environmental Control and Life Support System*), como los utilizados en las misiones espaciales, en general, o en la Estación Espacial Internacional, en particular.

## 7. LA SEGURIDAD

En caso de emergencia, como puede darse frente a un estado de despresurización, atmósfera saturada o contaminada,

incendio, o cualquier fallo del sistema que ponga en peligro la vida de la tripulación, se han planificado los siguientes procedimientos:

1. Cuando el hábitat existe como módulo independiente: las posibles salidas de escape son por los dos accesos principales existentes, a través de los cuales la totalidad de usuarios presentes, ya sean habituales o visitantes, podrían salir al exterior a la vez (Figura 16).
2. Cuando el hábitat es parte de una colonia más grande (o existe más de un hábitat): en cualquier caso, de emergencia, la posible disposición de la colonia de los hábitats permite la sectorización y evacuación de cualquier recinto: a) a través de cabinas flexibles en el punto de interconexión con el hábitat adyacente; y, b) hábitats cercanos conectados.

En ambas opciones, hay puntos de acceso planificados con sistema de detección de puertas abiertas/cerradas con el fin de evitar la despresurización en áreas vitales para la supervivencia de la tripulación.

Por otro lado, la malla estructural sobre la construcción, con sus formas hexagonales iluminadas, se distingue de otros

