

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



La Máquinas de Hábitats: Laboratorio de Ecosistemas Artificiales
en Órbita Baja Terrestre

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
ARQUITECTO

AUTOR

Cesar Antonio Requejo Peña

CÓDIGO

20161319

ASESOR:

Augusto Juan Francisco Roman Moncagatta

Lima, marzo , 2023



PUCP

Facultad de Arquitectura
y Urbanismo

INFORME DE SIMILITUD

Yo ROMAN MONCAGATTA, AUGUSTO JUAN FRANCISCO docente de la Facultad de ARQUITECTURA Y URBANISMO de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado:

LA MÁQUINA DE HÁBITATS: LABORATORIO DE ECOSISTEMAS ARTIFICIALES EN ÓRBITA BAJA TERRESTRE.

del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as)

CESAR ANTONIO REQUEJO PEÑA

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 8%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 05/09/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 11 de setiembre de 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora:	
ROMAN MONCAGATTA ,AUGUSTO JUAN FRANCISCO	
DNI: 10265085	Firma
ORCID: 0000-0003-1069-1119	

RESUMEN

La Máquina de Hábitats es un ensayo proyectual que cuestiona la ideología constructiva que refugia al ser humano de su entorno ecosistémico desde la proyección de una estación espacial en la Órbita Baja Terrestre. La exploración espacial entra a una nueva etapa después de que las funciones de la Estación Espacial Internacional culminen. Según Lockard (2014) para las futuras estaciones, el eje de diseño se redirige a la habitabilidad humana en lugar de únicamente el trabajo. Para cumplir con las necesidades complejas del habitar humano, el proyecto recurre a 3 procesos basados en teorías del habitar. Se plantea un hábitat que coloca a los ciclos ecosistémicos como principal fundamento proyectual. En el primer proceso, tecnificación, se selecciona la tecnología constructiva necesaria para contener un hábitat con las condiciones ideales para mantener ciclos ecosistémicos en su interior. Define también los elementos y el flujo de recursos necesarios para generar ecosistemas artificiales. Luego, en el proceso de adaptación se encuentra que, para generar un hábitat adaptable al proceso de construcción de una sociedad exportadora de ciencia y tecnología, se requiere el uso de módulos textiles plegables. Se parte de las exploraciones realizadas en la EEI para definir 8 sectores con sus respectivos ecosistemas seleccionados acorde a la potenciación de su capacidad de producción y el confort de actividades. Ello resulta tanto en condiciones microclimáticas como en una selección de especies únicas para cada sector. Finalmente, la significación estudia el enlazamiento de las condiciones propuestas con la psique humana por medio de la definición de actividades específicas pero no excluyentes para cada sector. El proyecto no solo propone una manera de disponer la existencia de ciclos ecosistémicos fuera de la biósfera terrestre. Este concluye en la compatibilización de las actividades y necesidades del ser humano contemporáneo con los ciclos ecosistémicos artificiales generados.

La Máquina de Hábitats

Laboratorio de ecosistemas artificiales
en órbita baja terrestre



César Antonio Requejo Peña

2023

01 > Introducción pg; 06

02 > Contenido pg; 08

- 02 _1 Próximo Horizonte
- 02 _2 Dinámicas y Variables
- 02 _3 Evolución
- 02 _4 Reconocimiento
- 02 _5 Determinación

03 > Planimetría pg; 62

- 03 _1 Exploraciones
- 03 _2 Tecnificación
- 03 _3 Adaptación
- 03 _4 Significación

04 > Conclusión pg; 79

05 > Bibliografía pg; 81

Engineers think architects make things prettier, difficult to build, and more expensive. Some can, but space architects are different. They analyze like an engineer and synthesize like an architect.” [Los ingenieros piensan que los arquitectos hacen las cosas más bellas, difíciles de construir y más caras. Algunos pueden, pero los arquitectos espaciales son diferentes. Ellos analizan como un ingeniero y sintetizan como un arquitecto] (Griffin, 2014, p. 2)

Según Sandra Häuplik-Meusburger y Olga Bannova (2016), la arquitectura es el eje principal que permite a las personas habitar en el espacio, y está necesariamente presente en casi todas las fases de desarrollo del proyecto. Esto se debe a que los arquitectos son reconocidos por su trabajo en la optimización de los sistemas que permiten la habitabilidad humana. De esta manera, fue posible diseñar y construir la Estación Espacial Internacional (ISS), que lleva casi 20 años orbitando la Tierra 15 veces al día en la Órbita Baja Terrestre. Frente a las condiciones extremas, incluyendo a la ingravidez, es capaz de mantener constantemente misiones con varias personas en su interior. El trabajo en esta región se presta bien a todo tipo de investigación en cualquier disciplina que busque participar en el trabajo extraterrestre.

Como señaló Neil Leach (2014), aprender de esta estación espacial abre una nueva era para la disciplina de la arquitectura espacial. Esta búsqueda es impulsada por varias razones, pero una de las principales es que la existencia humana está limitada por el problema de acceso a los recursos para un ciudadano del mundo desarrollado industrializado. Los recursos disponibles fuera de la Tierra son sumamente mayores en cantidad. De hecho, en la década de 1970, Estados Unidos, a través de la NASA, comenzó a evaluar el programa espacial para explorar la posibilidad de obtener energía solar del espacio. Estará en una órbita geoecclesionaria a 35,786 km sobre la superficie terrestre (Lyndon B. Centro Espacial Johnson, 1997).

Estos proyectos están actualmente impulsados por el conocimiento y las capacidades adquiridas en el espacio en los últimos años. También se ha visto influido por los enormes avances tecnológicos en la recolección de energía solar espacial, incluida la mejora de la eficiencia y la utilidad de la captura de energía con paneles solares. Sin embargo, el costo y el esfuerzo de construir estos objetos desde la Tierra sigue siendo enorme, y enviarlos al espacio es aún más complicado. El famoso físico de exploración espacial Gerard O’Neill mencionó la opción a largo plazo de la

colonización del espacio, pues presenta varios beneficios. En principio, la energía requerida para el transporte de recursos o la construcción se reduce significativamente, ya que allí la gravedad es casi nula. Asimismo, los recursos necesarios para estas actividades no tienen por qué provenir de la Tierra. Isaac Asimov consideraba la idea de extraer minerales de objetos espaciales como asteroides o la propia Luna (Hayes et al., 1975). Esto no está lejos de la realidad.

Ha habido enormes avances tecnológicos en la minería espacial, ya sea a través de la propia NASA u otros grupos como SpaceX de Elon Musk. La minería espacial está a punto de convertirse en una importante actividad de extracción de recursos para la cultura moderna. Su industria requiere grandes cantidades de materiales para producir cada pieza de equipo tecnológico en el que el ciudadano promedio del mundo desarrollado confía en su vida diaria. Sin embargo, se espera que estos recursos en la Tierra se agoten después de 50 o 60 años (D. Cohen, 2007). Gracias a la investigación astronómica, ahora se sabe que la falta de estos materiales en la Tierra se puede suplir con minerales contenidos en varios asteroides alrededor de la tierra y en otros lugares más cercanos a la tierra.

Es fundamental la investigación relacionada con la colonización espacial. Y, como se mencionó anteriormente, la arquitectura no solo necesita, sino que también tiene la obligación de continuar con la investigación sobre el diseño de hábitats espaciales. Está claro que actualmente es imposible construir grandes estructuras en el espacio, porque la tecnología existente no lo permite. Sin embargo, la tarea de los arquitectos de hoy es acelerar el desarrollo de estos proyectos y sentar bases para las generaciones futuras.

Por estos motivos, principalmente el cambio de paradigma de la exploración espacial, que iniciará luego de la culminación de actividades de la EEI, fundamenta el interés del presente proyecto. Los objetivos parten del mejoramiento de 3 aspectos del ser humano: lo físico, lo psicológico y lo social. Para cada uno de ellos, se determina un proceso de mejoramiento respecto a las condiciones actuales de los astronautas en la EEI: tecnificación, adaptación y significación, respectivamente.

El eje principal de los procesos es el redireccionamiento del principal enfoque del diseño arquitectónico. Se establece centrarse en la generación artificial de ciclos ecosistémicos en lugar de únicamente el confort humano. De esta manera, el proyecto cuestiona la ideología constructiva que refugia al ser humano de su entorno ecosistémico para generar un precedente para la arquitectura espacial y para la terrestre.

> 01

Introducción

.....

> 02

Contenido

Estación Espacial Internacional en órbita
Fuente: NASA (2011)

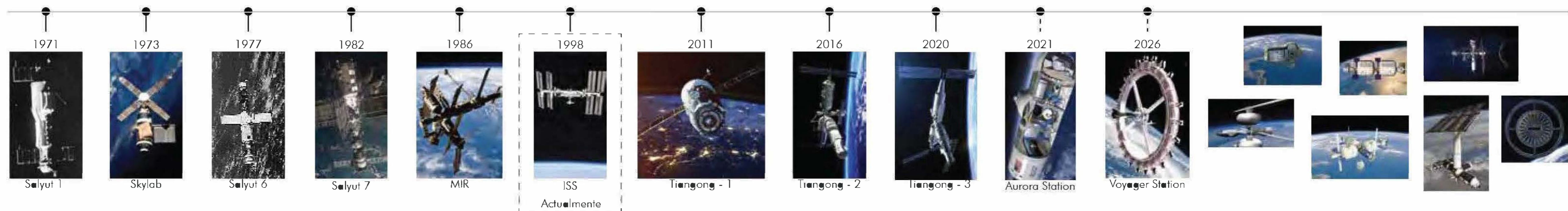


Desde el lanzamiento de los primeros hábitats a la órbita baja terrestre, la exploración espacial ha tomado un nuevo rumbo en dirección hacia la colonización de este contexto. La búsqueda tanto de conocimientos como de recursos ha logrado la construcción de múltiples estaciones espaciales inicialmente de iniciativas nacionales.

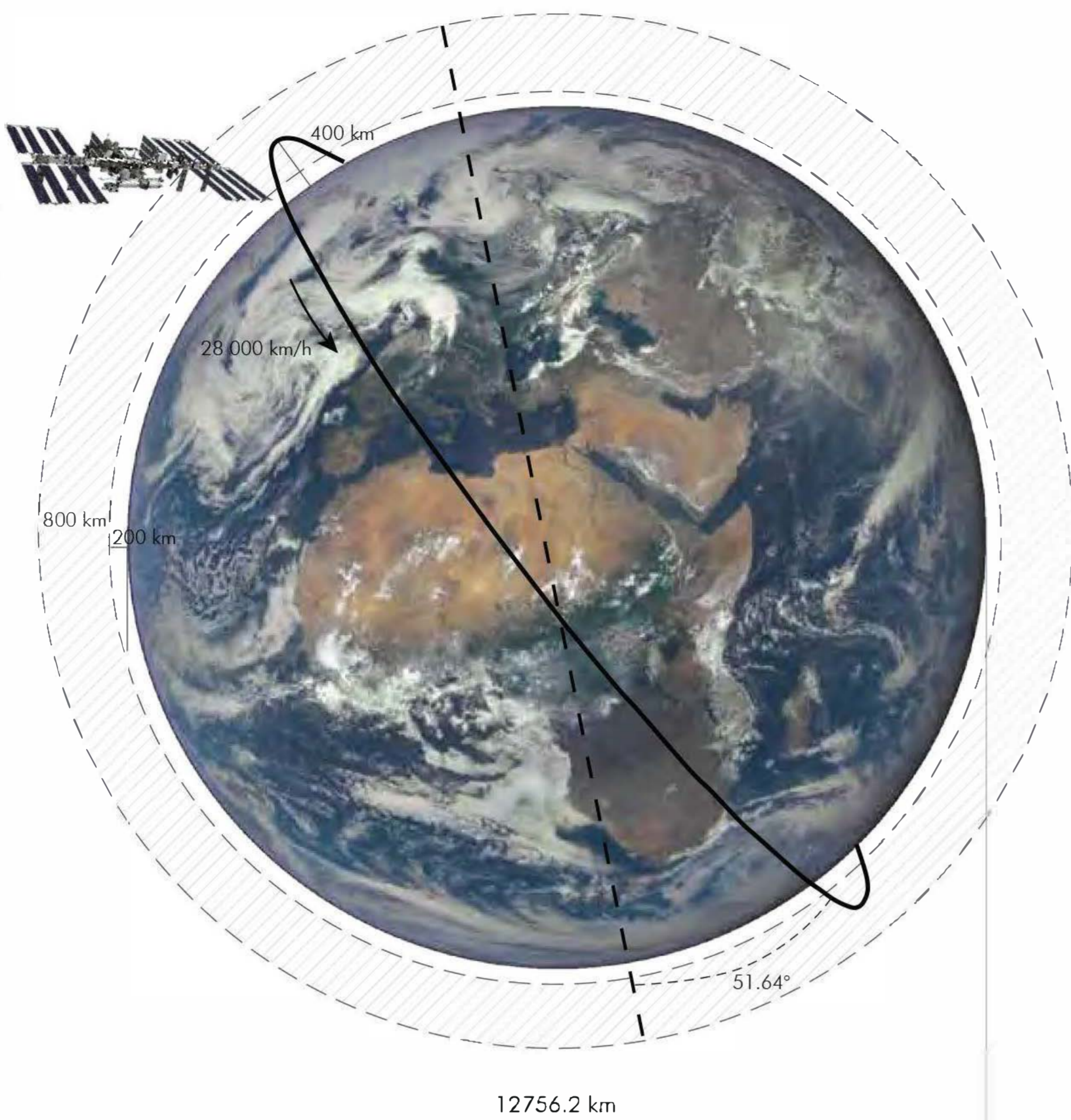
En el presente S. XXI, legislaciones han permitido que la exploración del espacio también sea apoyada por iniciativas privadas. Esta decisión ha elevado exponencialmente las posibilidades de esta colonización debido a la generación de nuevas tecnologías que reducen drásticamente el costo de construcción y facilitan el transporte.

