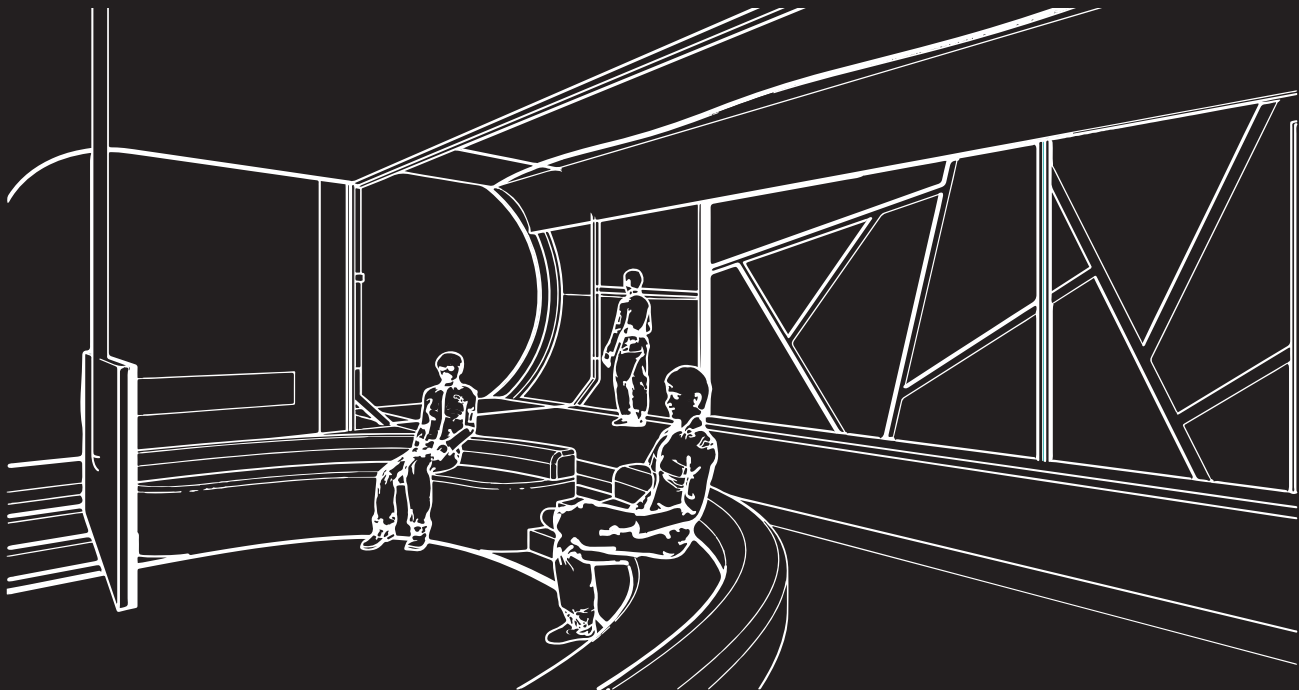


Guía de diseño arquitectónico para módulos espaciales inflables DMF con base en estudios de Neuroarquitectura

Configuración espacial y atmósfera arquitectónica



Memoria de título

Autora: Mónica Queupan Calderón

Profesor referente: Pedro Serrano/ Profesor co-referente: Fernando Hammersley

Enero 2023

Resumen

El interés del ser humano en explorar el mundo que lo rodea es innato en el ser humano, es por eso que la Arquitectura toma un papel protagonista al entregar soluciones a la habitabilidad en el camino a describir nuevos planetas. Se empieza investigando las consecuencias implicadas al someter al ser humano al entorno hostil fuera de atmósfera terrestre, concluyendo que más allá de lo reforzado que puede estar estructuralmente los módulos espaciales, la configuración interior y la atmósfera desarrollada es crucial para permitir una amena estadía en las misiones espaciales de larga duración. Con base en estudiar la Neuroarquitectura se pueden extraer estrategias de diseño que generen una pauta, pudiendo ser implementada por medio del entendimiento de la percepción del usuario en el espacio habitado. Estas pautas se pueden usar para desarrollar una matriz en el modelo, y así validar su uso para otras configuraciones y programas.

Abstract

The interest of the human being in exploring the world that surrounds him is innate in the human being, that is why Architecture plays a leading role by providing solutions to habitability on the way to describing new planets. It begins by investigating the consequences involved in subjecting the human being to the hostile environment outside the Earth's atmosphere, concluding that beyond how structurally reinforced the space modules may be, the interior configuration and the developed atmosphere is crucial to allow a pleasant stay in the long-duration space missions. Based on studying Neuroarchitecture, design strategies can be extracted that generate a pattern, which can be implemented by understanding the user's perception of the inhabited space. These guidelines can be used to develop a matrix in the model, thus validating its use for other configurations and programs.

Índice

Resumen
Abstract
Índice
1. Introducción

- 1.1. Preguntas iniciales
- 1.2. Hipótesis
- 1.3. Objetivos
- 1.4. Metodología I+D

2. Antecedentes

- 2.1. Escenarios de exploración
- 2.2. Condiciones del entorno
 - 2.2.1. Microgravedad
 - 2.2.2. Atmósfera/ vacío
 - 2.2.3. Temperatura
 - 2.2.4. Radiación
 - 2.2.5. Asteroides y escombros
- 2.3. Perfil del astronauta
- 2.4. Estructuras: Módulos espaciales
 - 2.4.1. Estaciones espaciales activas
 - Estación Espacial Internacional (ISS)
 - Destiny
 - Columbus
 - Kibo
 - Nodo 1 Unity
 - Nodo 2 Harmony
 - Nodo 3 Tranquility
 - Joint Airlock Quest
 - Cupola
 - Permanente Multipropósito
 - Zarya
 - Zvezda
 - Estación Espacial China Tiangong (CSS)
 - Tianhe
 - Análisis: Módulos activos
 - 2.4.2. Módulos en proyecto
 - Deployable Modular Frame (DMF)
 - Módulo experimental BEAM

3. Efectos del entorno orbital en el ser humano

- 3.1. Efectos fisiológicos en ambientes de microgravedad
 - Efectos neurológicos
 - Efectos cardiovasculares
 - Efectos inmunológicos
 - Efectos óseos
 - Efectos musculares
 - Conclusión y posibilidades de resolución
- 3.2. Fenómenos psico-sociales del ambiente en órbita
 - Alteración del sueño-vigilia
 - Relaciones interpersonales
 - Confinamiento- aislamiento
 - Conclusión y posibilidades de resolución

4. Montaje Guía de diseño

- 4.1. Propuesta estructura base: Módulos DMF
 - 4.1.2. Introducción a los módulos inflables
 - 4.1.3. Módulo "DMF: Deployable Modular Frame"
 - 4.1.4. Arquitectura Módulo DMF
- 4.2. Organización del uso de los espacios
 - 4.2.1. Programas arq. en el contexto de los viajes espaciales
 - Dormir/ Descanso/ Relajo
 - Higiene, limpieza y salud
 - Trabajo/ Investigación
 - Deporte
 - Ocio
 - Alimentación
- 4.3. Afinidad entre programas
- 4.4. Parámetros generales de la misión
 - Horario
 - Número de tripulación y duración de la misión
 - Objetivos de la misión
 - Ergonomía: dimensiones mínima de los espacios
- 4.5. Neuroarquitectura incorporada a las decisiones de diseño
 - Iluminación
 - Vegetación
 - Color
 - Altura del techo
 - Proximidad entre usuarios

5. Conclusión
6. Bibliografía

Punto de referencia visual
Textura
Realidad virtual
4.6. Matriz para aplicar bases de la Neuroarquitectura al diseño.
Prototipo módulo DMF
Imágenes objetivo



Fuente NASA, galleries, Image of the Day.

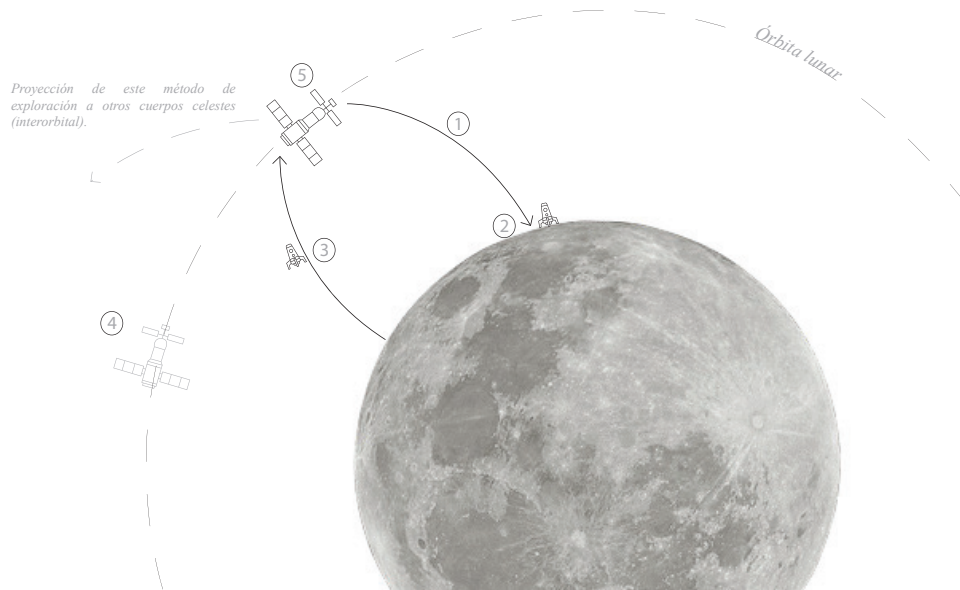
1. Introducción

- 1.1. Preguntas iniciales
- 1.2. Hipótesis
- 1.3. Objetivos
- 1.4. Metodología I+D

1. Introducción

El cosmonauta ruso Yuri Gagarin hizo historia el 12 de abril de 1961, realizando un vuelo orbital de 108 minutos. Este fue el hito que dio comienzo al interés en la exploración espacial, que desde sus inicios se ha centrado en ramas de la ingeniería, astrofísica y aeronáutica, con proyectos como las distintas estaciones espaciales y robots de exploración, para ser enviados a la Luna y Marte, entre muchos otros avances. Estos avances han concluido que las condiciones ambientales de los cuerpos celestes investigados no permiten (con la tecnología actual) estadías largas en la superficie, debido a factores como la radiación cósmica, la inexistencia de una atmósfera que proteja de la llegada de meteoritos.

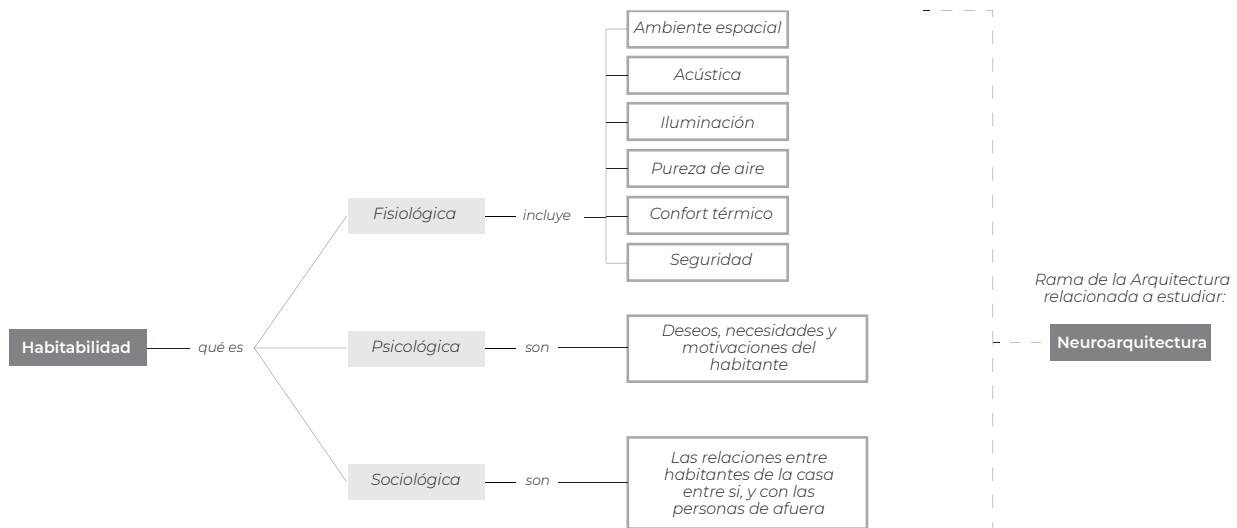
Por lo anteriormente expuesto, el plan es proponer un sistema de estadías esporádicas para la exploración de la superficie de la Luna y Marte ①, de un cierto tiempo determinado en donde se haya estudiado que el ser humano pueda revertir los efectos secundarios de las condiciones ambientales orbitales ②. Una vez pasado el tiempo de la misión, el astronauta puede regresar a una nave espacial que estará orbitando ③ y que tendrá como función recuperar la condición humana inicial ④, para posteriormente realizar otro viaje ⑤.



Plan para la exploración espacial de bajo riesgo para la salud de los astronautas. Según lo planteado por el Global Exploration Road-map el 2020. Elaboración propia.

¿Qué propone la Arquitectura para lograr la recuperación de la condición humana durante la estadía de exploración?

Existe un término que intenta responder esta pregunta a nivel terrestre, siendo esta definida como “habitabilidad”. En Arquitectura se habla de habitabilidad cuando se busca a través del diseño de espacios cumplir con *“los requerimientos fisiológicos, psicológicos y sociológicos, (...) y se refieren tanto a las características físicas necesarias para coexistir enfocadas al confort de la vivienda, como la adaptación de la vivienda a la vida particular del habitante y los deseos, necesidades y motivaciones que este tiene.”*(Robles, 2017). Según Robles y Arista en el libro *“Simulaciones del hábitat”* la habitabilidad se compone de 3 factores:



Componentes de la habitabilidad y relación con la Neuroarquitectura. Elaboración propia.

Si se busca una rama de la Arquitectura que se pueda estudiar para tratar de resolver la recuperación de la condición humana, a través de la generación de una atmósfera de bienestar, sería la Neuroarquitectura. Esta sub-disciplina de la Arquitectura sustenta sus bases a través de estudios científicos del comportamiento, ayudando a desarrollar un diseño con más relación al bienestar del usuario.

1.1. Preguntas iniciales

En los párrafos anteriores se exponen distintos factores que sugieren el planteamiento de las siguientes preguntas:

¿Qué antecedentes de ambientales se deben estudiar para entender las condiciones del entorno en donde habitan los astronautas?

¿Qué características debe tener el espacio interior habitable de los módulos espaciales para incentivar un diseño eficiente del uso del espacio?

¿Cómo deben estar organizados estos espacios y qué parámetros se deben tener en cuenta previo al diseño?

¿Qué criterios de la Neuroarquitectura deben influir en el diseño de módulos inflables?

¿Qué manera de organizar parámetros es la más indicada para armar una guía de diseño?

1.2. Hipótesis

Los antecedentes sobre las condiciones ambientales en el espacio pueden entregar información sobre los factores que afectan a la salud de los astronautas. De esta manera, saber qué es lo que precisamente se busca solucionar a través del diseño de la atmósfera del área habitable.

A través de la Arquitectura y sus distintas ramas relacionadas, se podría construir una serie de pautas que orienten el diseño estructural y la distribución interior de los módulos espaciales, proponiendo habitabilidad en espacios orientados a viajes interplanetarios proyectados para el futuro.

Los parámetros que se proponen estudiar previos al diseño y que deben tomarse en cuenta, guardan relación con el comportamiento del usuario en el marco de las misiones espaciales. Esto es considerado previamente para determinar variables como el número de la tripulación o el horario de uso de cada espacio, entre otras cosas. Estos elementos proveerán de información útil para el diseño del espacio, tanto en asignación de uso como en volumen de ocupación.

El método adecuado para organizar la información e implementarlo en una guía de diseño es a través de un método de check list, que se base en una lista de consideraciones en el diseño. Se deben agrupar entre elementos que se relacionen para facilitar la lectura.

1.3. Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una guía de diseño para la configuración espacial y establecer una atmósfera en torno al bienestar psicológico y fisiológico de los astronautas, que habiten en módulos inflables DMF con base en estudios de Neuroarquitectura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar las condiciones ambientales como antecedentes para conocer los principales factores que afectan la estructura del módulo espacial y en consecuencia a los astronautas que lo habitan. Específicamente la arquitectura de los módulos espaciales que han estado en órbita y los efectos secundarios físicos y psicológicos de los astronautas en misiones a lo largo de la historia.

2. Estudiar antecedentes de los módulos inflables DMF, identificando características arquitectónicas que ayudan al diseño flexible del espacio y su multifuncionalidad.

3. Determinar la organización del uso de los espacios, considerando los requerimientos de cada programa arquitectónico y los principales parámetros de las misiones en el contexto del interés de exploración espacial actual. Definiendo los principales criterios de diseño que beneficie la salud psicológica y fisiológica con base en estudios de Neuroarquitectura.

4. Estudiar la implementación de la Neuroarquitectura en el diseño teórico interior del módulo. Elaborando una matriz de diseño de acuerdo a los principales parámetros de las misiones y los criterios de diseño en Neuroarquitectura, que sea capaz de crear una atmósfera arquitectónica a nivel teórico. Introduciendo esta estrategia en un diseño teórico de un módulo DMF.

1.4. Metodología I+D



INVESTIGACIÓN

Obj. específico 1:

Estudiar las condiciones ambientales y conocer los principales factores que afectan la estructura del módulo espacial y a los astronautas que lo habitan. Específicamente la arquitectura de los módulos espaciales y los efectos secundarios físicos y psicológicos de los astronautas.

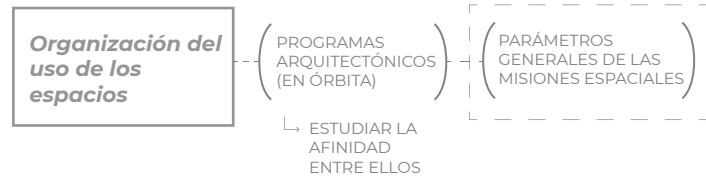
Obj. específico 2:

Estudiar antecedentes de los módulos inflables DMF, identificando características arquitectónicas que ayudan al diseño flexible del espacio y su multifuncionalidad.



Obj. específico 3:

Determinar la organización del uso de los espacios considerando los programas arquitectónicos y los parámetros de las misiones. Definiendo los principales criterios de diseño que beneficie la salud psicológica y fisiológica con base en estudios de Neuroarquitectura.



DOCUMENTACIÓN

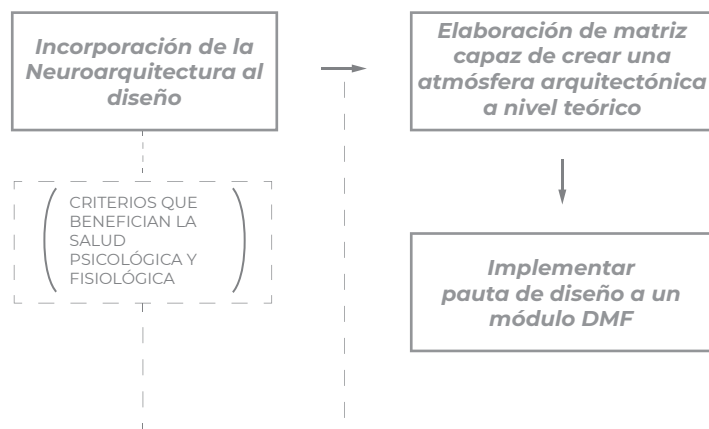
* Informes de investigación sobre el comportamiento humano en entornos de microgravedad.

* Estudios de disciplinas relacionadas (medicina- psicología) avalada por investigadores del área espacial.

DESARROLLO

Obj. específico 4:

Estudiar la implementación de la Neuroarquitectura en el diseño teórico interior del módulo. Elaborando una matriz de diseño de acuerdo a los principales parámetros de las misiones y los criterios de diseño en Neuroarquitectura, que sea capaz de crear una atmósfera arquitectónica a nivel teórico. Introduciendo esta estrategia en el diseño teórico de un módulo DMF.





Fuente NASA, galería de imágenes de la D...

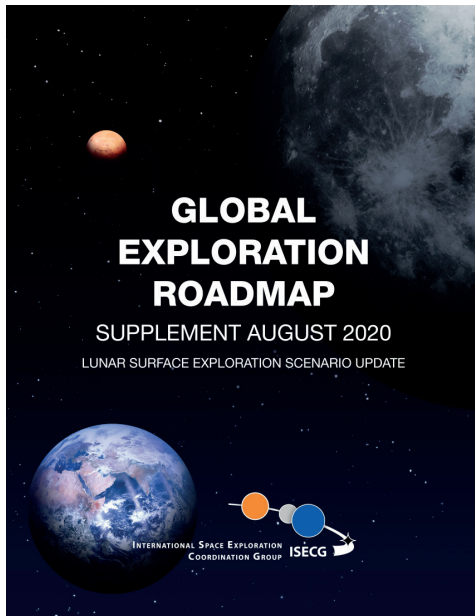
2. Antecedentes

- 2.1. Escenarios de exploración
- 2.2. Condiciones del entorno
- 2.3. Perfil del astronauta
- 2.4. Estructuras: Módulos espaciales

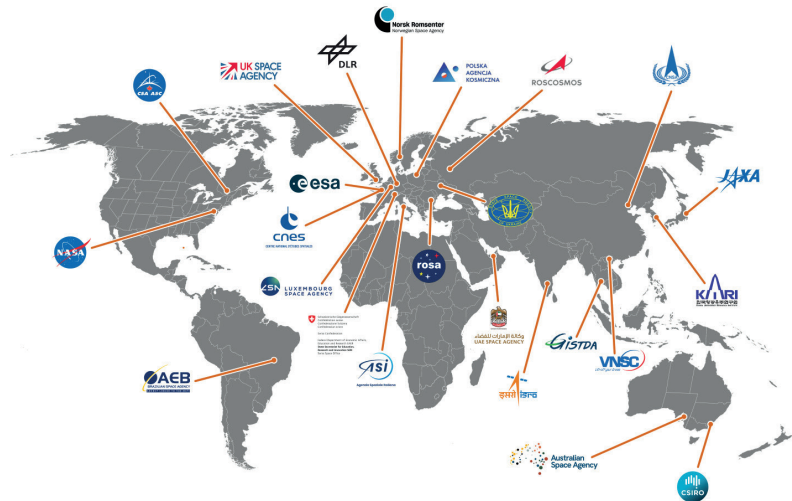
2.1. Escenarios de exploración

El Global Exploration Roadmap (GER) es un producto no vinculante del International Space Exploration Coordination Group (ISECG). El GER presenta una visión internacional compartida para la exploración espacial, humana y robótica. Además, se basa en los programas coordinados, iniciativas y objetivos de las agencias del ISECG.

Este documento refleja una estrategia de exploración que comienza con la Estación Espacial Internacional (ISS) y se extiende a la Luna, los asteroides, Marte y otros destinos. Esta estrategia se basa en un conjunto compartido de metas y objetivos de exploración, describiendo el escenario y la arquitectura más recientes de las misiones humanas y robóticas en la superficie lunar y posteriores las actividades preparatorias para Marte.



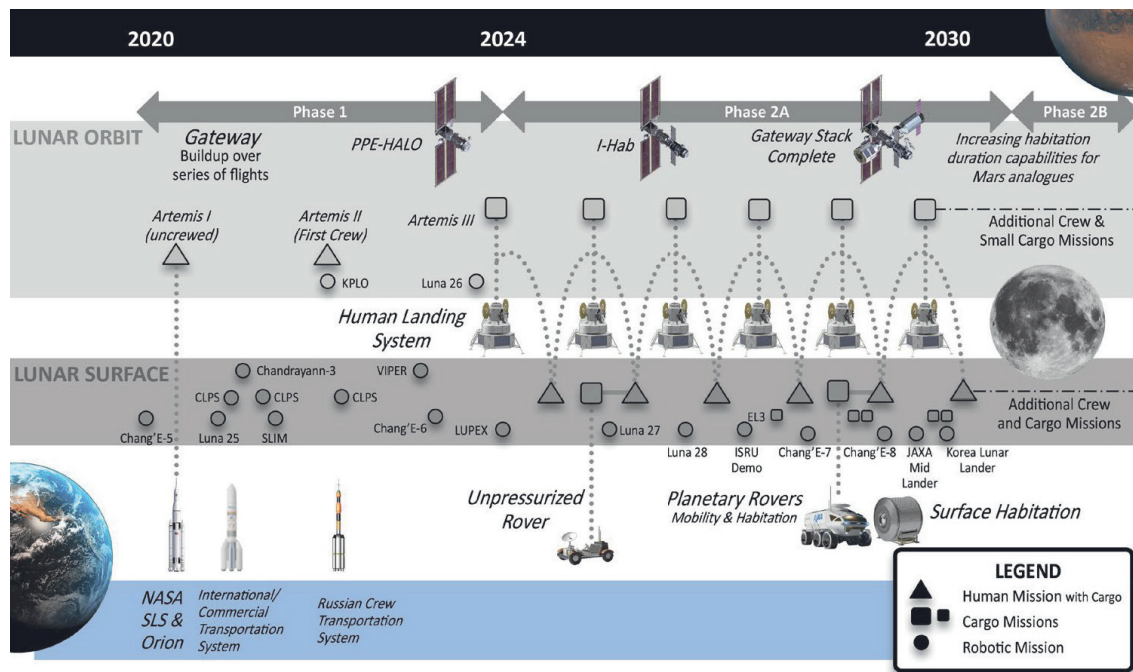
Portada GER. Agosto 2020. ISECG.



Mapa de las agencias espaciales vinculadas al ISECG en todo el mundo. Agosto 2020. ISECG.

Al observar la proyección de este grupo de Agencias espaciales, se puede desprender que el plan empieza por crear asentamientos en la superficie de la Luna, iniciando el posicionamiento de robots y tecnologías de transporte, con el fin probar equipos que han sido desarrollados para ayudar a instalar de manera segura, una colonia en la Luna. Las misiones humanas empiezan con Artemisa III y el regreso del hombre a la superficie con un grupo de 2 personas por una misión de 6,5 días de duración.

Se proyecta el incremento de misiones y tripulantes que permiten obtener experiencia que tendrá como desenlace la capacidad de desarrollar habitabilidad en Marte, a partir de los resultados del primer acercamiento a una colonia de astronautas.



Escenario actualizado de exploración de la superficie lunar de ISECG. GER 2020.

2.2. Condiciones del entorno

Conocer las condiciones ambientales en las que se desenvuelve el usuario es el trabajo previo a cualquier diseño arquitectónico, uno de los primeros y más importantes encargos. En esa línea, identificar las características del entorno a la que deben exponerse los astronautas en las largas misiones, puede ser útil a la hora de requerir información para diseñar los espacios habitables.

El “terreno” a pesar de no estar posado en nada, más bien en el vacío con baja densidad de partículas, y con esto no poder determinar variables terrestres como la ubicación, orientación, forma, o su relación con el paisaje, existen otro tipo de condiciones que influyen en el área habitable, y son principalmente de carácter atmosférico. Si bien no son visualmente identificables, pueden ser medidos a través de sondas enviadas al espacio, es por esto mismo que se pueden medir, estudiar y analizar sus potenciales consecuencias en el ser humano, sin experiencia en estos. Se ha identificado las siguientes condiciones del entorno:



Condiciones de entorno reconocidas. Elaboración propia.

2.2.1. Microgravedad

La razón por la cual las distintas estaciones espaciales han podido orbitar al rededor de la Tierra es por el estudio de la gravedad. Todos los objetos son atraídos por el centro de gravedad de la Tierra, pero en órbita están en una constante caída libre, del cual se tiene que aplicar una fuerza lateral para mantener el objeto en órbita, mientras que el planeta intenta empujar hacia el centro. Por lo que si mantenemos el objeto a cierta velocidad y altitud, pareciera no tener peso.

Para entender cómo funciona el manejo de la gravedad para futuros viajes espaciales, puede ser explicado por medio del diagrama de Bala de Cañón propuesta por Isaac Newton¹:

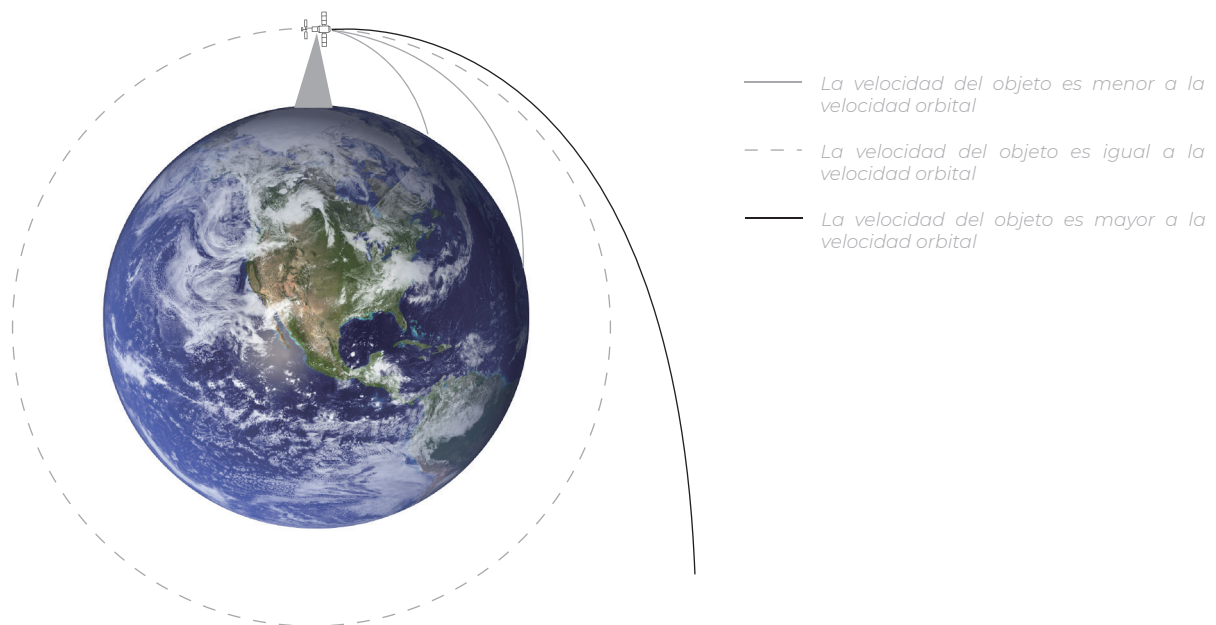
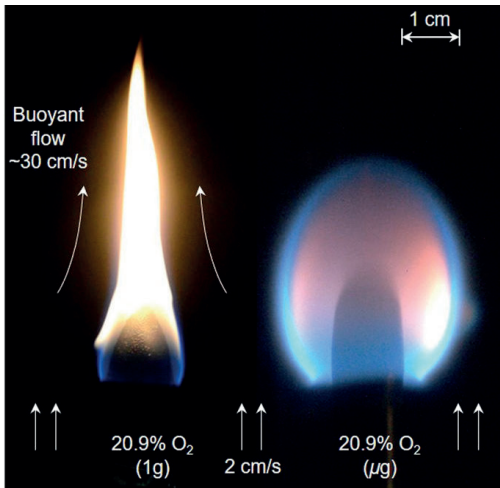


Diagrama del cañón de Newton. Elaboración propia.

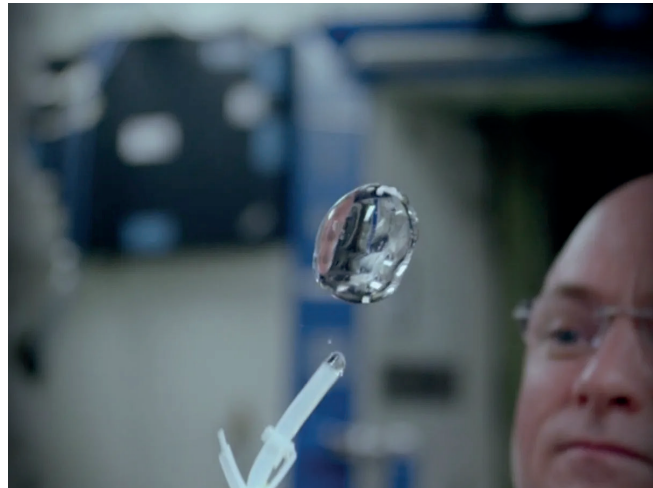
¹ Bucknell.edu – Astronomy 101 Specials: Newton's Cannonball and the Speed of Orbiting Objects.

Es por esto que la microgravedad que actúa sobre cualquier objeto que orbite no se debe a que la Tierra no lo atraiga, sino al estado de continua caída libre en el que se encuentra, sumado a una elevada velocidad de desplazamiento (equivalente a la velocidad orbital) de aproximadamente 27.000 km/h.

Cuando los objetos son sometidos a la condición de microgravedad, dependiendo su naturaleza (sólida, líquida o gaseosa) presentan comportamientos diversos². El primer experimento examina la llama de una vela expuesta a un ambiente de microgravedad a través de una cámara posicionada en un contenedor que fue puesto en caída libre, en donde se observa el cambio de forma a una más esférica. El segundo experimento muestra como el agua líquida expulsada de la botella de uno de los astronautas flota, esto fue registrado dentro de la Estación espacial internacional.



Comportamiento de gases en microgravedad. Fuente: Nature portfolio.



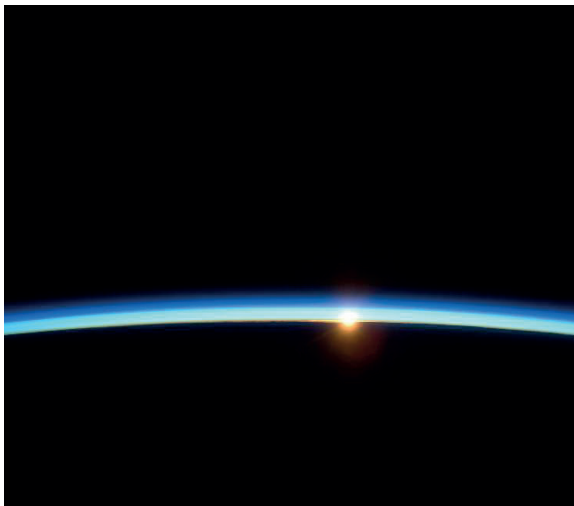
Comportamiento del líquido en microgravedad. Fuente: Nature portfolio.

² M. Baliscei, A. Rodrigues. (2016). Microgravity indoor, Microgravidade em recintos fechados. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, n° 2, e2502.

2.2.2. *Atmósfera / vacío*

La atmósfera terrestre, está compuesta principalmente por 3 gases: nitrógeno, oxígeno y el argón³. Estos gases, además de otros en menor cantidad, permiten un ambiente idóneo para albergar vida en la superficie, respirando el oxígeno que va desde los pulmones, hasta todas las células del cuerpo.

Muy distinta es la situación en el espacio exterior, en donde si bien no existe un vacío absoluto, allí no hay ningún tipo de atmósfera. No existe una frontera definida entre la atmósfera y el espacio, ya que al componerse de gases es imposible trazar una línea, pero se puede definir visualmente, cuando vemos la Tierra desde el espacio, en el momento en que se nota que las finas capas van desapareciendo. También se puede definir observando el ingreso de cualquier objeto desde el espacio hacia la Tierra, en donde los efectos de la entrada a la atmósfera empiezan a ser visibles a una altitud de 120 km.



Visualización de la atmósfera terrestre desde el espacio exterior



Meteoróide pasando por encima de la ciudad de Cheliábinsk (Rusia) el 15 de febrero de 2013, en el que puede verse la estela dejada en contacto con la atmósfera.

³ Composición de la atmósfera | Climatic | Educaplus(2022). [online] Disponible en https://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html [Visitado el 27-7-2022].