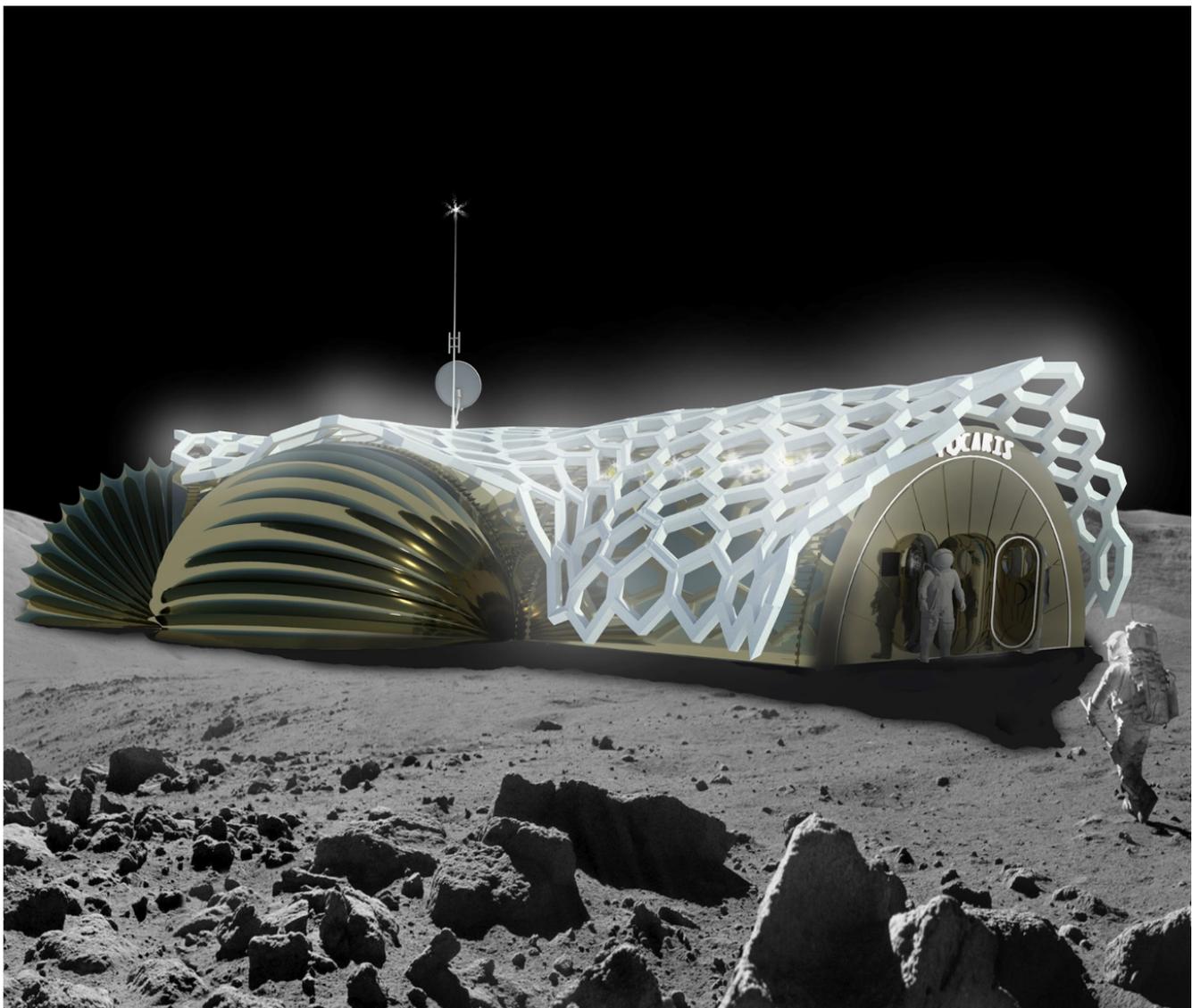


Figura 16. Vista exterior del hábitat (4).

cuerpos, mostrándose fácilmente visible desde larga distancia, en el exterior, como soporte para la exploración fuera del hábitat.

## 8. LA ECONOMÍA

Se presenta un modelo de hábitat de construcción mecánica, persiguiendo acotar su coste, teniendo en cuenta que debe ser construido en el entorno lunar –por humanos equipados con trajes bastante incómodos–, que abarca siete puntos principales sobre los que se plantea la idea de proyecto, a observar:

1. La prefabricación, con elementos transformables, utilizando el espacio mínimo para su traslado y, con construcción en nuestro planeta;
2. La modulación, basada en el cohete, de los elementos constructivos y móviles;
3. La estandarización, utilizando medidas similares para elementos constructivos, y mobiliario, en la máxima superficie donde sea posible;
4. El uso eficiente del espacio interior, con el máximo aprovechamiento del espacio transitable;
5. La tipología de materiales conocidos en el entorno terrestre, y con buena manejabilidad;
6. El uso de materiales y recursos naturales indígenas, o del lugar –de extracción y agrupación, factibles, en la superficie lunar–, reduciendo el coste del combustible y el peso del cohete durante su recorrido, partiendo de la Tierra;
7. La velocidad de montaje –dado los puntos anteriores–, así, la eficiencia energética, técnica y económica, buscadas.