> 02 _ 1

Próximo Horizonte



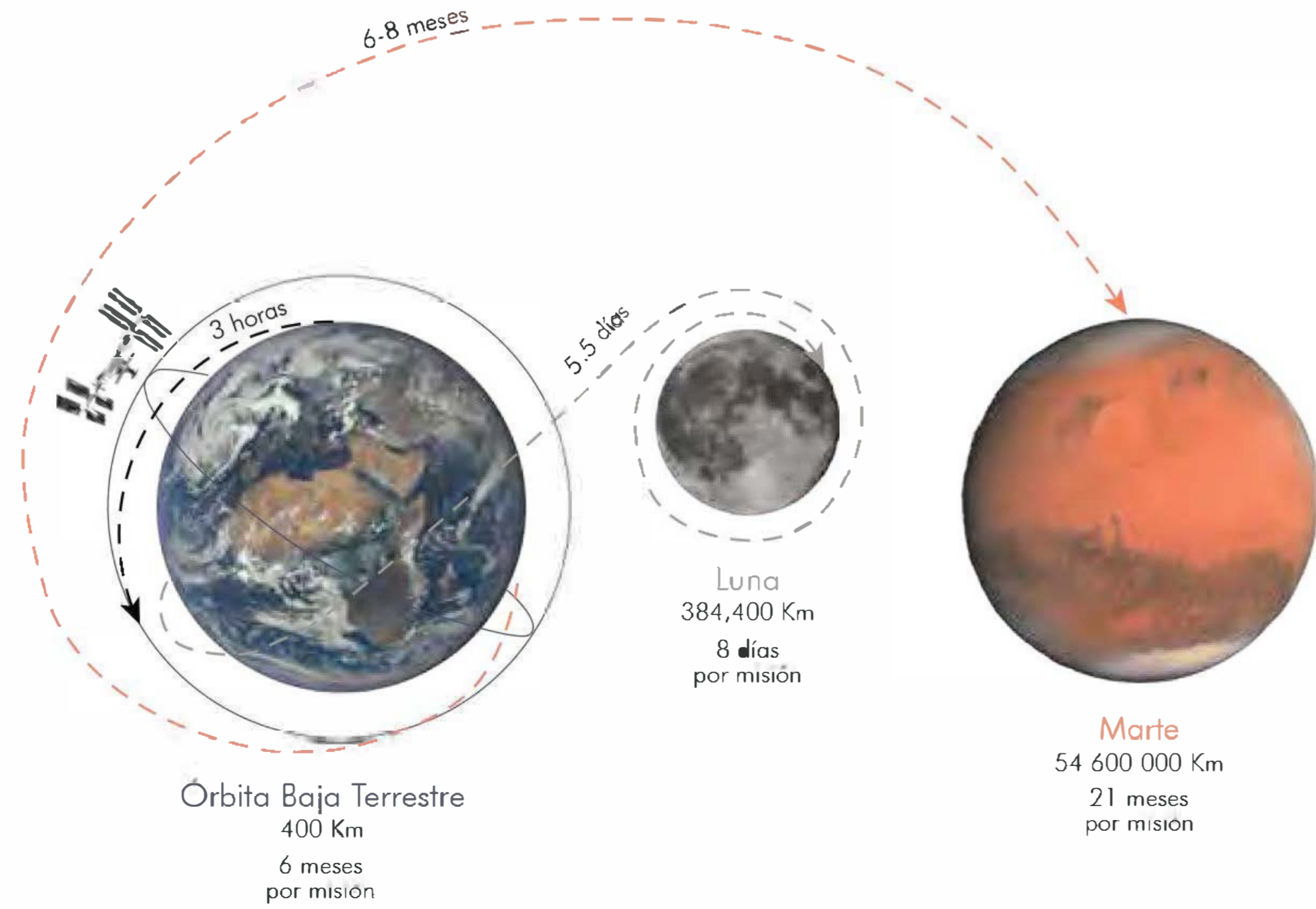
Órbita Baja Terrestre
Fuente: The European Space Agency (2021)



Estación Espacial en Órbita Baja Terrestre
Fuente: Nespoli, Paolo (2011)



Comparativa de misiones previstas
Fuente: Elaboración propia



Las exploraciones parten desde la Órbita Baja Terrestre, donde las estaciones espaciales han servido de laboratorios para múltiples experimentos orbitando a 400 km sobre la superficie terrestre. Estos logran enfrentar las condiciones extremas con el fin de mantener humanos en su interior durante largos periodos.

La gran proximidad de la órbita baja terrestre a la Tierra la hace útil por varias razones. Principalmente, la convierte en una locación muy conveniente para las investigaciones de los astronautas por su corto tiempo de viaje y su facilidad para cualquier clase de comunicación (The European Space Agency, 2021). Gracias a ello, es una zona estratégica como punto intermedio para próximas misiones.

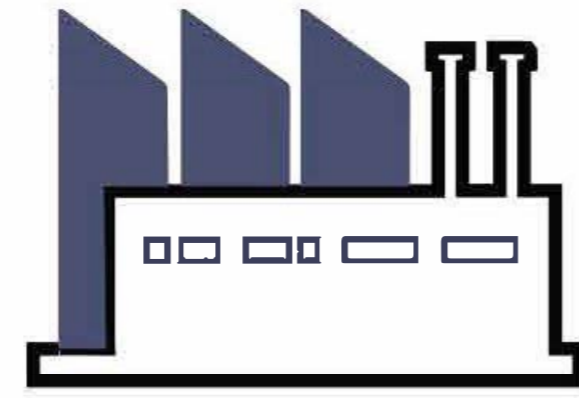
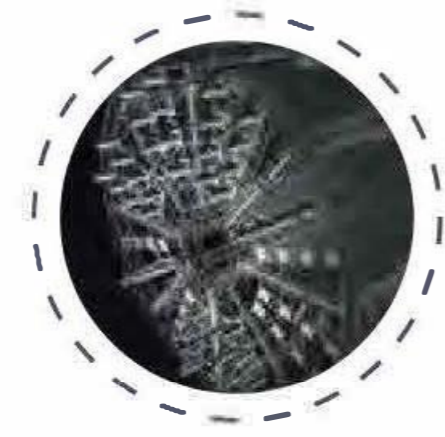
1998 - 2024 periodo de actividad	6 personas por 6 meses misiones	15 países
915.6 m ³ volumen habitable	73 x 109 m dimensiones	1 atm presión interior

Actualmente, el único hábitat en actividad, durante más de 20 años, es la Estación Espacial Internacional, producto de una iniciativa de diversos países alrededor del globo. Esta es capaz de mantener a una tripulación de 6 astronautas durante un promedio de 6 meses. Recorre una órbita a 28 000 km/h, lo que se traduce en 1 vuelta cada 90 minutos y en 15 vueltas al día aproximadamente. Distintos astronautas de distintas disciplinas y de múltiples naciones han cooperado con el fin del desarrollo de las mismas. Sin embargo, se plantea finalizar sus actividades para 2024, pues algunos de sus principales países actores, como Rusia, planean abandonar la iniciativa. Su futuro será incierto después de ese momento (Gascueña, Dory, 2020).

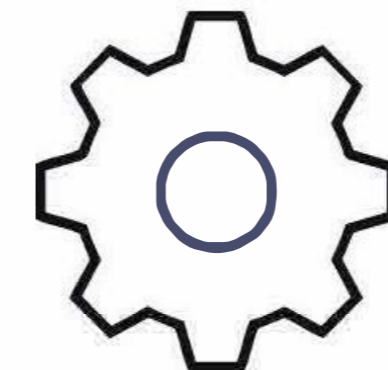
Beneficios de la exploración espacial
Fuente: Canadian Space Agency (2020)

Categorías de investigación en la EEI
Fuente: NASA (2023)

Se prevee el traslado de distintos procesos industriales a las condiciones del espacio. La microgravedad, por ejemplo, brindaría distintos resultados en los productos.



Industria

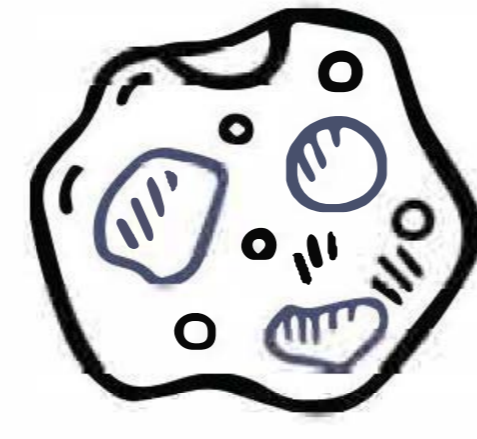


Tecnología

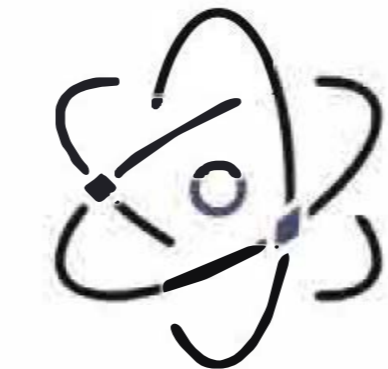


Los estudios en la estación espacial pueden probar diversas tecnologías, sistemas y materiales que serán necesarios para futuras misiones de exploración de larga duración.

Los recursos en el espacio son mayores exponencialmente a algunos de los terrestres. La extracción de estos no repercute en ningún daño a los ecosistemas existentes.



Recursos

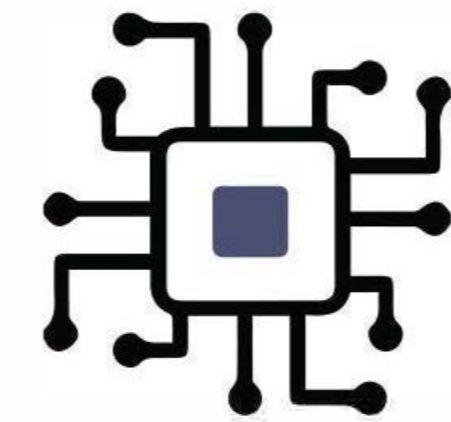


Ciencias Físicas

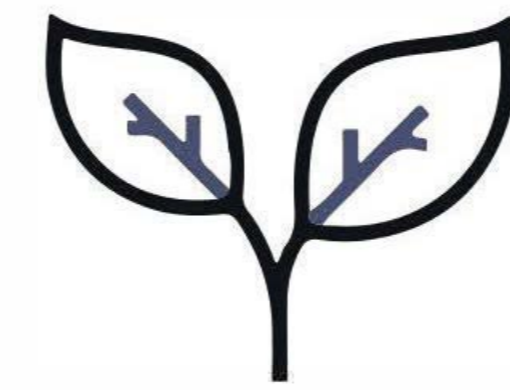


Este entorno único de microgravedad permite que diferentes propiedades físicas dominen los sistemas, y éstas han sido aprovechadas para una amplia variedad de experimentos sobre fenómenos de la naturaleza.

Tanto los procesos industriales en condiciones del espacio como la adquisición de diversos recursos consolidan distintas posibilidades en el desarrollo tecnológico de la especie humana.



Tecnología

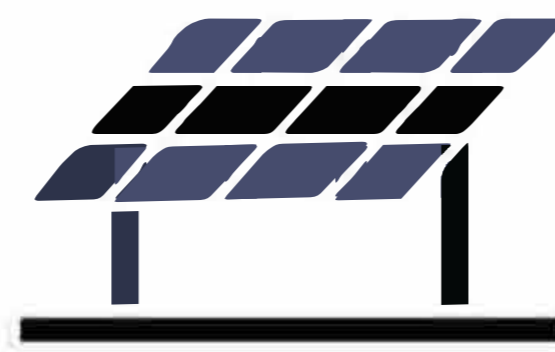
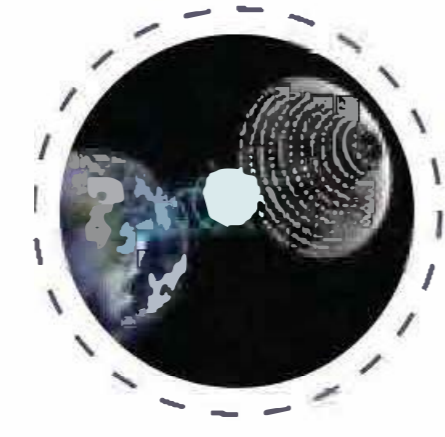


Ciencias Biológicas



En la microgravedad, los controles sobre la direccionalidad y la geometría del crecimiento de las células y los tejidos pueden ser drásticamente diferentes a los de la Tierra.

Las fuentes de energía en el espacio, como la solar, son mayores. Además, su extracción es limpia, constante y de fácil distribución.



Energía

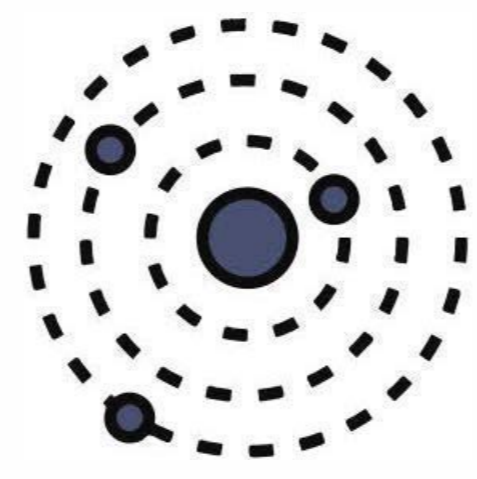
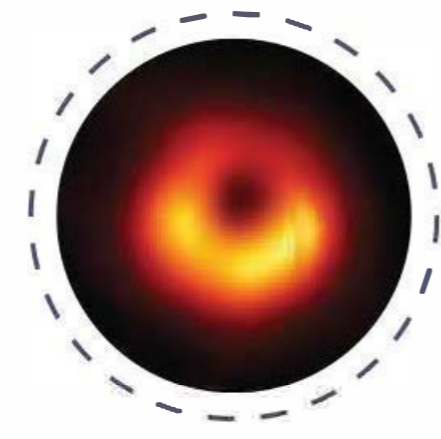


Astronomía

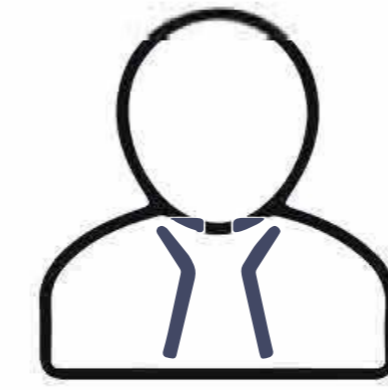


La presencia de la estación espacial en la órbita baja de la Tierra proporciona un punto de vista único para la recogida de datos científicos de la Tierra y del espacio.