2.2.3. Temperatura

Si bien la temperatura de todo el espacio exterior no es fija y por lo tanto, definir un número en específico no es lógico, si se puede afirmar que puede variar de forma brusca, al no tener atmosfera que proteja al objeto que esté orbitando.

“En las órbitas de la Tierra, la temperatura oscila entre los -180°C en la sombra de nuestro planeta y los 122°C en la cara iluminada por el Sol”⁴.

El calor que emanan las estrellas, principalmente nuestro Sol que se encuentra cerca, viaja a través del espacio en forma de ondas infrarrojas llamadas radiación solar. Estos rayos solares solo calientan las partículas que se ponen en contacto con ellas, por lo que cuando un objeto se interpone y genera sombra, también ocasiona una baja de temperatura, manteniéndose así hasta que nuevamente se pone en contacto con radiación solar.

La atmosfera de la Tierra hace circular el calor del sol a través de la conducción, la convección y la radiación. Y gracias a las condiciones atmosféricas de la Tierra es que sentimos los cambios de temperatura de manera sutil (la T° de la mañana no cambia bruscamente a la T° de la tarde), dado que las partículas se mueven un poco más rápido, debido a la luz solar o los patrones climáticos.

⁴ Revista GEO. (2021). ¿Cuál es la temperatura del espacio?. URL: https://www.mundo-geo.es/conocimiento/cual-es-temperatura-espacio_237632_102.html

2.2.4. Radiación

El espacio es un lugar repleto de todo tipo de energías, ya sean ondas electromagnéticas o partículas; que pueden tener la suficiente energía para romper el ADN de nuestras células. Estas ondas y partículas se definen a través de la fuente de donde provienen, en este caso la radiación ionizante tienen tres posibles orígenes: El Sol, los rayos cósmicos y los cinturones de radiación terrestres.

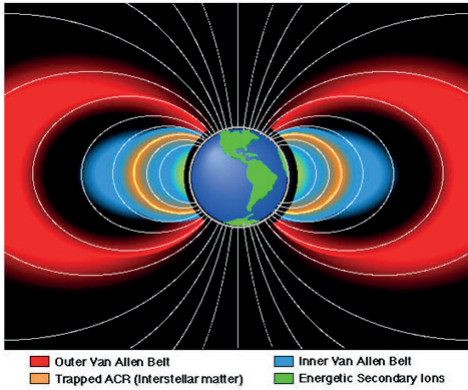
Por un lado, el Sol, que expulsa continuamente material desde su superficie, genera fenómenos relacionados con el flujo de partículas como los vientos solares, formados principalmente por núcleos de hidrógeno (protones) y helio (partículas alfa), elementos abundantes en el Sol y el universo. Esto no representa un problema importante, pero existen ocasiones en las que es tan abundante la cantidad de energía expulsada que estos puede llegar a ser dañino e incluso llegar a afectar al sistema Tierra-Luna ⁵. Estas “tormentas solares” reciben el nombre de Sucesos de Partículas Solares o SPE (Solar Particle Events) y su origen es complejo e impredecible. El Sol emite uno o dos SPE importantes cada once años y solo un 20% llega cerca de la órbita terrestre, tardando entre doce horas y dos días en “impactar”, tiempo suficiente para alertar a los astronautas que habitan en ese momento las estaciones espaciales.

Por otro lado, desde lo más profundo de la galaxia, los rayos cósmicos son energías de origen aún desconocidas. La mayoría fueron creados hace millones de años por alguna explosión de supernova, por lo que han recorrido miles de años luz antes de llegar al Sistema Solar.

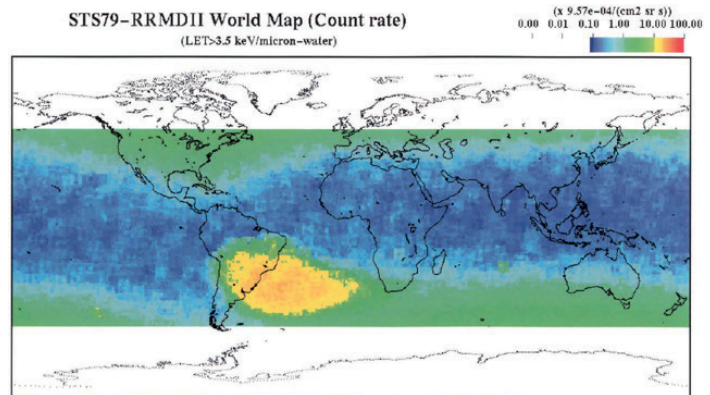
En cuanto a los cinturones de radiación, la forma e intensidad de estos varía con el ciclo de actividad solar y pueden llegar a presentar una densidad máxima a los 6000 kilómetros de altura. En principio basta con mantener los objetos en órbitas por debajo de los 500 kilómetros de altura, para evitar los efectos de los cinturones de radiación. De igual manera afecta a todas las misiones espaciales tripuladas cuya inclinación orbital sea superior a los 300, como es el caso de la estación espacial internacional (ISS). La mayor parte de la radiación recibida por los tripulantes de la ISS se debe a esta anomalía.

La magnetosfera terrestre protege a la superficie terrestre de los SPE y los rayos cósmicos, por lo que no presenta una preocupación para el común de personas, no así para los astronautas.

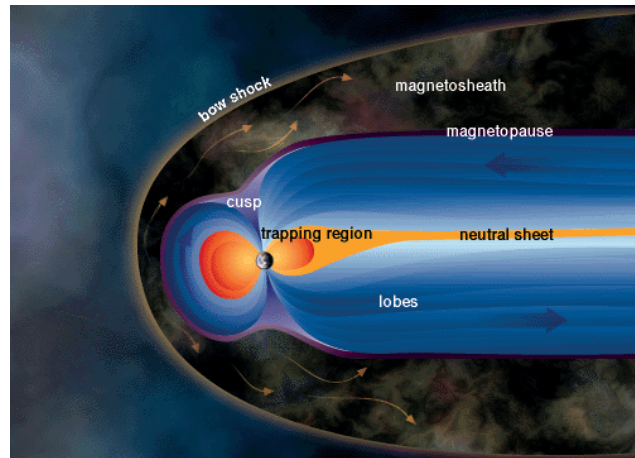
⁵ Revista GEO. (2021). ¿Cuál es la temperatura del espacio?. URL: https://www.mundo-geo.es/conocimiento/cual-es-temperatura-espacio_237632_102.html



Cinturones de radiación celeste. Fuente: Revista GEO



Niveles de radiación en órbita baja. Se aprecia la "Anomalia del Atlantico Sur". Fuente: NASA- JAXA.










La magnetosfera terrestre nos protege de los rayos cósmicos y los SPE. Fuente: NASA.

2.2.5. Asteroides y escombros

Cualquier nave espacial que se encuentre orbitando con el tiempo es inevitable que se exponga a cualquier tipo de amenaza, ya sea natural o artificial. Es por eso que presentan una amenaza para la integridad de la nave, el cual ha causado que las naves que actualmente orbitan la Tierra, tomen medidas estructurales que soporten eventuales impactos.

Los objetos que por ahí orbitan y podrían poner en peligro a las naves espaciales tienen un variado diámetro de tamaño, al no existir una atmosfera que proteja a las naves, como pasa en la Tierra, no existe la posibilidad de que se desintegren, esto puede significar un problema sobre todo para la maquinaria expuesta en las naves espaciales, como son paneles, motores de propulsión, etc.

Si bien lo mencionado anteriormente representa un problema, lo que realmente agrava la situación es la velocidad a la que viajan estos objetos. Las naves espaciales que orbitan la Tierra tienen bastante experiencia, reportando objetos que vienen desde los 7 a 14 km/s de velocidad relativa. Uno de los incidentes fue reportado por el astronauta Chris Hadfield el 2013, en donde cuenta la situación en donde una piedra espacial impactó en la Estación Espacial Internacional, atravesando uno de los paneles solares y creando lo que él llamó “un agujero de balas”. Se puede comparar a la velocidad de una bala convencional (que viaja entre 450 y 900 metros por segundo), con la de un micrometeorito, en donde este último podría viajar unas 12 veces más rápido que la bala.

TAMAÑO DEL DESECHO ESPACIAL	MASA DE LA ESFERA DE ALUMINIO	ENERGÍA CINÉTICA	ENERGÍA DE IMPACTO SIMILAR A...
1 mm	0,0014 g	71 J	
3 mm	0,038 g	1.910 J	
1 cm	0,41 g	70.700 J	
5 cm 	176,7 g	8.840.000 J	
10 cm 	1413,7 g	70.700.000 J	

Impacto de la basura espacial en medidas conocidas. Fuente: Revista GEO.

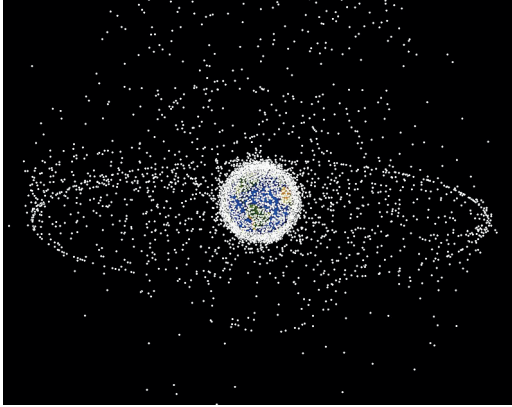
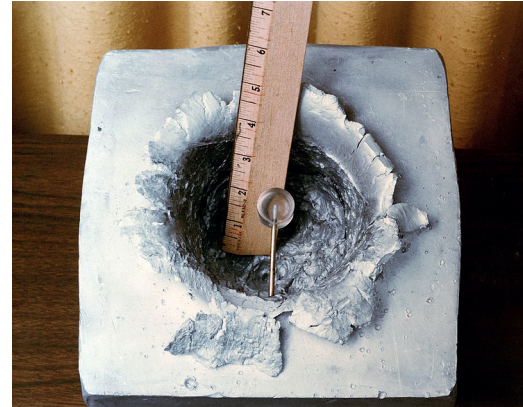


Imagen generada por computadora que representa los derechos espaciales como se puede ver desde la órbita terrestre alta. Fuente: NASA.



Un objeto de 7 gramos (mostrado en el centro) disparado a 7 km/s (la velocidad orbital de la estación) hizo este cráter de 15 cm en un bloque sólido de aluminio.

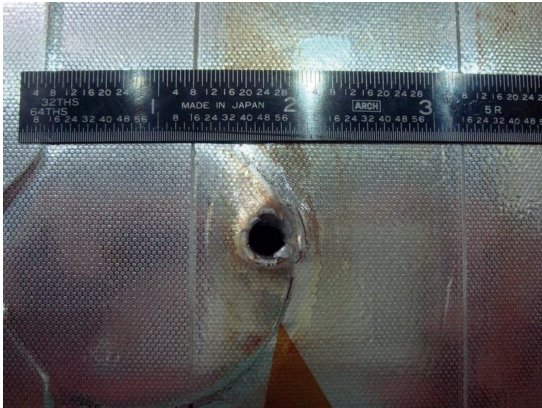


Imagen de la estructura exterior del transbordador espacial Endeavour, sufrió un gran impacto en su radiador durante STS-118. El orificio de entrada mide aproximadamente 5,5 mm. Fuente: NASA.

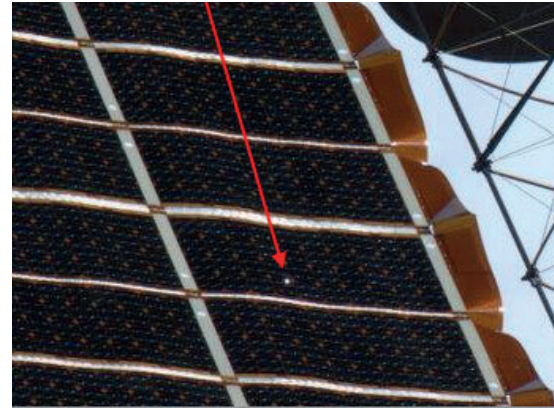


Imagen de agujero en panel solar ocasionado por una piedra espacial pequeña. Fuente: ISS.

2.3. Perfil del astronauta

En las primeras fases de exploración, las distintas misiones que se impartirán tanto en la órbita y superficie Lunar, como en las proyecciones a Marte, será dependiente la mayor parte del tiempo de la capacidad intelectual y de resolución de problemas que tengan los astronautas elegidos para comandar. Es por esto que se deben elegir personas aptas y con los mejores perfiles físicos y psicológicos.

Los criterios de selección han cambiado a medida que pasa el tiempo, al igual que el enfoque de las misiones. En 1959 eran los militares quienes seleccionaban a los primeros astronautas, estos perfiles eran principalmente personal militar que tenía experiencia en volar aviones y estudios relacionados a la ingeniería, además de cumplir con una altura máxima debido al tamaño reducido de los módulos que en ese tiempo.

No fue hasta 1964 que la NASA empezó a buscar científicos para ser astronautas. *“En aquel entonces, una cualificación para los científicos-astronautas era un doctorado en medicina, ingeniería o una ciencia natural como la física, la química o la biología”*⁶.

Actualmente, existen programas de selección que requieren tener un catálogo de títulos universitarios (STEAM y relacionados con las ciencias, informática, entre otras), y haber ejercido al menos dos años o un mínimo de 1000 horas de vuelo al mando de aviones, además de la aprobación de un examen físico. En cuanto a las habilidades blandas, estos deben tener rasgos de liderazgo, trabajo en equipo y comunicación. Los candidatos que más se acomoden a este perfil asisten a varias entrevistas y exámenes que van filtrando la cantidad de personas interesadas, hasta que finalmente el grupo seleccionado se somete a un entrenamiento de dos años en donde desarrollan habilidades y aprenden los conocimientos que debe tener un astronauta, como lo es caminar en el espacio, operar la estación espacial, volar aviones y controlar un brazo robótico.

⁶ Dunbar B, NASA. (2020). Requisitos para los astronautas. Última actualización el 14 de enero de 2022. URL: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Astronaut_Requirements.html.

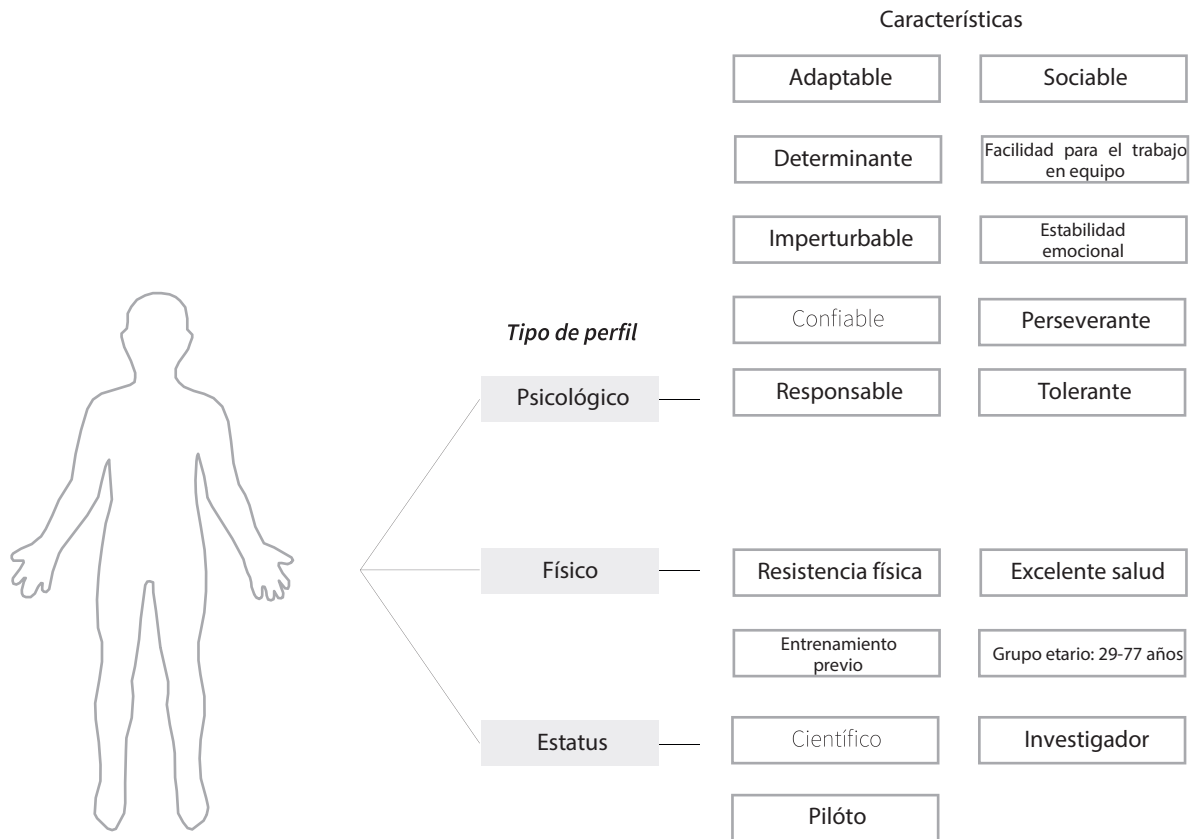


Diagrama tipos de perfil y rasgos que debe cumplir un astronauta. Elaboración propia.

2.4. Estructuras: Módulos espaciales

Los módulos espaciales son las estructuras que en su conjunto conforman una estación espacial. Su forma permite la adaptabilidad y crecimiento, acoplándose a través de los nodos y compuertas formadas internacionalmente. Estas estructuras por si solas son autosuficientes, ya que están equipadas por un sistema de soporte vital.

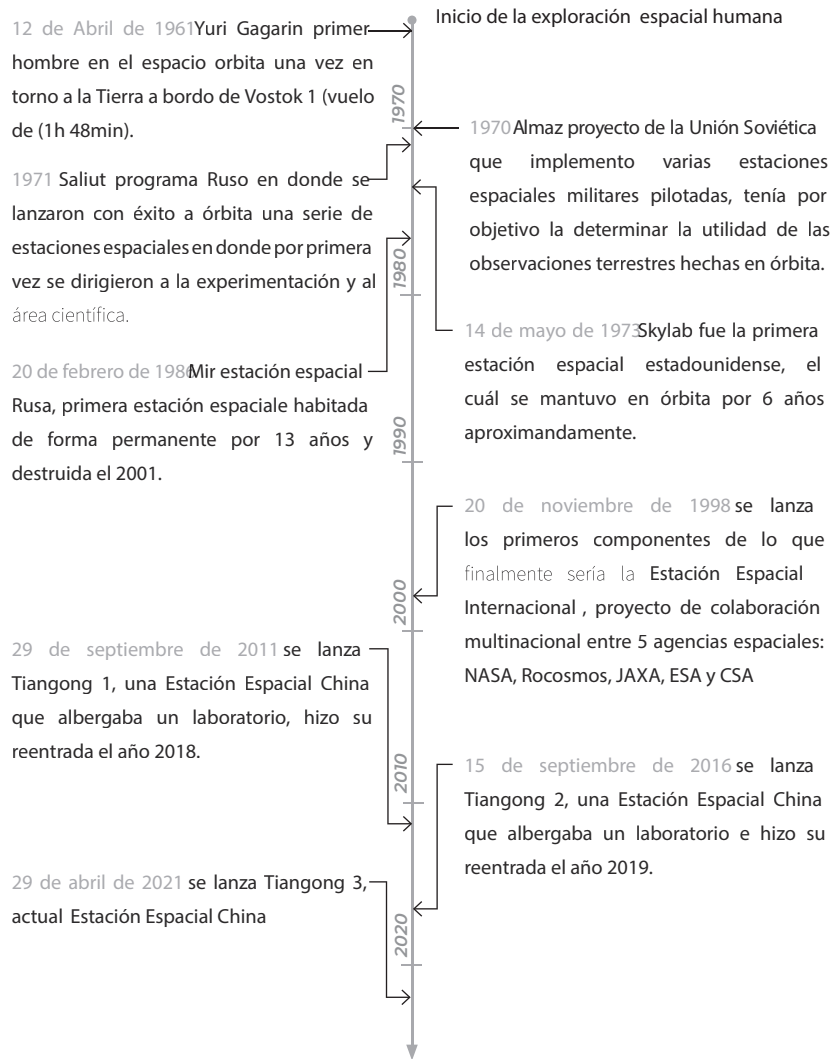
En este apartado se enumerará y describirá las características estructurales de los módulos espaciales, se tomarán en cuenta los módulos que estén o hayan estado activos (orbitando).

2.4.1. Estaciones espaciales activas

Las estaciones espaciales se distinguen de las naves espaciales por la carencia de un propulsor principal, lo que les impide trasladarse más allá de la órbita en donde están navegando. Se montan por medio de un montaje de piezas que son llevadas por naves espaciales a órbita.

El principal objetivo hoy en día es la investigación de los efectos a largo plazo de los vuelos espaciales, pero también cuenta con instalaciones como laboratorios de microbiología, impresión 3D, entre otros estudios que permitan conocer mejor las condiciones ambientales y como sobrevivir.

Actualmente, solo existen 2 estaciones espaciales activas: La Estación Espacial Internacional (ISS) y la Estación Espacial Tiangong, de la CNSA. De este último, anteriormente se habían lanzado dos estaciones, llamadas Tiangong -1 (2011) y Tiangong-2 (2016). Otras estaciones enviadas fueron por parte de la Unión Soviética, con los proyectos Almaz y Salyut, además del Mir que pasó finalmente a ser Ruso. Por parte de EEUU se puede destacar el Skylab (1979), primera estación espacial enviada por este país.

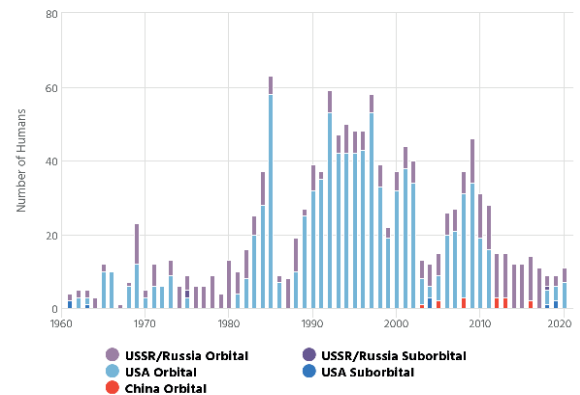


Desarrollo cronológico de lanzamiento de las distintas Estaciones Espaciales existentes y obsoletas. Elaboración propia.

Para el análisis, solo consideraremos 2 estaciones espaciales habitables: ISS y Estación espacial China, los cuales se encuentran activos en órbita. A continuación se detalla una comparación de estas estructuras y el número de astronautas que han sido colocados en órbita por país.

	International Space Station	Chinese Space Station
Maximum Length	109 m	37 m
Mass	420 metric tons	60 - 70 metric tons
Lifespan	26 yrs if deorbited in 2024	>10 yrs
Crew Size	6, or 9 short-term	3, or 6 short-term
Initial Launch Date	1998	2021

Number of Humans Launched into Space by Country



CSIS China Power Project | Various Sources

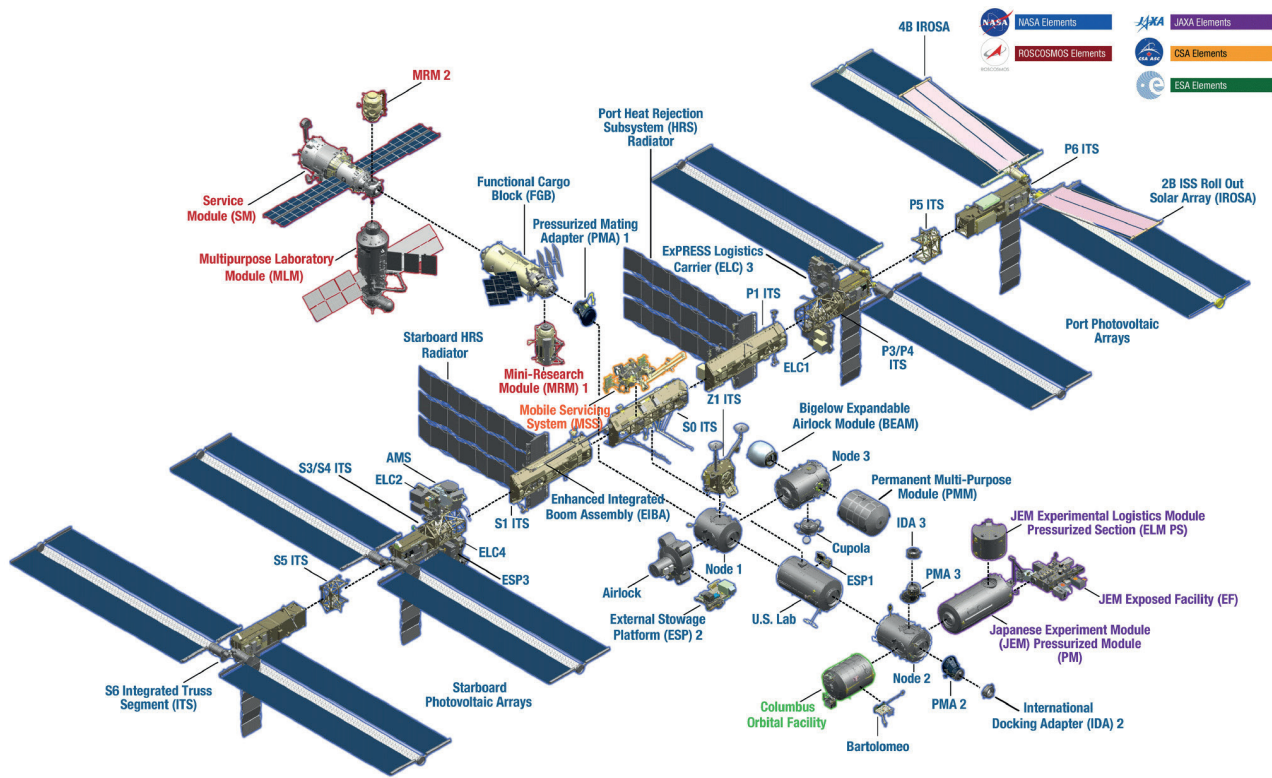
Comparación de las Estaciones espaciales: ISS, CSS Y Mir. Fuente: Chinapower.csis.org

Número de personas que han ido al espacio por agencia. Fuente: Chinapower.csis.org

A través de lo mostrado anteriormente podemos concluir que los principales actores de la nueva carrera espacial son países como USA, Rusia y China. A pesar de que se muestre una clara mayoría en la participación estadounidense, se puede observar que en la última década los protagonistas han sido Rusia y China.

Estación Espacial Internacional (ISS)

A continuación se detallará la distribución y las características de los módulos presentes en la Estación Espacial Internacional (EEI o ISS).



Detalle de composición de la Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA.

Para analizar cada módulo, es necesario filtrar entre los que están presurizados (permitiendo una atmosfera idónea para la habitabilidad de los astronautas), y los habitables (con programas arquitectónicos que puedan ser de interés). Es por esta razón que se eligen los siguientes módulos para analizar:

- **Destiny**, Laboratorio USA, NASA/Boeing.
- Laboratorio de investigación Europeo **Columbus**, European Space Agency (ESA)/European Aeronautic Defence and Space Co. EADS) Space Transportation
- Módulo de Experimentos Japonés, **Kibo** (Hope), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)/Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- Nodo 1 **Unity**, NASA/Boeing
- Nodo 2 **Harmony**, ESA/Thales Alenia Space Italy (TAS-I)
- Nodo 3 **Tranquility**, ESA/Thales Alenia Space Italy (TAS-I)
- Joint Airlock **Quest**, NASA/Boeing
- **Cupola**, ESA/Thales Alenia Italy (TAS-I)
- **Módulo Permanente Multipropósito** (PMM) NASA/ASI (Italian Space Agency)
- Bloque de carga funcional (FGB) **Zarya** (Sunrise), NASA/Boeing/Khrunichev State Research and Production Space Center
- Modulo de servicio (SM), **Zvezda** (Star), Russian Federal Space Agency (Roscosmos)/S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (RSC Energia)

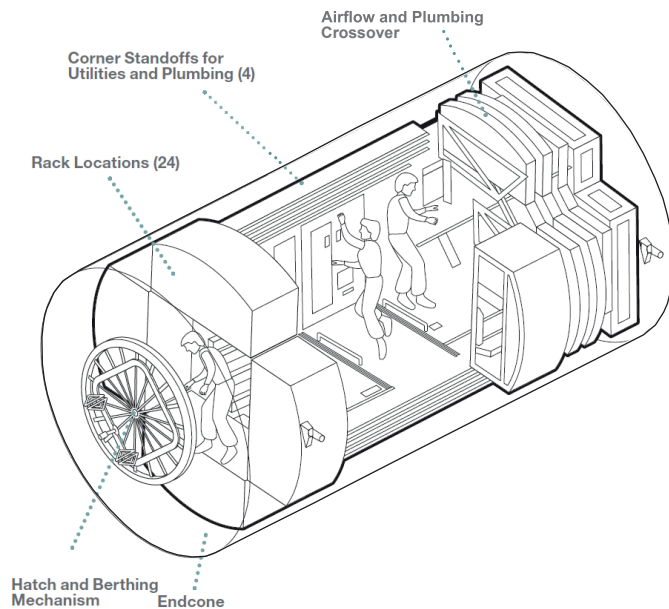


La información detallada a continuación está respaldada en su mayoría por el documento publicado por la NASA. "Reference guide to the International Space Station" actualizado en septiembre 2015.

Destiny: Laboratorio USA, NASA/Boeing

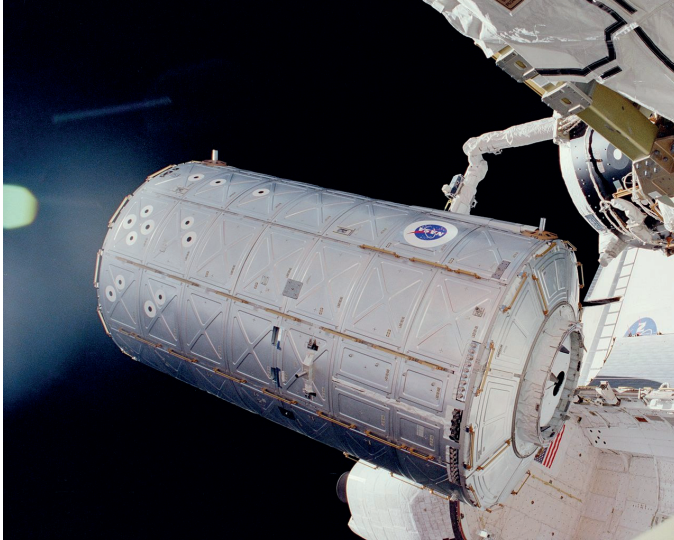
Este módulo alberga el laboratorio principal de investigación de cargas útiles estadounidense, apoya una amplia gama de experimentos y estudios que contribuyen a la salud, la seguridad y la calidad de vida de las personas.

Según la imagen mostrada a continuación, el interior del módulo es rectangular y está dividido en 4 zonas en donde se encuentran los racks, sistemas de almacenaje que aprovecha el espacio en donde no puede transitar el astronauta, tiene un total de 24 bastidores, los cuales 13 son utilizados para experimentos científicos y, por lo tanto, son extraíbles, y los otros 11 bastidores están destinados a proporcionar energía, agua de refrigeración, temperatura y control de humedad, así como la revitalización del aire para eliminar el dióxido de carbono y reponer el oxígeno.



Length	8.5 m (28 ft)
Length with attached Common Berthing Mechanism (CBM)	9.2 m (30.2 ft)
Width	4.3 m diameter (14 ft)
Mass	14,515 kg (32,000 lb) 24,023 kg (52,962 lb) with all racks and outfitting
Exterior	Aluminum, 3 cylindrical sections, 2 endcones
Number of racks	24 (13 scientific and 11 system)
Windows	1, with a diameter of 50.9 cm (20 in)
Launch date	February 7, 2001 STS-98 5A

Detalle módulo Destiny. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



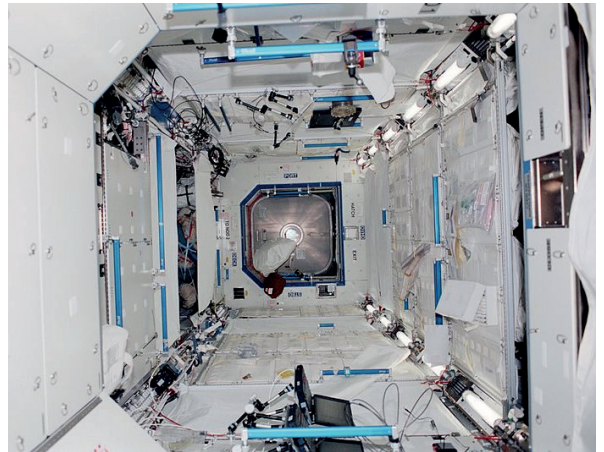
Instalación módulo Destiny. Fuente: NASA.



Astronauta al interior de módulo Destiny. Fuente: NASA.



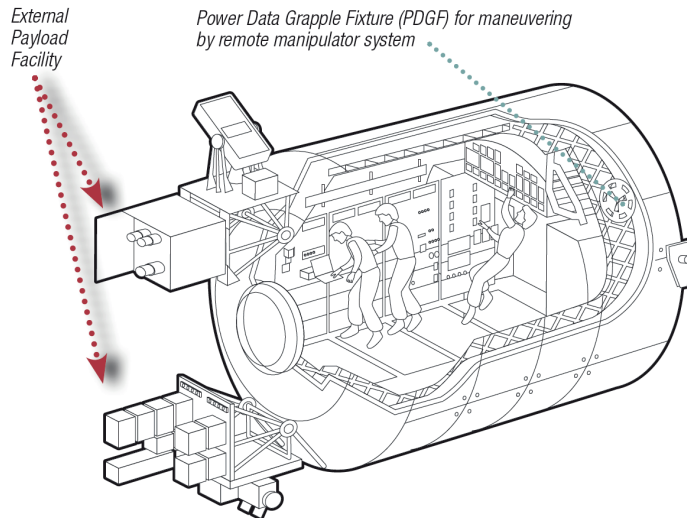
Interior módulo Destiny en los momentos cuando la tripulación descansa. Fuente: NASA.



Interior de módulo Destiny justo después de ser instalado. Fuente: NASA.

Laboratorio de investigación Europeo Columbus, European Space Agency (ESA)/European Aeronautic Defence and Space Co. (EADS) Space Transportation.

El Laboratorio de Investigación Columbus es la mayor contribución de Europa a la Estación Espacial Internacional. Consiste en un laboratorio multifuncional presurizado unido permanentemente al Nodo 2 de la ISS. La flexibilidad del laboratorio Columbus permite a los investigadores terrestres en conjunto con los astronautas llevar a cabo experimentos de ciencia de materiales, física de fluidos, entre otras áreas que entreguen información acerca del comportamiento de los objetos en un entorno ingrávido. Además, los experimentos y aplicaciones pueden llevarse a cabo fuera del módulo en el vacío del espacio, gracias a cuatro plataformas de montaje que pueden alojar cargas útiles en contacto con el exterior.