## REFERENCIAS / REFERENCES

- (1) Hawking, Stephen (April 21, 2008). The renowned British astrophysicist, speaks on *Why We Should Go Into Space* for NASA's 50th Anniversary lecture series at George Washington University.
- (2) Aalto, Alvar (1930). *El problema de la vivienda (Var bostad som problem)*, Domus nº 8-10, en Göran SCHILDT (ed.), *Alvar Aalto de palabra y por escrito* (Alvar Aalto. *In his own words*, 1997). (2000), (p.111). Madrid: El Croquis.
- (3) Eid-Macheh-Sánchez, Y., Martínez-Frías, J., García-Valverde, J., Blanca-Giménez, V. (2022). *Geología y Arquitectura Planetaria: análisis bibliográfico y situación actual*. Tierra y Tecnología, 59. <https://dx.doi.org/10.21028/yes.2022.02.23>.
- (4) Eid-Macheh-Sánchez, Y., García-Valverde, J., Martínez-Frías, J. (2021). Proyecto finalista “FOCARIS” en *Moon Society's First Moon Base Design Contest*. Recuperado de [http://strabo.moonsociety.org/2020-MoonBaseDesignContest/Finalist-FOCARIS/FOCARIS\\_THE%20MOON%20SOCIETY%20-%20Yasmina%20Eid.pdf](http://strabo.moonsociety.org/2020-MoonBaseDesignContest/Finalist-FOCARIS/FOCARIS_THE%20MOON%20SOCIETY%20-%20Yasmina%20Eid.pdf).
- (5) Costa, J. (Editor). Last Updated: 2021. *La misión Artemis I se acerca*. Recuperado de <https://www.nasa.gov/image-feature/la-misi-n-artemis-i-se-acerca>.
- (6) *Moon Society's First Moon Base Design Contest*. Recuperado de <https://www.moonsociety.org/moon-base-design-contest/#:~:text=The%20Moon%20Society%20is%20launching,very%2Dnear%2Dfuture%20technologies.&text=%241000%20First%20Prize%20plus%20Second,in%20a%20printed%20volume%20%26%20eBook>.
- (7) *Moon Society*. <https://www.moonsociety.org/about/>.
- (8) Real Academia Española. 2001. *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Recuperado de <https://dle.rae.es/c%3%A1psula>.
- (9) Boeraeve P., Arijs G., Segers, S., De Smedt, P. (2021). Habitat and seasonal activity patterns of the terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea) of Belgium. *Belgian Journal of Entomology*, vol. 116 (pp. 1–95, Figura 2).
- (10) Marín, D. (16-05-2016). *No, la cúpula de la ISS no estuvo a punto de ser perforada por un trozo de basura especial*. Recuperado de <https://danielmarin.naukas.com/2016/05/13/no-la-cupula-de-la-iss-no-estuvo-a-punto-de-ser-perforada-por-un-trozo-de-basura-especial/#:~:text=Cada%20una%20de%20las%20siete,puedan%20chocar%20contra%20la%20ISS>.
- (11) Roberts, J. (Editor). Last Updated: Aug 7, 2017. *Orion Windows Provide New Outlook for Spacecraft's Future*. Recuperado de <https://www.nasa.gov/image-feature/orion-windows-provide-new-outlook-for-spacecraft-s-future>.
- (12) Steele A., McCubbin FM., Fries M., Glamoclija M., Kater L., Nekvasil H. (2010). Graphite in an Apollo 17 impact melt breccia. *Science* (New York, N.Y.). 329(5987), 51. <https://doi.org/10.1126/science.1190541>.

## 9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En el proyecto analizado, se han tenido en cuenta múltiples variables actualmente conocidas, para el desarrollo formal de un proyecto de hábitat de las características buscadas. Ahora bien, debe tenerse en consideración una cantidad considerable de disciplinas necesarias para llevarlo a cabo. Así pues, se ha expuesto su análisis desde el punto de vista constructivo y geológico, al ser patente la necesidad de conocer y aprovechar los recursos de los que podrían valerse sus moradores, en paralelo a los estándares de seguridad para su uso, a la hora de alzar el mismo.

## 10. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, en cuanto a cantidades de volúmenes y masas, se puede concluir que el proyecto FOCARIS, una vez construido y preparado para ser habitado, tendrá una masa total de 490'273 toneladas. Su envolvente, además de tener las funciones como tal, aguantará la presión interior necesaria y será transportable en un único vehículo espacial. De este modo, se ha considerado el –actualmente– futuro sistema de lanzamiento y nave espacial, totalmente reutilizable, denominado BFR Starship/super heavy, de SpaceX (32), el cual es capaz de transportar una carga de dimensiones de 8 metros de diámetro y 22 metros de longitud, con una masa de carga útil de 150 toneladas. Los elementos constructivos proyectados, parten de medidas radiales de 4 metros y, el hexágono generador, cuenta con 8 metros de lado. La carga útil necesaria para la construcción (Tabla 1), suma un total de 149'596 toneladas (< 150'000 toneladas), sin contar con las 85'711 toneladas de secciones reutilizadas, del vehículo espacial (Tabla 2).