Existen distintas condiciones en la Tierra que impiden la realización de distintos experimentos u observaciones. La exploración espacial brindará información de nuevos contextos y conocimientos sobre los fenómenos de este universo



Ciencia



Investigación Humana



La experiencia de los astronautas en la EEI se utiliza para estudiar los riesgos para la salud humana inherentes a la exploración espacial con miras hacia futuras misiones que impliquen mayor tiempo y esfuerzo.

Misión Soyuz TMA-13M
Fuente: NASA Johnson (2014)

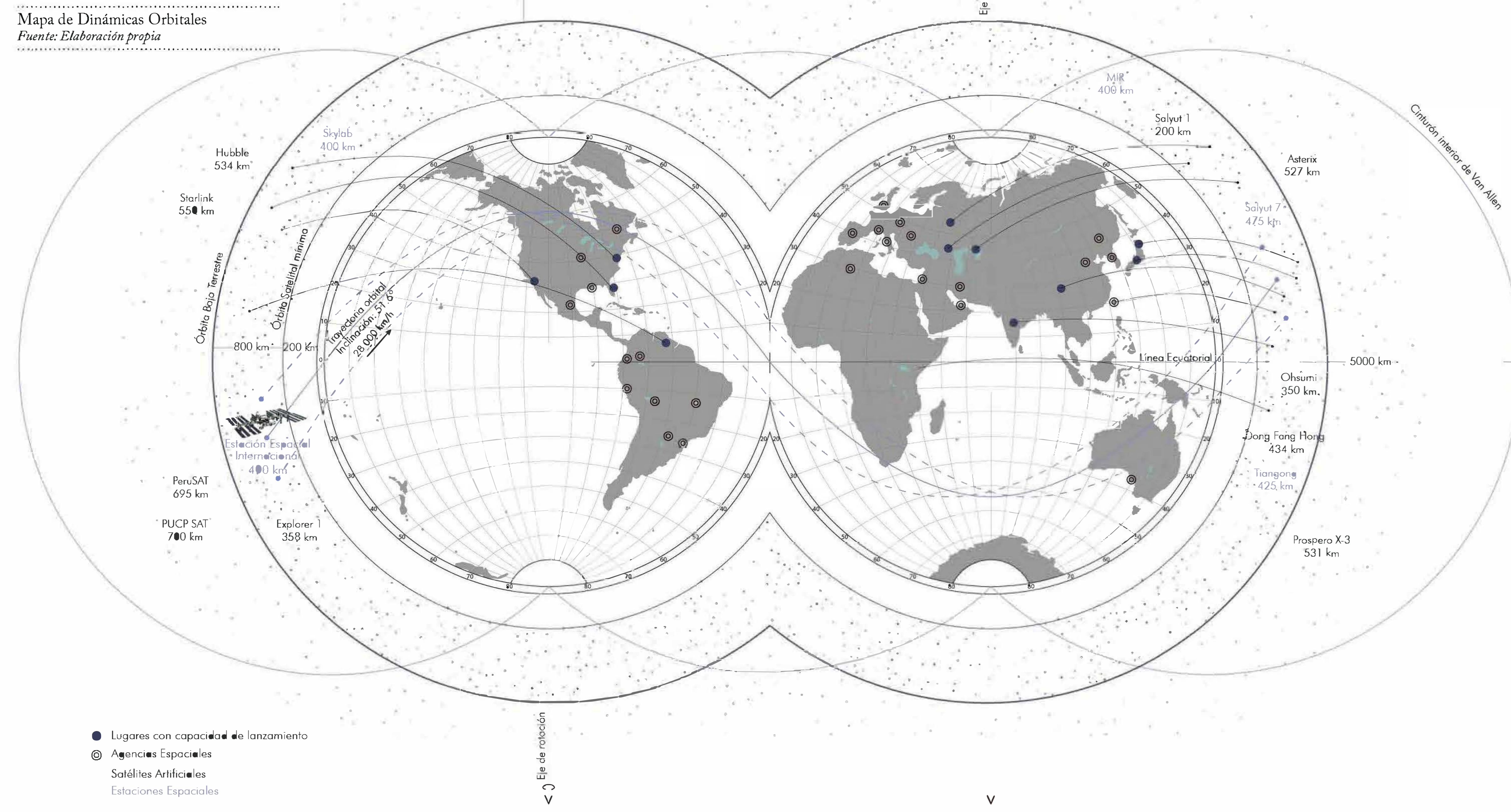


> 02 _ 2

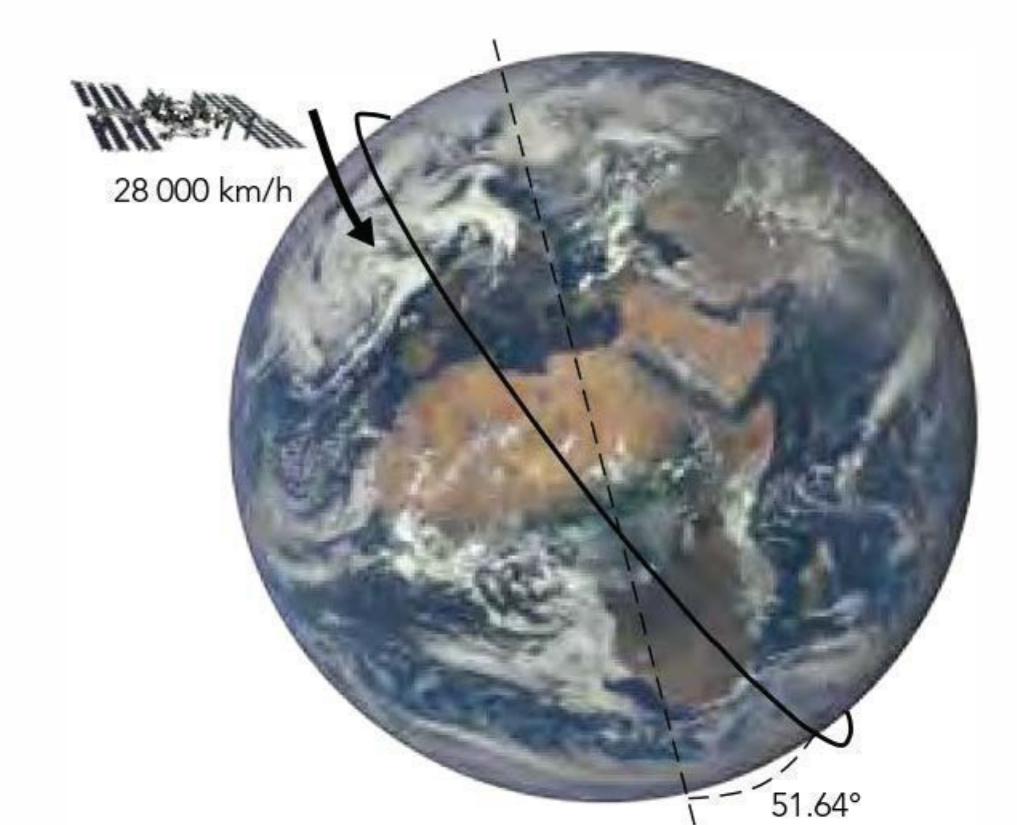
Dinámicas y Variables

Naturalmente, las condiciones en la órbita baja terrestre son diametralmente distintas a las condiciones que existen en la superficie terrestre y que han permitido la existencia de la vida tal como se conoce. A partir de los 100 km de altura, las dinámicas de la superficie pierden relevancia y priman las dinámicas orbitales. Estas dinámicas resultan en variables extremas que el ser humano debe enfrentar con el fin de asegurar su supervivencia en este contexto.

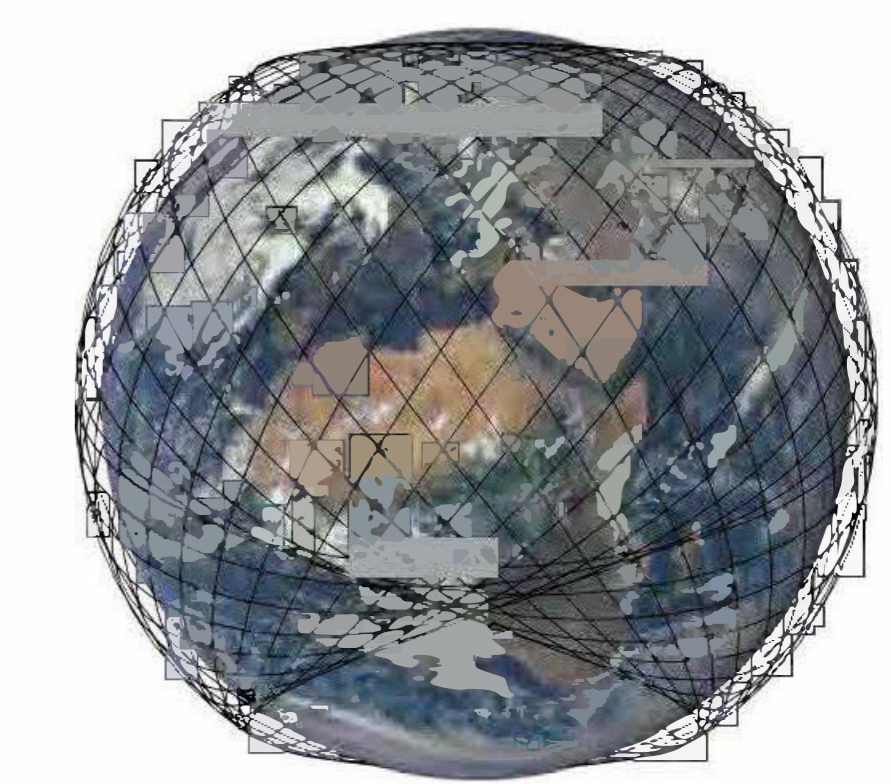
Mapa de Dinámicas Orbitales
Fuente: Elaboración propia



- Lugares con capacidad de lanzamiento
- ⊙ Agencias Espaciales
- ⊙ Satélites Artificiales
- ⊙ Estaciones Espaciales



1 vuelta = 15 minutos



48 vueltas = 3 días



Debido a su localización y sus condiciones, la única manera de trasladar recursos, tecnología y personal hacia la Órbita Baja Terrestre se da mediante vehículos especiales: los cohetes. Actualmente, la NASA utiliza los SLS (izquierda). Sin embargo, incluso esta institución ha volteado la mirada hacia el

Starship de SpaceX (derecha) por la gran reducción del precio de lanzamiento, su capacidad de ser reutilizado y su gran capacidad de carga. El inicio de sus actividades se plantea para el año 2023.



Una de las maneras de transportar recursos a las estaciones espaciales se da mediante los vehículos Progress. Estos son una familia de naves no tripuladas rusas utilizadas para llevar víveres y combustible. Ello permite que las tripulaciones permanezcan en el espacio de forma indefinida.



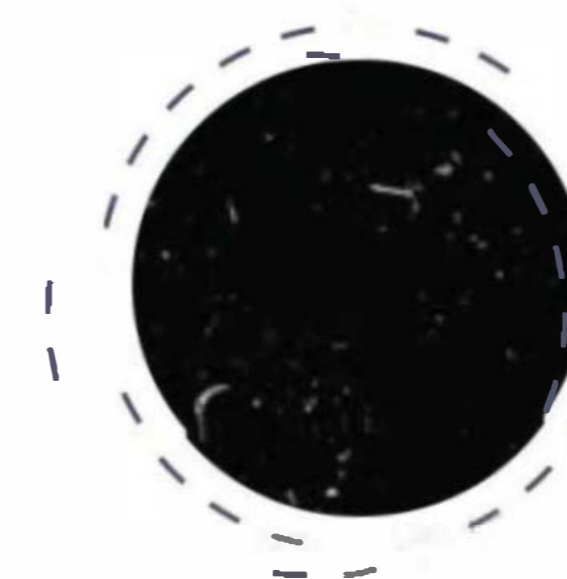
Asimismo, se utiliza la cápsula Dragon 2, una clase de nave espacial reutilizable desarrollada y fabricada por la compañía estadounidense SpaceX. Cuenta con dos variantes: Crew Dragon, una cápsula espacial capaz de transportar hasta siete astronautas, y Cargo Dragon, con una capacidad de 6000 kg.