Length	6.9 m (22.6 ft)
Diameter	4.5 m (14.7 ft)
Launch Mass	10,300 kg (22,700 lb)
Launch date	February 7, 2008 STS-122 1E
Racks	10 International Standard Payload Racks (ISPRs)

Módulo Columbus. Fuente: Reference guide to the International Space Station



Columbus acoplado en la ISS. Fuente: Reference guide to the International Space Station



Interior del Columbus. Fuente: Reference guide to the International Space Station

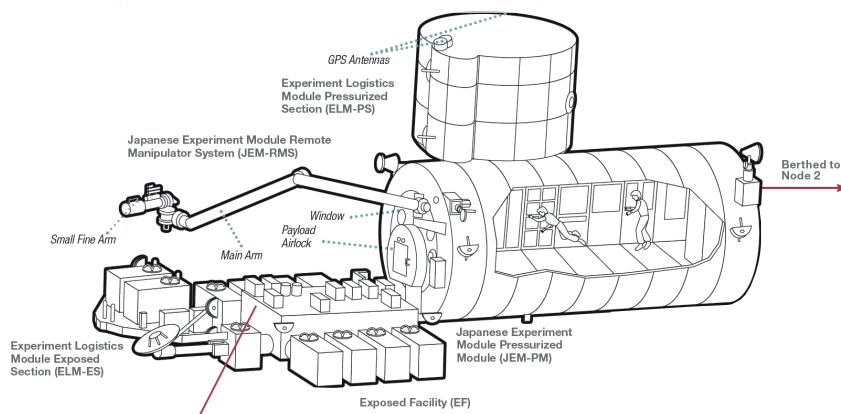


Plataformas exteriores módulo Columbus. Fuente: Reference guide to the International Space Station

Módulo de Experimentos Japonés, Kibo (Hope), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)/Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

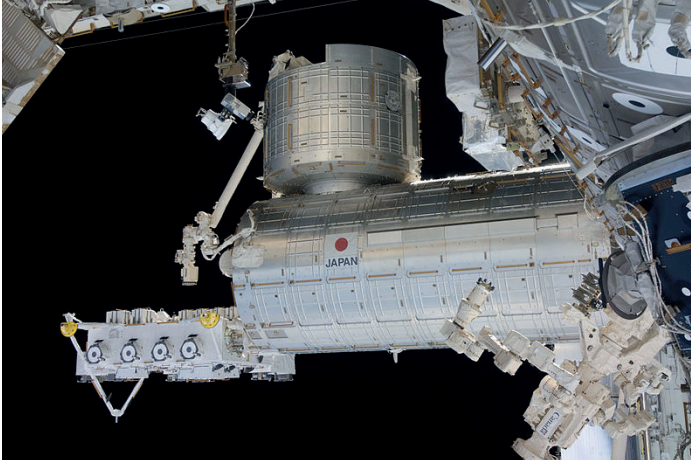
“Kibo” es la instalación espacial con más capacidad humana de Japón y la primera contribución de este país al programa de la Estación Espacial Internacional. Este módulo fue diseñado y desarrollado con el fin de llevar a cabo actividades de investigación científica en órbita, así como la mayoría de los módulos presentes en la ISS, ofrece recursos necesarios para actividades experimentales.

La instalación se divide en un módulo presurizado, que es donde habitan los astronautas, y una sección expuesta, compuesta por un brazo robot y una “terracea” con 12 puertos de unidad de instalación expuesta (EFU).

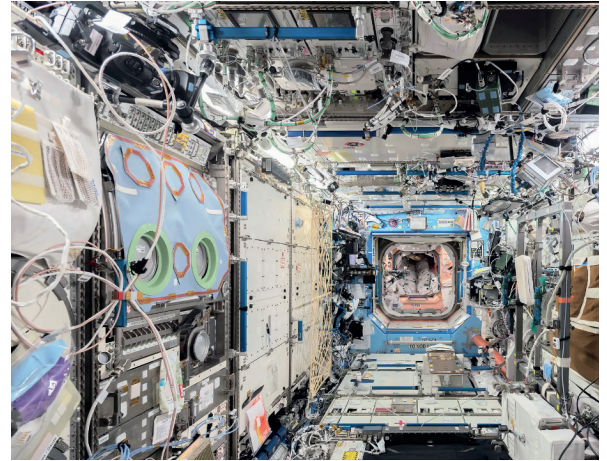


	PM	ELM-PS
Diameter	4.4 m (14.4 ft)	4.4 m (14.4 ft)
Length	11.2 m (36.7 ft)	4.2 m (13.9ft)
Launch Mass	15,900 kg (35,050 lb)	4,200 kg (9,260 lb)
Launch date	May 31, 2008 STS-124 1J	March 11, 2008 STS-123 1J/A
EF		
Dimensions	5.6 x 5 x 4 m (18.4 x 16.4 x 13.1 ft)	
Launch Mass	4,100 kg (9,038 lb)	
Launch date	July 15, 2009 STS-127 2J/A	
JEM Remote Manipulator System		
Main Arm length	10 m (32.9 ft)	
Small Fine Arm length	2.2 m (7.3 ft)	

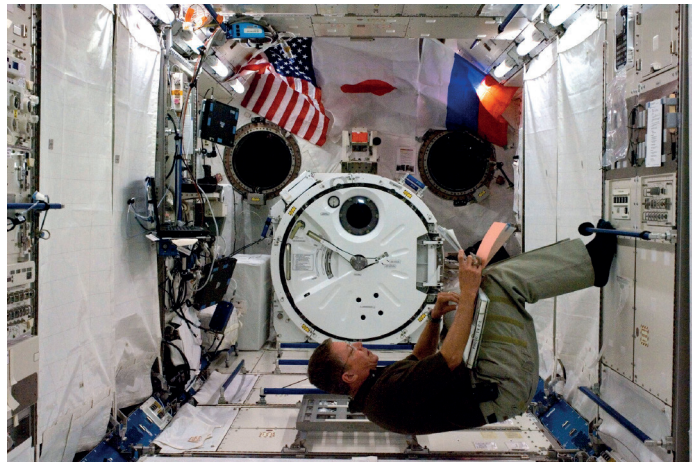
Módulo Kibo. Fuente: Reference guide to the International Space Station



Vista desde el exterior del módulo Kibo. Fuente: NASA.



Vista del interior del módulo Kibo. Fuente: NASA.

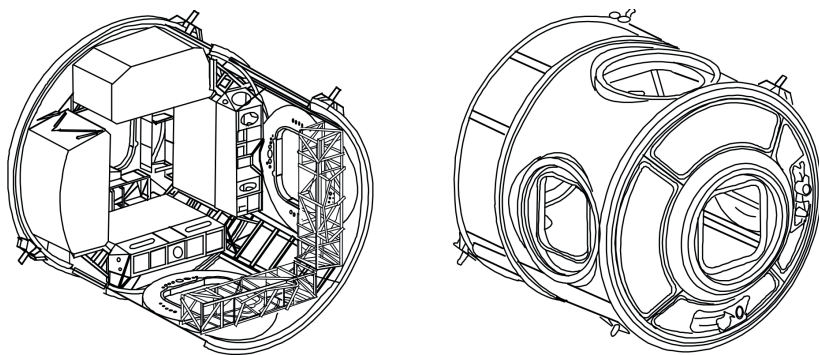


Interior módulo Kibo, se muestran las ventanas dirigidas a la "terrazza". Fuente: esa.int

Nodo 1 Unity, NASA/Boeing

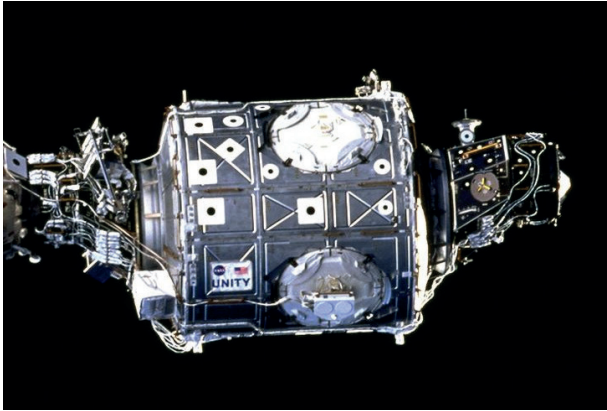
El Unity es uno de los tres nodos o módulos de conexión pasiva existentes en la ISS. Su principal función es unir otros módulos a través de sus 6 puntos de atraque. Además de una conexión espacial, este también cumple con conectar recursos esenciales de la estación espacial, como fluidos, sistemas de control ambiental, eléctricos, de datos, entre otros.

Esta configuración de espacio permite, entre otras cosas técnicas, reunir a los astronautas en torno a la conexión espacial generada. En la foto, se encuentran en el Nodo 1, a la derecha, Chris Hadfield de la Agencia Espacial Canadiense, cinco ingenieros de vuelo, en la foto en sentido de las manecillas del reloj, Tom Marshburn y Chris Cassidy de NASA, Alexander Misurkin, Roman Romanenko y Pavel Vinogradov.



Nodo 1 Unity. Fuente NASA facts

Length	5.5 m (18 ft)
Width (diameter)	4.3 m (14 ft)
Mass	11,895 kg (26,225 lb)
Exterior	Aluminum cylindrical sections, 2 endcones
Number of racks	4
Launch date	December 4, 1998 STS-88 2A



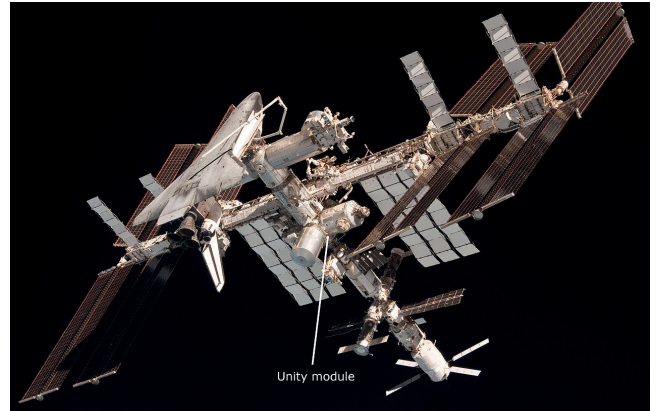
Exterior Nodo 1 Unity. Fuente nasa.gov



Astronautas haciendo vida social en el Nodo 1 Unity. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Interior Nodo 1 Unity, se muestra la conexión entre 2 módulos. Fuente nasa.gov

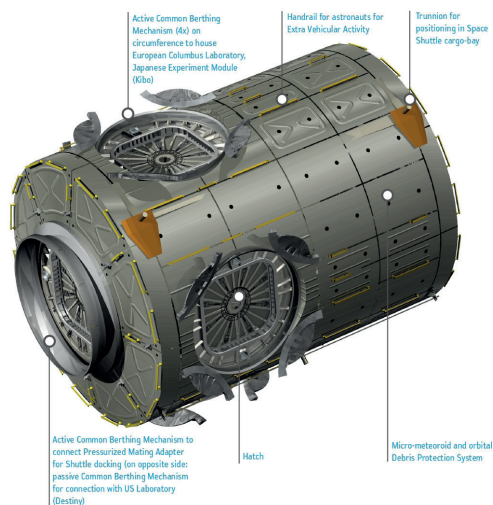


Posición de Nodo 1 Unity en la estructura completa del ISS, mayo 2011. Fuente nasa.gov

Nodo 2 Harmony, ESA/Thales Alenia Space Italy (TAS-I)

Harmony, también conocido como Nodo 2, es el “centro de servicios públicos” de la Estación Espacial Internacional. Conecta a los laboratorios de Estados Unidos, Europa y Japón. Incorpora seis puertos de atraque, dos en el eje longitudinal y cuatro en los ejes perpendiculares radiales.

Además, el Nodo 2 proporciona alojamientos para 4 miembros de la tripulación y el control de sistemas de control, así como recursos funcionales vitales para el funcionamiento de los elementos conectados, como lo es la distribución de la energía eléctrica, la calefacción, la refrigeración, el apoyo al intercambio de datos entre otros.

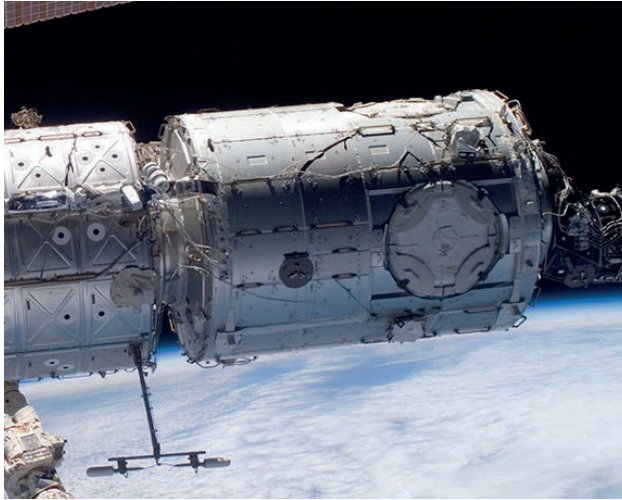


Length	6.7 m (22 ft)
Width (diameter)	4.3 m (14 ft)
Mass	14,787 kg (32,599 lb)
Exterior	Aluminum cylindrical sections, 2 endcones
Number of racks	8
Launch date	October 23, 2007 STS-120 10A

	PROJECT: International Space Station
TITLE: Node-2	DOCUMENT N°: ESA-HSO-COU-005 REV: 2.0

ERASMUS Centre - Directorate of Human Spaceflight and Operations

Nodo 2 Harmony. Fuente: esa.int



Nodo 2 Harmony, vista desde el exterior. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Samantha Cristoforetti, astronauta de la ESA trabajando. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Referencia de posición Nodo 2 con respecto a ISS. Fuente: esa.int

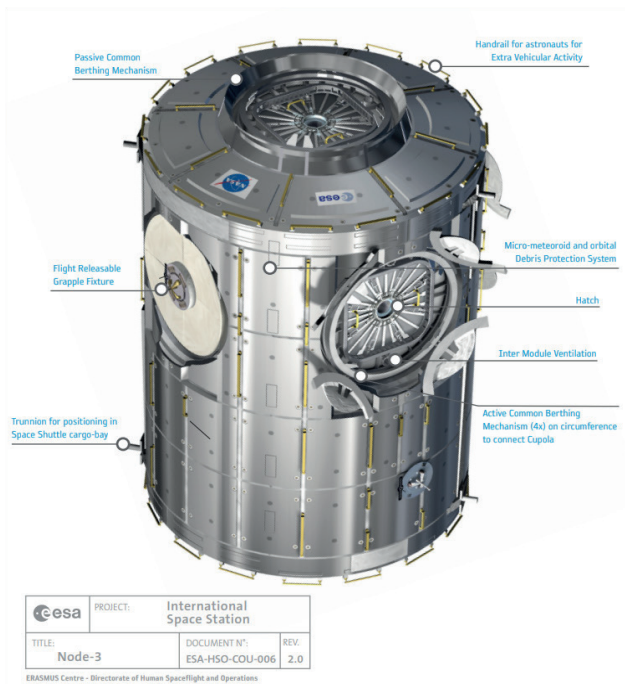


Camarotes con capacidad para 4 astronautas en el Nodo 2. Fuente: nasa.gov

Nodo 3 Tranquility, ESA/Thales Alenia Space Italy (TAS-I)

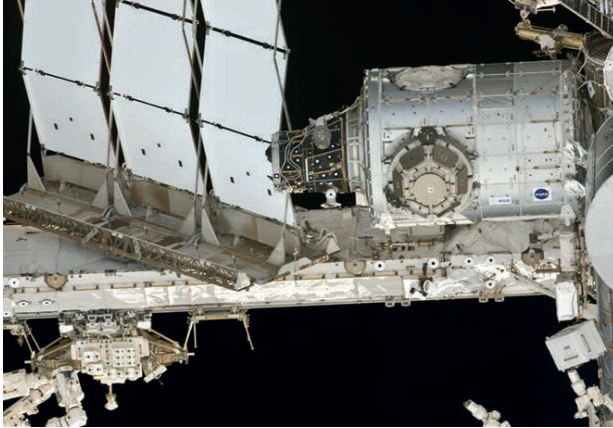
El tercer y último de los nodos estadounidense contiene el baño para la higiene de la tripulación y equipos de ejercicio como una cinta de correr y un aparato de levantamiento de pesas. Es por esto que se incorpora un sistema adicional de soporte de vital para reciclar las aguas residuales para uso de la tripulación y complementar la generación de oxígeno.

Al igual que los otros dos nodos anteriores, cuenta con 6 mecanismos de atraque, de los cuales 5 están en uso actualmente.



Length	6.7 m (22 ft)
Width (diameter)	4.3 m (14 ft)
Mass	17,992 kg (39,665 lb)
Exterior	Aluminum cylindrical sections, 2 endcones
Number of racks	8
Launch dates	February 8, 2010 STS-130 20A

Nodo 3 Tranquility. Fuente: esa.int



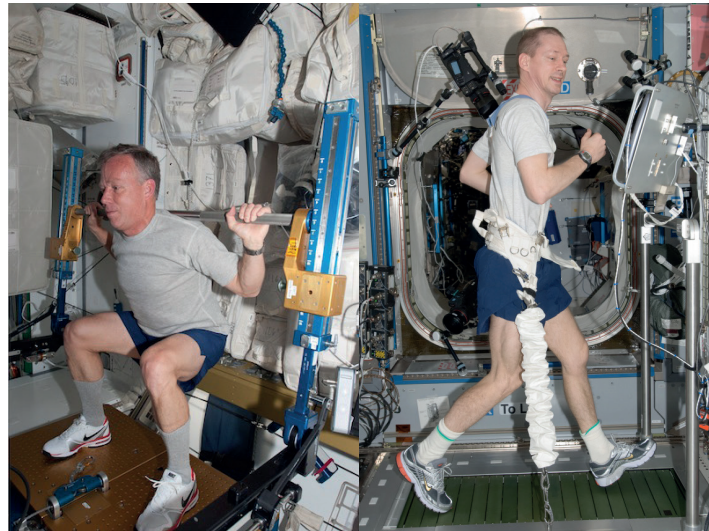
Nodo 3 Tranquility desde el exterior. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Interior Nodo 3. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Vista del comportamiento de gestión de residuos (WMC) en el módulo del Nodo 3. Fuente: Reference guide to the International Space Station.

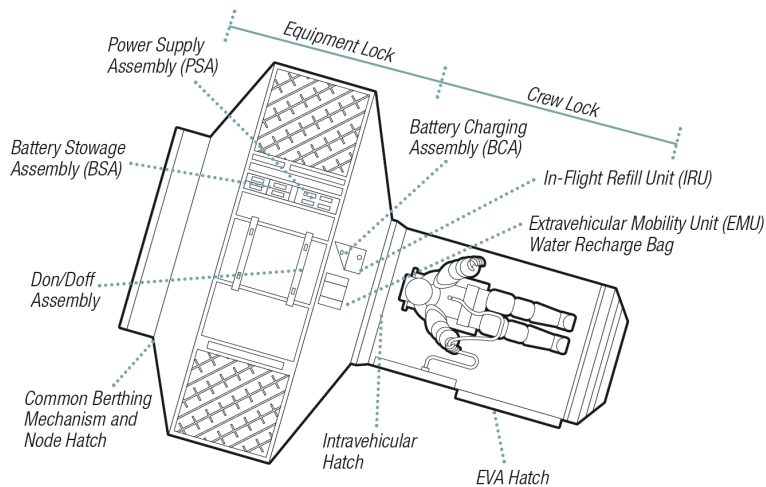


Espacio de ejercitación física ubicado en el Nodo 3. Fuente: esa.int

Joint Airlock Quest, NASA/Boeing

La esclusa Quest, es un módulo presurizado de la Estación Espacial Internacional que consta de dos compartimientos unidos de extremo a extremo por un mamparo de conexión y una escotilla. Los dos compartimientos consisten en: la esclusa de equipos, que proporciona los sistemas y el volumen para mantenimiento y reacondicionamiento de los trajes EVA, y la esclusa para la tripulación, que permite la salida de los astronautas a las caminatas exteriores.

El espacio dentro de la esclusa puede contener trajes estadounidenses (Unidad de movilidad extravehicular, EMU) o rusos (Orlan spacesuit).

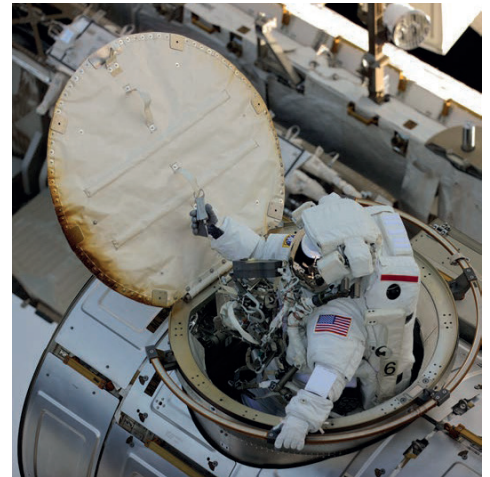


Joint Airlock Quest. Fuente: Reference guide to the International Space Station

Length	5.5 m (18 ft)
Width	4.0 m (13.1 ft)
Mass	9,923 kg (21,877 lb)
Launch date	July 12, 2001 STS-104 7A



Astronauta Chris Cassidy (izq) y Luca Parmitano (der) preparándose para la primera de dos sesiones de actividad extravehicular. Fuente: Reference guide to the International Space Station

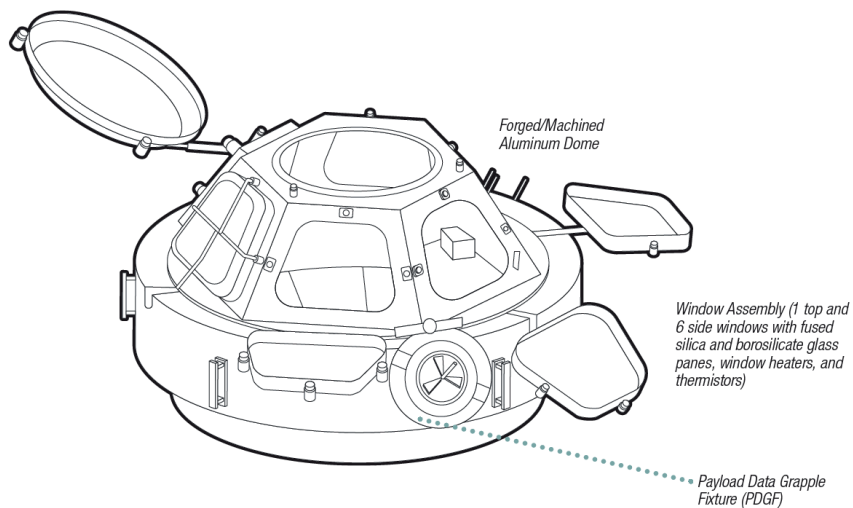


El astronauta de la NASA Doug Wheelock entra en la esclusa del Quest cuando la sesión de actividad extravehicular llega a su fin. Fuente: Reference guide to the International Space Station

Cúpula, ESA/Thales Alenia Italy (TAS-I)

Es un pequeño módulo diseñado para la observación de operaciones fuera de la ISS, como las actividades robóticas, la aproximación de cualquier objeto en movimiento en el exterior.

La cúpula tiene 6 ventanas laterales y una ventana de visión directa en el centro, todas equipadas con persianas para protegerlas de la contaminación y las colisiones con desechos orbitales o micrometeoritos. Tiene capacidad para 2 tripulantes simultáneamente. Está atracada al Nodo 3.



Height	1.5 m (4.7 ft)
Diameter	3 m (9.8 ft)
Mass	1,880 kg (4,136 lb)
Capacity	2 crewmembers with portable workstation
Launch date	February 8, 2010 STS-130 20A

Cúpula. Fuente: Reference guide to the International Space Station



Exterior Cupola. Fuente: nasa.gov



Astronauta fotografiando desde Cupola hacia la Tierra. Fuente: nasa.gov



Astronauta contemplando la vista entregada por Cupola. Fuente: Reference guide to the International Space Station.

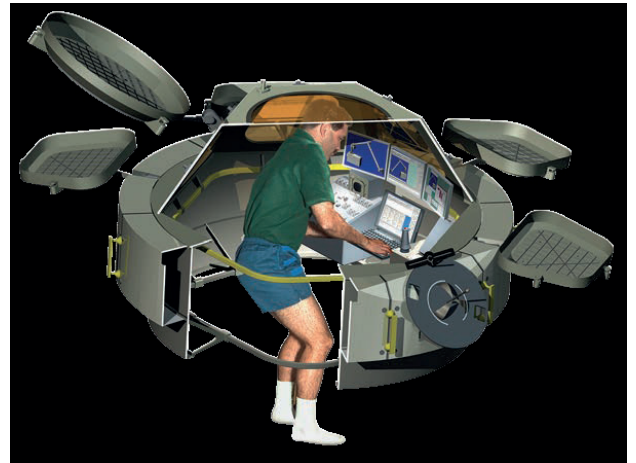
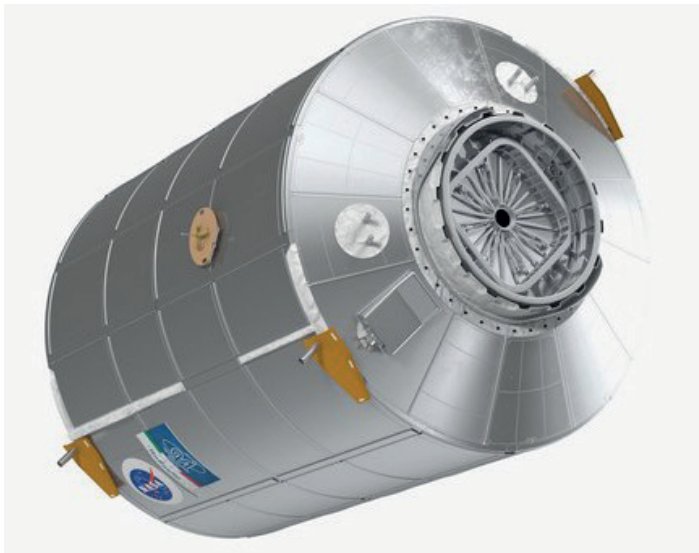


Diagrama de escala humana en Cupola. Fuente: Reference guide to the International Space Station.

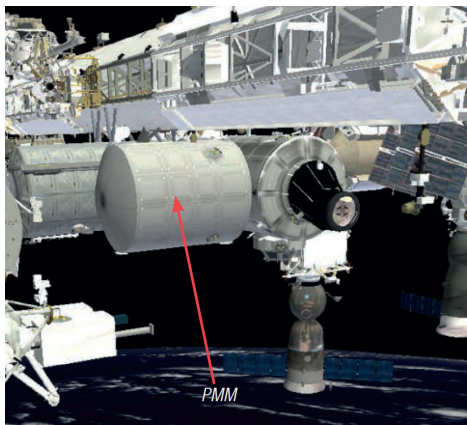
Módulo Permanente Multipropósito (PMM) NASA/ASI (Italian Space Agency)

El Módulo Permanente Multipropósito (PMM), de fabricación italiana, está actualmente atracado en el puerto nadir del Nodo 1. El PMM puede albergar hasta 16 bastidores que contienen equipo, experimentos, suministros y basura de la ISS, que hasta ese entonces se guardaba en varios sitios dispersados por la estación espacial.



Módulo Permanente Multipropósito (PMM). Fuente: Free3d.com

Length	6.67 m (21.7 ft)
Diameter Exterior Interior	4.5 m (14.76 ft) 4.21 m (13.81 ft)
Mass	4,428 kg (9,784 lb)
Pressurized volume	76.7 m ³ (2708.6 ft ³)
Cargo capability	9,000 kg (20,000 lb)
Pressurized habitable volume	31 m ³ (1,095 ft ³)



Referencia posición de PMM en la ISS. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Los astronautas de la NASA Chris Cassidy y Karen Nyberg, junto con el astronauta de la ESA Luca Parmitano, aparecen entre las bolsas de carga del PMM. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



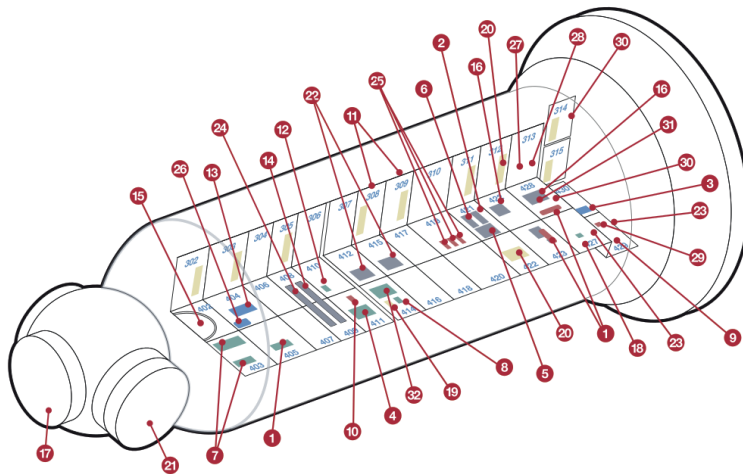
PMM vista desde el exterior. Fuente: hmong.es hmong.es



Astronautas caminando dentro de PMM. Fuente: hmong.es

Bloque de carga funcional (FGB) Zaryá (Sunrise), NASA/Boeing/Khrunichev State Research and Production Space Center

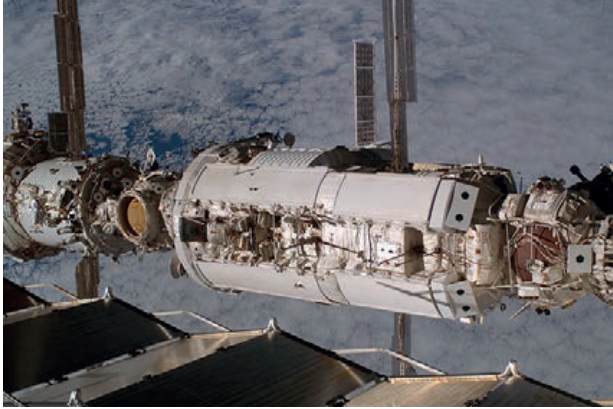
Fue el primer módulo de la Estación Espacial Internacional en lanzarse, pero con la llegada de otros módulos especializados, Zaryá ha pasado a utilizarse principalmente para el almacenaje, tanto en el interior como en los tanques de combustibles exteriores (16 tanques).



Length	12,990 m (42.6 ft)
Maximum diameter	4.1 m (13.5 ft)
Mass	24,968 kg (55,045 lb)
Pressurized volume	71.5 m ³ (2,525 ft ³)
Solar array span	24.4 m (80 ft)
Array surface area	28 m ² (301 ft ²)
Power supply (avg.)	3 kW
Propellant mass	3,800 kg (8,377 lb)
Launch date	November 20, 1998 Proton rocket 1A/R

Bloque de carga funcional (FGB). Fuente: Reference guide to the International Space Station.

1 Conductos de aire	13 Máscara de gas	24 Pértiga y gancho
2 Panel de comunicaciones	14 Barandilla	25 Ventiladores portátiles
3 Panel de sistemas de precaución y advertencia	15 Protección de la escotilla	26 Extintor extraíble
4 Filtros de contaminantes	16 Contenedores de instrumentos	27 Toma de corriente
5 Bolsa del contenedor de transferencia de contingencia (agua)	17 Puerto de acoplamiento al PMA	28 Unidad de válvula presurizada
6 Conexiones del contenedor de transferencia de contingencia (agua)	18 Tomas de corriente para ordenadores portátiles	29 Panel de precaución y advertencia
7 Colectores de polvo	19 Panel de iluminación	30 Detector de humo
8 Toma de corriente eléctrica	20 Luces	31 Toma de TV
9 Contenedor Flex Airduct	21 Puerto de acoplamiento Nadir	32 Toallitas/Filtros
10 Fusible	22 Documentación de a bordo	
11 Paneles de fusibles (detrás de los cierres)	23 Tomas de corriente de la red de a bordo	
12 Analizador de gases		



Módulo FGB desde el exterior. Fuente: Reference guide to the International Space Station.



Interior del Zarya. Fuente: nasa.gov

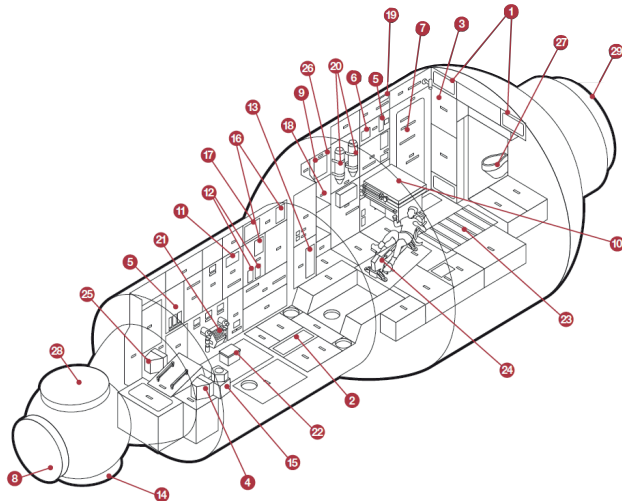


El cosmonauta ruso Maxim Suraev utilizando el sistema de comunicaciones en el FGB. Fuente: Reference guide to the International Space Station.

Modulo de servicio (SM), Zvezda (Star), Russian Federal Space Agency (Roscosmos)/S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (RSC Energia)

El módulo de servicio fue la primera contribución completamente rusa, proporcionando los primeros habitáculos, el sistema de soporte vital, la distribución de energía eléctrica, sistema de procesamiento de datos, sistema de control de vuelo y sistema de propulsión.

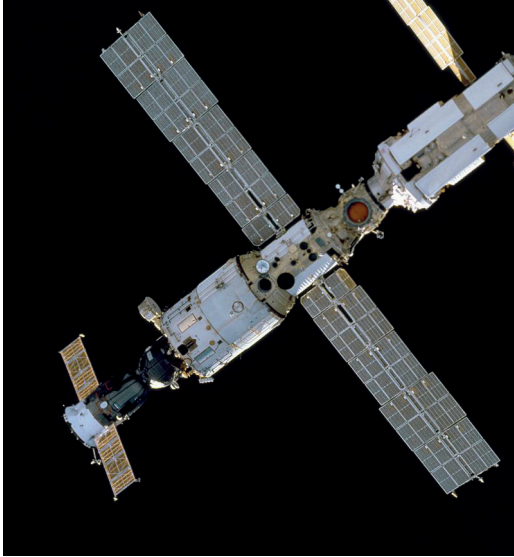
Aunque algunos de estos sistemas fueron posteriormente complementados por sistemas estadounidenses, el Módulo de Servicio sigue siendo el centro estructural y funcional del segmento ruso de la ISS. El módulo de servicio estaba destinado principalmente a albergar a la tripulación, pero se convirtió en el primer laboratorio de investigación polivalente de la ISS.



Length	13.1 m (43 ft)
Diameter	4.2 m (13.5 ft)
Wingspan	29.7 m (97.5 ft)
Weight	24,604 kg (54,242 lb)
Launch date	July 12, 2000 Proton 1R
Attitude control	32 engines
Orbital maneuvering	2 engines

Módulo de servicio Zvezda. Fuente: Reference guide to the International Space Station.