- (13) Ehrlich, Hermann. (2010). Paleodictyon Honeycomb Structure in *Biological Materials of Marine Origin* (pp. 137-141). Netherlands: Springer. ISSN 2211-0593.
- (14) Hectonichus. (2016). Paleodictyon from Miocene of Fiume Savio, Italy - on display at Museo Geologico G. Cappellini, Bologna.
- (15) Muñoz-Caro, G.M., Mateo-Martí, E., and Martínez-Frías, J. (27-jun-2006). Near-UV Transmittance of Basalt Dust as an Analog of the Martian Regolith: Implications for Sensor Calibration and Astrobiology. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 6(6), 688-696. <http://dx.doi.org/10.3390/s6060688>.
- (16) Larson, W.J. and Pranke, L.K. (2000). *Human Spaceflight: Mission Analysis and Design*. Space technology series, McGraw-Hill. ISBN: 007236811X, 9780072368116.
- (17) Eid-Macheh-Sánchez, Y., Matínez-Frías, J., García-Valverde, J., Torres-Ferrer, A., Aaron-Graves, J. (2015) Project "FALLAMARS", *3D-Printed Habitat Challenge*, National Center for Defense Manufacturing and Machining/AMERICA MAKES National Additive Manufacturing Institute. Recuperado de <http://fallamars.com/projects.html>.
- (18) Montes, C., Broussard, K., Gongre, M., Simicevic, N., Mejia, J., Tham, J., Allouche, E., Davis G. (2015). Evaluation of lunar regolith geopolymer binder as a radioactive shielding material for space exploration applications. *Advances in Space Research*, 56(6), 1212-1221. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.05.044>.
- (19) Haruyama, J., Ohtake, M., Matsunaga, T., Morota, T., Honda, C., Yokota, Y., Pieters, C.M., Hara, S., et al. (2008). Lack of exposed ice inside lunar south pole Shackleton crater. *Science*, 322(5903), 938-939. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1164020>.
- (20) Park, J.S., Liu, Y., Kihm, K. D., Taylor L. A. (2006). Micro-morphology and toxicological effects of lunar dust. *Lunar and Planetary Science XXXVII*.
- (21) NASA Radioisotope Power Systems. *NASA Radioisotope Power Systems*. Consultado el 28 de noviembre de 2021. <https://rps.nasa.gov/>.
- (22) Hollick, M., O'Brien, B.J. (2013). Lunar weather measurements at three Apollo sites 1969-1976, *Space Weather*, 11(11), 651-660. <https://doi.org/10.1002/2013SW000978>.
- (23) Rolston III, H. (1988). Environmental ethics. Duties to and values in the natural world, (pp. 389-391). Philadelphia, Temple University Press.
- (24) Finckenor, M.M., Dooling, D. (1999). Multilayer insulation material guidelines. *National Aeronautics and Space Administration*. Marshall Space Flight Center, MSFC, Alabama.
- (25) Bryan, W. (Editor). Last Updated: Aug 7, 2017. Radiant Barrier. *NASA Spinoff*. Recuperado de <https://www.nasa.gov/offices/oct/40-years-of-nasa-spinoff/radiant-barrier>.
- (26) Bryan, W. (Editor). Last Updated: 2018. Space-Grade Insulation Keeps Beer Colder on Earth. *NASA Spinoff*. Recuperado de [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2018/cg\\_6.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2018/cg_6.html).
- (27) Muñoz-Caro, G.M., Mateo-Martí, E., Martínez-Frías, J. (2006). Near-UV transmittance of basalt dust as an analog of the martian regolith: Implications for sensor calibration and astrobiology. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 6(6), 688-696. <http://doi.org/10.3390/s6060688>.
- (28) NASA (2004). Technology Transfer. Heating and cooling efficiency for homes. *NASA*. Recuperado de [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2004/ch\\_6.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2004/ch_6.html).
- (29) SpaceX's Starship spacecraft and Super Heavy rocket (Consultado el 28 de noviembre de 2021). *Web SpaceX*. Recuperado de <https://www.spacex.com/vehicles/starship/>.
- (30) Zaragoza-Catalán, A. (2008). *A propósito de las bóvedas de crucería y otras bóvedas medievales*. Anales de Historia del Arte, Volumen Extraordinario 99-126. ISSN: 0214-6452. <https://revistas.ucm.es/index.php/ANHA/article/view/38390>.
- (31) Bein, T. (2021). *New material: Rapid color change*. LMU, München. Recuperado de <https://www.lmu.de/en/newsroom/news-overview/news/new-material-rapid-color-change.html>
- (32) Marín, D. (31-03-2020). *La guía de usuario de la Starship de SpaceX*. Recuperado de <https://danielmarin.naukas.com/2020/03/31/la-guia-de-usuario-de-la-starship-de-spacex/comment-page-2/>.