Satélites en órbita baja
Fuente: ESRI (2021)

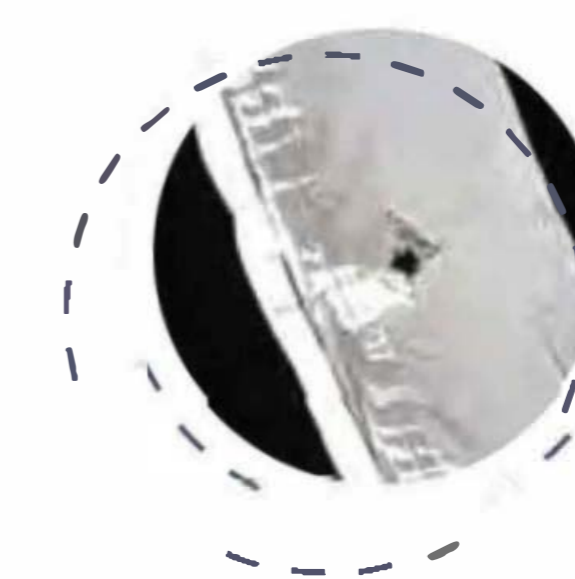


Telescopio Hubble

Satélite de TV



Esquirlas de colisiones entre objetos no funcionales en Órbita Baja Terrestre



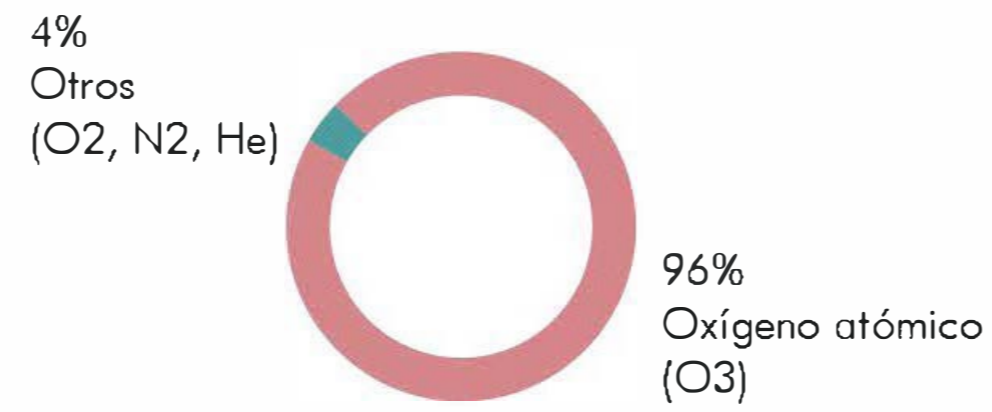
Daño de colisión con Estación Espacial Internacional

Actualmente se evidencia la existencia de un gran problema: la cantidad de basura espacial reconocida es mayor a la cantidad de satélites. A diferencia de estos últimos, la basura espacial son objetos no controlados. Asimismo, se presume que existen mayores cantidades de basura que no se ha mapeado, lo cual resulta en un gran problema para los futuros hábitats.

Cuatro variables en la arquitectura espacial
Fuente: Yegen, Ece (2019)



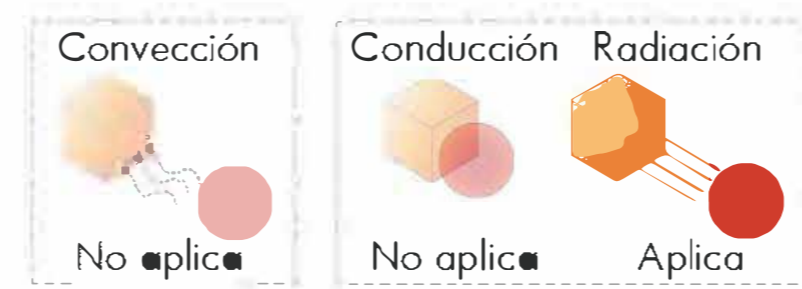
1. Composición Atmosférica



Partículas en órbita baja terrestre
Fuente: NASA (1996)

0 bar (Vacío)

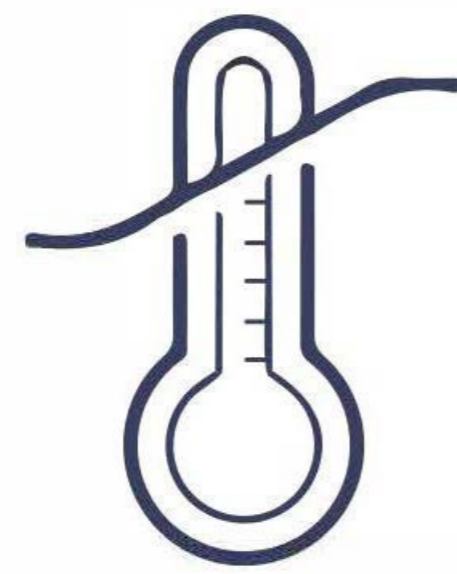
Presión en órbita baja terrestre
Fuente: NASA (1996)



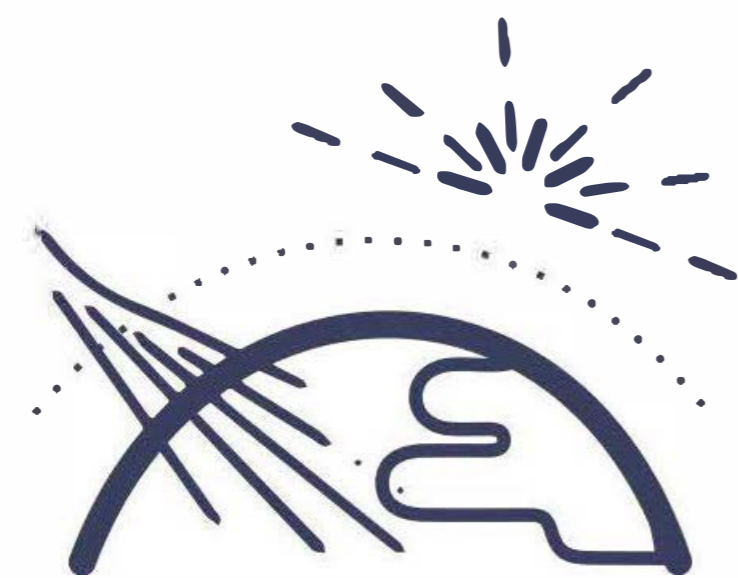
Transferencia de calor en órbita baja
Fuente: NASA (2011)



Temp. en luz y en sombra en órbita baja
Fuente: Sieger, L; et al. (2011)



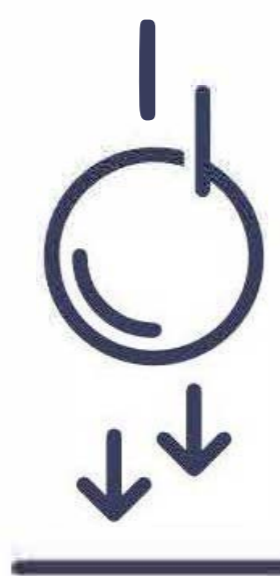
2. Temperatura



3. Radiación

Para Yegen (2019), cuatro son los factores del espacio que afectan al ser humano y deben ser tomados en cuenta al pretender salir del planeta: gravedad, radiación, composición atmosférica y temperatura. La adecuada administración de los recursos y diseño del hábitat asegurará la permanencia del ser humano y de cualquier otro ser vivo en estas condiciones.

Además, remarca que la gravedad es el cambio más radical, ya que ausencia de la sensación de esta en el cuerpo humano provoca una gran cantidad de cambios en este. A diferencia de las otras variables, la gravedad no se puede solucionar con solamente materiales o sistemas constructivos.



4. Gravedad

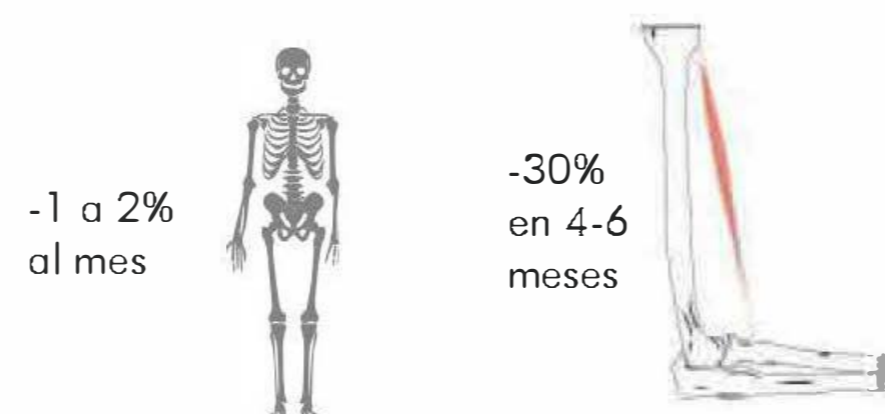
20 mSv/año

Radiación recibida por los trabajadores de una central nuclear

220 mSv/año

Radiación espacial recibida por astronautas
Fuente: NASA (2020)

0 g (Ingravedad/ Microgravedad)

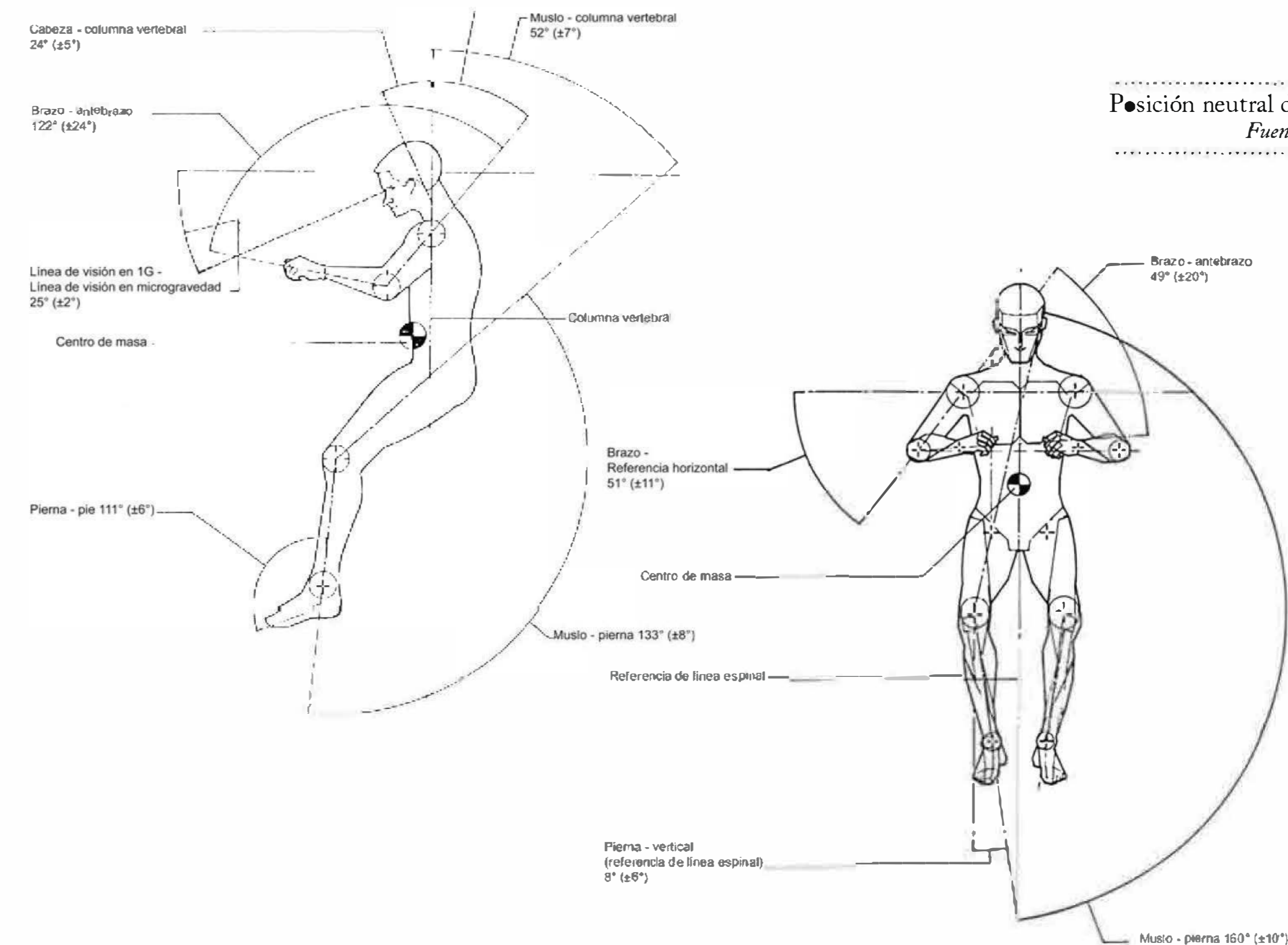


Pérdida de densidad ósea Pérdida de masa muscular

Daños de la microgravedad en el humano
Fuente: Davidson Institute (2020)



Supervivencia en el espacio
Fuente: NASA (2015)



Posición neutral del humano en ingravedad
Fuente: Fauquet & Okushi (1995)



Bumper 2 primer objeto en llegar al espacio
 Fuente: NASA (2016)

A lo largo de las últimas décadas, el diseño de hábitats espaciales ha evolucionado a grandes pasos. Este hecho no es sorprendente, pues la preocupación por la exploración del espacio y la posibilidad de habitarlo siempre ha sido de gran influencia. Múltiples estaciones espaciales han sido diseñadas y todas ellas han sido capaces de albergar astronautas por largos periodos con el fin de desempeñar sus labores de experimentación cómodamente. El aprendizaje de la carrera espacial entre E.E.U.U. y la URSS en el siglo XX sirvió de sobremanera para la actual tecnología y diseño arquitectónico que permite a los astronautas su adecuada habitación en la Órbita Baja Terrestre.