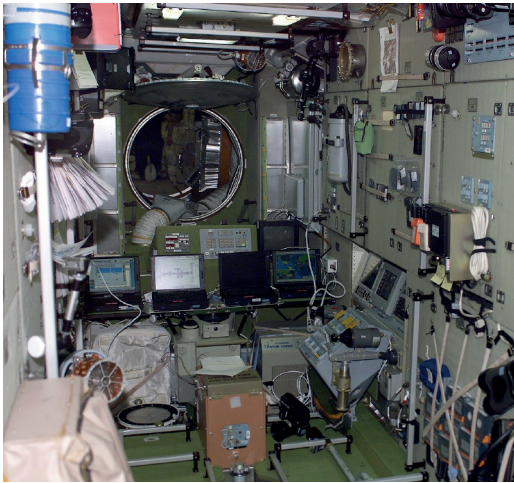
1 Ventilador de flujo de aire 2	11 Panel de control integrado	21 Estación de control de Toru Rendezvous
2 Dispositivo de medición de la masa corporal	12 Paneles de control de la iluminación	22 Asiento Toru
3 Cámara	13 Caja de mantenimiento	23 Cinta de correr y sistema de aislamiento de vibraciones
4 Panel de Precaución y Advertencia, Reloj y monitores	14 Puerto de atraque Nadir	24 Ergómetro Vela
5 Panel de comunicaciones	15 Estación de avistamiento de navegación	25 Pantalla de ventilación
6 Procesador de agua condensada	16 Luces nocturnas	26 Panel de control Vozdukh
7 Compartimento para dormir de la tripulación	17 Panel de distribución de energía	27 Compartimento de gestión de residuos
8 Puerto de acoplamiento delantero (a FGB)	18 Panel de válvulas y cavidades empotradas	28 Puerto de acoplamiento Zenith
9 Fusibles	19 Detector de humo	29 Puerto de acoplamiento Soyuz y Progress
10 Mesa de la cocina	20 Generadores de oxígeno de combustible sólido (SFOG)	



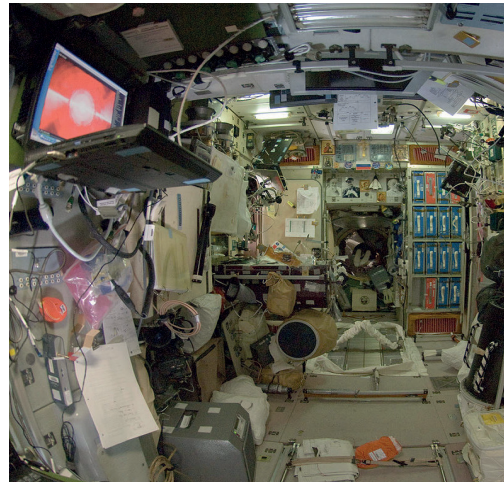
Módulo de servicio Zvezda, visto desde el espacio. Fuente: nasa.gov



Habitación de un tripulante del Zvezda. Fuente: nasa.gov



Vista frontal del interior del Zvezda. Fuente: nasa.gov



Interior Zvezda. Fuente: nasa.gov

Estación Espacial China Tiangong (CSS)

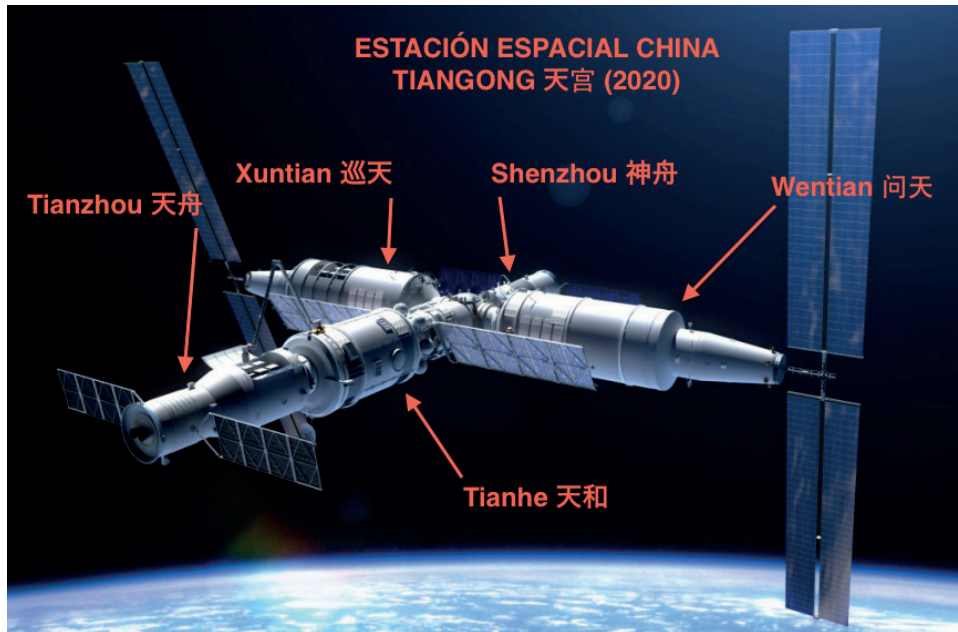
Es la tercera estación espacial que está actualmente en construcción por la Administración Espacial Nacional China (CNSA) en la órbita baja de la Tierra entre 340 y 450 km sobre la superficie. Actualmente, no se encuentra completada, pero una vez esté construida en su totalidad, tendrá una masa de entre 80 y 100 T, aproximadamente una quinta parte de la masa de la Estación Espacial Internacional y del tamaño de la estación espacial rusa Mir, ya clausurada.

La construcción de la estación se basa en la experiencia adquirida con sus precursoras, Tiangong-1 y Tiangong-2. El primer módulo, el módulo central Tianhe, se lanzó el 29 de abril de 2021, seguido de múltiples misiones con y sin tripulación, se proyecta el lanzamiento de dos módulos durante el 2022. Los dirigentes chinos esperan que las investigaciones realizadas en la estación mejoren la capacidad de los investigadores para llevar a cabo experimentos científicos en el espacio, más allá de la duración que ofrecen los actuales laboratorios espaciales de China⁷.

Se proyecta los siguientes programas que llevarán los módulos restantes a órbita:

- La nave espacial de transporte de carga se llamaría Tianzhou.
- El módulo central de la estación espacial modular se llamaría Tianhe. Se lanzó con éxito el 29 de abril de 2021.
- El Módulo Experimental Modular de la Estación Espacial I se llamaría Wentian. Lanzamiento previsto para mayo-junio de 2022.
- El Módulo Experimental Modular de la Estación Espacial II se llamaría Mengtian. Lanzamiento previsto para agosto-septiembre de 2022.¹¹
- El módulo del telescopio espacial separado se llamaría Xuntian. Lanzamiento previsto para 2024.

⁷ China Power Team. "What's Driving China's Race to Build a Space Station?" China Power. December 7, 2016. Updated April 21, 2021. Accessed July 30, 2022. <https://chinapower.csis.org/chinese-space-station/>.



Proyección de Estación Espacial China completa. Fuente: Eureka.com

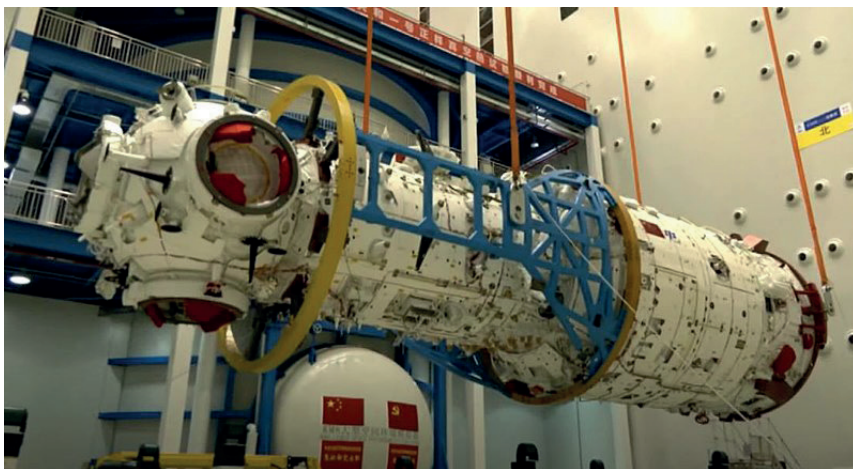
Dado que el único módulo del cual se encuentra información actualmente es el Módulo central Tianhe, se procede a al análisis espacial de este.

Tianhe, Módulo de Cabina Central (CCM)

El módulo principal proporciona soporte vital y alojamiento para tres miembros de la tripulación, y proporciona orientación, navegación y control de orientación para la estación. También proporciona los sistemas de potencia, propulsión y soporte vital de la estación. El módulo consta de tres secciones: la vivienda habitable, la sección de servicio no habitable y un centro de acoplamiento.⁸

Las viviendas contendrán una cocina y un baño, equipos de control de incendios, equipos de control y procesamiento atmosférico, computadoras, aparatos científicos, equipos de comunicaciones para ver y escuchar el control terrestre en Beijing y otros equipos. También tendrá un pequeño brazo robótico, similar al brazo MIR Lyappa, para mover los módulos a diferentes puertos.⁹

La energía eléctrica es proporcionada por dos conjuntos de energía solar orientables, que utilizan células fotovoltaicas para convertir la luz solar en electricidad. La energía se almacena para alimentar la estación cuando pasa a la sombra de la Tierra.

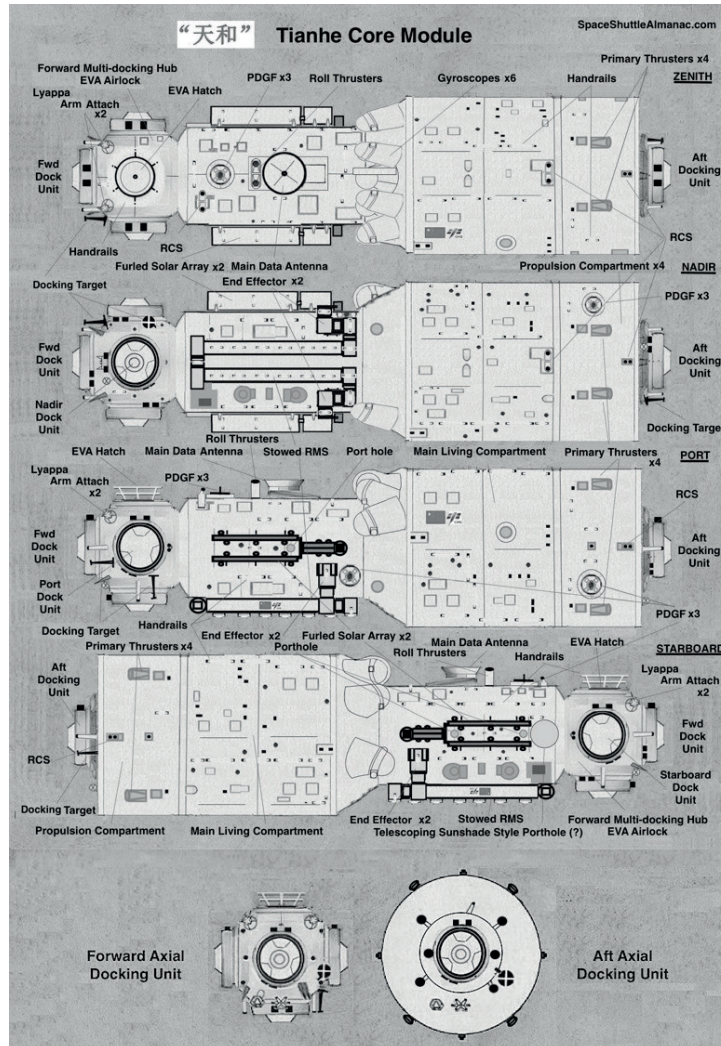


Operador: Administración
Espacial Nacional China
Peso : 22 Toneladas
Dimensiones: 18,1 m
Tripulación: 2
Lanzamiento: 29 Abril
del 2021

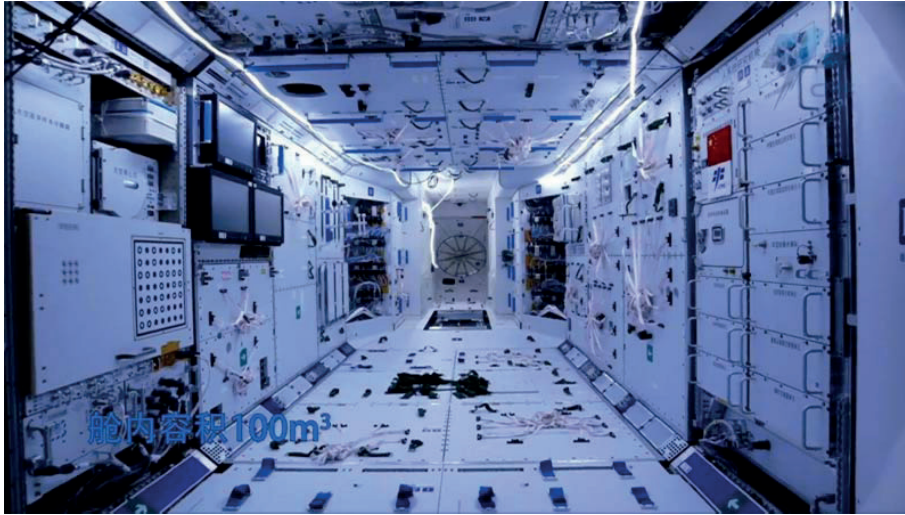
Módulo Tianhe siendo testeado. Fuente: CSA

⁸ [spaceflightnow.com](https://spaceflightnow.com/2021/04/29/assembly-of-chinese-space-station-begins-with-successful-core-module-launch/). "Assembly of Chinese space station begins with successful core module launch. April 29, 2021. Accessed July 30, 2022. <https://spaceflightnow.com/2021/04/29/assembly-of-chinese-space-station-begins-with-successful-core-module-launch/>

⁹ [nasaspacespaceflight.com](https://www.nasaspacespaceflight.com/2021/04/china-station-construction-begins/). "China launches Tianhe module, start of ambitious two-year station construction effort". April 28, 2021 <https://www.nasaspacespaceflight.com/2021/04/china-station-construction-begins/>



Detalle estructura exterior del módulo Tianhe. Fuente: SpaceShuttleAlmanac.com



舱内容积100m³

Interior módulo Tianhe. Fuente: worldenergytrade.com



天和舱内云台摄像机

Taikonautas en el interior del módulo Tianhe. Fuente: Europa Press.



Taikonautas en el interior módulo Tianhe. Fuente: CCTV.

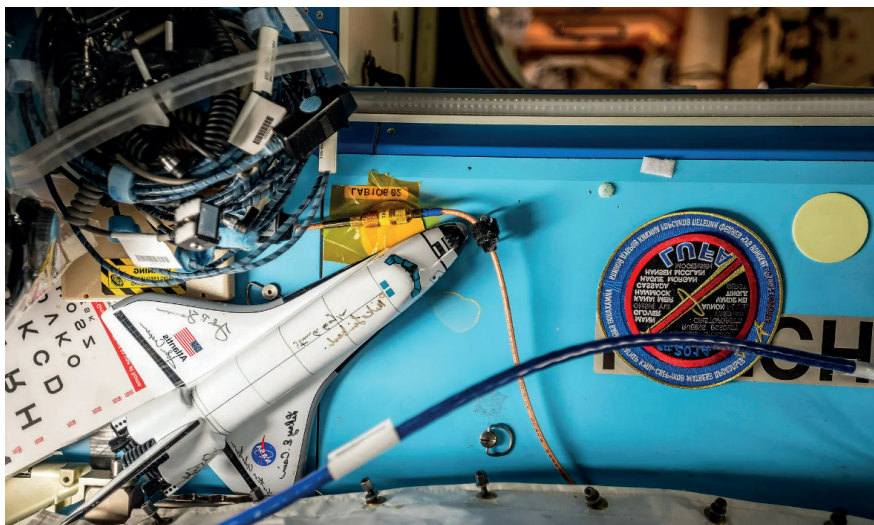


Taikonautas en camarotes del módulo Tianhe. Fuente: CCTV.

Análisis: Módulos activos

Hogar en órbita

Como humanos sentimos la necesidad de hacer nuestro el espacio que habitamos, en las Estaciones Espaciales mostradas anteriormente se puede dar muestra de ello. A pesar de lo superficial que es el ambiente, los astronautas o taikonautas, buscan apropiarse del lugar, así "(...) llenaron su entorno de alta tecnología con equipo, incluidas computadoras portátiles y cámaras, y cubrieron las paredes con calcomanías de misiones y fotografías de amigos, seres queridos y héroes de la era espacial como Yuri Gagarin. Abundan los juguetes, los animales de peluche, las firmas de los miembros de la tripulación y los visitantes"¹⁰. Esto generado por la intensa necesidad de los humanos en identificarse con el lugar "desconocido" que están habitando.

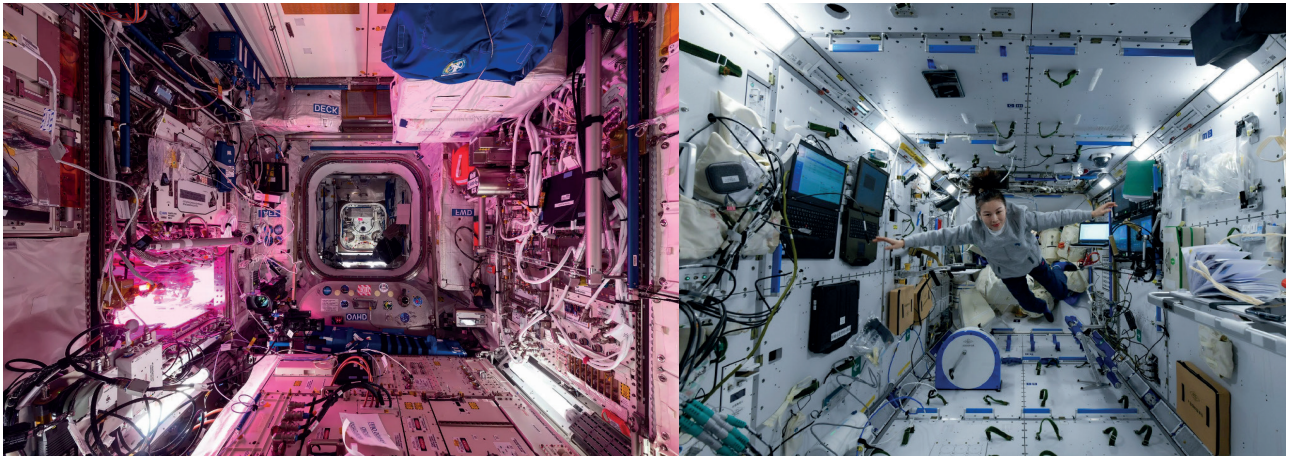


Carta ocular, maqueta firmada del transbordador espacial Atlantis, cableado y trayectoria de la misión en el módulo de laboratorio estadounidense, conocido como Dentiny, donde se realizan las investigaciones estadounidenses. Fuente: Revista The New York Times.

¹⁰ Overbye D. (2021). Home Sweet Home in Orbit. Revista The New York Times. <https://www.nytimes.com/2020/11/02/science/space-station-astronomy.html>

Organización de implementos

Al haber analizado dos estaciones espaciales que comenzaron a construirse en puntos muy distintos en el tiempo (ISS 1998 en y CSS en 2021), se puede realizar observaciones sobre el comportamiento del espacio habitado por distintas culturas, a través de un tiempo prologando, en comparación a la organización espacial de un espacio habitado por una sola cultura y con menor trayectoria.



Comparativa desde la misma perspectiva visual de un módulo ISS destinado a laboratorio y experimentación (izq), y el módulo central CSS (der).

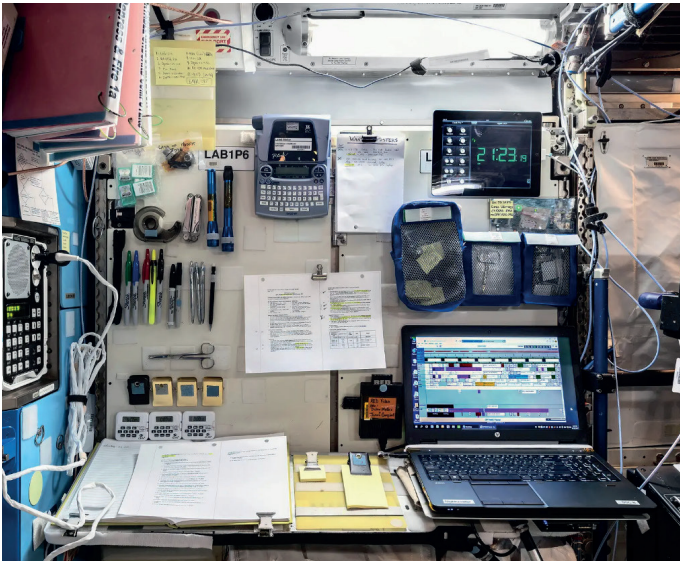
En la primera foto observamos la manera rudimentaria de mantener la organización a pesar de la infinidad de elementos que flotan dentro del módulo, sin el ánimo de discutir la utilidad que tiene cada objeto, se observa el crecimiento hacia el interior, que coincide con el espacio que ocupa el área habitable, generando que este se vaya reduciendo.

Si bien se justifica la existencia de cada elemento visible en los módulos, no se puede negar que, además de invadir el área transitable, estos generan un ruido visual muy grande, recalcando más lo artificial que es el ambiente que se habita.

Intento de orientar un arriba-abajo

La naturaleza un ambiente de micro-gravedad es la multi-orientabilidad, las estaciones espaciales que fueron analizadas resuelven este problema proponiendo un encuadre tradicional (arriba-abajo-derecha-izquierda) en la sección de los módulos, con la intención de familiarizar el ambiente orbital con el terrestre. Pero también se opta por este encuadre por seguridad de los tripulantes, que para trasladarse en microgravedad deben impulsarse por medio de manillas, las cuales deben estar cerca para hacer eficiente su traslado.

El intento de orientación arriba- abajo, se puede demostrar cuando observamos la orientación de los diferentes equipos, zonas de trabajo e incluso las letras con las que cuentan los compartimentos.



Espacio de trabajo módulo Destiny ISS (izq) y mismo programa pero en módulo centra Tianhe CSS (der).

Proporción de espacios dedicados a áreas de trabajo y descanso

Dentro de los módulos analizados, se presenta un gran porcentaje de programas enfocados en el trabajo de investigación, dejando que las zonas de descanso, se construyan en torno al trabajo. En el diseño terrestre consideramos que para ambientes de alto estrés, se debe considerar un área para “salir” de esa condición, en el espacio se puede decir que se construye de manera natural, los astronautas y taikonautas buscan divertirse, sociabilizar y realizar actividades fuera del entorno enfocado en el trabajo.

Se observa que utilizan las mismas instalaciones para realizar estas actividades ante la inexistencia de un módulo enfocado en el descanso. Se puede intuir que es a causa de lo pautadas que están las misiones, siendo eficientes en el tiempo que el tripulante se encuentra en órbita, ya que el extender innecesariamente la misión provocaría problemas en la salud y una baja productividad ¹¹.



Figura 85. Astronautas en módulos ISS sociabilizando mientras comen (izq) y jugando con un balón (der) con los equipos de investigación de fondo.

¹¹ Sputnik. (2021). Un estudio revela duración óptima de las misiones espaciales tripuladas. Revista Sputnik News. <https://mundo.sputniknews.com/20210831/un-estudio-revela-duracion-optima-de-las-misiones-espaciales-tripuladas-1115603662.html#>

Paleta de colores visual

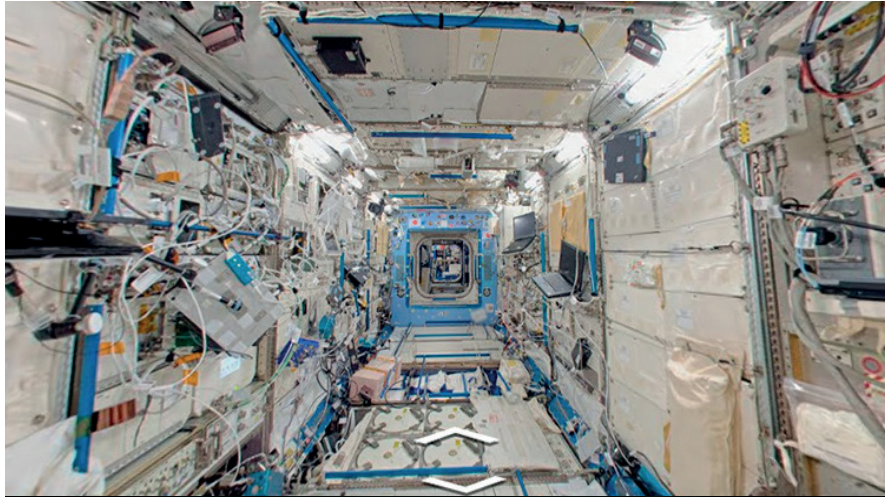
Los hábitos humanos han cambiado drásticamente en el último tiempo, en un pasado relativamente cercano en comparación con la historia evolutiva ¹². Nuestros ancestros pasaban más tiempo al aire libre que nosotros hoy. Cada día el ciclo luz-oscuridad sincroniza la fisiología y el comportamiento controlados por nuestros relojes internos. Situación que parece considerarse con urgencia si como especie nos planteamos llegar a los lugares más lejanos de los espacios encerrados por más de dos años.

En las estaciones espaciales, en donde se tienen una luz ambiental enfocada en el trabajo cotidiano, la sincronización de las hormonas con la variación de la luz parece destinada a desorientarse, y con esto también disminuir la salud mental de los astronautas.



Variación del color de la luz a lo largo del día en la Tierra en comparación con el interior de ISS.

¹² Lockley. S.W., "Influence of Light on Circadian Rhythmicity in Humans." Squire L.R.(Ed.), *Encyclopaedia of Neuroscience*. Oxford, UK. (2008).



Interior módulo espacial en el entorno de trabajo y en el momento de descanso de la tripulación. Fuente: nasa.gov

2.4.2. Módulos en proyecto

Muchas son las propuestas de módulos espaciales, ya sea por medio de talleres, exposiciones o propuestas, se puede encontrar variados proyectos de diseño de módulos, que describen la estructura, el interior, el funcionamiento, entre otras cosas.

Para este estudio solo se analizarán los siguientes proyectos, dado el respaldo y nivel de desarrollo alcanzado:

- Gateway, I-Hab (2018 – 2019).
- Deployable Modular Frame (DMF) (2018).
- Módulo experimental BEAM (Bigelow Expandable Activity Module)

Si bien son módulos que están en fase de diseño, los conceptos que proponen (circulación, multiorientabilidad, texturas, colores, etc.) son parte de la conversación de muchos diseñadores de módulos espaciales, por su vanguardismo y nuevas propuestas.

Gateway, I-Hab

Año del proyecto: 2018 – 2019

<http://spacearchitect.org>

Este estudio de fase A, B1 completa la primera fase de concepto de diseño del módulo de habitación internacional (i-HAB), parte de la plataforma orbital lunar Gateway, una colaboración entre la ESA, la NASA, Roscosmos, JAXA y CSA, cuya finalización está prevista para 2025 LIQUIFER Systems Group apoyó a Airbus en el desarrollo del diseño arquitectónico. Los parámetros de diseño eran estrictos debido a las capacidades de lanzamiento de los cohetes, los desafíos ambientales extremos del espacio exterior y la amplia variedad de actividades de la tripulación que debían adaptarse durante un período de misión de más de 30 días. Los modelos arquitectónicos, tanto virtuales como físicos, exploraron diferentes configuraciones espaciales para maximizar la utilización del módulo con un volumen interno de 48 metros cúbicos, por un equipo de cuatro personas. El diseño final de esta fase incluía elementos desplegables, como cámaras para dormir.

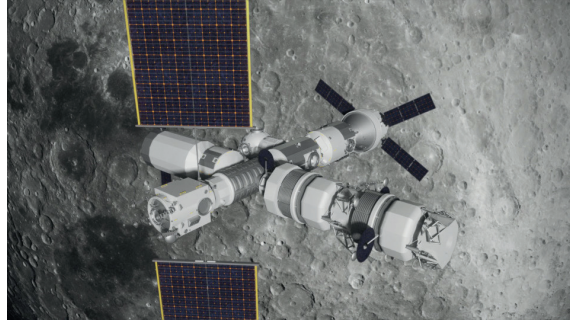
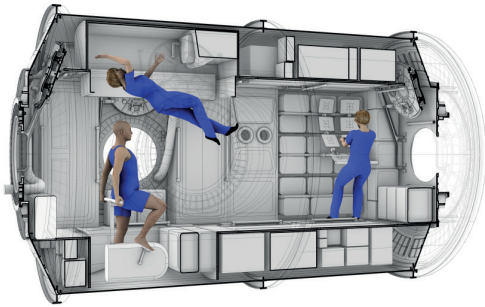


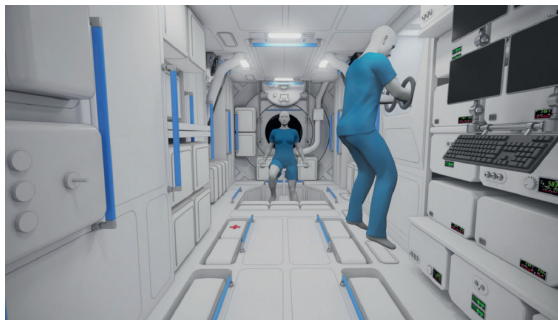
Imagen objetivo exterior. Fuente: spacearchitect.org



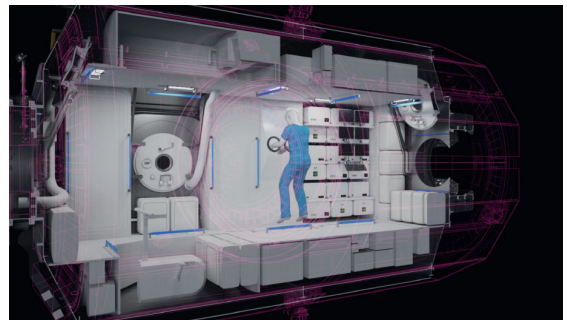
Detalle interior. Fuente: spacearchitect.org



Propuesta textura interior. Fuente: spacearchitect.org



Objetivo interior. Fuente: spacearchitect.org



Detalle interior. Fuente: spacearchitect.org

Deployable Modular Frame (DMF)

Año del proyecto: 2018

<http://spacearchitect.org>

El marco modular desplegable (DMF) es una plataforma para organizar diseños internos de hábitats espaciales y puestos avanzados planetarios basados en tecnología inflable. La plataforma proporciona una estructura desplegable en la que es posible configurar módulos para diferentes propósitos. DMF permite un uso más eficiente del espacio dentro de los módulos y minimiza los esfuerzos de los astronautas para instalar el equipo dentro del módulo.

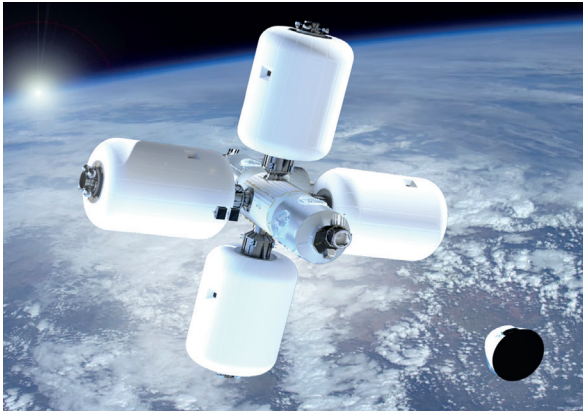
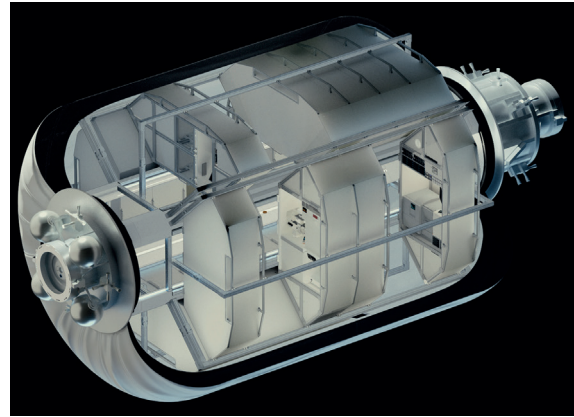


Imagen objetivo exterior. Fuente: spacearchitect.org



Estructura interior. Fuente: spacearchitect.org

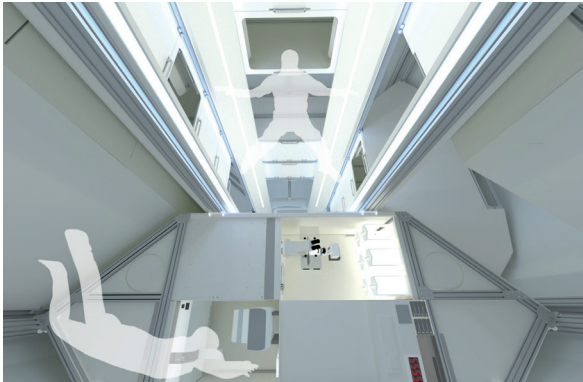


Imagen interior desde un rack. Fuente: spacearchitect.org

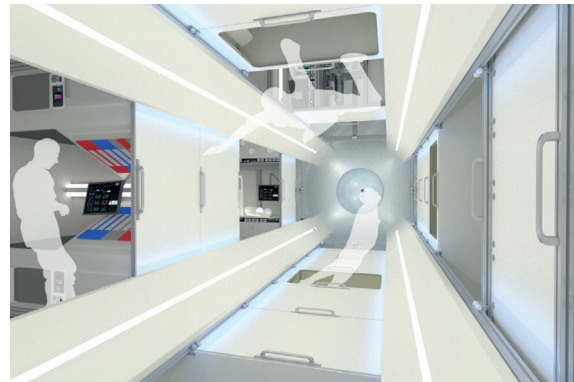


Imagen interior desde el espacio de circulación. Fuente: spacearchitect.org

Módulo experimental BEAM (Bigelow Expandable Activity Module)

Año del proyecto: 2016

<https://bigelowaerospace.com/>

BEAM tiene 1413 kg y unas dimensiones iniciales previo a su expansión de 2,16 metros de largo y 2,36 metros de diámetro, una vez inflado tendría una longitud fija de 12,19 metros y un diámetro de 7,28 metros. A diferencia del resto de módulos de la ISS, organizados en 'horizontal', TransHab estaba dividido en tres niveles 'verticales'. El desarrollo de este tipo de módulos resulta tan importante debido sobre todo a su uso potencial en misiones interplanetarias.