> 02_3

Evolución

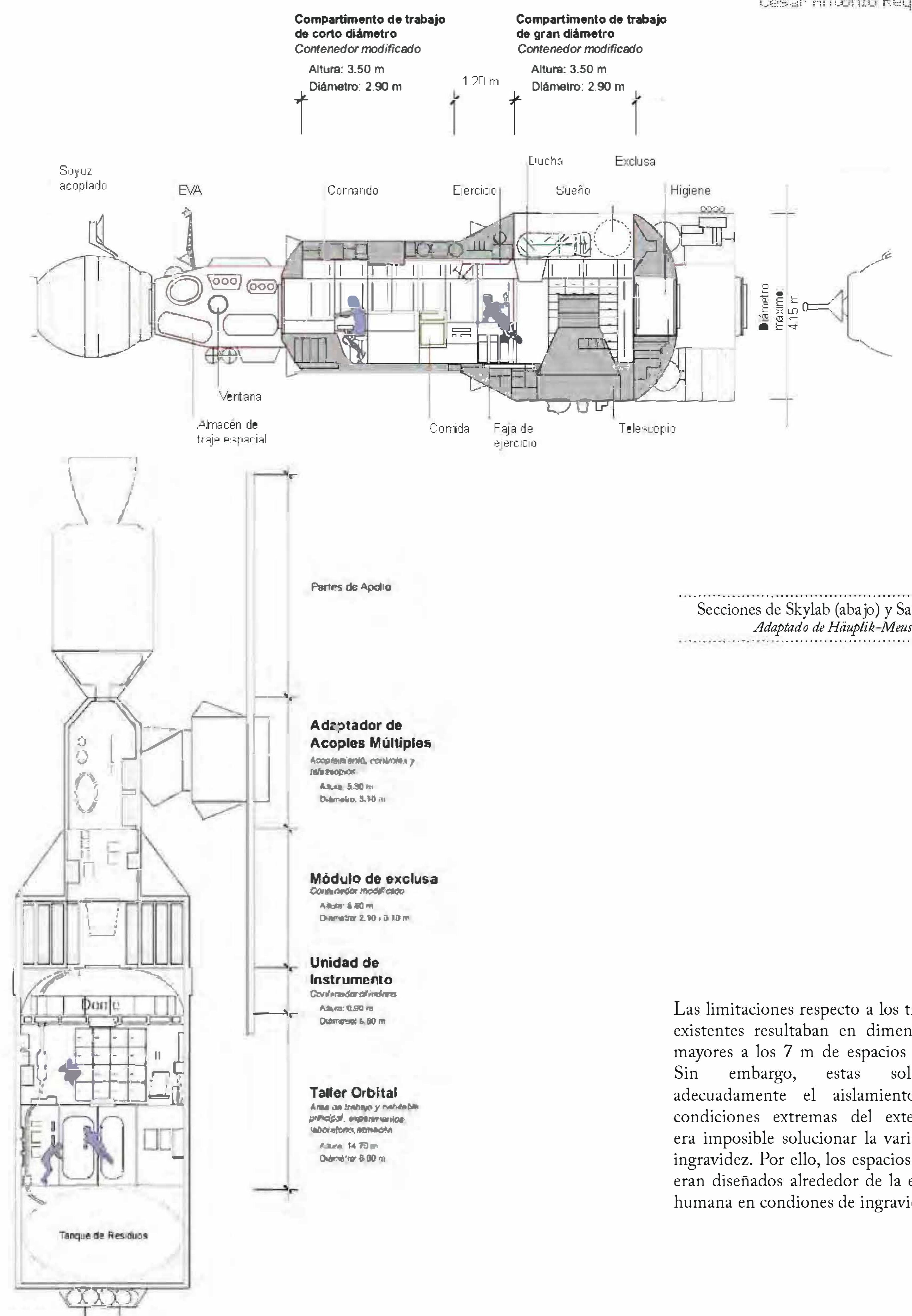
Fotografías de Skylab y Salyut
Fuente: Häuplik-Meusburger (2011)



Skylab (70's)



Salyut (70's, 80's)

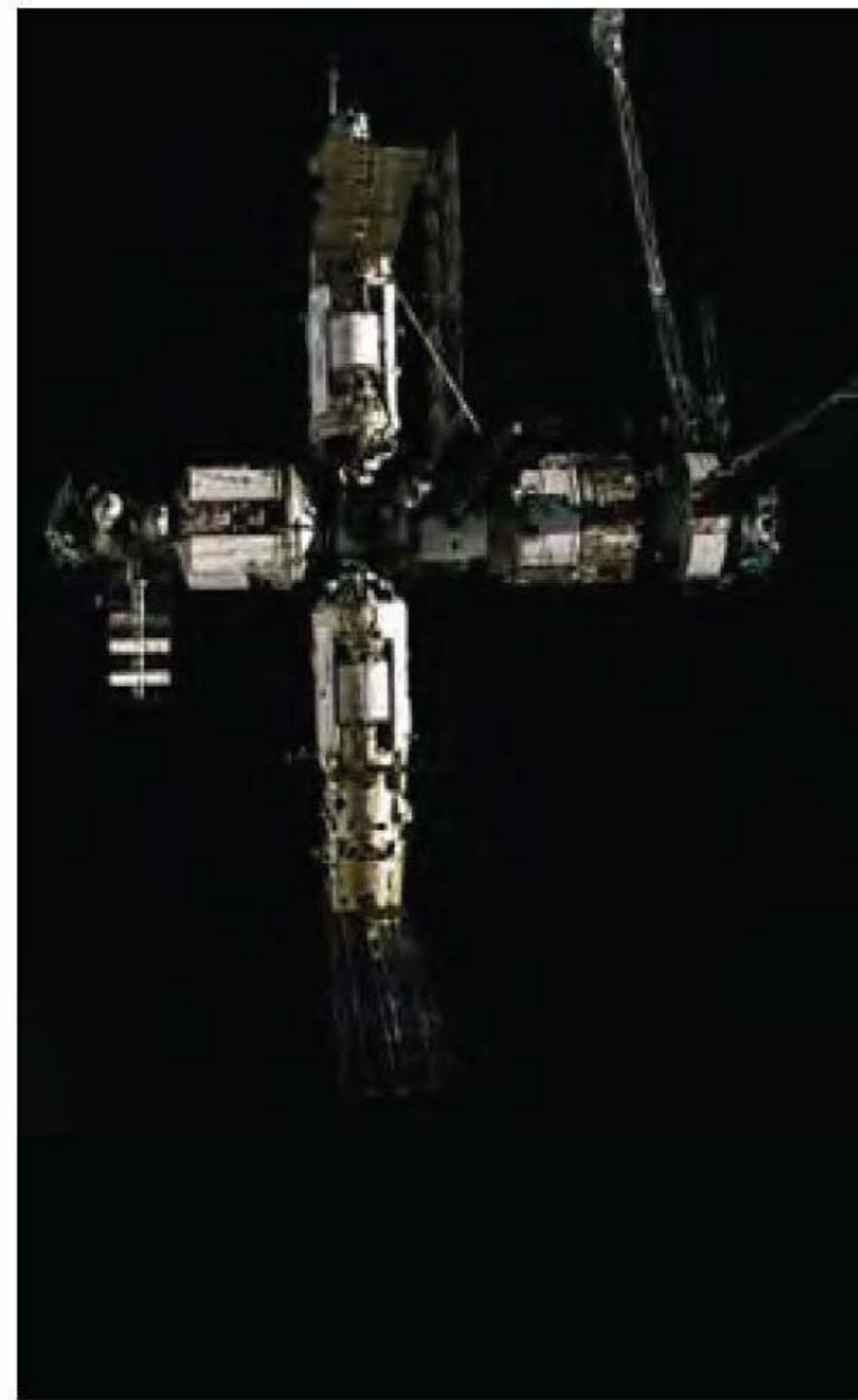


Secciones de Skylab (abajo) y Salyut (arriba)
Adaptado de Häuplik-Meusburger (2011)

Las primeras estaciones espaciales fueron Skylab y Salyut; la primera, estadounidense; y, la segunda, soviética. Estas eran limitadas en dimensiones y, a nivel de programa, los espacios se definían como multipropósito. Estas condiciones no eran ideales para los astronautas en tanto sus actividades se aglomeraban y se volvían monótonas.

Las limitaciones respecto a los transportes existentes resultaban en dimensiones no mayores a los 7 m de espacios interiores. Sin embargo, estas solucionaban adecuadamente el aislamiento de las condiciones extremas del exterior, mas era imposible solucionar la variable de la ingravidez. Por ello, los espacios interiores eran diseñados alrededor de la ergonomía humana en condiones de ingravidez.

Fotografías de MIR y ISS
Fuente: Häuplik-Meusburger (2011)



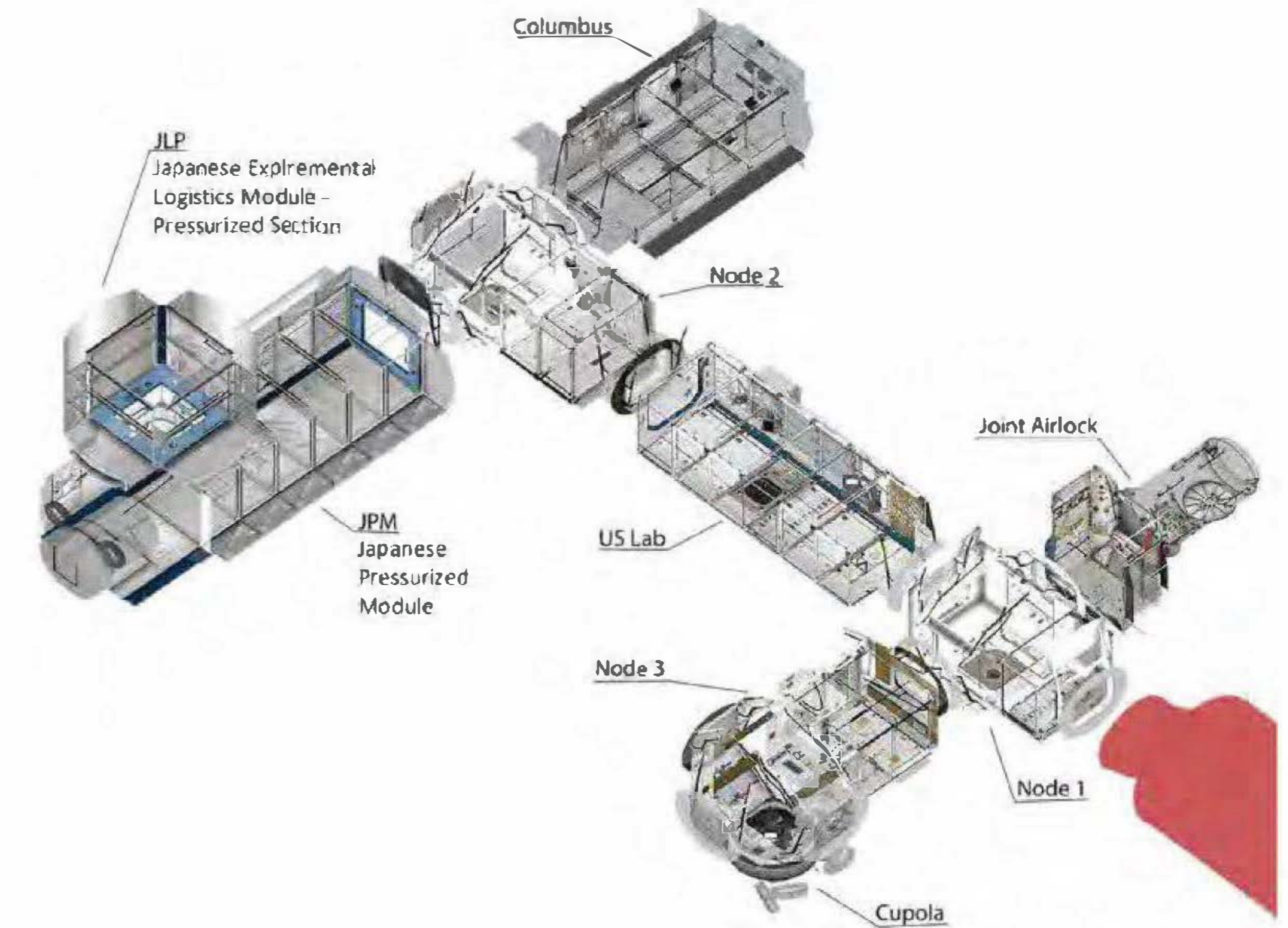
MIR (90's)



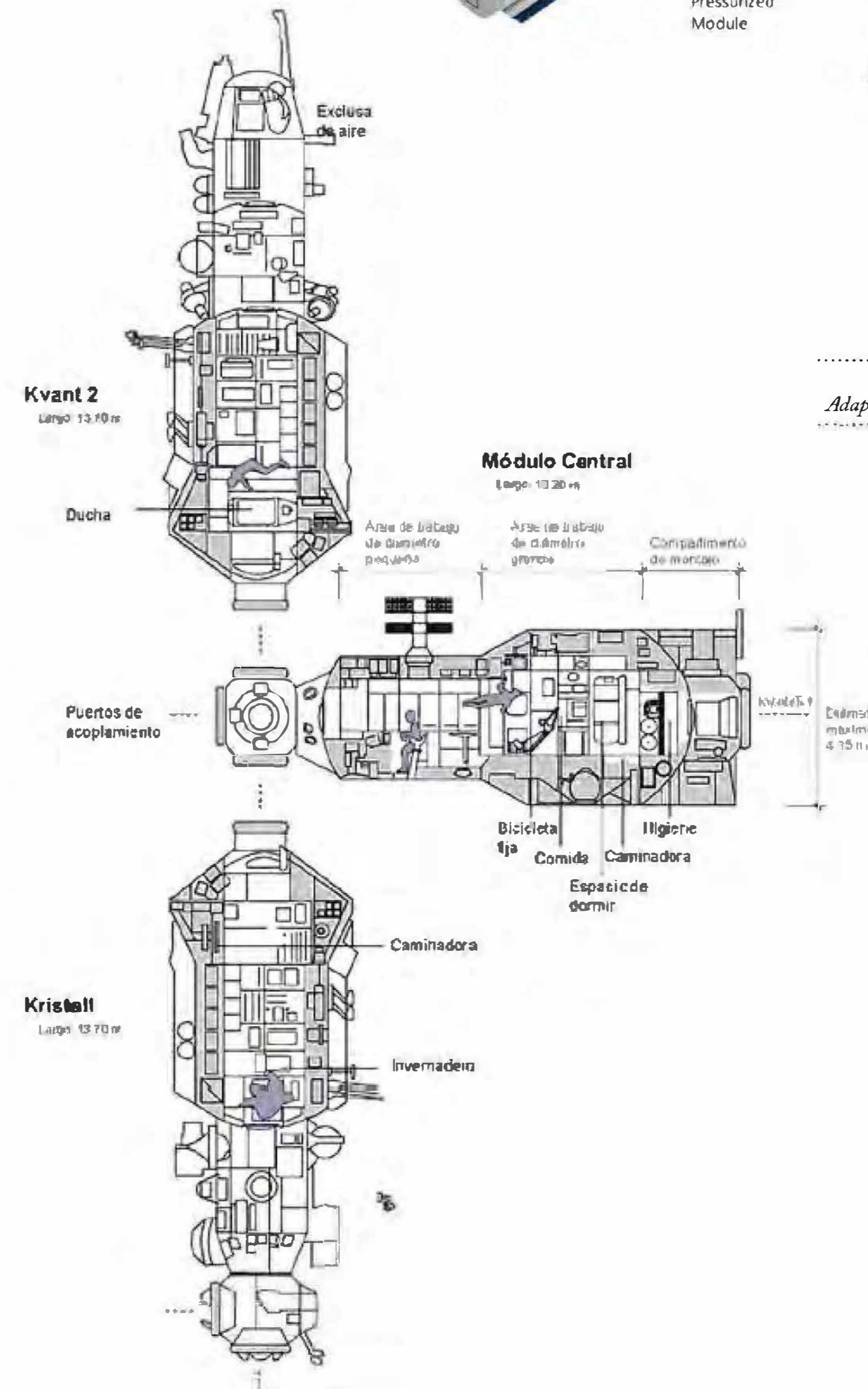
ISS (00's)



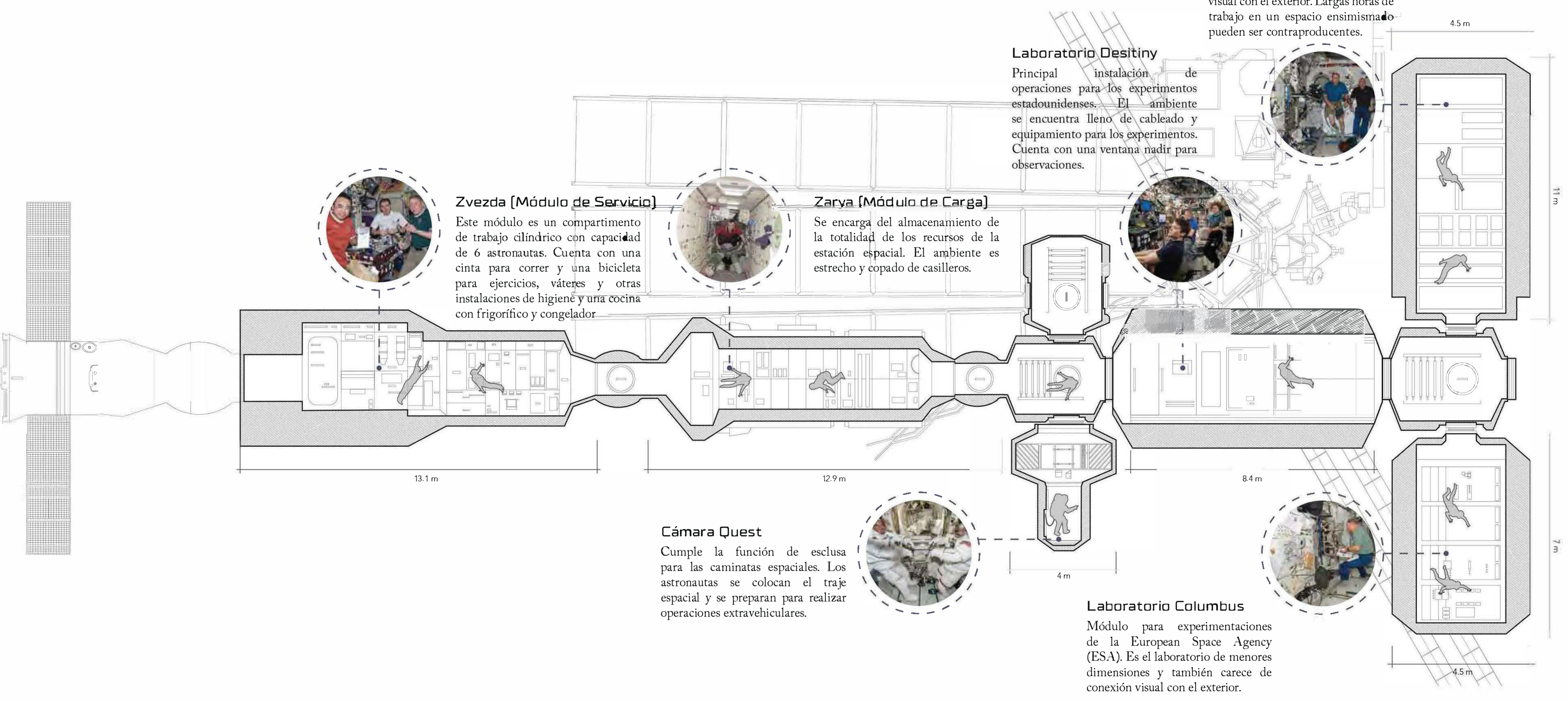
El aprendizaje de las anteriores estaciones resultó en una búsqueda por la modularidad con la finalidad de lograr de un crecimiento seguro y pausado, pues los medios de transporte no contaban con las dimensiones ideales para el traslado de hábitats de tales dimensiones. De esta manera, estas dos estaciones han reciclado componentes de las anteriores al mismo tiempo que estrategias de diseño de los módulos. Además, la EEI culmina en un proyecto con módulos multinacionales, a diferencia de sus antecesoras, las cuales eran obras de la carrera espacial del S. XX.



Sección de MIR (abajo) e isometría de ISS (arriba)
Adaptado de Häuplik-Meusburger (2011); Finseth, Tor, et al. (2018)



Las limitaciones respecto a los transportes existentes resultaban en dimensiones no mayores a los 7 m de espacios interiores. Sin embargo, estas solucionaban adecuadamente el aislamiento de las condiciones extremas del exterior, mas era imposible solucionar la variable de la ingravidez. Por ello, los espacios interiores eran diseñados alrededor de la ergonomía humana en condiciones de ingravidez.



Zvezda [Módulo de Servicio]

Este módulo es un compartimento de trabajo cilíndrico con capacidad de 6 astronautas. Cuenta con una cinta para correr y una bicicleta para ejercicios, váteres y otras instalaciones de higiene y una cocina con frigorífico y congelador



Zarya [Módulo de Carga]

Se encarga del almacenamiento de la totalidad de los recursos de la estación espacial. El ambiente es estrecho y copado de casilleros.



Laboratorio Desitinny

Principal instalación de operaciones para los experimentos estadounidenses. El ambiente se encuentra lleno de cableado y equipamiento para los experimentos. Cuenta con una ventana nadir para observaciones.



Laboratorio Kibo

Módulo japonés para experimentaciones. Una de sus principales carencias es la conexión visual con el exterior. Largas horas de trabajo en un espacio ensimismado pueden ser contraproducentes.



Cámara Quest

Cumple la función de esclusa para las caminatas espaciales. Los astronautas se colocan el traje espacial y se preparan para realizar operaciones extravehiculares.



Laboratorio Columbus

Módulo para experimentaciones de la European Space Agency (ESA). Es el laboratorio de menores dimensiones y también carece de conexión visual con el exterior.

13.1 m

12.9 m

8.4 m

4 m

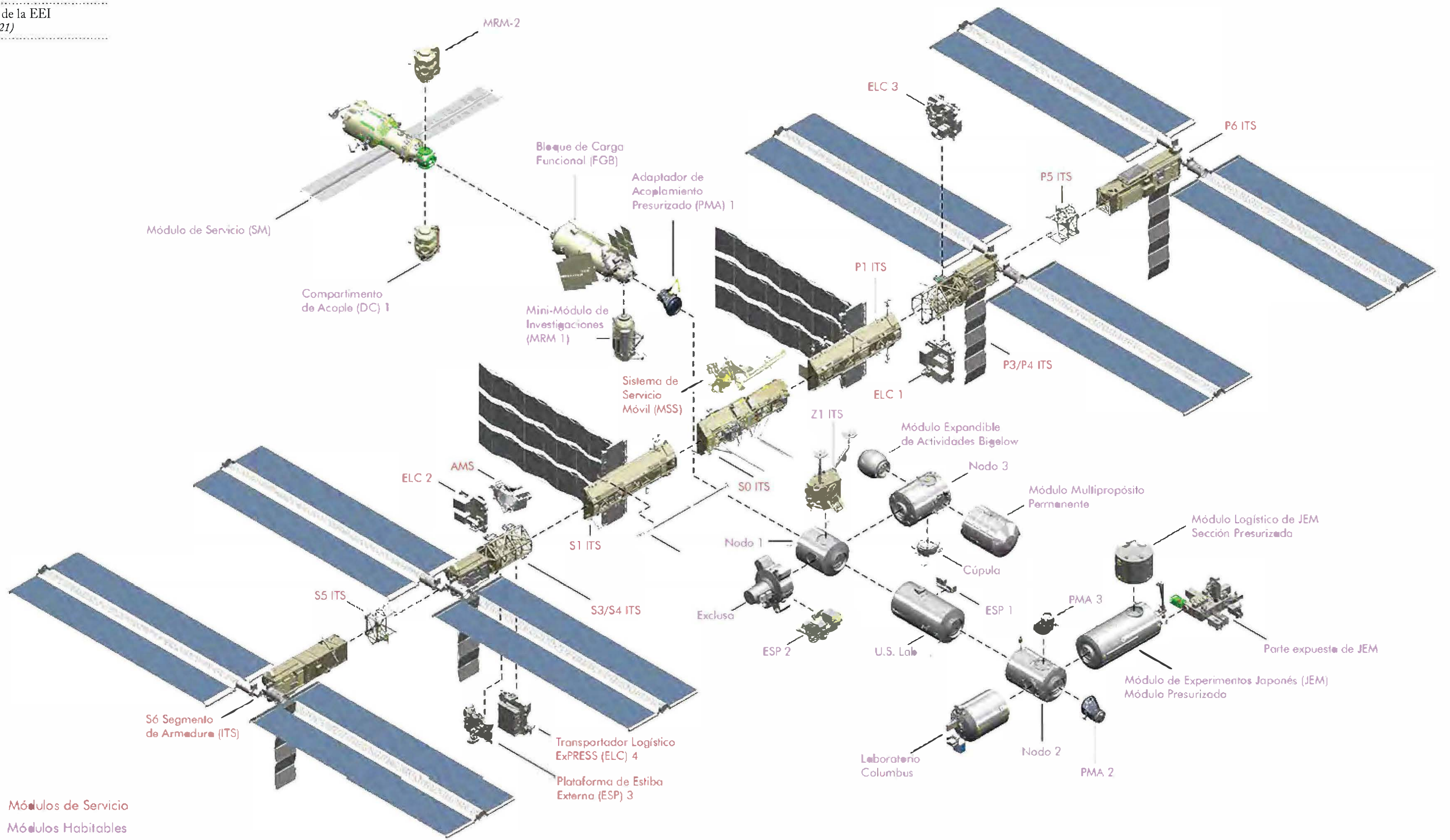
4.5 m

11 m

7 m

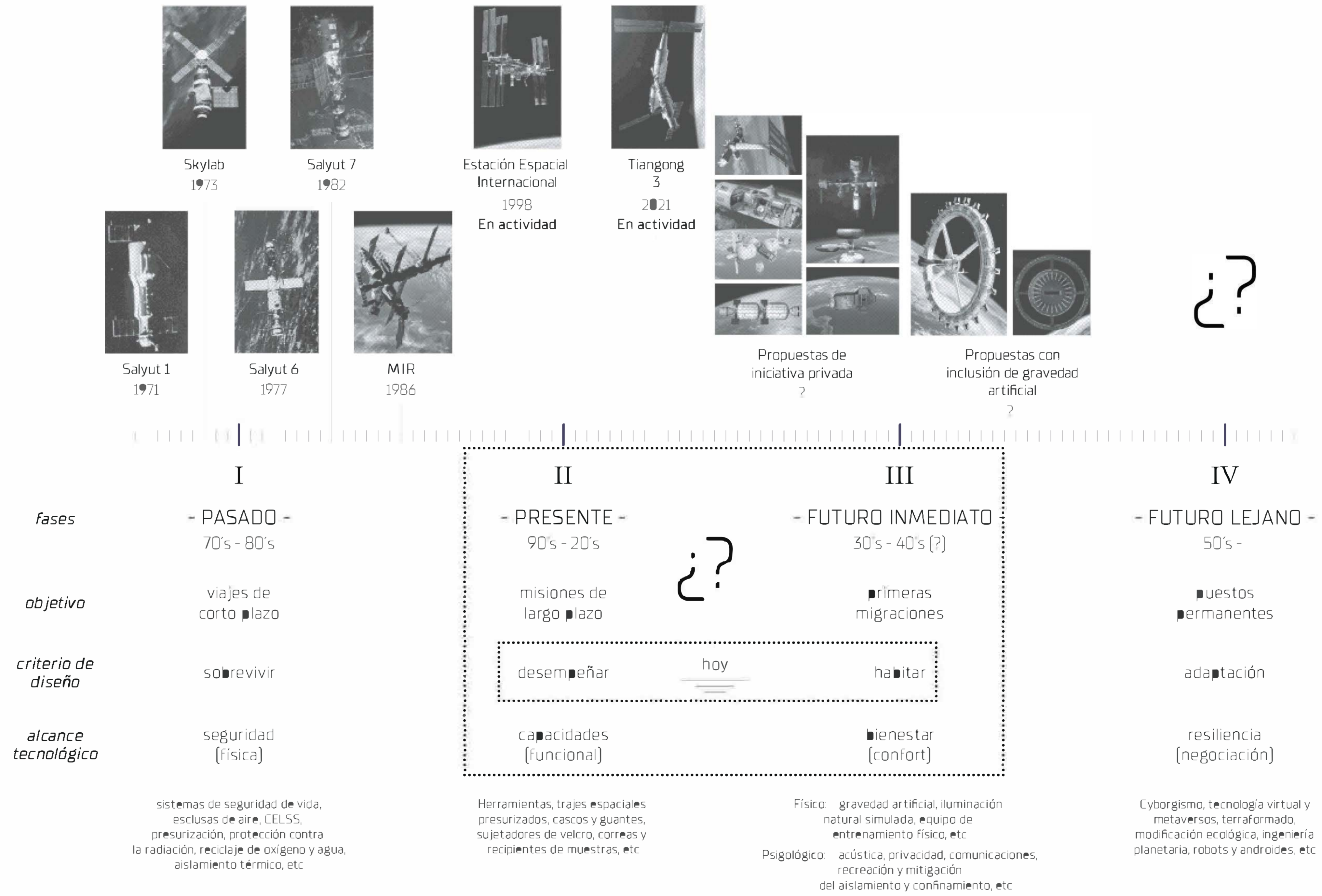
4.5 m

Modularización de la EEI
Fuente: NASA (2021)