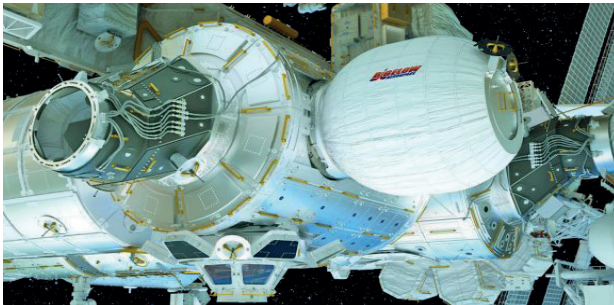


Ilustración artística del módulo inflado. Fuente: spacearchitect.org



Estado inicial del módulo. Fuente: spacearchitect.org

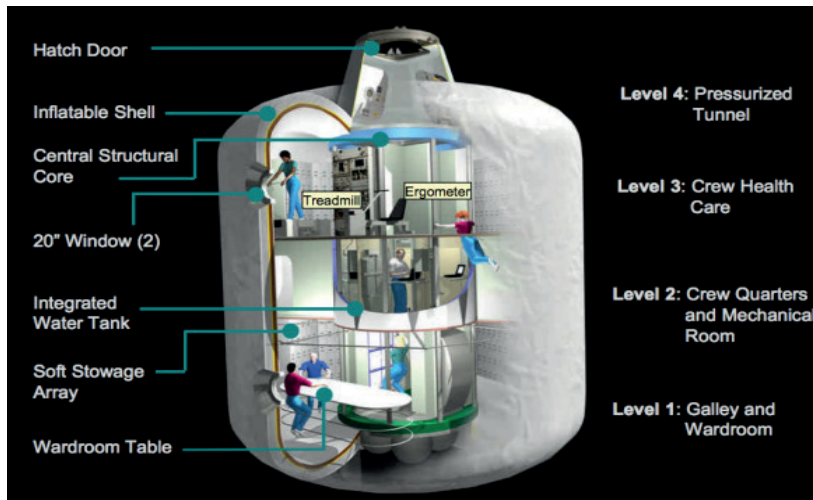
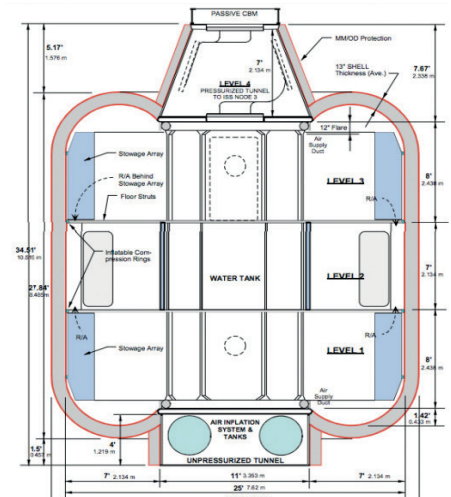
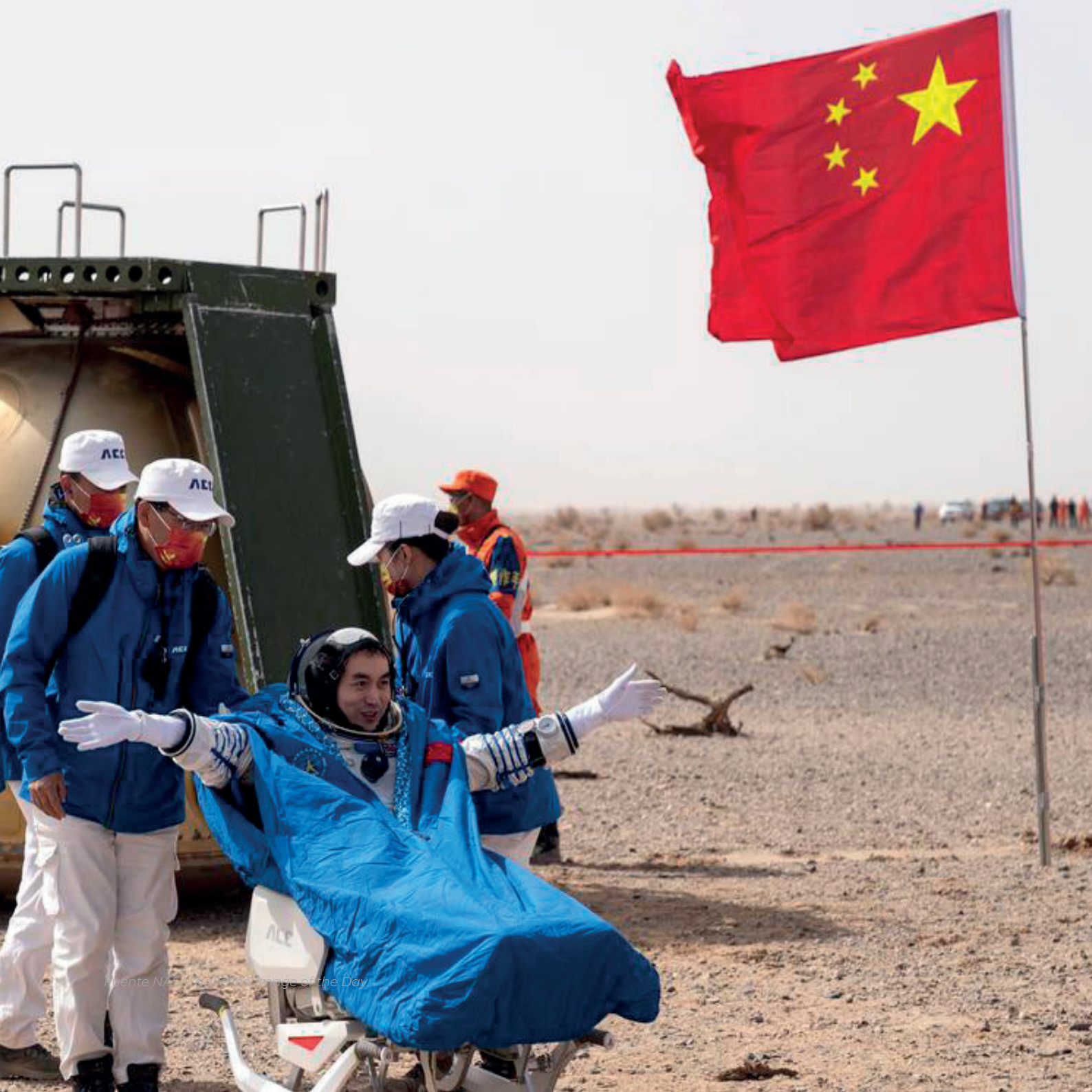


Imagen objetiva de la distribución interior del módulo. Fuente: spacearchitect.org



Detalle estructural del módulo inflable. Fuente: spacearchitect.org



3. Efectos del entorno orbital en el ser humano

- 3.1. Efectos fisiológicos en ambientes de microgravedad
- 3.2. Fenómenos psico-sociales del ambiente en órbita

3.1. Efectos fisiológicos en ambientes de microgravedad

Al estar fuera de la atmósfera, esto reúne una serie de preocupaciones que han sido estudiadas por años, ya sea mediante experimentos simulados en la Tierra o durante la estadía de la tripulación en órbita. A continuación se enumerarán los riesgos más relevantes, que ponen en peligro a largo plazo, la salud del astronauta.



La información detallada a continuación está respaldada en su mayoría por el documento publicado por Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM "*Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad*" el año 2015.

Efectos neurológicos

Dado que los fluidos, como se demostró en varios experimentos nombrados en este estudio, se comportan de manera muy diferente en ambientes de microgravedad, resulta ser lógico pensar que en nuestro cuerpo, al ser entre el 50-60% compuesto por líquido, también ocurran alteraciones. Al afectar la distribución de los líquidos corporales y el grado de distensión de las venas craneales, en consecuencia, son capaces de provocar el remodelamiento estructural y alterar la autorregulación cerebral.

Efectos cardiovasculares

Si bien el sistema cardiovascular tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones de microgravedad, esto no quiere decir que no presente un problema para el astronauta. Existe una disminución de la masa cardíaca y un incremento de la presión diastólica, situación que se presenta durante y después del vuelo, aproximadamente unas 3 semanas. También se presentan indicios de arritmias cardíacas, que generalmente son tan débiles que no suelen generar complicaciones.

Efectos inmunológicos

Otra consecuencia de la alteración de fluidos que afectan la capacidad cerebral y hormonal de los astronautas es en el área inmunológica, el cual se ha investigado en profundidad. Entre los resultados más relevantes, se reportó que la mitad de los astronautas en el Apolo, tuvieron infecciones virales o bacterianas durante el transcurso del viaje o ya próximos a volver a la tierra ¹³. Estos riesgos van aumentando a medida que el vuelo se hace más prolongado, siendo uno de los puntos críticos, la capacidad que tengan los astronautas de desarrollar y mantener apropiadas respuestas inmunes, celular y humoral en ambientes de microgravedad.

Efectos óseos

Al estar sin carga estática por gravedad, presente en el ambiente terrestre, las condiciones microgravitatorias inducen una disminución de la densidad ósea. Otro factor importante que contribuye al debilitamiento de los huesos, son los bajos niveles de iluminación, resultando en una disminución de la vitamina D3. La desmineralización ósea inicia de manera inmediata a los cambios en la atmósfera del espacio. En el transcurso de los primeros días de una misión, se produce un aumento de 60% a 70% del calcio urinario y fecal, lo cual incrementa conforme se desarrolla la misión¹⁴

Efectos musculares

Los músculos, que constituyen el 40% del volumen corporal, ejercen sus funciones mediante la contracción y relajación coordinada. Al no realizar estas acciones de manera constante como en la Tierra, se empiezan a atrofiar, aun así conservando su plasticidad durante el vuelo en microgravedad. Así también cambia su densidad, disminuyendo hasta el 40% de su volumen en un vuelo de 180 días¹⁵

¹³ Borchers AT, Keen CL, Gershwin ME. Microgravity and immune responsiveness: implications for space travel. *Nutrition*. 2002;18(10):889-98.

¹⁴ Clement G. Musculo-skeletal system in space. In: *Fundamentals of space medicine*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2003. p. 173-204.

¹⁵ Shackelford LC. Musculoskeletal response to space flight. In: Barratt MR, Pool SL, editors. *Principles of clinical medicine for space flight*. New York (NY): Springer Science and Business Media; 2008. p. 293-306.

Conclusión y posibilidades de resolución

Cómo consecuencia de la microgravedad, el cuerpo humano se deteriora bastante, sin considerar que el ambiente espacial se caracteriza por más condiciones ambientales (temperaturas extremas, radiación cósmica y solar, ausencia de presión atmosférica, micrometeoritos, etc.).

Los científicos continúan el desarrollo de distintas líneas de investigación, que den solución o entendimiento a este fenómeno, el cual tendría impacto directo en el diseño y desarrollo directo de las misiones espaciales, con el objetivo de hacerlas más seguras para las futuras generaciones.

El tema de la microgravedad no es posible resolver por medio del diseño interior, más bien con un mecanismo que genere gravedad artificial. Esta solución ha sido estudiada por disciplinas relacionadas con la ingeniería y arquitectura, llegando a diferentes mecanismos para generar un ambiente de 1 G, similar al presente en la Tierra.



"Variable gravity space station prototype and testbed". Proyecto propuesto como una estación espacial con gravedad artificial. 2020. Diseñado por: David Nixon PhD RIBA FRAS. spacearchitect.com/portafolio-item/variable-gravity-space-station-prototype-and-testbed/

3.2. Fenómenos psico-sociales del ambiente en órbita

Actualmente, se considera a los factores psicológicos y sociales de los vuelos espaciales, del mismo grado de importancia que los fisiológicos, de salud y seguridad. El reto está en predecir las respuestas físicas y psicológicas de los astronautas al ambiente en microgravedad, confinamiento y aislamiento, y de esta manera generar una o varias soluciones que abarquen estas áreas. Entre los principales efectos, se enumeran los siguientes:

Alteración del sueño-vigilia

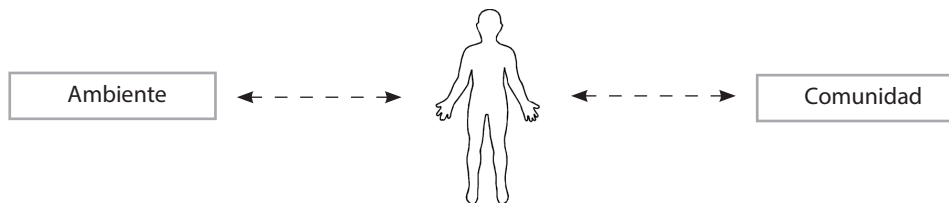
Dado que los horarios y turnos laborales están determinados por las necesidades operacionales de la misión y por la variación de la exposición ante la luz y oscuridad artificial, los mecanismos circadianos internos se ven afectados, provocando que la duración y calidad del sueño sean deplorables. Las consecuencias de este fenómeno puede llegar a producir la disminución del rendimiento laboral, deterioro de la memoria, falta de atención, siendo cualquier de estas acciones, fatales con respecto a resolución en la proyección de misiones prolongadas.

Relaciones interpersonales

Si bien se sabe que los astronautas son elegidos considerando las personalidades de todos los miembros de la misión y la compatibilidad entre ellos, de todas maneras se puede generar conflictos, ya que las reacciones psicológicas no se pueden predecir, y van ligados también al entorno. Aspectos culturales y de género, influye la toma de decisiones y el comportamiento.

Confinamiento- aislamiento

La restricción de por sí limita el movimiento físico y genera la sensación de encierro. Separar al ser humano del ambiente natural resultará en consecuencias psicológicas negativas, dado su instinto de mantener conexiones con el ambiente, con el resto de la tripulación y sí mismo. Los síntomas de las alteraciones de alguna de estas relaciones derivan en la desmotivación, fatiga, insomnio, preocupación, tensión social, depresión, irritabilidad, enojo, ansiedad, trastornos en el proceso cognitivo



Conclusión y posibilidades de resolución

El estudio, tanto en ambientes orbitales como análogos, pueden entregar una variada información sobre los comportamientos de la tripulación ante efectos adversos. En este estudio se establece que los problemas derivados a la psicología y el entorno social, se relaciona con factores como: la **ergonomía** (del hábitat, la aeronave y el soporte vital) y las relaciones interpersonales con los miembros de la tripulación.

Para esto último, la arquitectura puede responder **diseñando y organizando** de manera óptima el entorno en donde se desenvuelven los astronautas, entregando espacios enfocados tanto **a nivel personal como comunitario**. También equipando el entorno con los **implementos** necesarios para compensar las limitadas actividades que se pueden realizar y hacer uso de la **tecnología** para anticipar situaciones de estrés y mejorar el ambiente físico.



Grupo de astronautas trabajanodo-sociabilizando-comiendo, en un mismo espacio. Fuente: nasa.gov



Fuente NASA, galleries, Image of the Day.

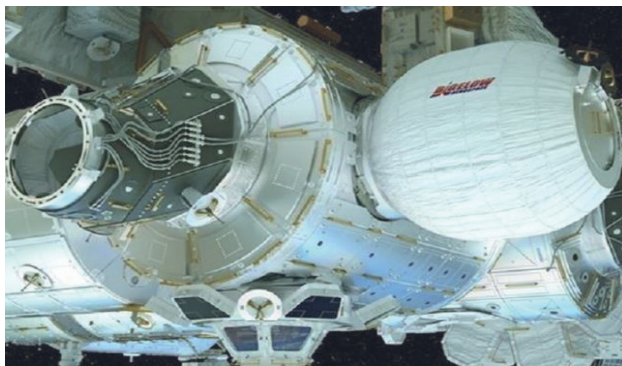
4. Montaje Guía de diseño

- 4.1. Propuesta estructura base: Módulos DMF
- 4.2. Organización del uso de los espacios
- 4.3. Afinidad entre programas
- 4.4. Parámetros general de la misión
- 4.5. Neuroarquitectura incorporada a las decisiones de diseño
- 4.6. Matriz para aplicar bases de la Neuroarquitectura al diseño.

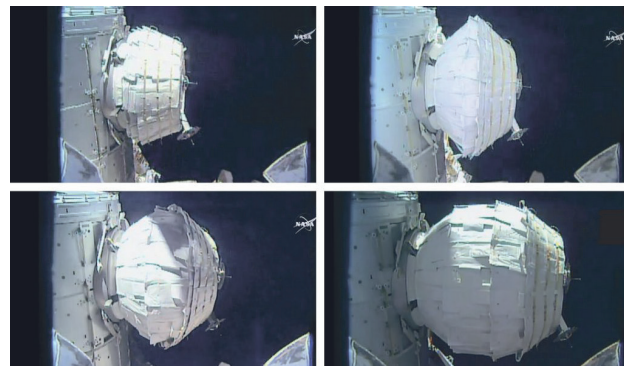
4.1. Propuesta estructura base: Módulo DMF

4.1.2. Introducción a los módulos inflables

La manera en la que se han diseñado los módulos espaciales ha variado en formas, tamaño y tipo de despliegue. Los módulos inflables han sido la tecnología en boga. El 2016, Bigelow Aerospace probó el primer módulo de este estilo en la Estación Espacial Internacional (ISS) con el proyecto Bigelow Expandable Activity (BEAM) demostrando la viabilidad de este diseño.



Representación artística del BEAM, la primera estructura inflable en el espacio. Fuente: Bigelow Aerospace.



Secuencias del inflado del BEAM. Fuente: NASA.

Este método de construcción posee las siguientes ventajas por sobre las estructuras convencionales:

1. Peso:

La estructura BEAM de 16 metros cúbicos pesa solo 1360 kg al momento del lanzamiento. Una vez armada su densidad puede llegar a ser de 88 kg por metro cúbico (Destiny o Tranquility tienen una densidad de 137 y 194 kg por metro cúbico respectivamente).

2. Dimensiones:

En su estado anterior al lanzamiento el módulo plegado puede ocupar un espacio de 1,52 metros por 2,13 metros.

3. Costo de fabricación:

17,8 millones de USD, siendo la estructura más económica de construir por sobre las convencionales.

4. Protección contra la radiación:

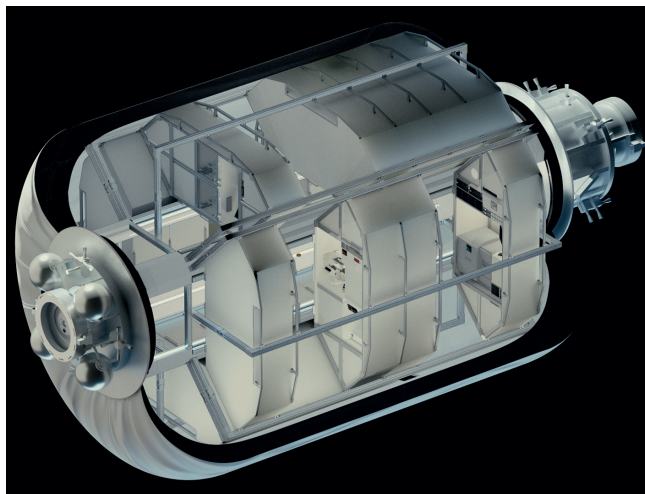
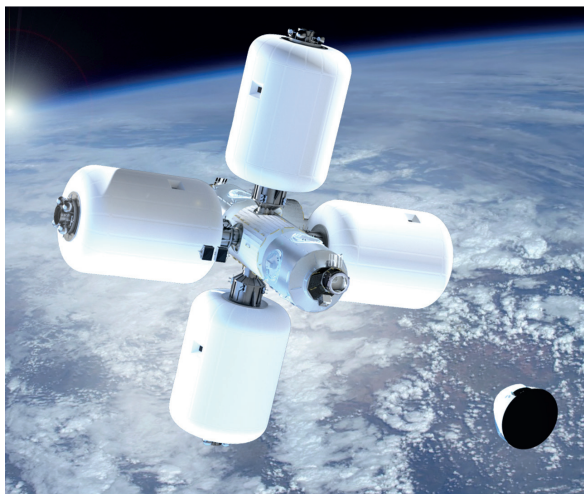
El módulo BEAM protege de manera más eficiente a la tripulación frente a microrradiación en comparación a las estructuras de aluminio, lo que representa una ventaja en la salud de los astronautas.

5. Resistencia al impacto: Los módulos inflables ofrecen una mayor protección que los módulos ISPR (International Standard Payload Rack), se construyen con un material experimental a base de varias capas compuestas de células cerradas de espuma de un polímero de vinilo, siendo lo suficientemente flexibles para absorber el impacto de los micrometeoritos.

Tabla de identificación y ordenamiento de ventajas. Elaboración propia.

4.1.3. Módulo “DMF: Deployable Modular Frame”

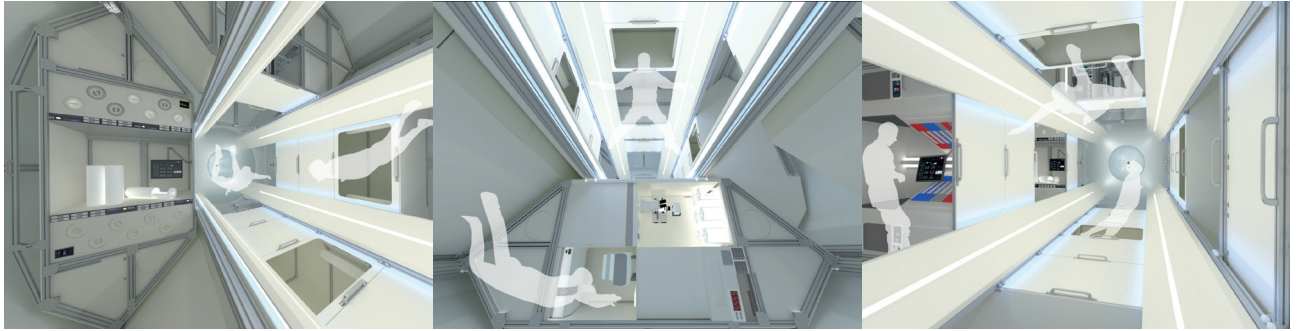
Existen varias maneras de configurar el interior de los módulos inflables, el tipo DMF explora el diseño de una estructura que busca el uso eficiente del espacio aprovechando cada ángulo, es por esta razón que para los fines de esta guía, se usará este estándar de distribución interior.



Representación módulo DMF en nave espacial. Fuente: spacearchitect.org

Los módulos DMF proporcionan rigidez estructural entre las dos esclusas de acceso (estructura principal), agregando una sub-estructura desplegable (estructura secundaria) el cual resguarda los equipos e instrumentos necesarios. La estructura desplegada crea un esqueleto predefinido que guía el montaje de los espacios, ahorrando el esfuerzo que implica montar el diseño interior.

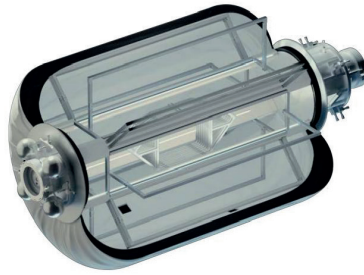
Después del ensamblaje de la estructura principal y secundaria, este sistema de bastidores permite configurar el espacio interior de acuerdo a las necesidades de quienes lo habiten, deslizando los paneles por medio de rieles y creando una estructura a partir de “lleno” o “vacío” de los paneles.



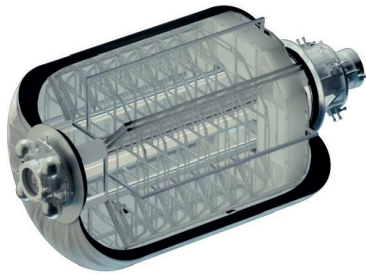
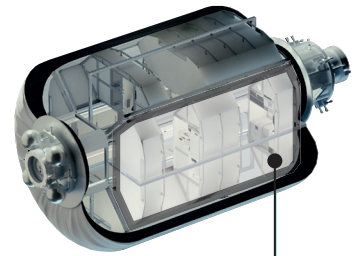
Representación del interior módulo DMF. Fuente: spacearchitect.org



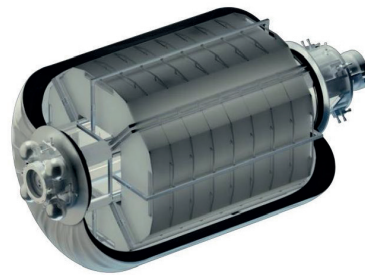
(1) Estructura principal DMF replegada



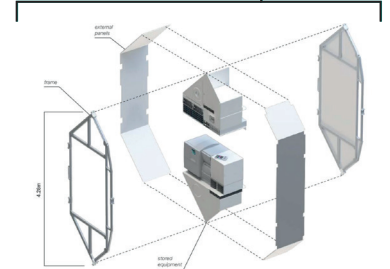
(2) Despliegue estructura de marcos y rieles



(3) Configuración de marco submódulo



(4) Equipamiento de armarios rack.



Secuencias estructura interior módulo con configuración DMF. Elaboración propia. Fuente: spacearchitect.org.

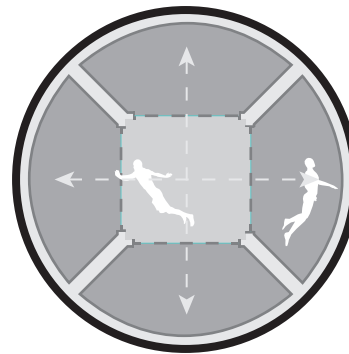
4.1.4. Arquitectura Módulo DMF

El objetivo del módulo DMF es establecer un nuevo estándar de configuración espacial que pueda sustituir el actual ISRP, en donde las principales diferencias son las siguientes:



1. Configurar el espacio para ofrecer un área más habitable para los astronautas.
2. Utilizar un máximo del 95% del volumen disponible para espacios de almacenamiento, equipos y otras funciones.
3. Configurar el espacio para acomodar tanto el ocupado para fines habitables como el de almacenaje, logrando un uso más eficiente y flexible.
4. Incorpora submódulos desmontables, permitiendo un espacio que varía según el uso que los astronautas requieran.



Configuración módulo convencional ISRP



Configuración módulo DMF

-  Espacio central del módulo (conectado con esclusas)
-  Espacio lateral usado para almacenaje (conectado con espacio central)

Comparativa de configuración interior ISRP y DMF. Elaboración propia.

4.2. Organización del uso de los espacios

4.2.1. Programas arquitectónicos en el contexto de los viajes espaciales

Al igual que en la Tierra, los astronautas deben realizar actividades según las necesidades que requieran. Si bien estas actividades se deben adaptar al contexto de un espacio hermético, es importante señalar que debe existir una familiaridad con lo realizado en la Tierra, ayudando a que el astronauta se adapte de mejor manera y pueda sobrellevar el periodo de la misión, manteniendo su salud física y mental. Es por esto que la principal estrategia es que los programas arquitectónicos terrestres deban llevar sus principales características a los espacios diseñados en órbita. Los programas desarrollados a diario por los astronautas se agrupan de la siguiente forma: en 0.3 segundos.

DORMIR | ASEO/HIGIENE | TRABAJO/INVESTIGACIÓN | EJERCICIO | OCIO | ALIMENTACIÓN

Antes de detallar las actividades que contiene cada programa, se debe considerar las condiciones ambientales en las que se van a desarrollar. Condiciones que tienen relación con las características del espacio en donde se van a realizar.

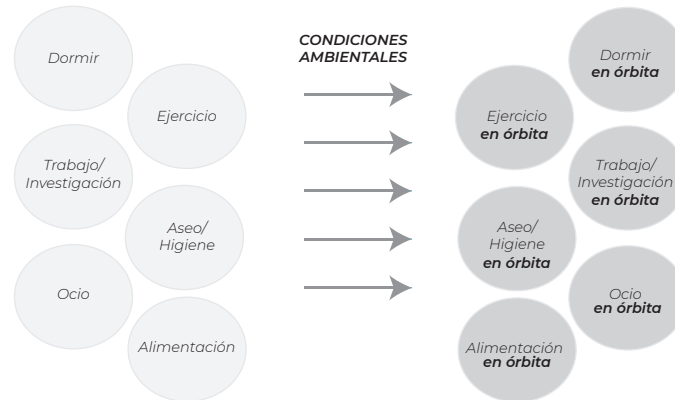


Diagrama de programas arquitectónicos bajo condiciones ambientales.
Elaboración propia.

Dormir/ Descanso/ Relajo

Cuando se habla de descanso por lo general se piensa en el “dormir” como la actividad protagonista. Según lo visto en las distintas estaciones espaciales (que solo proponen espacios tipo cabina para el descanso) esta actividad suele estar posicionado en el mismo lugar en donde trabajan los astronautas, causando que estos deban cambiar de un estado activo a uno de descanso. Estos cambios psicológicos abruptos no ayudan a sobrellevar la ardua rutina de trabajo, el ruido, los pensamientos negativos, etc. Es por esto que es necesario proponer espacios que puedan crear una transición que culmine en el descanso de calidad para los astronautas.



Astronauta en su cabina personalizada. Fuente: NASA.



Actividades básicas en torno al descanso. Elaboración propia.



Astronauta en su cabina personalizada. Fuente: NASA.

Para poder diseñar espacios de descanso para los astronautas se puede explorar en los niveles de privacidad y así en lugar de crear una transición inmediata, se opta por realizarlo en etapas, mejorando así la experiencia y calidad del descanso.

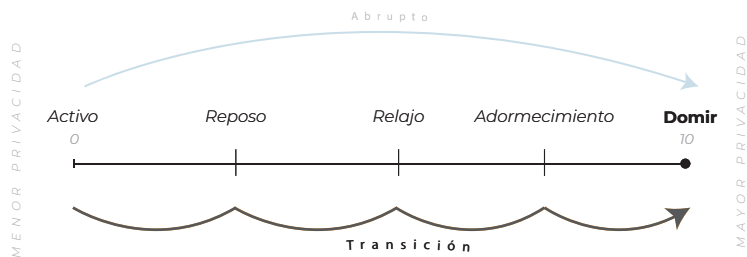
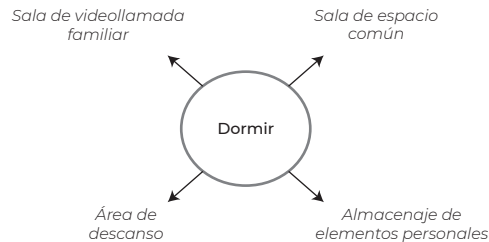


Diagrama de etapas del descanso. Elaboración propia.

En primera instancia se podría proponer dividir los espacios en áreas independientes unas de otras, y así enfocar el diseño en un método de transición entre sectores de menor a mayor privacidad. El siguiente diagrama muestra algunas de las actividades básicas que se pueden desarrollar en el programa de descanso, lo que no implica que existan únicamente estas.



Actividades básicas en torno al descanso. Elaboración propia.

Experiencia del usuario

Una de las principales consideraciones que se debe tener en cuenta es la experiencia del usuario. A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas dentro de las distintas misiones espaciales recopiladas en el *Libro "Architecture for astronauts" de Häuplik-Meusburger el 2011*, documento que expone las características de los espacios diseñados en hábitats orbitales.

*"Experiencia de los astronautas Vladislav Volkov (Salyut 1):
Nuestras áreas para dormir se asemejan a una colmena (en el bosque) donde las abejas entran y salen volando. También hay pequeñas aberturas por las que nos metemos cuando llega la hora de dormir y salimos cuando oímos la orden de despertar (esto significa que el oficial de servicio te despierta tocándote el hombro y, a veces, la cabeza). (Vasilyev, et al., 1974 p.139)"*



Miembros de la tripulación del STS-107 en su estación para dormir en la cubierta intermedia del transbordador espacial Columbia. Fuente: NASA.

“Cada cabina estaba equipada con una ventana de ojo de buey, un saco de dormir "vertical", espacio de almacenamiento personal, una superficie de escritura plegable integrada, intercomunicador y un espejo. Los alojamientos de la tripulación permitían la personalización y los cosmonautas ponían artículos personales o fotografías 'alrededor de sus camas”.

(BJ Bluth, 1987)



El astronauta Norman Thagard en los alojamientos de la tripulación Mir en 1995. Fuente: NASA.

Por un lado, el dormir distribuidos en un mismo espacio puede ser percibido por los astronautas como la manera de generar lazos en la comunidad. Esto representa una oportunidad de organizar el número de tripulantes en el mismo espacio por medio de una división que puede ser traslúcida o permeable, que permita el contacto auditivo y visual entre ellos.

Por otro lado, la experiencia de la personalización del espacio individual es una acción casi intuitiva de los astronautas a lo largo de sus misiones, generar una sensación de territorio o marca, sentirse acogidos en un lugar tan ajeno como lo es un módulo lleno de un ambiente superficial. Esto puede ser percibida como la contraparte de lo anterior, un contraste entre lo público y lo privado. La estrategia de diseño para este programa será generar un equilibrio entre las dos contrapartes.

Referencias

Las siguientes imágenes muestran referencias de como pueden ser diseñados los espacios que van a albergar las actividades nombradas anteriormente.

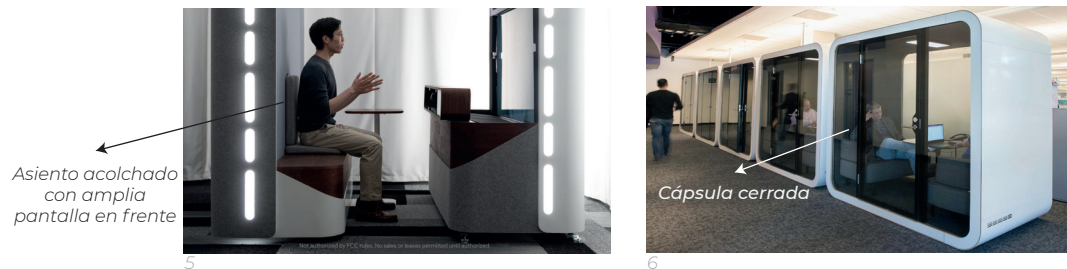
DORMITORIOS



SALAS COMUNES



SALA DE VIDEOLLAMADA FAMILIAR

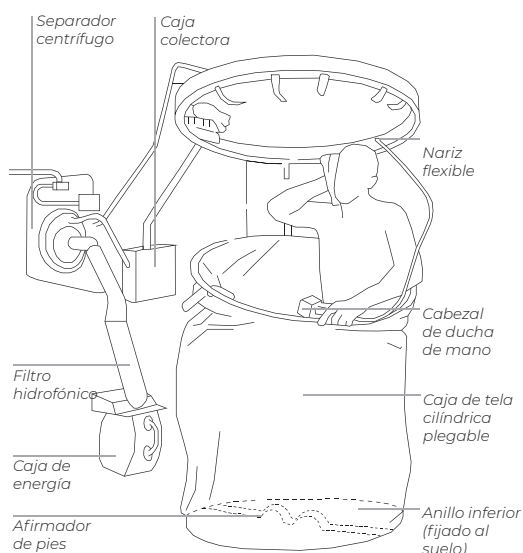


Fuente de las imágenes

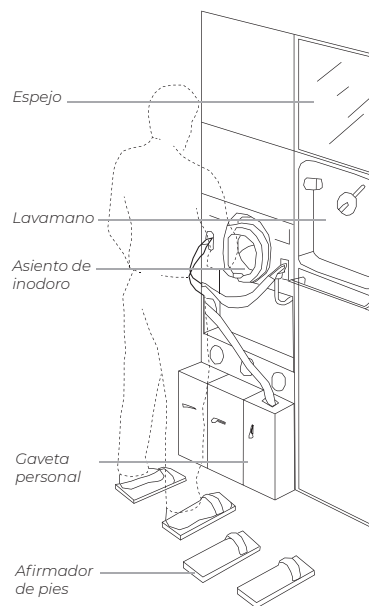
1: MarsIceHome; 2: Hotel cápsula japonés, Nine Hours Narita Airport; 3: Diseño sala de estar futurista, Ec3-ArqdissenyStudio; 4: Cabina futurista, Boeing 737 Next Generation; 5: Project Starline; 6: Sala de reuniones privada, Framery Oy.

Higiene, limpieza y salud

Los espacios de Higiene en los módulos espaciales son parte de todo el sistema de instalaciones y reciclaje de agua, por lo que suelen estar fijos en determinados lugares dentro del módulo, siendo la permanencia la principal característica de este programa. El tiempo de uso diario es temporal, por lo que sus artefactos normalmente se encuentran plegados en las paredes del módulo o instalados dentro de algún rack diseñado para este tipo de aparatos.



Uso de la ducha en Skylab. Fuente NASA



Astronauta del Skylab usando el sistema de inodoro. Fuente NASA

A pesar de ser una actividad cotidiana en la Tierra, para los astronautas el realizar una rutina de higiene diaria puede significar tener que lidiar con muchas cosas como por ejemplo: el derrame de partículas de los distintos productos de limpieza, el armado de los artefactos (que suelen ser bastante complejo a la hora de su uso), los olores, entre otras cosas. Estos factores entorpecen la constante higiene personal de los astronautas. Sin embargo, es importante considerar que la tripulación cuenta con filtros en todo el sistema de ventilación, permitiéndoles habitar un ambiente bastante controlado en cuanto a calidad de aire y agentes bacterianos.

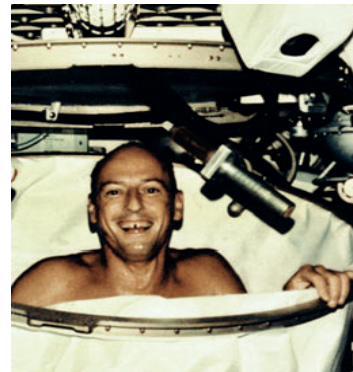
Para diseñar un espacio se necesita tener en cuenta con claridad los requerimientos de los astronautas para realizar las actividades en el marco del programa de Higiene y salud. Los elementos más básicos que se deben encontrar en este programa, son los siguientes:

- Kit de afeitado
- Kit de higiene dental
- Sistema de recolector de orina y desecho fecal
- Espejo
- Ropa interior (cambio para cada mes)
- Caja de primeros auxilios
- Ducha
- Aspiradora

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las rutinas de higiene dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro "Architecture for astronauts" de Häuplik-Meusburger el 2011.