Módulos de Servicio
Módulos Habitables

Evolución de la Exploración Espacial
Adaptado de Lockard, E. (2014)



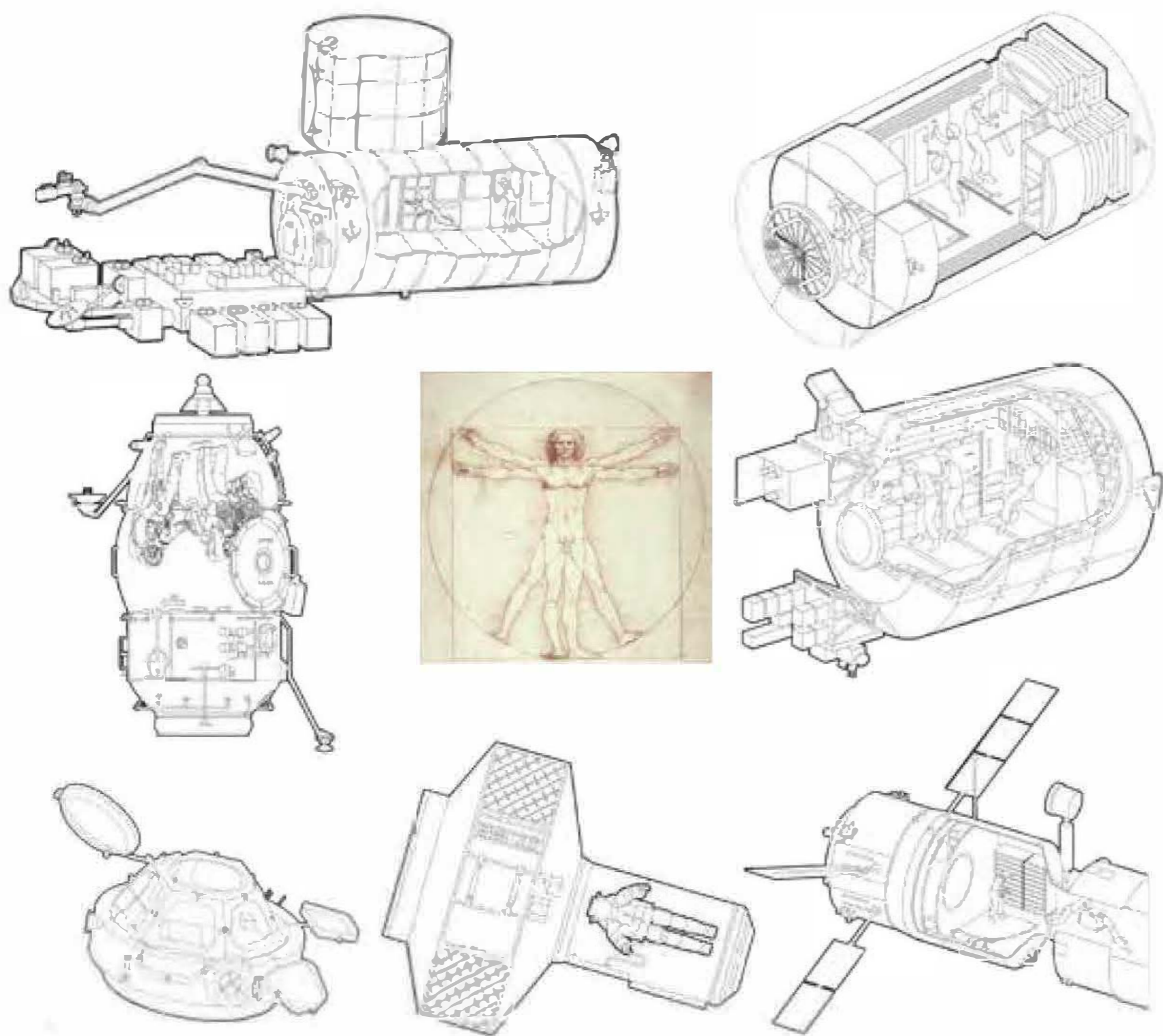
Las posibilidades de habitabilidad que puede proponer la arquitectura al ser humano siempre han dependido de las tecnologías disponibles. Por ello, al analizar los avances científicos y los que se especulan en el futuro, la exploración espacial será capaz de producir hábitats de mayor complejidad relacionados a la adaptación humana a determinado entorno.

No solo el conocimiento del entorno físico hará posible esta evolución, sino también las experimentaciones sobre las percepciones fenomenológicas humanas in situ. Cada etapa produce hábitats relacionados a los objetivos específicos de ellas mismas capaces de generar conocimiento para las consecuentes.

Alexander Gerst en EEI
Fuente: The European Space Agency (2014)



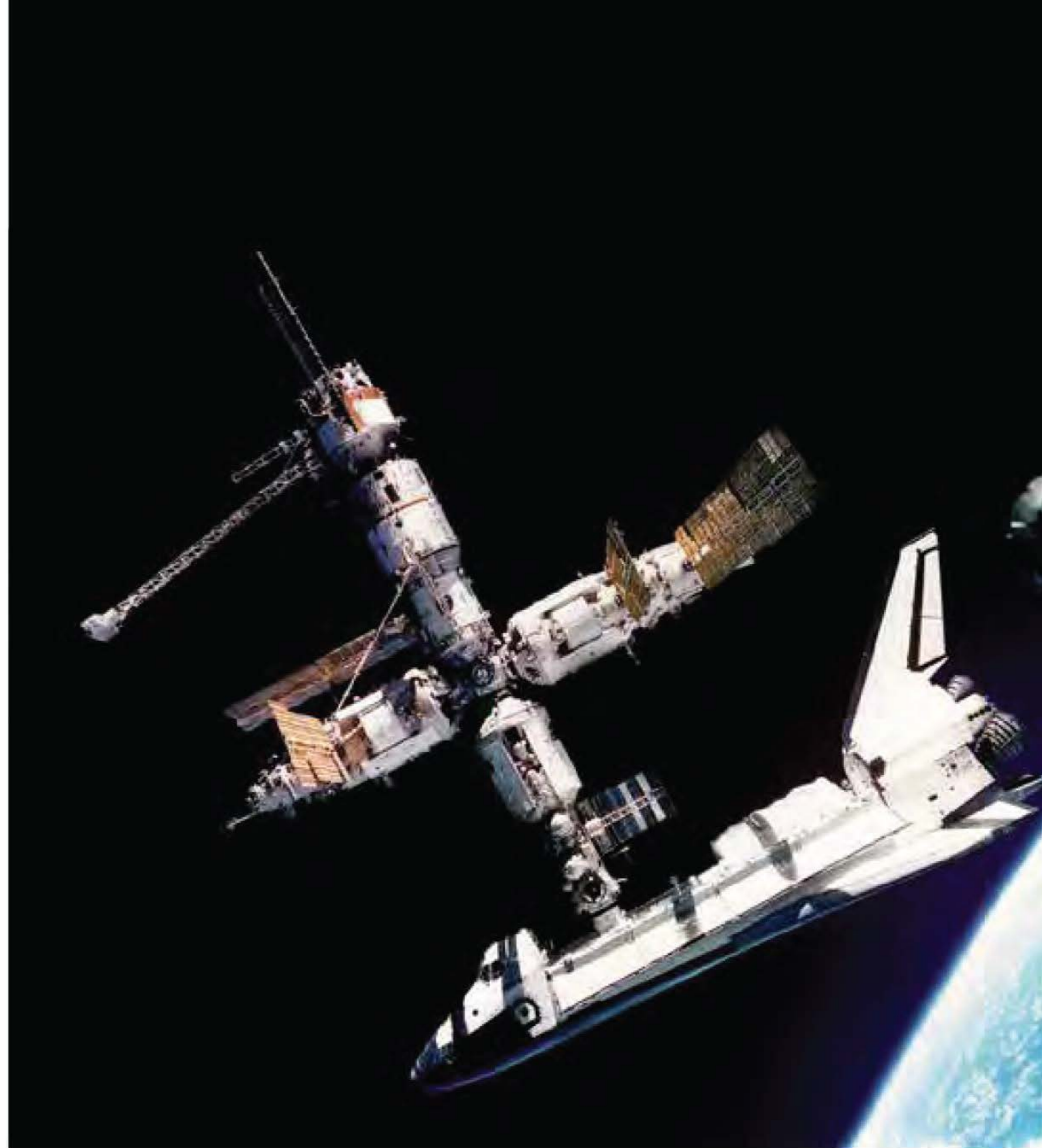
Módulos de la EEI
Fuente: Elaboración propia, NASA (2020)



La exploración espacial se ha centrado en el diseño de hábitats exclusivamente para el ser humano. Los distintos módulos de la Estación Espacial Internacional siguen estos estándares principalmente debido a límites tecnológicos.

Aquella situación extrae al ser humano de su ciclo ecosistémico, el cual le ha permitido su subsistencia y evolución a lo largo de su historia. Además, esta desnaturalización del ser humano amenaza su propia salud y bienestar a lo largo de las misiones de exploración.

MIR acoplada a la Space Shuttle
Fuente: NASA (1995)



Le Corbusier y Máquina de Habitar
Fuente: onearchitectforaweek (2013)

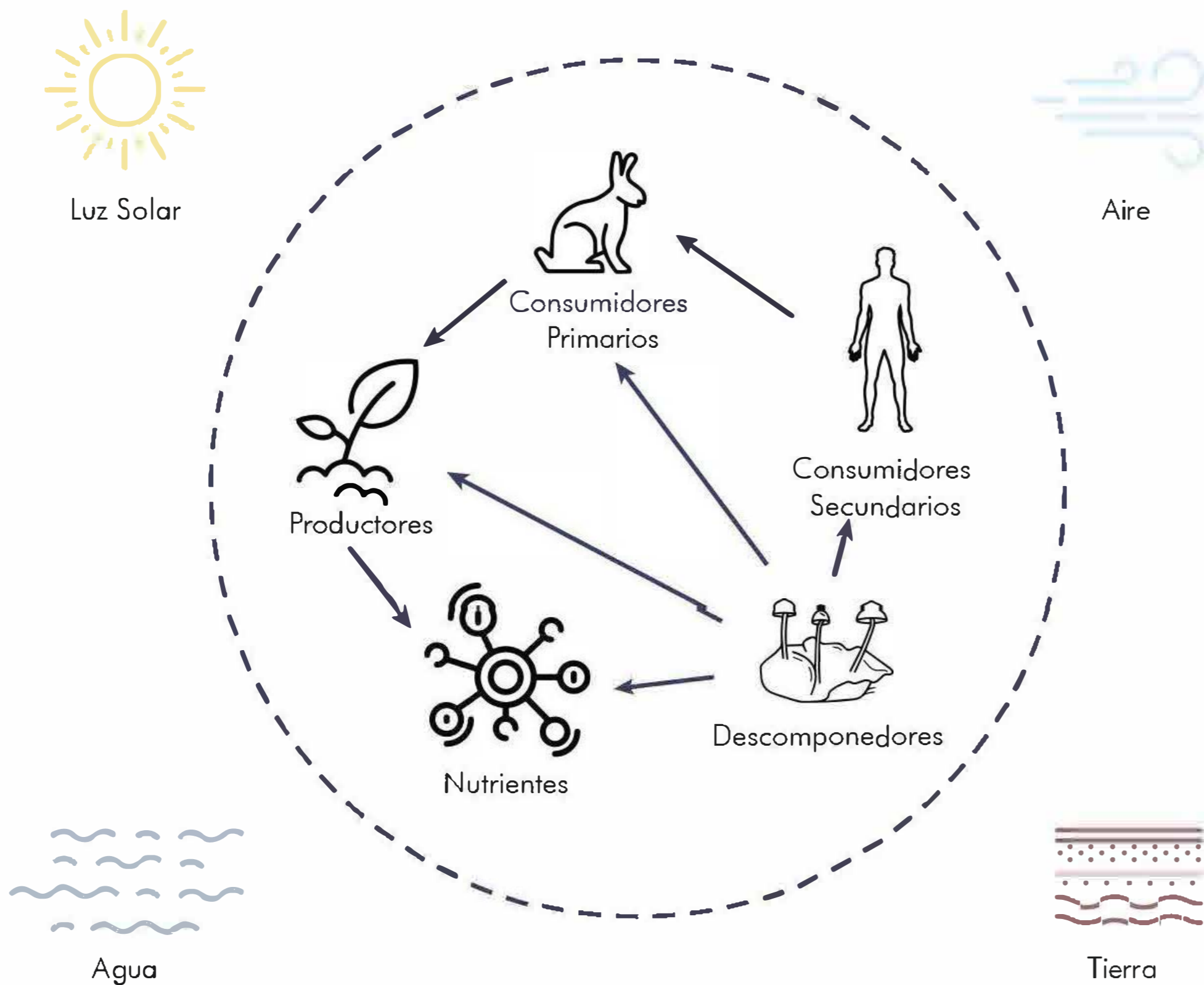


El concepto de *machine à habiter* es desarrollado por Le Corbusier, quien argumentaba que los edificios debían ser eficaces, como un sistema de mecanismos que sirven a las tareas para las que han sido diseñados. Tomando como premisa que los edificios son destinados al propósito de habitar, este conjunto de mecanismos toman una situación extrema en el caso de las estaciones espaciales.