Valery Ryumin (Salyut 6):
"Cuando comienzas a pensar en todas las operaciones preparatorias que tienes que hacer, y luego cuántas operaciones posteriores a la ducha tienes que realizar, el deseo de ducharte disminuye. Tienes que calentar el agua, en lotes, nada menos. Hay que sacar la cámara de la ducha, montar los colectores de agua, poner la aspiradora (...) se tarda casi todo el día, solo en esa ducha", se quejó. (Portree, 1995 p. 86).



*El astronauta del Skylab 2 Charles Conrad después de un baño caliente en la ducha del Skylab
Fuente: Architecture for astronauts.*

Astronauta del Skylab: "Debes tener un lugar para lavarte las manos y un lugar donde defecar y orinar, pero también debes tener un lugar separado para afeitarte y cuidar el aseo de rutina, peinar el cabello, lavarse y cepillarse los dientes (...)" (NASA [Boll.8], 1974 p.17)

Gerald Carr (Skylab 4): "Y deberíamos tener jabones y cosas (...) que tuvieran los olores a los que estamos acostumbrados aquí abajo". (NASA [Boletín 8], 1974 p. 419)

Harrison Schmitt (Apolo 17): "Mientras tenga una evacuación intestinal normal, no es un problema. La diarrea es un problema (...) debido a que la tensión superficial es una fuerza dominante. El fluido simplemente migra en el cuerpo, en lugar de ir a la bolsa de heces". (Schmitt, 2009)

Gene Cernan (Apolo 17): "Olor indeseable - No creo que haya ningún olor indeseable de alimentos (...) Fueron abrumados por los olores de orina y heces y los olores de gas en la nave espacial". (NASA [Informe A17], 1973)

Aleksandrov Lyakhov (Salyut 7): "Sería bueno tener (...) una ducha en Kosmos (...), una ducha especial que siempre esté montada y lista para usar". (BJBluth, 1987 págs. 1-83)

Valentin Lebedev (Salyut 7): "Todo el mundo sabe lo que significa [la limpieza] en casa, en el hogar, la basura se acumula en el suelo y el polvo se acumula en los muebles. Aquí todo flota: polvo, pedazos de basura, migas de comida, gotas de jugo, café y té. Todo termina suspendido en la estación, y la mayor parte se acumula en las rejillas de entrada de los ventiladores, que cubrimos con una gasa. Así recogemos la basura en ingravidez (...)". (Lebedev, 1990 p. 135)

La higiene personal, a pesar de ser una actividad que se desarrolla en un entorno íntimo, puede ocasionar desagradables consecuencias en todo el módulo. Otro tema al que los astronautas hacen hincapié son los artefactos sanitarios, estos suelen ser algo complicados de montar y usar, por lo que incluso deciden no ocuparlos.

La limpieza en los módulos va directamente relacionada con la organización de los tripulantes, que cuentan con las herramientas para realizarlo. Al ser un espacio de un solo ambiente (debido a su configuración interior), la basura generada logra expandirse en todo el módulo, generando como consecuencia que esta se pueda filtrar desde el área de higiene al área de tránsito.

Una solución al diseño de estos espacios es generar un ambiente intermedio entre el área de higiene y el espacio que se circula, este tendrá la función de regular y controlar la salida y entrada de elementos no deseados relacionados con la higiene personal, ya sean residuos biológicos, olores, etc.

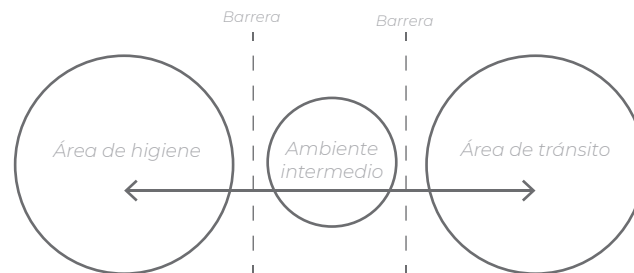


Diagrama de propuesta de circulación entre área de higiene, ambiente intermedio y área de tránsito. Elaboración propia.

Trabajo/ Investigación

Los espacios enfocados en el trabajo y la investigación son los principales objetivos presentes a la hora de diseñar en los hábitats en órbita, ya que las misiones espaciales están orientadas en los resultados que pueda entregar la tripulación. Es por eso que se busca diseñar espacios eficientes, que cumplan con los requerimientos de las misiones desarrolladas en el módulo.

En estos espacios de trabajo, se busca lograr un ambiente de **concentración, producción y rendimiento**, además de poder adaptarse a los distintos métodos de investigación. Es por esto que la combinación de actividades como el “comer” o “dormir” en las áreas de trabajo, tienden a generar conflicto en la tripulación por el uso del espacio. Respecto a lo anterior, la estrategia es enfocar un ambiente dedicado al trabajo o relacionarlo con otro que sea temporal y tenga relación con la actividad laboral en órbita.

La configuración del módulo DMF entrega una propuesta de distribución de los usos, que da lugar a un espacio exclusivo para el tránsito y otro para actividades de carácter más estacionario (laboratorio, área de control, mantenimiento, entre otros).

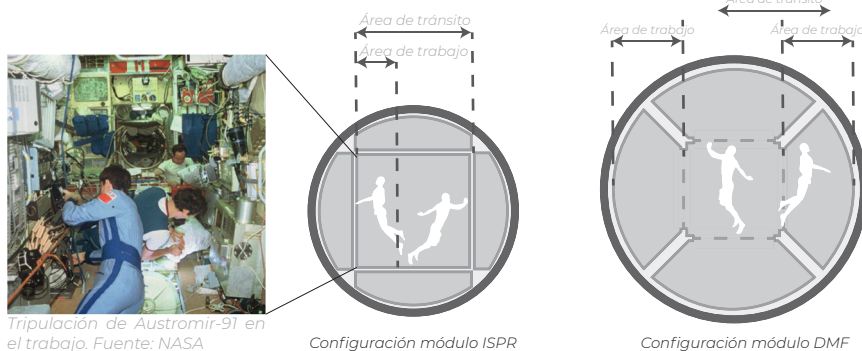


Diagrama en corte, comparación entre área de trabajo y área de tránsito, observando una superposición en los ISPR a diferencia de la configuración DMF en donde las áreas se encuentran separadas entre sí. Elaboración propia.

Los espacios más básicos que requieren los astronautas para desenvolverse correctamente en el trabajo en órbita son:

Operaciones de mantenimiento
Equipos de comunicación
Investigación

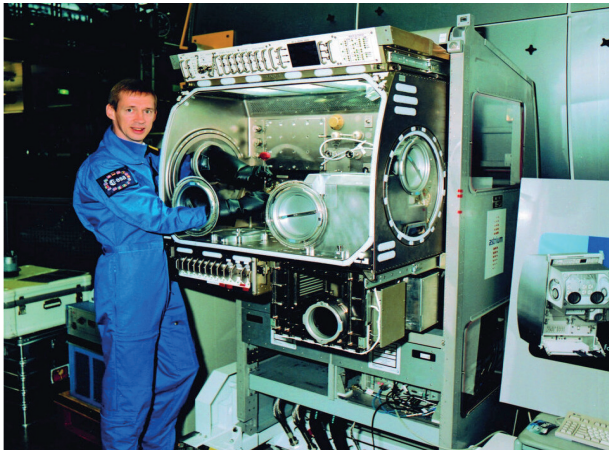
Área de realización de experimentos
Laboratorios
Entrenamiento



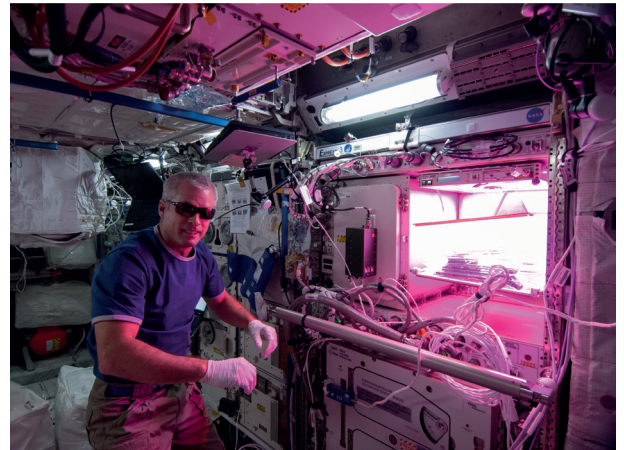
Experimento neurocientífico durante la misión Austronir-91.
Fuente: NASA



Los ingenieros de vuelo dentro del laboratorio Destiny de EE. UU.
Fuente: NASA.



El astronauta Frank De Winne con la caja de guantes ("Glovebox"). Fuente: NASA.

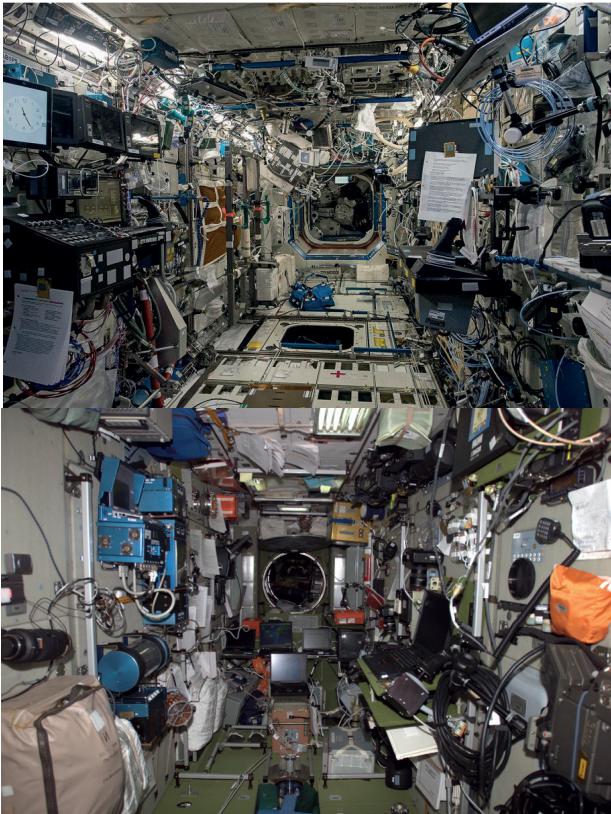


El astronauta Steve Wanson junto al dispositivo Veggie. Fuente: NASA.

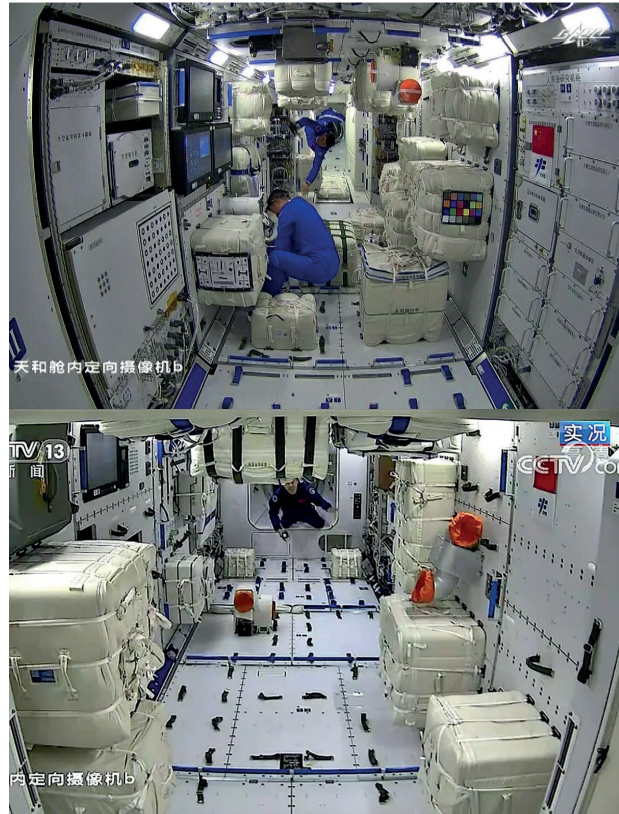
Si bien al momento de diseñar la configuración del módulo no se pueden predecir todas las dimensiones que tendrán los artefactos para las distintas instancias de experimentación e investigación, si se pueden diseñar espacios **adaptables** que abarquen la mayor cantidad de posibilidades. Es por esto que la solución de diseño debe proponer mobiliario modular, incentivando estándares y medidas universales para los artefactos.

Algo que tienen en común todos los módulos espaciales en órbita que llevan un tiempo siendo habitados, es el ruido visual dentro del área de trabajo. Esto es generado por los cables, dispositivos, computadores, entre otros elementos que son requeridos por la tripulación a la hora de realizar sus labores. La principal razón para dejar expuestos los equipos es facilitar el uso y mantenimiento.

La Estación Espacial China propone incorporar en su diseño compartimientos para el almacenaje, entregando una mejor organización, además de permitir el mantenimiento de los equipos, logrando un ambiente más ordenado visualmente.



Interior de la Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA.



Interior de la Estación Espacial China Tiangong. Fuente: CGTN.

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las rutinas de trabajo dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro *“Architecture for astronauts”* de Häuplik-Meusburger el 2011.

“Tratamos de ocultar la mayor cantidad de cosas como sea posible detrás de los paneles. Mientras lo hacíamos, notamos muchas características poco prácticas que eran difíciles de prever en la Tierra. Una gran cantidad de espacio vacío detrás de los paneles no se utiliza en absoluto. Nadie se dio cuenta de que necesitaríamos un lugar para almacenar varios equipos y soportes cuando terminaríamos de usarlos. Además de eso, las bolsas, cinturones, candados y otros elementos se han fijado de forma permanente aquí, lo que nos impide utilizar el espacio existente”.
(Lebedev, 1990 p. 111)

“Cuando llega una tripulación, los cosmonautas pueden reorganizar las cosas para sentirse como en casa. Este tipo de trabajo suele requerir el traslado de una gran cantidad de material y equipos. A veces esto requiere cortar metal, lo que no solo ensucia el módulo, sino que también lleva mucho tiempo y esfuerzo”.
(Lebedev, 1990 p. 137).

Hans Schlegel (ESA): “(...) Pero todavía estamos desarrollando los requisitos mínimos (...) Estamos en medio de desarrollarlo, porque, al igual que en la Tierra; un dormitorio para una familia puede ser un estudio para la siguiente, y el estudio anterior puede convertirse en el dormitorio o viceversa”. (Schlegel, 2009)

El que los espacios permitan la **adaptabilidad, la reconfiguración y la reorganización**, habla de un diseño funcional tanto para la tripulación como para las instalaciones, que son las que deben albergar el trabajo de usuarios con distintos requerimientos. Se recomienda proyectar en el diseño instalaciones **desmontables y modulares**, facilitando el retiro y llegada de equipamiento junto con materiales de otras tripulaciones.

Referencias

Las siguientes imágenes muestran referencias de como pueden ser diseñados los espacios que van a albergar las actividades en el marco del trabajo y la investigación.



Fuente de las imágenes:

1: Área de investigación botánica, Hassell+EOC; 2: Laboratorio de investigación, Hassell+EOC; 3: Área de investigación botánica, EDEN ISS; 4: Representación hábitat en órbita, Marshome.

Deporte

La actividad física es algo infaltable en la rutina de los astronautas, la duración es de promedio 3 horas diarias, siendo de carácter obligatorio para toda la tripulación. La intensidad de esta actividad es debido a la importancia que tiene el deporte sobre la salud física y psicológica de los astronautas, ayudando a mitigar los efectos secundarios (disminución de la masa muscular, problemas cardíacos, trastornos del sueño, etc.) causados por misiones espaciales de larga estadía.

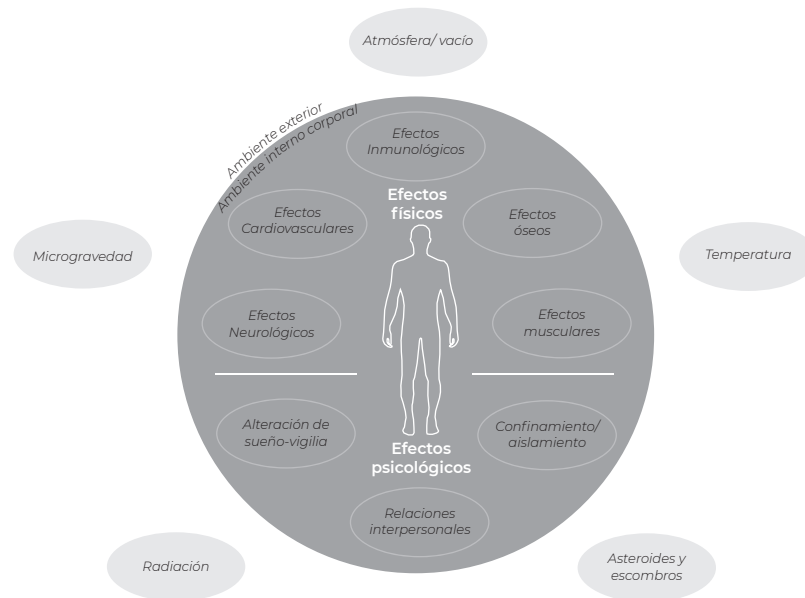
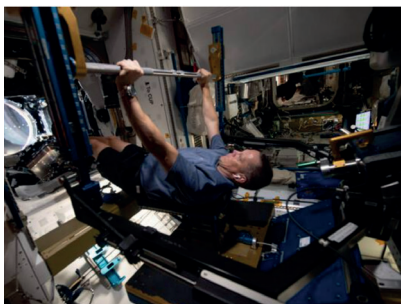
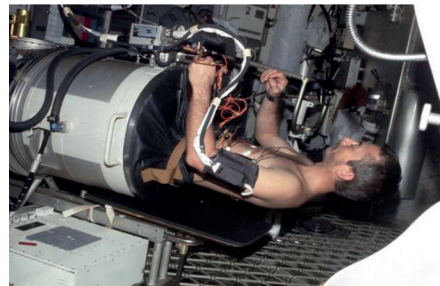


Diagrama de efectos físicos y psicológicos en los astronautas bajo las condiciones ambientales en órbita. Elaboración propia.

Además de ser un apoyo ante las condiciones ambientales, la actividad física es una contramedida importante para el gran volumen de trabajo que se lleva a cabo en una misión espacial, el cuerpo responde de manera más eficaz a la situación de estrés cuando este se mantiene físicamente activo.

En respuesta a los requerimientos de este programa, se instalan implementos deportivos que se montan cuando el usuario requiera utilizarlo y se vuelve a plegar una vez finalizado, haciendo que el uso de este espacio para las actividades físicas sea temporal. Alguno de los implementos más usados en estos espacios son:

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| Bicicleta | Bandas elásticas |
| Caminadora | Pelotas de gimnasia |
| Área para realizar estiramientos | Trajes presurizados |



Fuente de las imágenes:

1: Astronauta haciendo ejercicio resistivo, NASA; 2: Astronauta practicando maniobras de yoga, NASA; 3: Astronauta dentro de Dispositivo experimental de presión negativa (LBNP), NASA; 4: Astronauta haciendo ejercicio resistivo, NASA; 5: Astronauta en caminadora desplegable, NASA.

Precisar que estos implementos deben ser ergonómicos, fáciles de armar y desmontar, con un volumen de ocupación no invasivo y equipado con aisladores de vibraciones para evitar perturbaciones en los experimentos científicos.

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las rutinas de actividad física dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro "Architecture for astronauts" de Häuplik-Meusburger el 2011.

*"De hecho, incluso hemos inventado algunos ejercicios nuevos por nuestra cuenta".
(Lebedev, 1990 p. 188).*

"A veces es muy difícil obligarse a uno mismo a hacerlo. Lo que más nos gusta es la cinta de correr, porque podemos hacer una gran variedad de ejercicios en ella". (Lebedev, 1990 p. 168)

*Valery Ryumin (Salyut 6): misión de 175 y 185 días: "Odio nuestros ejercicios. Me encantó en la Tierra. Pero aquí tengo que esforzarme (...) te das cuenta de que lo necesitas para mantenerte en forma, así que sonríes y lo soportas".
(BJBluth, 1987 p. III-34)*

Al diseñar los espacios contemplados para la actividad deportiva (además de tener en cuenta el volumen de los implementos), se debe proyectar en un área apartada de actividades que requieran un ambiente de concentración y tranquilidad. Debido a que no son compatibles las áreas de concentración con el ruido que puede emitir el uso de implementos deportivos.

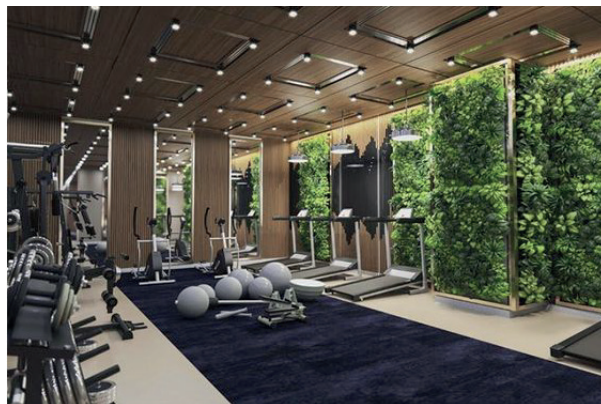
Se puede lograr una mejor experiencia al momento de realizar actividad deportiva, si se aplican elementos que estimulen los sentidos (los astronautas ya aplican esta técnica al escuchar música mientras se ejercitan). La **realidad virtual** puede aportar en ampliar el espacio de forma artificial, simulando ambientes ligados a la naturaleza y así convertir una actividad obligatoria en una medida para sobrellevar el claustro de manera más agradable.

Referencias

Las siguientes imágenes muestran referencias de como pueden ser diseñados los espacios que van a albergar las actividades nombradas anteriormente.



1



2



3



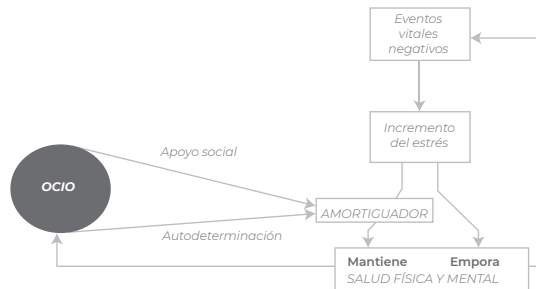
4

Fuente de las imágenes:

1: Gimnasio con plataforma de realidad virtual, Hassell+EOC; 2: Proyecto gimnasio de lujo, gymflooring.com; 3: ICAROS, artefacto deportivo con realidad virtual que simula la experiencia de volar; 4: ICAROS, se observa el uso del implemento junto al lente de realidad virtual.

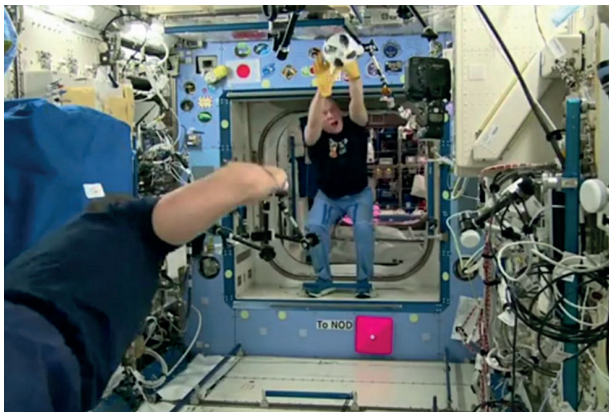
Ocio

El tiempo libre tiene un efecto estimulante sobre la salud física y mental del astronauta, contribuyendo a la eficiencia laboral de la tripulación. Las actividades de ocio en órbita se programan según el número de usuarios, tiempo de duración de la misión y los intereses personales de cada astronauta. Siendo factores que se relacionan directamente al cómo se diseñará estos espacios.

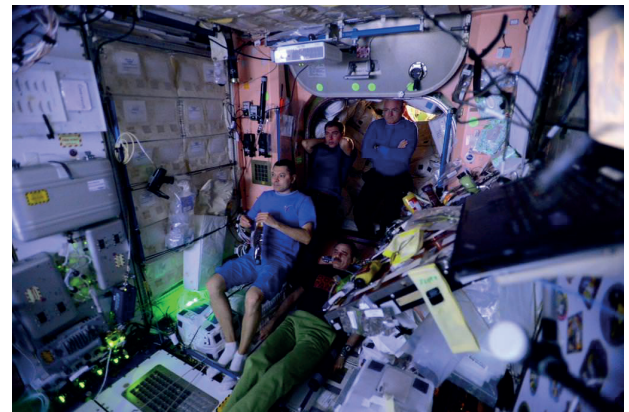


El ocio como fuente de bienestar físico-mental. Elaboración propia.

A pesar de tener claridad sobre los beneficios de este programa, no existen espacios dedicados a las actividades libres (tal como existen dormitorios para dormir o comedores para la alimentación). Por lo anterior, los astronautas improvisan áreas para el juego y esparcimiento, adaptándose al espacio que tienen disponible y que muchas veces interrumpe a otros tripulantes y sus actividades.



Astronautas de la EEI juegan al fútbol. Fuente: ROCOSMOS



Los astronautas de la Estación Espacial, durante la proyección de 'The Martian'. Fuente: Kjell Lindgren.

El “ocio” abarca desde actividades más activas como deportes colectivos (en donde se realiza actividad física, se cuenta con espacio amplio y comunicación directa con otros miembros de la tripulación) hasta actividades más pasivas como lo es leer un libro (acción de carácter individual, relajante y que requiere de un espacio reducido). Por lo tanto, a pesar de tener el mismo objetivo, se desarrollan a través de acciones totalmente distintas y necesitarán separarse espacialmente.

OCIO EN ESTADO PASIVO

- Fotografía
- Lectura
- Juegos individuales
- Cine
- Dibujo

OCIO EN ESTADO ACTIVO

- Juegos colectivos
- Charlar
- Música
- Grabar
- Videojuegos



1



2



3



4

Fuente de las imágenes:

1: Astronauta J. Williams usa una cámara fija en la ventana del módulo Zvezda, NASA; 2: Astronauta Thomas Reiter proporcionando algo de entretenimiento al grupo, ESA; 3: Astronauta de la NASA Mark Vande Hei en la ISS, NASA; 4: Astronautas celebrando festividades en ISS, NASA.

Existen actividades que permiten instancias para reforzar los lazos de la tripulación, el “hablar después del trabajo” es una actividad recreativa social muy común, que se acompaña por una acción pasiva, como por ejemplo cenar o ver una película en conjunto. Es por esto que se deben considerar **espacios enfocados a generar instancias de conversación para la tripulación.**

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las actividades de ocio dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro “Architecture for astronauts” de Häuplik-Meusburger el 2011.

Edward G. Gibson (Skylab 4): “Oh, sí. Mirando por la ventana, sí. Sí, todos lo hicimos”. (Gibson, 2000 p. 70).

Greg Chamitoff (NASA): “(...) Mientras tanto, tenemos algunos nuevos espacios abiertos grandes, lo que significa que de repente hay una oportunidad de hacer algunas “acrobacias avanzadas”. (Chamitoff, 2008)

Dumitru-Dorin Prunariu (Salyut 6): “teníamos una aspiradora con respaldo aire de escape, vendido en las tiendas de Europa del Este bajo el nombre de ‘Rocket’, que parecía un cohete (...), alimentado por un largo cable de la red eléctrica de la estación red, y a veces (...) simplemente tomabas la aspiradora entre las piernas, la encendías y luego volabas como un cohete dentro de la estación”. (Prunariu, 2011)

Las ventanas al exterior instaladas en los módulos espaciales no solo ofrecen un punto de interés estético, sino también generan un impacto psicológico positivo al entregar orientación dentro de un hábitat hermético hacia el exterior, tomando a la Tierra como punto de referencia. Por otro lado, la acción de crear una abertura en el módulo provoca una disminución en la protección estructural que afectaría directamente a los astronautas. Por lo que pareciera ser un elemento más perjudicial que beneficioso.

Referencias

Por lo anterior, es que el diseño debe aportar al desarrollo de tecnologías que ayuden a ampliar de manera artificial el hábitat en órbita, esto puede ser a través de pantallas LCD, realidad virtual aumentada u otros.



Simulación de una ventana con nubes y árboles en movimiento a través de una pantalla LCD de alta resolución, además incluye un procesador gráfico y software para la sincronización de las imágenes, para horas y horas de simulación, todo ello desde el amanecer a la puesta de sol. Fuente: Sky Factory.



Interfases de realidad virtual que crea una sensación de inmersión en ambientes artificiales. Fuente: OMNI.



Alimentación

Los sistemas de alimentación actualmente consisten en el almacenaje de comida preparada previamente en la Tierra, por lo que el diseño de estos espacios se basa en la construcción de dispensadores y enseres capaces de conservar la comida por el mayor tiempo posible.

En cuanto al diseño de la comida, esta ha ido perfeccionándose a medida que se va acumulando experiencia en misiones de corto y largo plazo. Los alimentos van siendo envasados en envoltorios especiales que han ido adquiriendo características más eficientes, de los cuales las principales son las siguientes:



- *Peso y volumen reducido
- *Amplia variedad de alimentos (evitando la monotonía)
- *Uso de poco tiempo de preparación
- *Sanidad (prevenir el crecimiento de microorganismos)
- *Alto contenido en nutrientes
- *Alta compatibilidad intestinal
- *Uso de alimentos con capacidades de conservarse
- *Adaptabilidad de la forma y tamaño al momento de almacenarse

Alimento preparado en bolsa especial. Fuente: NASA.



Almacenaje de alimentación. Fuente: NASA.



Prototipo de comedor y organizador de alimentos para astronautas. Fuente: NASA.

Sin embargo, lo explicado anteriormente no es el sistema de alimentación que se mantendrá a futuro. Para las misiones proyectadas de larga duración no se puede depender de alimentos con previa preparación, estos tendrán que ser **cultivados** por los astronautas. Ya se trabaja en áreas dedicadas a la actividad de plantación de alimentos, los que han dado resultados interesantes y demostrando además que son viables a largo plazo. Por lo anterior, se debe considerar que el área de alimentación debe estar complementada con espacios que puedan albergar un **sistema de cultivo**.



Plantas de pimientos que crecieron durante 137 días a bordo de la Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA



Astronautas posando con primeros cultivos en Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA

Si bien la comida diseñada para los astronautas siempre está enfocada en generar la menor cantidad de residuos posibles, un **área de desechos** también debe ser considerado al momento de diseñar, ya que puede ser un problema el que se termine por instalar en espacios improvisados.

Entonces los espacios más básicos a considerar serían los siguientes:

Almacenar
Preparar
Cultivar
Consumir
Recolectar desechos

La acción de alimentarse puede llevar una doble finalidad, además de nutrir a la tripulación, puede **generar instancias que refuercen los lazos** y mejore la convivencia al realizar esta acción en grupo. Por lo que el lugar en donde comen los astronautas debe usar a favor esta ventaja. Los diseños de comedores instalados en las estaciones espaciales, tienen las características de ser plegables y ergonómicos, dimensionados para el número de tripulaciones y diseñados de acuerdo a las condiciones ambientales.



Astronautas usando una mesa de comedor grupal. Fuente: NASA.



Astronautas usando una mesa de comedor grupal. Fuente: ESA.

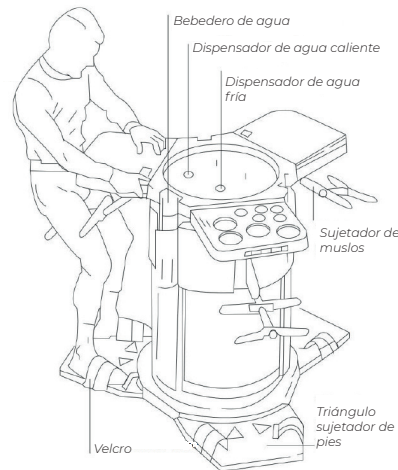


Diagrama sistema de comedor grupal. Fuente: NASA.

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a la actividad de alimentación dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro "Architecture for astronauts" de Häuplik-Meusburger el 2011.

Valentin Lebedev (Salyut 7): "Así que vivimos una vida maravillosa aquí arriba, podemos diseñar cualquier menú que queramos. Todo lo que tenemos que hacer es flotar hasta un panel, abrirlo y elegir lo que queremos.

Comemos cuando queremos, o simplemente nos metemos algunas golosinas en los bolsillos y las masticamos mientras trabajamos".

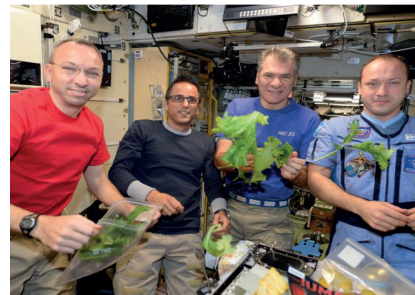
31 de agosto de 1982 (Lebedev, 1990)

"Lo que necesitas en el diseño del futuro es una mesa que sea adaptable a una de trabajo, con buena iluminación". (NASA [Boletín 12], 1975 págs. 38, 39)

Gerhard Thiele (ESA): "Al mediodía uno come mientras trabaja. El descanso designado de una hora, destinado a que uno pudiera comer en paz, en realidad no existía en nuestro vuelo". (Thiele, 2010)

Valery Ryumin (Salyut 6): "(...) las verduras cultivadas por los cosmonautas (...) no son solo objeto de (...) estudio, si no también –y lo recalco– un factor psicológico importante que ejerce un efecto positivo sobre (...) las emociones."

(BJBluth, 1987 p. I-43)



Astronautas junto con sus primeros cultivos de lechuga. Fuente: ESA.

4.3. Afinidad entre programas

De acuerdo a la información expuesta, sobre las características que tiene cada programa dentro del contexto de las misiones espaciales a corto y largo plazo, existe cierta afinidad entre las actividades que realiza la tripulación cuando se observa el comportamiento de los astronautas que han convivido en órbita. Saber esto ayudaría a determinar que programas arquitectónicos pueden subsistir con otro, así **ahorrar en espacio y recursos**, además de desarrollar un **diseño más eficiente con el uso del espacio**.

El análisis de estas actividades lleva a elaborar una matriz con parámetros que consideren el tipo de afinidad que tiene cada programa arquitectónico, con el fin de guiar el diseño de los usos del espacio. A continuación se muestra el diagrama descrito.

<i>Programa arquitectónico</i>	<i>Grado de Publicidad</i>	<i>Grado de permanencia del usuario en su uso</i>	<i>Características de la atmósfera</i>	<i>Volumen de espacio ocupado</i>
Dormir/ Descanso/ Relajo	Bajo , actividad de carácter íntimo.	Temporal , uso esporádico de este espacio	Tranquilidad, descanso, introspección.	Cabina fija al espacio de dormir + espacios de descanso modulares
Higiene, limpieza y salud	Bajo , actividad de carácter íntimo.	Temporal , uso esporádico de artefactos	Bienestar y sanidad	Espacio fijo para instalación de artefactos
Trabajo/ Investigación	Media-Alta , requiere tanto de trabajo individual como de trabajo en equipo.	Permanente , trabaja en constante uso	Concentración, producción y rendimiento.	Instalaciones fijas y modulares
Deporte	Media- Alta , se pueden realizar actividades deportivas individuales y colectivas.	Temporal , uso de elementos desplegables	Comunitaria y lúdica.	Instalaciones de implementos deportivos desplegables
Ocio	Media- Alta , se pueden realizar actividades de tiempo libre individuales y colectivas.	Temporal , uso de elementos desplegables	Comunitaria y lúdica.	Instalaciones fijas y modulares
Alimentación	Alta , esta se realiza en comunidad.	Temporal , uso de elementos desplegables	Comunitario y experimentación.	Espacios de almacenamiento y comedor desplegable

Diagrama de afinidad entre programas. Elaboración propia.

4.4. Parámetros generales de la misión

Antes de diseñar un módulo espacial se debe considerar el objetivo que tendrá (estos definen las características de la misión) y construir un “esqueleto” de partido general. No es lo mismo ir a la órbita Lunar en una misión de 30 días de duración, que un viaje a Marte de 1 año, los requerimientos pueden ser similares en su esencia, pero siguen presentando cierta diferencia. Entonces el diseño y distribución interior debe responder a estos parámetros.

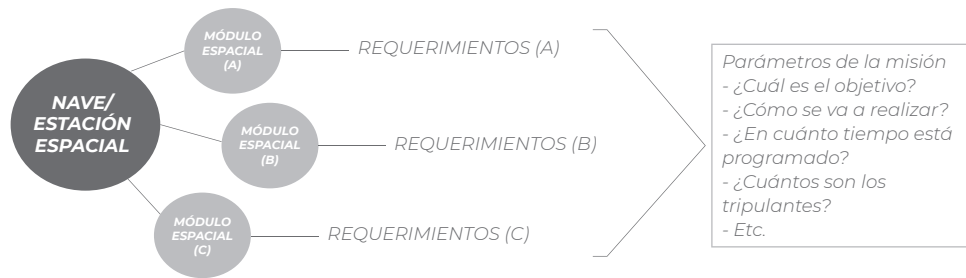


Diagrama de factores que determinan los requerimientos. Elaboración propia.

Por lo anterior, se propone los siguientes parámetros para estudiar en profundidad, así obtener mayor conocimiento de los requerimientos al momento de organizar espacialmente los módulos.

- 2.3.1. Horario
- 2.3.2. Número de tripulación y duración de la misión
- 2.3.3. Objetivos de la misión
- 2.3.4. Ergonomía: dimensión mínima de los espacios

Horario

Asignar un horario para las actividades que realizan los astronautas funciona como guía para entender como distribuyen sus labores. Si bien no se puede imponer un horario a la tripulación, se puede rescatar información para observar cómo usan el espacio. Identificar esta información, tanto en el ámbito individual como colectivo, es importante para tomar decisiones, en el diseño del espacio enfocado en las horas de uso o en la temporalidad de los programas. A continuación se adjunta una tabla con la rutina de los grupos de tripulantes en vuelos orbitales, realizado a través de la observación de distintos videos publicados por NASA.

Hora	Rutina diaria de la tripulación	Rutina individual/ grupal	Número de tripulación necesaria
00:00	Dormir	Individual (solo en módulo de descanso asignado)	1
01:00			
02:00			
03:00			
04:00			
05:00			
06:00			
07:00	Higiene personal	Individual	1
08:00	Desayuno	Grupal	3 - 4 (más según el n° de tripulación)
09:00	Trabajo (referente a la misión/ mantenimiento de carga útil)	Individual o grupal (solo en módulo de trabajo y laboratorio asignado)	1-3 (según requerimientos de la misión)
10:00	Deporte		
11:00			
12:00	Planificación y entrenamiento	Individual o grupal	1 - 4
13:00	Almuerzo	Grupal	3 - 4 (más según el n° de tripulación)
14:00	Trabajo (referente a la misión/ mantenimiento de carga útil)	Individual o grupal (solo en módulo de trabajo y laboratorio asignado)	1-3 (según requerimientos de la misión)
15:00	Deporte		
16:00			
17:00			
18:00	Planificación y entrenamiento	Individual o grupal	1 - 4
19:00	Cambio de turno	Grupal	6 - 8 (el total de la tripulación)
20:00	Cena	Grupal	3 - 4 (más según el n° de tripulación)
21:00	Tiempo libre	Individual	1
22:00	Higiene personal	Individual	1
23:00	Dormir	Individual	1

Rutina diaria de la tripulación (individual o grupal). Elaboración propia.

Número de tripulación y duración de la misión

Una variable importante en el diseño de la configuración espacial de cualquier lugar, es el número de usuarios considerados para el uso y el tiempo de estancia que tendrán. Esto puede ayudar a definir un correcto volumen de ocupación, además de realizar un diseño adaptable si sabemos que la tripulación va a variar entre un número determinado de habitantes (considerar espacio para un número adicional de cabinas más para el descanso), almacenamiento necesario para pertenencias de la tripulación,

Las misiones espaciales anteriores nos pueden dar una guía de cuál es la experiencia que se maneja en lograr hábitats humanos en espacios herméticos.

Hábitats en órbita	Número de tripulantes por misión (fijos)	Tiempo de la misiones
Vostok	1	3d
Mercury	1	15 min - 34 hrs
Voskhod	3	1d
Gemini	2	4h - 4d
Soyuz	3	1d - 3d
Apollo	3	5d - 2d
Salyut	3 + tripulación de visita	1d - 237d
Skylab	3	28d - 84d
Shuttle	3	2d - hoy
Mir	3 + tripulación de visita	1d - 438d
ISS	3 + tripulación de visita	1d - hoy
Shenzhou	3	1d - 4d

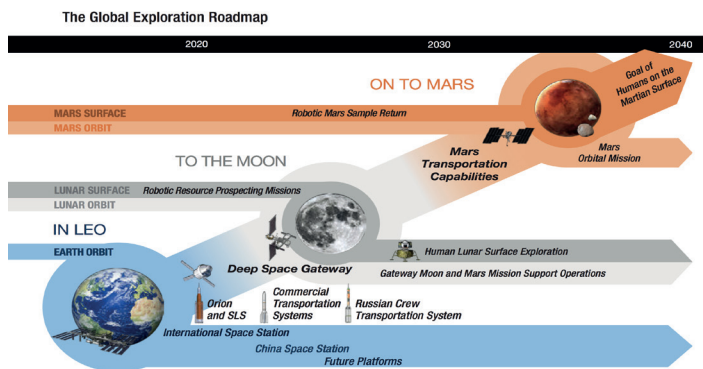
Tabla de información número de tripulación por misión y tiempo de estancia. Fuente: Architecture for astronauts

Objetivos de la misión

Conocer cuál es el objetivo de la misión, es el principal eje de diseño, permite saber cómo se va a comportar la tripulación y qué van a requerir. Básicamente, este parámetro responde a la pregunta **¿Qué se va a realizar?**. Estos afectan directamente a las características que tendrá el programa arquitectónico de Trabajo e Investigación.

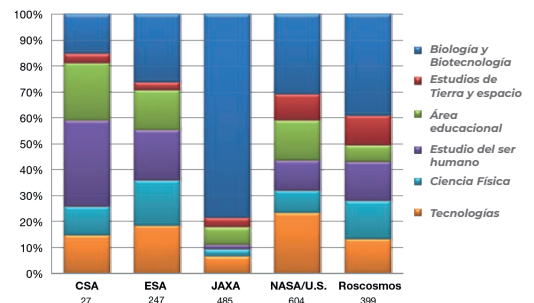
Una fuente de información puede ser la entregada por El Grupo de Coordinación de Exploración Espacial Internacional (ISECG). Se puede observar que el plan empieza por crear asentamientos en la superficie de la Luna, iniciando el posicionamiento de robots y tecnologías de transporte, con el fin probar equipos que han sido desarrollados para ayudar a instalar, de manera segura, una colonia en la Luna. Las misiones humanas empiezan con Artemisa III y el regreso del ser humano a la superficie con un grupo de 2 personas por una misión de 6,5 días de duración.

Otra fuente de información puede ser las áreas de investigación que se han ido desarrollando a lo largo de la experiencia en misiones espaciales, que van desde biotecnología hasta estudios del comportamiento humano en hábitat orbitales.



Los objetivos de la exploración tripulada del espacio en los próximos años.
Fuente: ISECG.

Áreas de investigación desarrolladas en la EEI asociadas a las distintas agencias espaciales
Expediciones 0-40/ Diciembre 1998 - Septiembre 2014

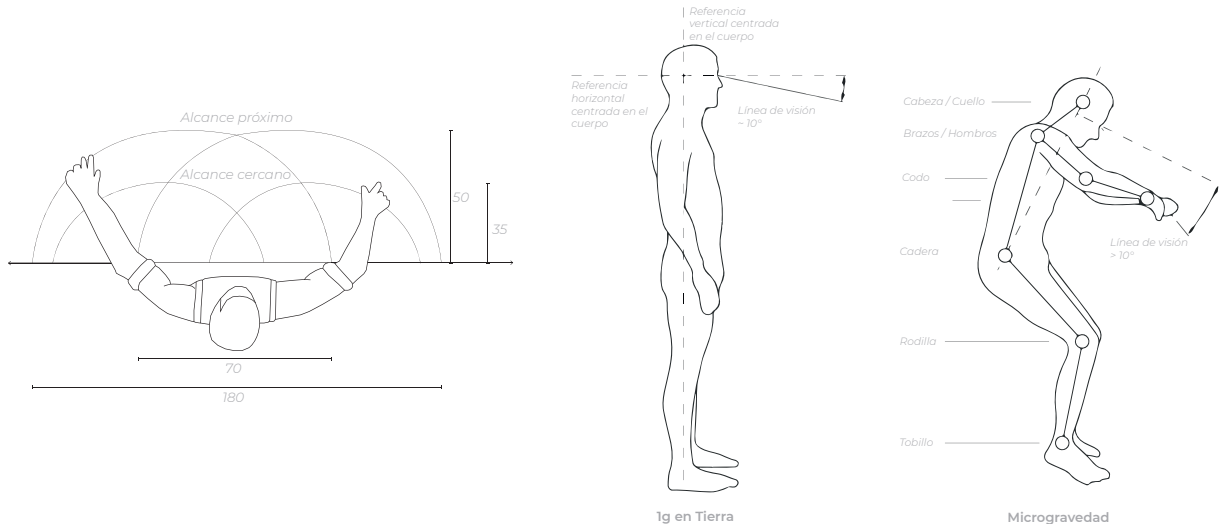


Áreas de investigación desarrolladas en EEI. Fuente: Reference guide to the International Space Station

Ergonomía: dimensiones mínima de los espacios

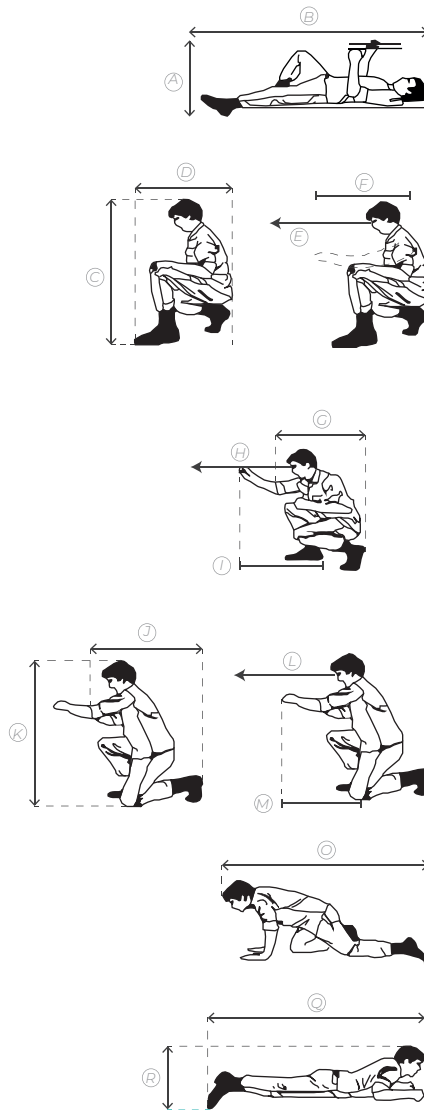
Dentro de la disposición del hábitat, la dimensión y las posturas del ser humano son consideraciones importantes al momento de diseñar cualquier espacio. En plena gravedad nos mantenemos erguidos, sentados o tumbados, de acuerdo a la actividad que se esté realizando. Mientras que en los ambientes orbitales, se puede observar algo no muy distinto, los seres humanos en microgravedad adoptan una postura corporal neutra estándar, que representan el estado de equilibrio de menor energía de los músculos evolucionados y acostumbrados habitualmente a permanecer erguidos en el entorno terrestre.

Se debe tener en cuenta las actividades que se van a llevar a cabo y qué posiciones debe realizar el astronauta, para tener en cuenta esta medida al momento de diseñar los espacios. A continuación se muestra, por medio de diagramas, las distintas posturas a realizar según observaciones de material visual publicado por las distintas agencias espaciales.



Los objetivos de la exploración tripulada del espacio en los próximos años. Fuente: ISECC.

Diagrama de postura corporal neutra en gravedad y microgravedad. Fuente: Architecture for astronauts.



	Tendido de espalda	Dimensión mínima	Dimensión preferente
A	Altura	51 cm	61 cm
B	Longitud	185 cm	195 cm
	Trabajo en cuclillas	Dimensión mínima	Dimensión preferente
C	Altura	120 cm	130 cm
D	Longitud	70 cm	90 cm
E	Alcance de visualización óptima	90 cm	110 cm
F	Alcance de control óptimo	80 cm	100 cm
	Trabajo encorvado	Dimensión mínima	Dimensión preferente
G	Ancho	90 cm	110 cm
H	Alcance de visualización óptima	80 cm	100 cm
I	Alcance de control óptimo	60 cm	80 cm
	Trabajo de rodillas	Dimensión mínima	Dimensión preferente
J	Ancho	100 cm	120 cm
K	Altura	140 cm	160 cm
L	Alcance de visualización óptima	80 cm	100 cm
M	Alcance de control óptimo	60 cm	80 cm
	Trabajo gateando de rodillas	Dimensión mínima	Dimensión preferente
O	Ancho	80 cm	90 cm
P	Altura	150 cm	
	Trabajo en posición arrastrada	Dimensión mínima	Dimensión preferente
Q	Ancho	55 cm	65 cm
R	Altura	280 cm	

Medidas ergonómicas de posiciones no erguido. Elaboración propia.

4.5. Neuroarquitectura incorporada a las decisiones de diseño

Un hecho que marca oficialmente el comienzo de la neuroarquitectura bajo ese término es la fundación en 2003 de la academia de la Neurociencia para la Arquitectura (ANFA), con el objetivo de marcar algunos de los aspectos más esenciales a la hora de investigar como diseñar, calidad de vida, aumentar la productividad, el rendimiento y reducir el estrés producido por la vida en la ciudad.

Esta rama de la arquitectura impulsa a comprender cuál es el funcionamiento del cerebro con relación al medio ambiente, dado que los lugares pueden llegar a influenciar la salud física y mental. Sin embargo, decisiones puntuales como el color de un espacio no necesariamente puede afectar por completo el estado de ánimo, más bien se refiere a **cambios sustanciales del ambiente**, que va desde el tamaño del espacio, ambientación, la atmósfera, la iluminación, hasta el mobiliario, todo esto tendrá una influencia inconsciente.

Según ANFA (*Academy of Neuroscience for Architecture*), los aspectos y herramientas usados para reflejar un diseño con base en la Neuroarquitectura, y que serán utilizadas en esta Guía, contempla los siguientes parámetros:



Al tratarse de un diseño a nivel teórico, solo se tomarán en cuenta aquellos parámetros que se puedan diseñar de forma tangible. A continuación se definirá cada uno de estos aspectos, buscando parámetros o información que pueda ayudar a elaborar un diseño de acuerdo a los requerimientos de los usos de cada espacio.

Iluminación

El tema de la luz ha sido un elemento muy tratado en la Arquitectura, tanto la forma en la que se invade el espacio habitable como en la intensidad en que se presenta. Es un aspecto muy importante, ya que la luz marca los **ritmos circadianos**, estos son, según el NIGMS (*National Institute of General Medical Sciences*) “los cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo diario, respondiendo principalmente a la luz y oscuridad en un ambiente”.

Temperatura del color

Cuando se habla de temperatura del color se refiere al color de la luz que es emitida de una fuente (lámpara, bombilla o cualquier elemento capaz de generar luz artificial), el cual se mide en kelvin (K) y se define comparando su color dentro del espectro luminoso. Cabe destacar que la medida en kelvin es de la temperatura representada por un color. Para efectos comerciales, las empresas manejan tres temperaturas de color (Luz cálida, neutra y fría) que van desde los 2700 K hasta los 6500 K.

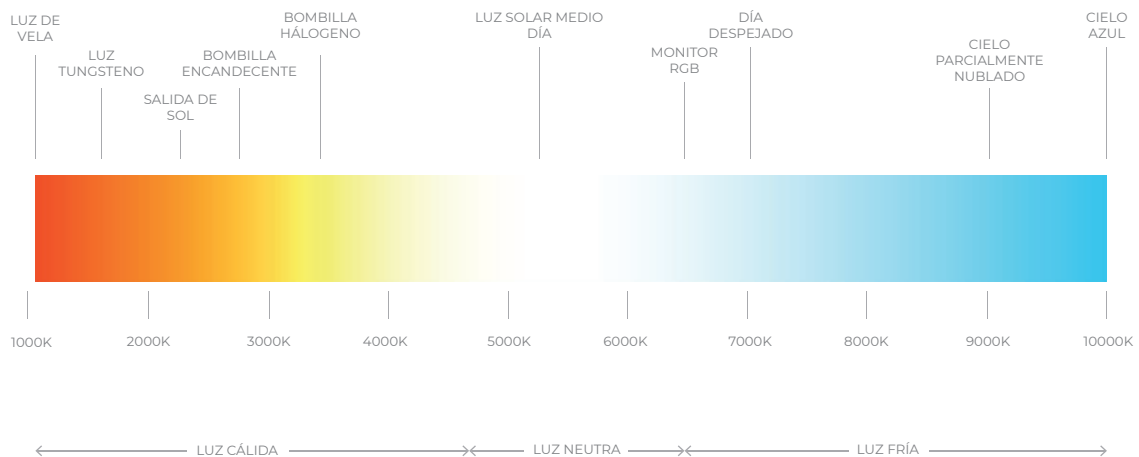


Diagrama de las distintas “intensidades” de la luz artificial, definiendo los tipos de luz que representan y donde se manifiestan comúnmente. Elaboración propia.

Cuando no se cuenta con un aporte adecuado de luz, se pueden producir problemas en el sueño, fatiga, falta de concentración, etc. La luz natural favorece la concentración y crea un ambiente más amable que la luz artificial. Así mismo, la luz natural crea un vínculo directo entre el espacio exterior e interior, evitando así generar una sensación de espacio cerrado. Debido a que en estos espacios en órbita no se puede contar con luz natural, se buscará, a través del diseño, **crear una simulación de las sensaciones que brinda la luz natural**.

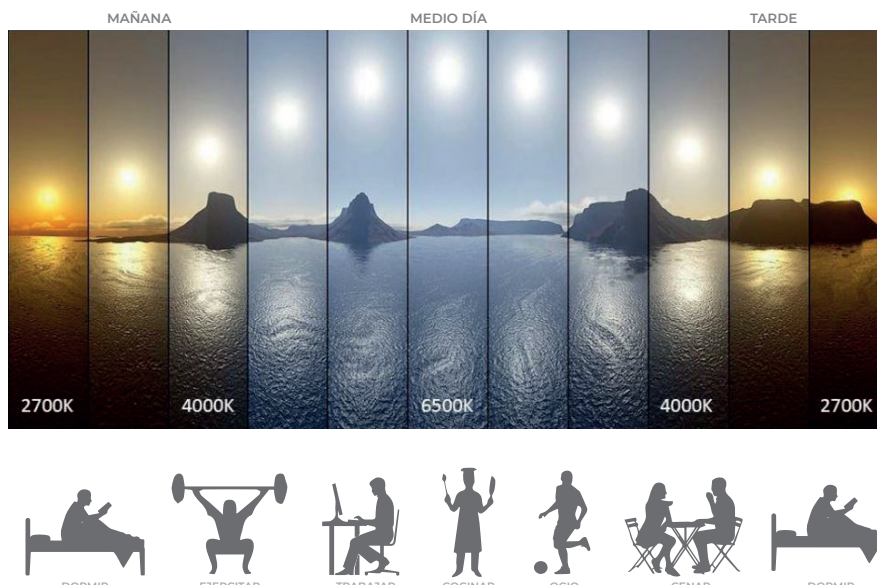


Diagrama de las distintas "intencidades" de la luz artificial. Elaboración propia.

Por lo antes expuesto y en términos generales se recomienda considerar lo siguiente en cada caso:

Descanso y relajación: Luz cálida – Luz blanca cálida – Luz amarilla.
Ejercicio, trabajo y estudio: Luz Neutra – Luz blanca fría.
Activación y alerta: Luz Fría – Luz de día – Luz blanca.

Dirección e intensidad de la luz

El tema de la luz ha sido un elemento muy tratado en la Arquitectura, tanto la forma en la que se invade el espacio habitable como en la intensidad en que se presenta. Es un aspecto muy importante, ya que la luz marca los **ritmos circadianos**, estos son, según el NIGMS (*National Institute of General Medical Sciences*) “los cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo diario, respondiendo principalmente a la luz y oscuridad en un ambiente”.



Tipos de luz artificial aplicados a espacios interiores. Elaboración propia.

Iluminación directa: Esta se enfoca en iluminar una zona en específico, permitiendo que no se pierda la intensidad con la absorción de las paredes. Aplicable para actividades que necesiten de una luz constante y directa, como los comedores, oficinas, mesas de reunión, etc.

Iluminación indirecta: La luz se refleja en otra superficie de manera que se distribuye en el espacio logrando que pierda intensidad lumínica. Usado en espacios en donde se busque generar una atmósfera más íntima.

Iluminación semi- directa: Esta luz busca generar un juego con un elemento que acompaña la iluminaria, ya sea forma, color y textura, resaltando este objeto dentro del espacio en donde se encuentra.

Iluminación semi- indirecta: La luz busca dar intensidad en el contorno de algún objeto enmarcándolo, de manera que la luz simule “salir desde dentro”. Este método se emplea para la señalización en espacios transitables, ya que no implica una luz directa hacia el usuario, pero si al espacio en donde se instala.

Iluminación difusa: En este caso la luz es muy tenue en el espacio, viene desde todas las direcciones gracias a la reflexión en muros y paredes, generando un ambiente de suavidad, ideal para el diseño de lugares en donde se busca una atmósfera de descanso.

Es importante saber que la iluminación de los espacios tienen ciertas normas, en donde se exigen cierto mínimo de intensidad lumínica (lúmenes) de acuerdo a la actividad que se desarrollará en el espacio. Esto con el fin de que la actividad pueda llevarse a cabo correctamente.

<i>Área</i>	<i>Nivel de iluminancia (LX)</i>
Trabajo/ estudio	500 luxes
Sala común y comedor	300 luxes
Cocina	200 luxes
Habitación	150 luxes
Pasillo	100 luxes
Baño	100 luxes

*Niveles de iluminación recomendados (lux).
Fuente: UPME, Unidad de Planeación Minero-energética Elaboración propia.*

Vegetación

La presencia de vegetación en el espacio ha sido estudiada en profundidad, dando como resultados el **diseño biofílico**, confirmando que introducir la naturaleza en el hábitat mejora nuestra salud, la productividad aumenta y la creatividad. Esto es un aspecto muy útil para espacios donde sea necesaria una alta productividad y los usuarios se sometan a altos niveles de estrés.

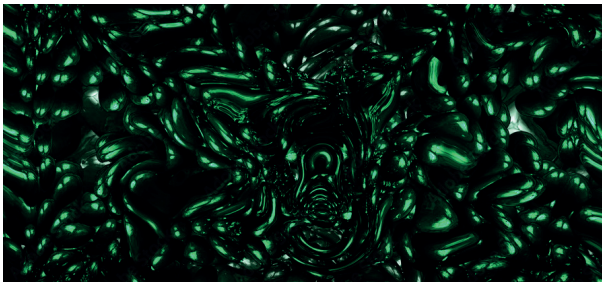
Los avances de generar vegetación en los espacios herméticos, como lo son los módulos espaciales, ha tenido avances sustanciales, obteniendo los cultivos en espacios controlados y limitados. Sin embargo, el objetivo de estos es más de experimentación e investigación que estéticos. **Es por esto que como solución se propone insertar elementos que simulen la vegetación natural.** Esta estrategia es aplicable de preferencia en todos los espacios habitables, independiente de la actividad que se proyecte desempeñar.



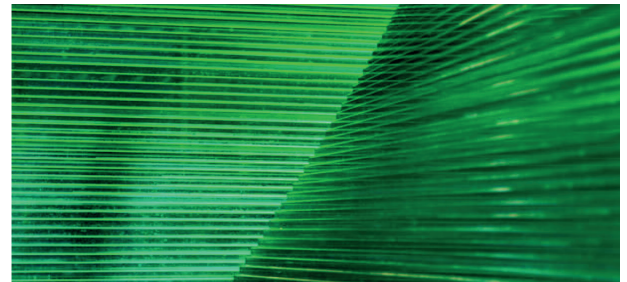
Espacio de trabajo inserto en vegetación. Fuente: KEVIN MAK / STUDIO1KM.



Pared verde y musgo en espacio transitable. Fuente: greenscapedecor.com.



Textura metálico brillante que simula la vegetación. Fuente: Adobe.



Textura verde brillante que simula la vegetación. Fuente: Adobe.

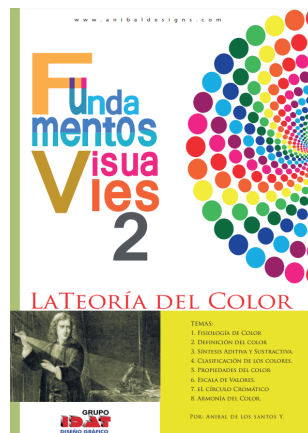
Color

El estudio del color es un amplio tema de estudio que se ha tratado constantemente en la Arquitectura. El color influye en áreas neuronales de nuestro cerebro, condicionando el estado de ánimo, es por esto que es fundamental estudiar el efecto de las distintas tonalidades en el cerebro para poder emplearlos de la manera más eficiente posible.

Los colores son capaces de modificar la percepción visual de los espacios, incluso ampliar o empequeñecer, refrescar lo angosto y dar variedad a lo repetitivo. No existe una regla general para diseñar por color una actividad, pero si por la atmósfera que se quiere lograr. Una manera de lograrlo es a través del diseño según **armonía de color**.

El círculo cromático ordena de forma secuencial la progresión de los colores que forman el espectro de luz visible desde el rojo hasta el violeta. En color, armonizar significa coordinar los diferentes valores que el color adquiere en una composición, es decir, cuando en una composición todos los colores poseen una parte común al resto de los colores componentes. Lograr una armonía en el color ayuda al espacio a generar una armonía visual, haciéndolo más atractivo y agradable para el usuario.

Los siguientes tipos de armonías del color se basan en el libro “Fundamentos visuales 2. Teoría del color” de Aníbal de los Santos Y.



Armonía en complementarios

Se encuentran simétricos respecto del centro de la rueda. La matriz varía en 180° entre uno y otro. Estos colores se refuerzan mutuamente de manera que un mismo color parece más vibrante e intenso, cuando se halla asociado a su complementario. Estos contrastes son, pues, idóneos para llamar la atención y para proyectos donde se quiere un fuerte impacto a través del color.



Fuente: woodgrain.



Fuente: woodgrain.



Fuente: dezeen.



Fuente: dezeen.

Armonía en adyacentes

Tomando como base un color en la rueda y después otros dos que equidisten del complementario del primero. El contraste en este caso no es tan marcado. Puede utilizarse el trío de colores complementarios, o solo dos de ellos. Este método abarca más posibilidades al tomar tres tonos, creando variaciones más trabajadas.



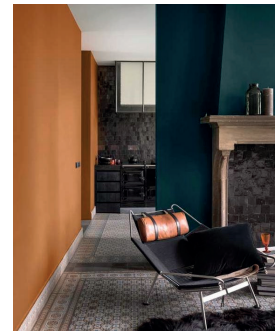
Fuente: woodgrain.



Fuente: comex.



Fuente: etsy.



Fuente: dezeen.

Armonía en analogía

Escala de colores entre dos siguiendo una gradación uniforme. Cuando los colores extremos están muy próximos en el círculo cromático, la gama originada es conocida también con el nombre de colores análogos. En razón de su parecido, armonizan bien entre sí. Este tipo de combinaciones es frecuente en la naturaleza.



Fuente: comex.



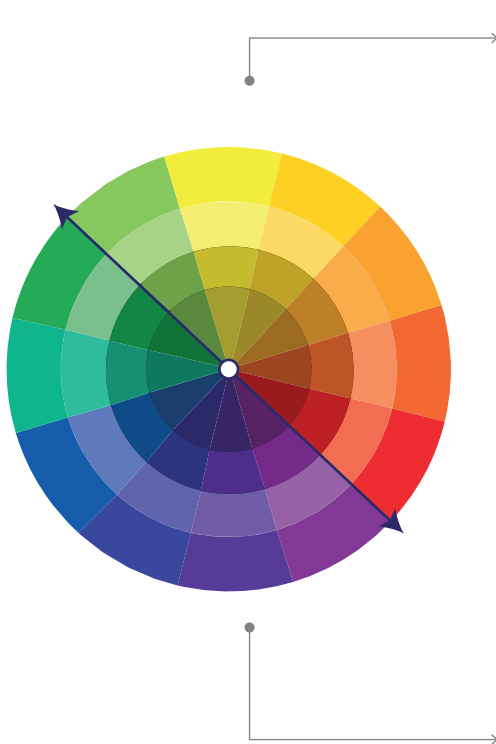
Fuente: etsy.



Fuente: behance.

Armonía en temperatura

Los colores cálidos son aquellos que van del rojo al amarillo en el círculo cromático y responden a la sensación térmica de calor. Usado para ambientes acogedores y con mayor intimidad. Por otro lado, están los colores fríos, que son aquellos que van del morado al verde en el círculo cromático y responden a la sensación térmica de frío.



Tonto cálidos



Fuente: behance.



Fuente: comex.

Tonto fríos



Fuente: comex.



Fuente: etsy.

Altura de techo

La altura del espacio es otro aspecto muy importante, entre más baja es la altura las personas se concentran en cosas más concretas, en cambio, cuando es de gran altura la persona se siente en libertad, lo que hace que sea más creativa. *“En el 2007, John Meyers, un profesor de marketing de la Universidad de Minnesota, colocó a cien voluntarios en una sala que tenía tres metros de altura; y a otras 100 personas en una sala con un techo de 2,40m. Entonces, les pidió que clasificaran una serie de deportes por categorías que ellos debían escoger. Meyers-Levy comprobó que aquellos que estaban en la sala con el techo más alto habían llegado a clasificaciones más abstractas y creativas, mientras que los del techo más bajo optaron por criterios más concretos. Quizás este tipo de techos son muy adecuados para un quirófano, en que el cirujano debe concentrarse bien en los detalles, mientras que techos altos puede que sean más apropiados para talleres de artistas o escuelas.”* (Saez, 2014).

Los espacios con **techos altos fomentan un pensamiento conceptual**, ya que se genera una sensación de libertad, estimulando el pensamiento creativo, mientras que los espacios de **techos bajos activan un estilo de pensamiento más concreto, enfocado y detallista, mejorando la concentración.**

Dentro de las posibilidades que entrega el diseño del módulo DMF, entran 3 categorías tomando la altura del centro transitable y los submódulos posicionados a los costados del espacio central.

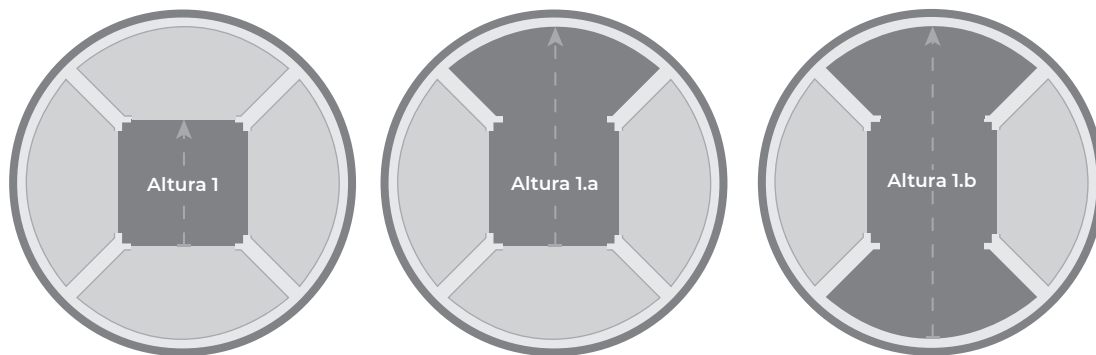
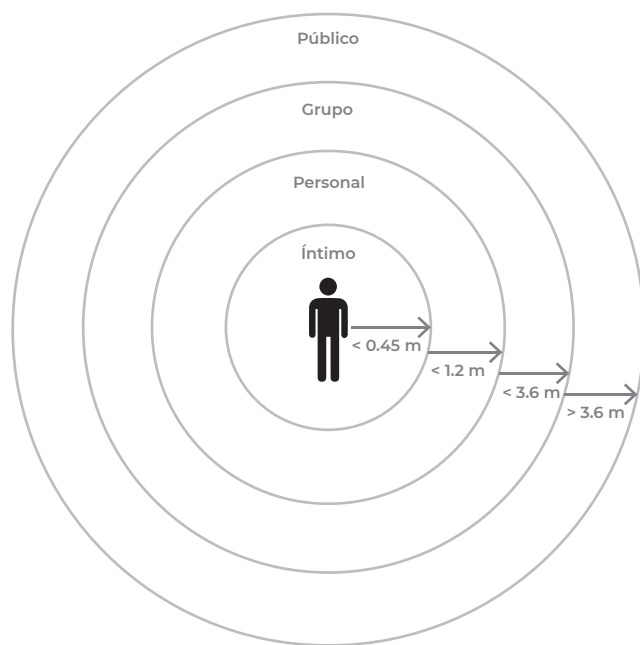


Diagrama de categorías de altura para módulos espaciales de configuración DMF. Elaboración propia.

Proximidad entre usuarios

El término hacer referencia a la percepción que el ser humano tiene de su propio espacio físico, intimidad personal y social, y cómo lo emplea para limitar o generar relaciones con los humanos. Los diseños arquitectónicos se basan en estudios del comportamiento social como el proxémico, entregando una noción de como el ser humano, al habitar un espacio, puede generar lazos o limitarlos.

En el contexto de pandemia vivido a nivel mundial, se empleó bastante este término a la hora de crear barreras sociales que ayudaban a limitar los contagios. Una situación similar de encierro ocurre en los ambientes orbitales. Es por esto que el uso de límites proxémicos al momento de diseñar puede servir de guía para, por ejemplo, determinar la dimensión de un espacio, dependiendo si está destinado para sociabilizar o tener un espacio de introspección.

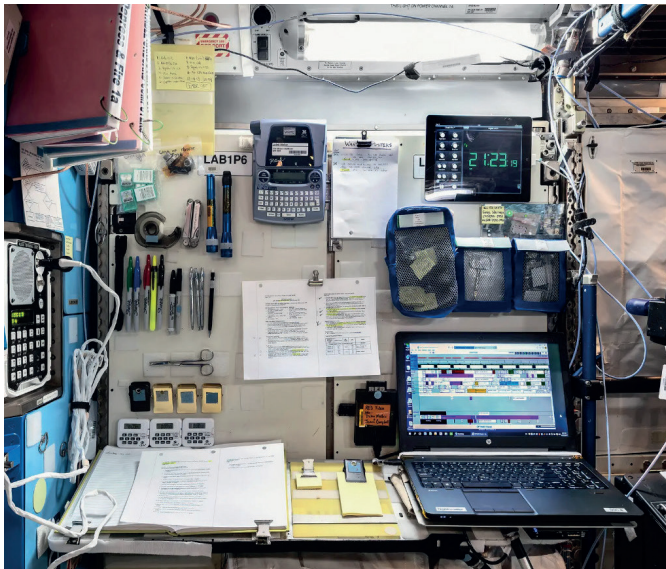


Esquema de relaciones a través del estudio proxémico. Elaboración propia.

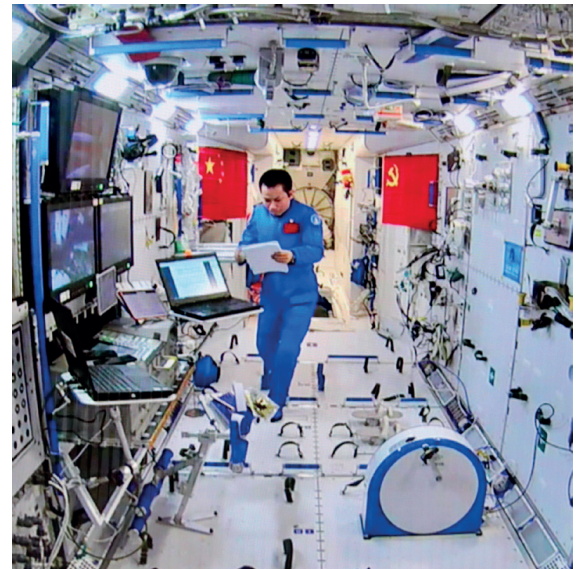
Punto de referencia visual

La naturaleza un ambiente de microgravedad es la multi-orientabilidad, las estaciones espaciales que fueron analizadas resuelven este problema proponiendo un encuadre tradicional (arriba-abajo-derecha-izquierda) en la sección de los módulos, con la intención de familiarizar el ambiente orbital con el terrestre. Pero también se opta por este encuadre por seguridad de los tripulantes, que para trasladarse en microgravedad deben impulsarse por medio de manillas, las cuales deben estar cerca para hacer eficiente su trabajo.

El intento de orientación arriba- abajo, se puede demostrar cuando observamos la orientación de los diferentes equipos, zonas de trabajo e incluso las letras con las que cuentan los compartimentos.



Espacio de trabajo módulo Destiny ISS. Fuente: NASA.



Espacio de trabajo módulo central Tianhe. Fuente: CSS.

Gravedad artificial

Cómo consecuencia de la microgravedad, el cuerpo humano se deteriora bastante, sin considerar que el ambiente espacial se caracteriza por más condiciones ambientales (temperaturas extremas, radiación cósmica y solar, ausencia de presión atmosférica, micrometeoritos, etc.).

Los científicos continúan el desarrollo de distintas líneas de investigación que propongan solución o entendimiento a este fenómeno, el cual no es posible resolver por medio del diseño interior, sino más bien con un **mecanismo que genere gravedad artificial**.

Esta solución ha sido estudiada por disciplinas relacionadas con la ingeniería y arquitectura, llegando a diferentes mecanismos para generar un ambiente de 1G, similar al presente en la Tierra. Una de las soluciones más concretas son por medio de la **fuerza centrífuga**. A continuación, se muestra un diagrama que explica el principio físico de este mecanismo y en otro costado un gráfico que mostraría la zona de confort en estas dos variables. Este último se compone de cinco análisis gráficos, el rango de nivel de gravedad, radio de giro y velocidad angular, los cuales son representados con tonos desde el color rojo (zona de menor confort) hasta el verde (zona de mayor confort).

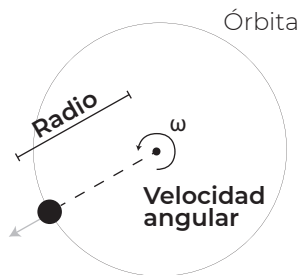
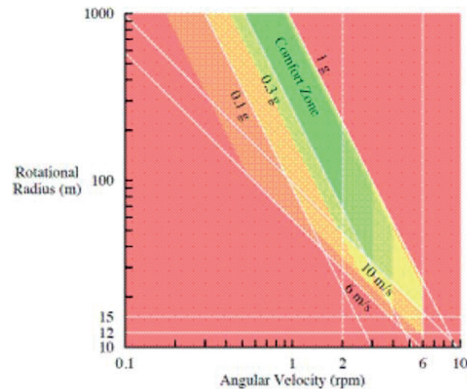


Diagrama de fuerza centrífuga.
Elaboración propia.



El "gráfico de comodidad" que muestra en la zona más verde, un rango de variables aceptables para los científicos. Fuente: Hall T. W., *Artificial Gravity*, 2009

Textura

El tacto brinda información que se procesa a través del cerebro, generando distintas sensaciones, originando estímulos y creando una interacción con el espacio que habita. Una de las ventajas que se puede señalar es la manera en la que la materialidad y sus texturas puedan relacionar un espacio con una experiencia anterior. Por lo que se puede usar para llevar el entorno terrestre a través de las texturas de los materiales en el diseño de los módulos espaciales.

Según un estudio realizado por Harvard Medical School, preferimos las curvas y contornos suaves antes que los contornos agudos, debido a que instintivamente sentimos peligro ante los objetos afilados. Los ángulos tienen incidencia sobre el cerebro, los espacios que tienen ángulos más marcados favorecen la aparición de estrés o ansiedad, ya que nos generan un estado de alarma, mientras que el uso de curvas o contornos suaves en espacios interiores da sensación de seguridad y comodidad (relacionados con texturas que existen en la naturaleza).

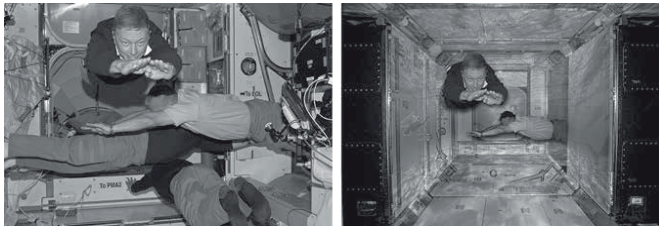
A continuación se agrupan los tipos de texturas que se usan comúnmente y la reacción que genera en el usuario, aplicables al entorno espacial.



Realidad virtual

Esta tecnología consta de la creación de un entorno o escenario ficticio con apariencia real, el cual se usa actualmente para trasladarnos a cualquier lugar o situación, con la ilusión de estar dentro de ese entorno. Estos se pueden generar por medio de una pantalla o gafas, en donde previamente exista un entorno llevado a algún programa 3D. El desarrollo de esta tecnología inmersiva trabaja principalmente con la percepción sensorial, usando la visión, el sonido o el tacto para generar esta realidad alterna.

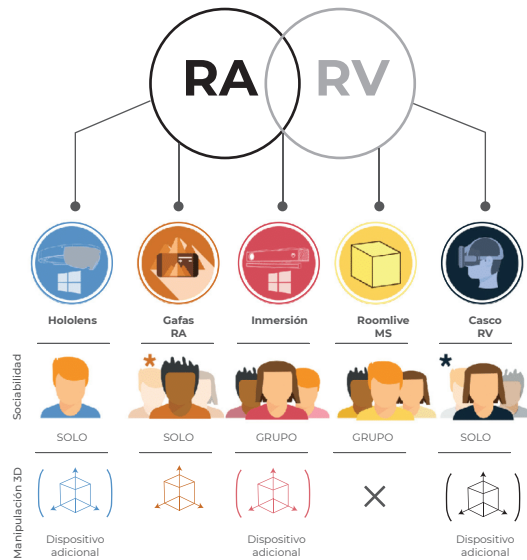
Este sistema puede ayudar a los astronautas a descansar sus sentidos y combatir la sensación de hermetismo generada por el entorno de las naves espaciales. Muchas veces la realidad virtual se ve perjudicada por el espacio en donde se ocupa, ya que requiere de un amplio sitio en donde las personas se puedan mover libremente, en el espacio la microgravedad podría representar una ventaja creativa, al no someterse a límites de movimiento. Por otro lado, los espacios que estén diseñados en gravedad artificial pueden ocupar implementos fijos.



Miembros de una tripulación en órbita realizando ejercicios de flotación y al costado un montaje simulando un espacio más amplio. Fuente ISS.



Implementos de realidad virtual fijos y al costado un montaje que muestra como se ve un espacio simulado. Fuente: OMNI



Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Fuente: Reelaboración propia, a partir de BBVA Innovation Center (2015). * La RA ya no es una acción aislada

4.6. Matriz para aplicar bases de la Neuroarquitectura al diseño.

Para implementar los criterios de diseño en la configuración interior de un módulo espacial DMF, se crea esta matriz que determinará las principales características arquitectónicas. La tabla contiene los principales puntos que se han ido desarrollando a lo largo de esta guía.

A. Nombre del módulo:

	Programa (s) arquitectónico (s):	Se nombra(n) el(los) programa(s) arquitectónico(s) que estará(n) presente(s) en el módulo. En caso de ser más de un programa, estos serán agrupados por afinidad (de acuerdo a la tabla realizada en el apartado con el mismo nombre).		
Parámetros generales de la misión	Objetivos de la misión Texto	N° de tripulación y tiempo de la misión Texto + Diagramas	Horario Texto + Diagramas	Ergonomía Texto + Diagramas
	Se resume cuál es el propósito de tripulación, además de describir brevemente cómo esta tiene relación con el módulo que se va a diseñar.	En este punto se busca determinar la cantidad de usuarios y cuánto tiempo habitarán este espacio. El objetivo de transparentar este punto en la etapa de diseño, es reaccionar este parámetro con él(los) programa(s) arquitectónico(s) determinado(s).	En este apartado se hace un pequeño resumen de las actividades que se van a realizar en el módulo, además del tiempo que tomará desarrollarlas.	Especificaciones sobre las necesidades de comodidad en el espacio. Se muestra a través de diagramas las posiciones que se verán expuestas a hacer los astronautas para realizar las actividades correspondientes a este módulo. De esta forma se detectan las dimensiones mínimas que debe tener cada espacio.
Estrategias para el diseño del módulo	Iluminación Texto + Diagramas	Vegetación Texto + Imagen objetivo	Color Texto + Diagramas	Altura del techo Texto + Diagramas
	Requerimientos de iluminación del espacio: Temperatura de la luz, dirección y los niveles de iluminancia máximo y mínimo. Se adjuntan diagramas que complementen la información.	Definir el equipamiento requerido para insertar un ambiente con vegetación y determinar qué características tendrá (si es cultivo o artificial). Se añade una imagen objetiva del diseño propuesto.	En este punto se propone la paleta de colores que tendrá este espacio. Si tiene más de 1 ambiente se ordenarán por actividad.	Según los diagramas explicados en esta guía, se decidirá la altura que tendrá el módulo, buscando estar acorde a la atmósfera que se quiere lograr.
	Proximidad entre usuarios Texto + Diagramas	Puntos de referencia visual Texto + Diagramas	Textura Texto + Imagen objetivo	Realidad Virtual Texto + Imagen objetivo
	Se determina si el carácter del acercamiento entre usuarios, ya sea íntimo, personal, grupo o público. Esto variará entre el número de usuarios que ocupará el espacio y las características de las actividades que van a realizar.	En este punto, se define las referencia que existirán en los espacios habitables y si el módulo estará en gravedad artificial o se mantendrá en microgravedad.	Se definirá la materialidad y la textura de los cerramientos, sin modificar la estructura primaria. Debe estar de acuerdo a la atmósfera que se busca lograr.	Se propondrá estrategias e implementos para insertar la realidad virtual en los espacios, con el objetivo que generar mayor amplitud en el espacio.

Diagrama de las decisiones de diseño arquitectónico. Elaboración propia.

Prototipo módulo DMF

Se decide implementar la matriz de estrategias de diseño a nivel teórico en el espacio de descanso de los astronautas. Al diseñar este espacio se busca una atmósfera tranquila que brinde descanso a los astronautas. Además, de acuerdo a la tabla de afinidad entre programas, este se agrupará con el espacio de higiene, dado que se busca hacer un uso eficiente del espacio con una actividad pasiva y fija en el tiempo (y de acuerdo al horario de la tripulación es compatible espacialmente).

Módulo de descanso e higiene



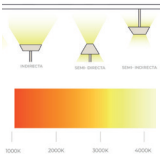



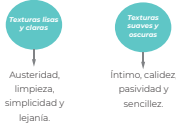
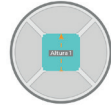

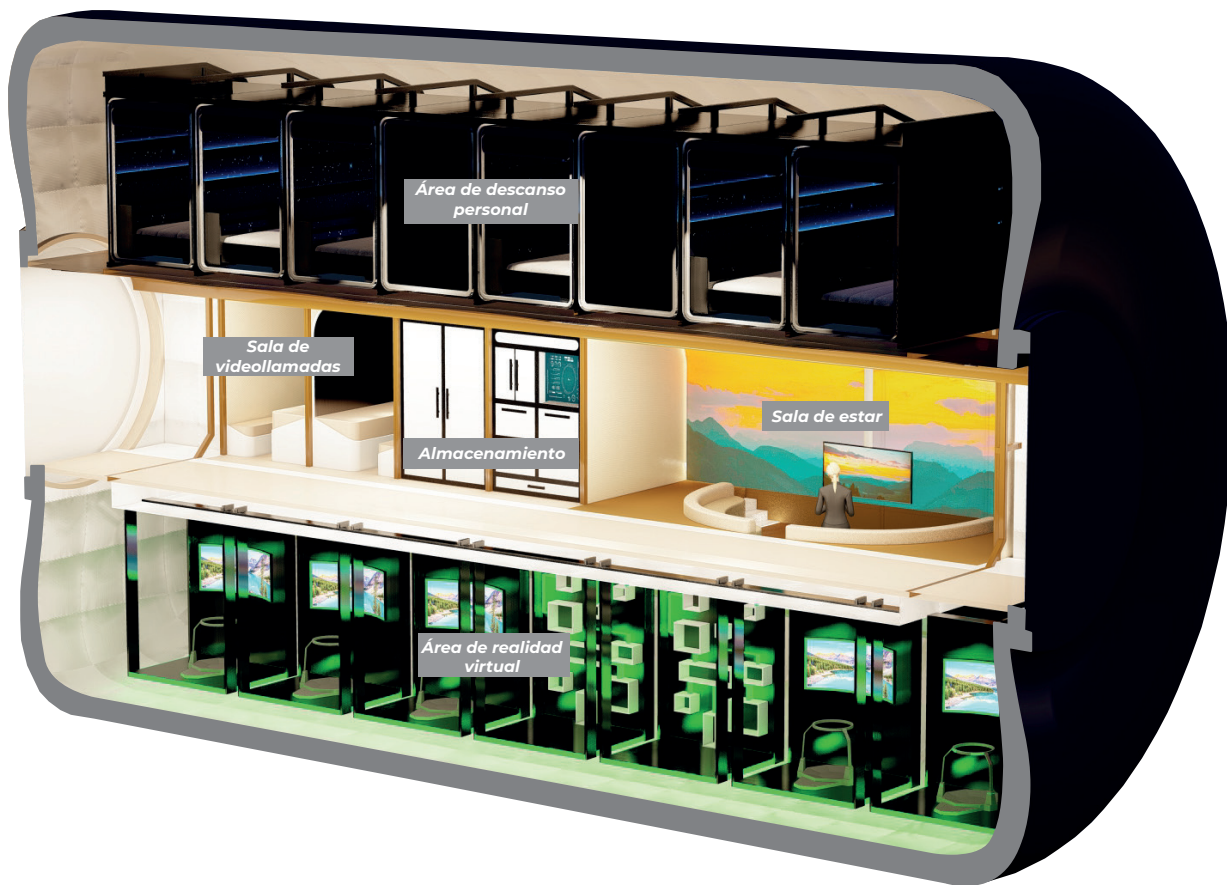
	Programa (s) arquitectónico (s): Dormir e higiene. Del primero comprende las actividades de: Sala de estar, Sala de videollamadas de familiares, almacenamiento personal, área de realidad virtual y área de descanso personal. Del segundo programa consiste en: Ducha, almacenamiento de productos de higiene y WC.									
Parámetros generales de la misión	<p>Objetivos de la misión La misión espacial consistirá en un viaje a la Luna, de carácter exploratorio en la superficie. En el marco de las primeras misiones (Artemisa III) primero se orbitará y luego se descenderá a la superficie para instalar equipos que ayudará a obtener información del suelo Lunar, proyectando una futura instalación fija.</p> <p>N° de tripulación y tiempo de la misión  31d - 78d El número de tripulantes será de 6 personas en un viaje de duración de 1 mes hasta 3 meses y medio</p> <p>Horario Horas del día en donde el espacio será de uso activo por la tripulación: 07:00 - 08:30 Higiene personal (1) 21:00 - 22:00 Tiempo libre 22:00 - 23:00 Higiene personal (2) 23:00 - 07:00 Dormir Uso aproximado de horas al día: 11,5 (de 24 hrs)</p> <p>Ergonomía Las posturas de este espacio serán por lo general erguidos y de descanso.  <table border="1" data-bbox="1220 726 1388 790"> <thead> <tr> <th>Tendidos de espacio</th> <th>Dimensión mínima</th> <th>Dimensión preferencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A) Altura</td> <td>20 cm</td> <td>65 cm</td> </tr> <tr> <td>B) Longitud</td> <td>180 cm</td> <td>190 cm</td> </tr> </tbody> </table> </p>	Tendidos de espacio	Dimensión mínima	Dimensión preferencia	A) Altura	20 cm	65 cm	B) Longitud	180 cm	190 cm
Tendidos de espacio	Dimensión mínima	Dimensión preferencia								
A) Altura	20 cm	65 cm								
B) Longitud	180 cm	190 cm								
Estrategias para el diseño del módulo	<p>Iluminación Considerar el ciclo circadiano y la atmósfera de descanso de este espacio.  Descanso y relajación: *Luz cálida *Luz blanca cálida *Luz amarilla.</p> <p>Vegetación  Se requiere la implementación de vegetación artificial. Por lo que se propone muros de vegetación en los muros que queden sin uso en el espacio comunitario.</p> <p>Color Se buscará implementar colores cálidos, de acuerdo a la atmósfera de descanso. </p> <p>Proximidad entre usuarios Si el contacto entre usuarios será baja, dadas las actividades de índole personal que se desarrollan en este espacio la proximidad será de carácter íntimo. Pero al existir un área común, este parámetro se extenderá hasta lo grupal. </p> <p>Puntos de referencia visual Al tener un poco menos de la mitad de horas de uso, en este módulo se priorizará el uso de gravedad artificial que simule a la de la tierra. Además, los puntos de referencia contarán con la implementación de luz en la parte superior del espacio de tránsito, simulando la luz del sol.</p> <p>Textura Se decide implementar materialidad que refleje un ambiente de relajación, como lo son las texturas lisas y suaves. </p> <p>Altura del techo Al ser un espacio de descanso, se busca una atmósfera con baja estimulación, por lo que se opta por la altura más reducida entre el piso y el techo. </p> <p>Realidad Virtual Se instalará una pantalla LCD (simula una ventana) para la tripulación en el espacio común. Además, se implementará un área de realidad virtual de uso individual (artefactos fijos). </p>									

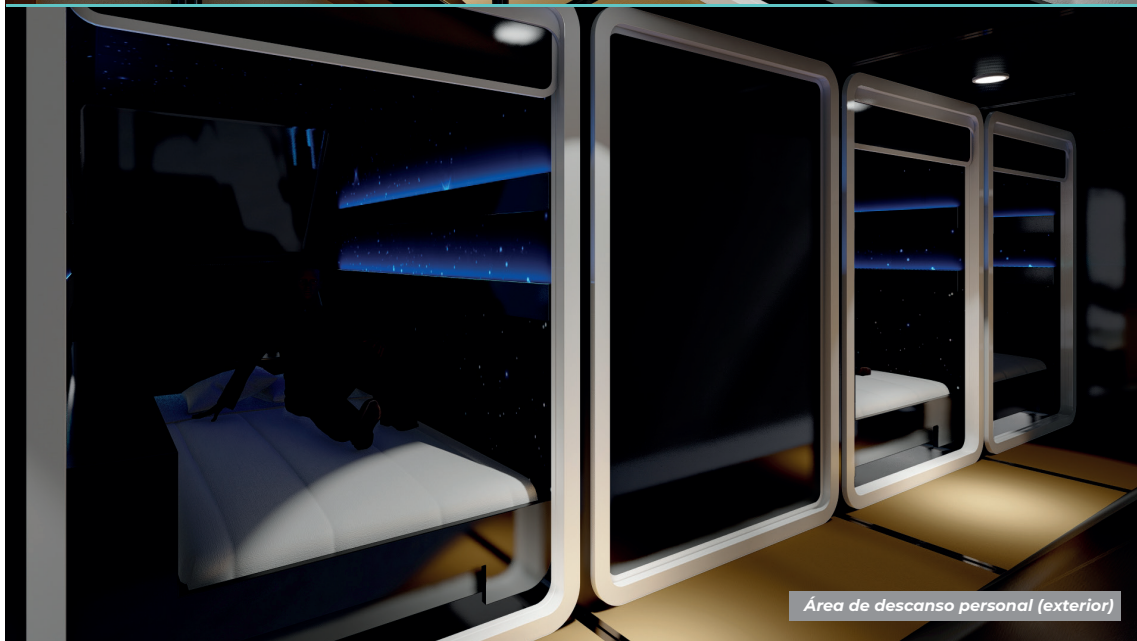
Diagrama de las decisiones de diseño arquitectónico. Elaboración propia.

Imágenes objetivo

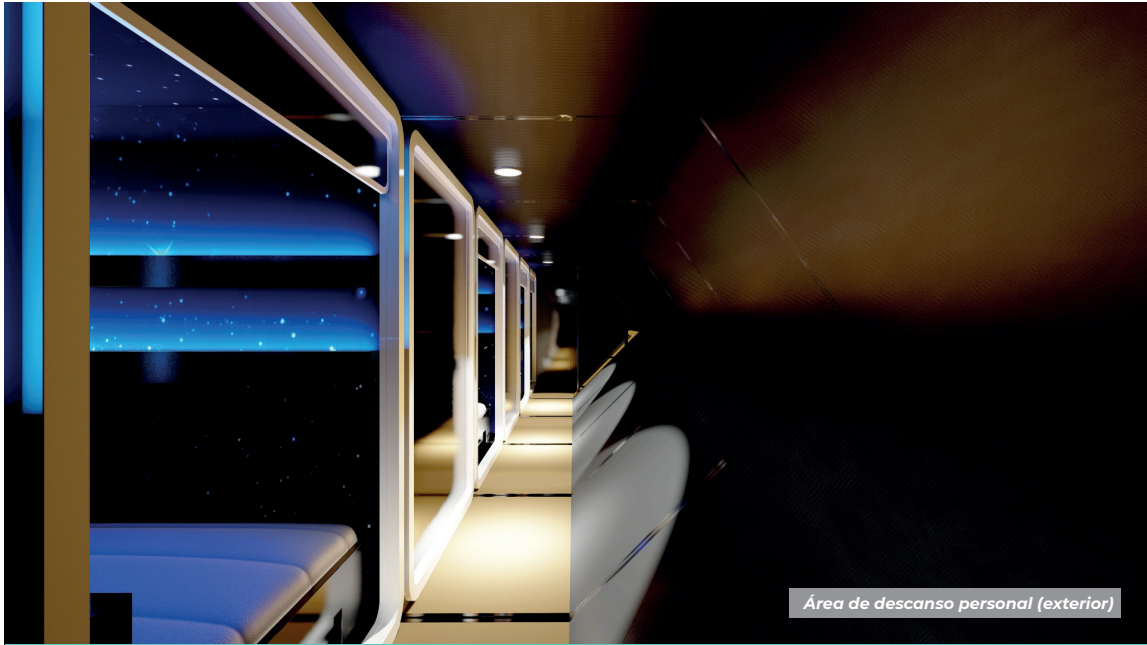




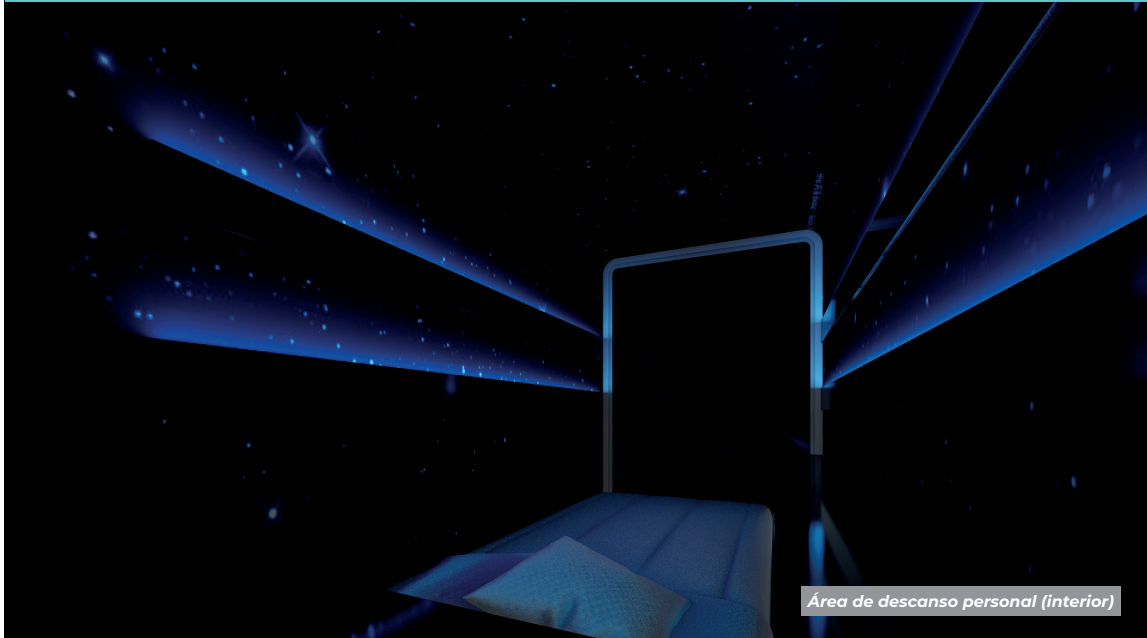
Área de descanso personal (exterior)



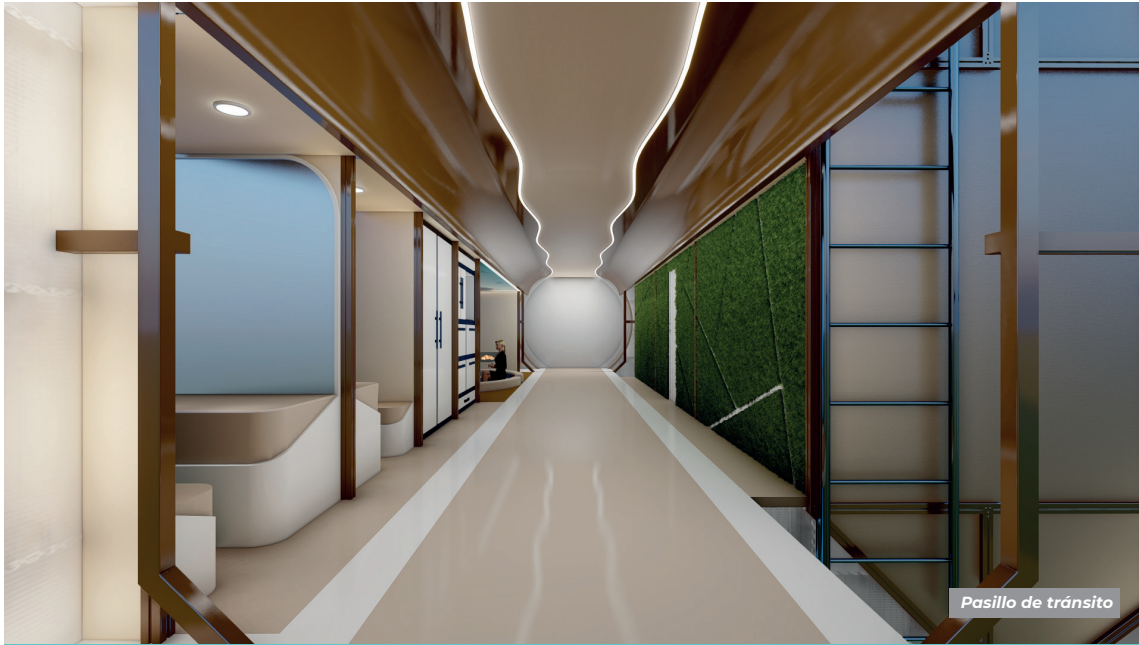
Área de descanso personal (exterior)



Área de descanso personal (exterior)



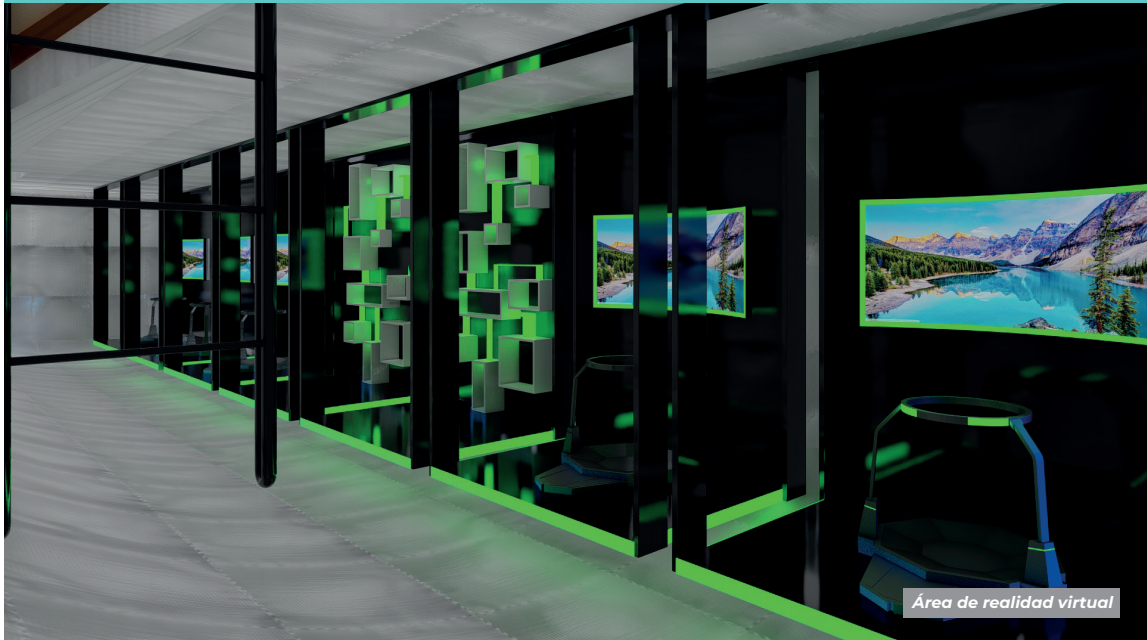
Área de descanso personal (interior)



Pasillo de tránsito



Sala de estar (área comunitaria)



5. Conclusión

La información entregada por los antecedentes ambientales en donde se expone al astronauta, dio información sobre las consideraciones en el diseño, ya que estaban muy relacionadas al espacio en donde se desenvuelven (hermético, invariable, caótico, etc.).

El estudio de la Neuroarquitectura entregó pautas que orientan un diseño enfocado en el bienestar del usuario en el espacio habitable. Al investigar parámetros como la luz o el color de los ambientes, se dio oportunidad para ocupar sus variables en la creación de una atmósfera amigable al programa requerido.

El módulo DMF, al ser un módulo inflable proyecta grandes beneficios en su construcción, tanto en el ámbito económico, como de facilidad constructiva. Además, demuestra una versatilidad en su configuración, proponiendo una organización interior más eficiente en cuanto a la distribución de los espacios. Si bien este modelo entregó un buen resultado al ser aplicado a la matriz de criterios de diseño, no se descarta el uso de otros módulos con distinta configuración interior o incluso materialidad.

Utilizar un método de “check list” para organizar la información es poco real, dado que el diseño del espacio enfocado en la Neuroarquitectura presenta muchas variables que se definen no solo por las características del espacio, sino por las actividades que albergará. Además, para que estos criterios de diseño se implementen en otros tipos de módulos (como se indica en la delimitación de la Guía de diseño), se requiere un método que no se especifique para un modelo puntual. Es por esto que el uso de una matriz que ordene los parámetros de diseño satisface esta idea inicial.

6. Bibliografía

Hall T. W., Artificial Gravity, 2009, [Howe and Sherwood, op. cit., Chapter 12
Robles, Jorge y Arista González, Gerardo. (2016). Monitoreo y Simulaciones del Hábitat.

Toon, Owen B. (1997). «Condiciones ambientales en la tierra y en otros mundos». En Cambridge University Press, ed. El Universo de Carl Sagan. pp. 67-82.

Bucknell.edu – Astronomy 101 Specials: Newton’s Cannonball and the Speed of Orbiting Objects.

M. Baliscei, A. Rodrigues. (2016). Microgravity indoor, Microgravidade em recintos fechados. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, n° 2, e2502.

Composición de la atmósfera | Climatic | Educaplus(2022). [online] Disponible en https://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html [Visitado el 27-7-2022].

Revista GEO. (2021). ¿Cuál es la temperatura del espacio?. URL: https://www.mundo-geo.es/conocimiento/cual-es-temperatura-espacio_237632_102.html

Eureka, el Blog de Daniel Marin. (2011). La radiación en el espacio. URL: <https://danielmarin.naukas.com/2011/03/23/la-radiacion-en-el-espacio/>

Dunbar B, NASA. (2020). Requisitos para los astronautas. Última actualización el 14 de enero de 2022. URL: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Astronaut_Requirements.html.

China Power Team. “What’s Driving China’s Race to Build a Space Station?” China Power. December 7, 2016. Updated April 21, 2021. Accessed July 30, 2022. <https://chinapower.csis.org/chinese-space-station/>.

Spaceflightnow.com. “Assembly of Chinese space station begins with successful core module launch. April 29, 2021. Accessed July 30, 2022. <https://spaceflightnow.com/2021/04/29/assembly-of-chinese-space-station-begins-with-successful-core-module-launch/>

Nasaspaceflight.com. “China launches Tianhe module, start of ambitious two-year station construction effort”. April 28, 2021. <https://www.nasaspaceflight.com/2021/04/china-station-construction-begins/>

Overbye D. (2021). Home Sweet Home in Orbit. Revista The New York Times. <https://www.nytimes.com/2020/11/02/science/space-station-astronomy.html>

Sputnik. (2021). Un estudio revela duración óptima de las misiones espaciales tripuladas. Revista Sputnik News. <https://mundo.sputniknews.com/20210831/un-estudio-revela-duracion-optima-de-las-misiones-espaciales-tripuladas-1115603662.html#>

Lockley. S.W., “Influence of Light on Circadian Rhythmicity in Humans.” Squire L.R.(Ed.), Encyclopaedia of Neuroscience. Oxford, UK. (2008).

Borchers AT, Keen CL, Gershwin ME. Microgravity and immune responsiveness: implications for space travel. Nutrition. 2002;18(10):889-98.]

Administration, N. A. (2010). Reference guide to the international space station. Washington, DC: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Häuplik-Meusburger, S. (2011). Architecture for Astronauts: An Activity-based Approach. New York: Springer.

ISECG, I. S. (2020). Global Exploration Roadmap, Lunar surface exploration scenario update. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Headquarters.

NIGMS, N. I. (2017). Hoja informativa sobre los ritmos circadianos. NIGMS.

Raúl Carrillo Esper, Juan Alberto Díaz Ponce Medrano, Carlos Alberto Peña Pérez, Oscar Iván Flores Rivera, Adriana Ortiz Trujillo, Osvaldo Cortés Antonio, Joel Cruz de Jesús, Luis Miguel Ménez Saucedo. (2015). Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24.

Tiangong. (29 de abril de 2021). Wikipedia. Obtenido de

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tianhe_\(m%C3%B3dulo_de_la_estaci%C3%B3n_espacial_china\)#/media/Archivo:Tianhe_final_art_310819.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Tianhe_(m%C3%B3dulo_de_la_estaci%C3%B3n_espacial_china)#/media/Archivo:Tianhe_final_art_310819.jpg)

Y, A. d. (2010). Fundamentos visuales 2, la teoría del color. Obtenido de Fundamentos visuales 2, la teoría del color: <https://adelossantos.files.wordpress.com/2010/10/teroria-del-color.pdf>