Ciudadela de Kuelap
Fuente: *St Amant, Matin (2017)*



Ciclo Ecosistémico
Fuente: *Elaboración propia*



Múltiples civilizaciones han centrado sus esfuerzos en la coexistencia con el ciclo ecosistémico y la exploración espacial debería continuar con ellos. “La Máquina de Hábitats” presenta como objetivo el brindarle un nuevo entendimiento al concepto de *machine à habiter* mediante una nueva propuesta de diseño de hábitats espaciales. Ello será útil para el futuro de la exploración de nuevos entornos carentes de las variables necesarias para posibilitar la vida como se conoce.

Aviario de Londres por Cedric Price
Fuente: *Welch, A. (2014)*



Ecotrons-Ecosistemas Artificiales
Fuente: *Roy, J. et al (2020)*



Se logrará al situar como eje del proyecto el diseño de una conjunción entre el humano y su ciclo ecosistémico mediante ecosistemas artificiales en el diseño de próximos hábitats espaciales. Las investigaciones actuales sobre estos, además de la tecnología disponible, proporcionan la posibilidad de una pronta introducción de estos a la exploración espacial.

Utopía

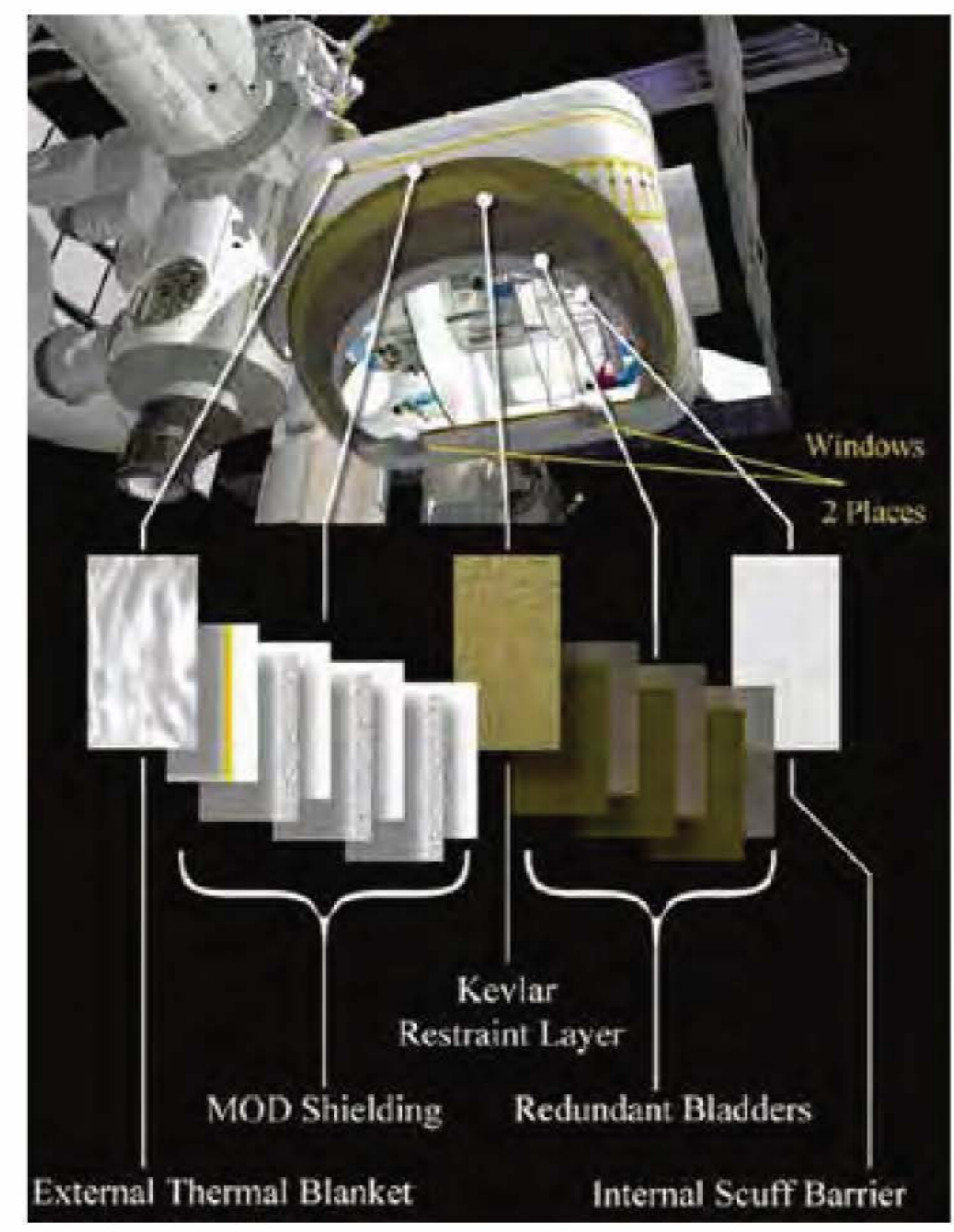
Fuente: Elaboración propia

La imagen utópica del proyecto resulta de la preocupación del derecionamiento de los diseños actuales de los hábitats destinados a la investigación del espacio en Órbita Baja Terrestre. La extracción del ser humano de su ciclo ecosistémico solo perjudica su subsistencia y salubridad. Por ello, se aspira a colocar al ciclo ecosistémico del cual el ser humano es parte como eje de diseño de las futuras exploraciones espaciales mediante el traslado de ecosistemas artificiales.

Referente: Trans Hab
NASA [1990]

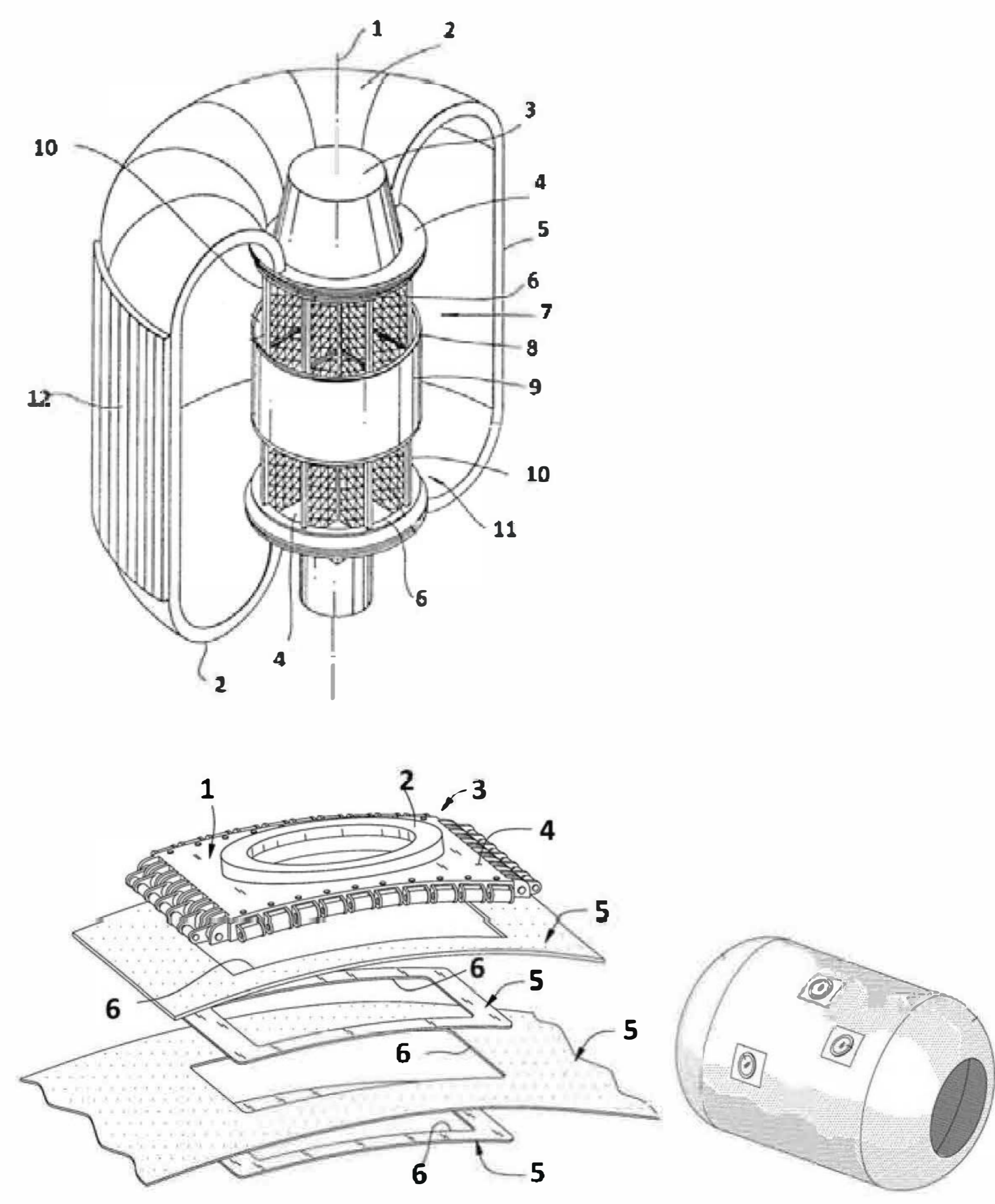
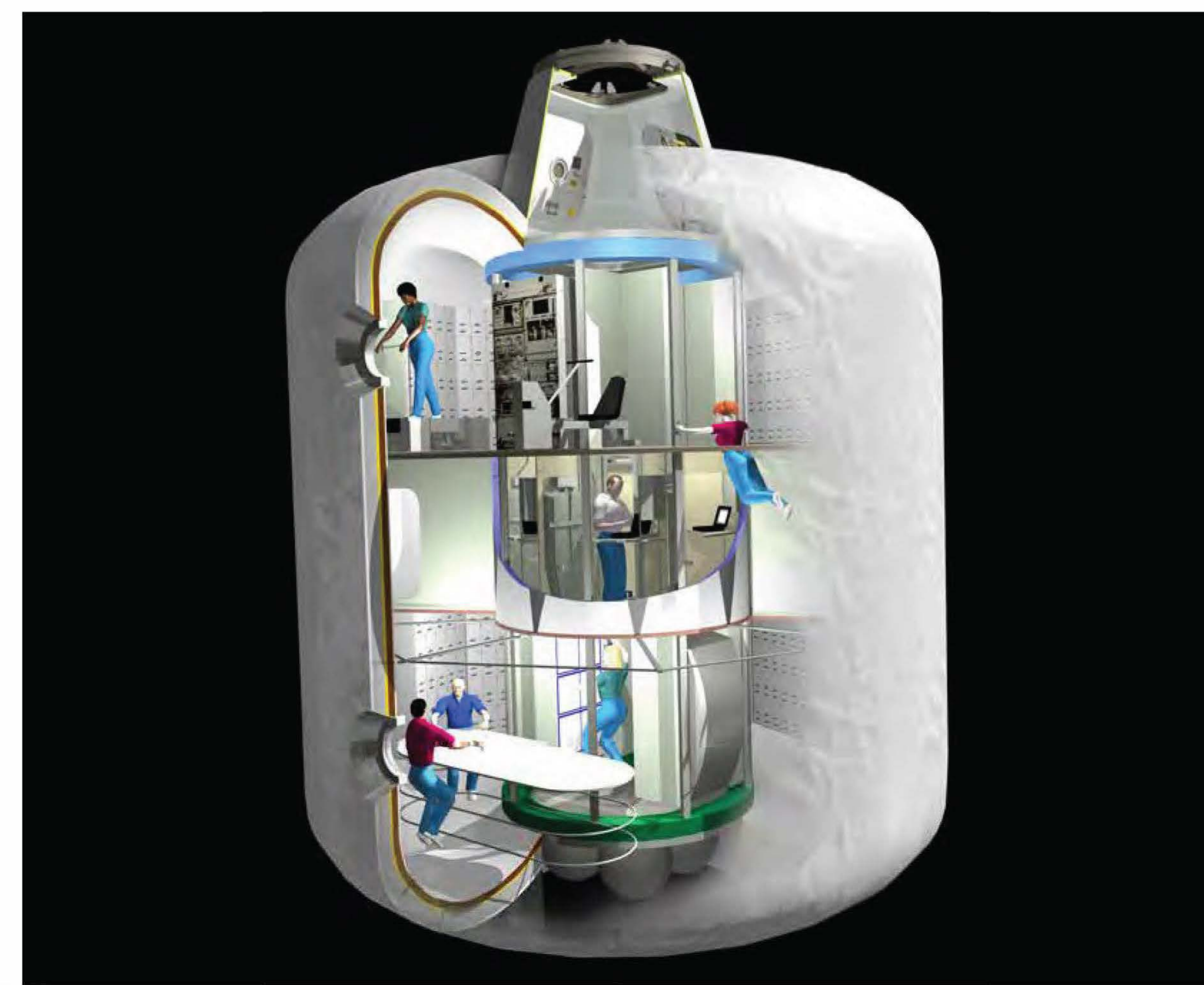
Lugar: Órbita Baja Terrestre
Capacidad: 12 astronautas
Masa: 13 154 Kg
Volumen: 339.8 m³

Dimensiones: $d_{contraído} = 4.3\text{ m}$ $d_{expandido} = 8.2\text{ m}$ $l = 11\text{ m}$
Materiales: Kevlar, Combitherm, Nomex
Presión interior: 1 atm (14.7 psia)



Transhab (izq)
Fuente: NASA/JSC (2000)

Transhab Up Close (der)
Fuente: Seedhouse, E. (1995)

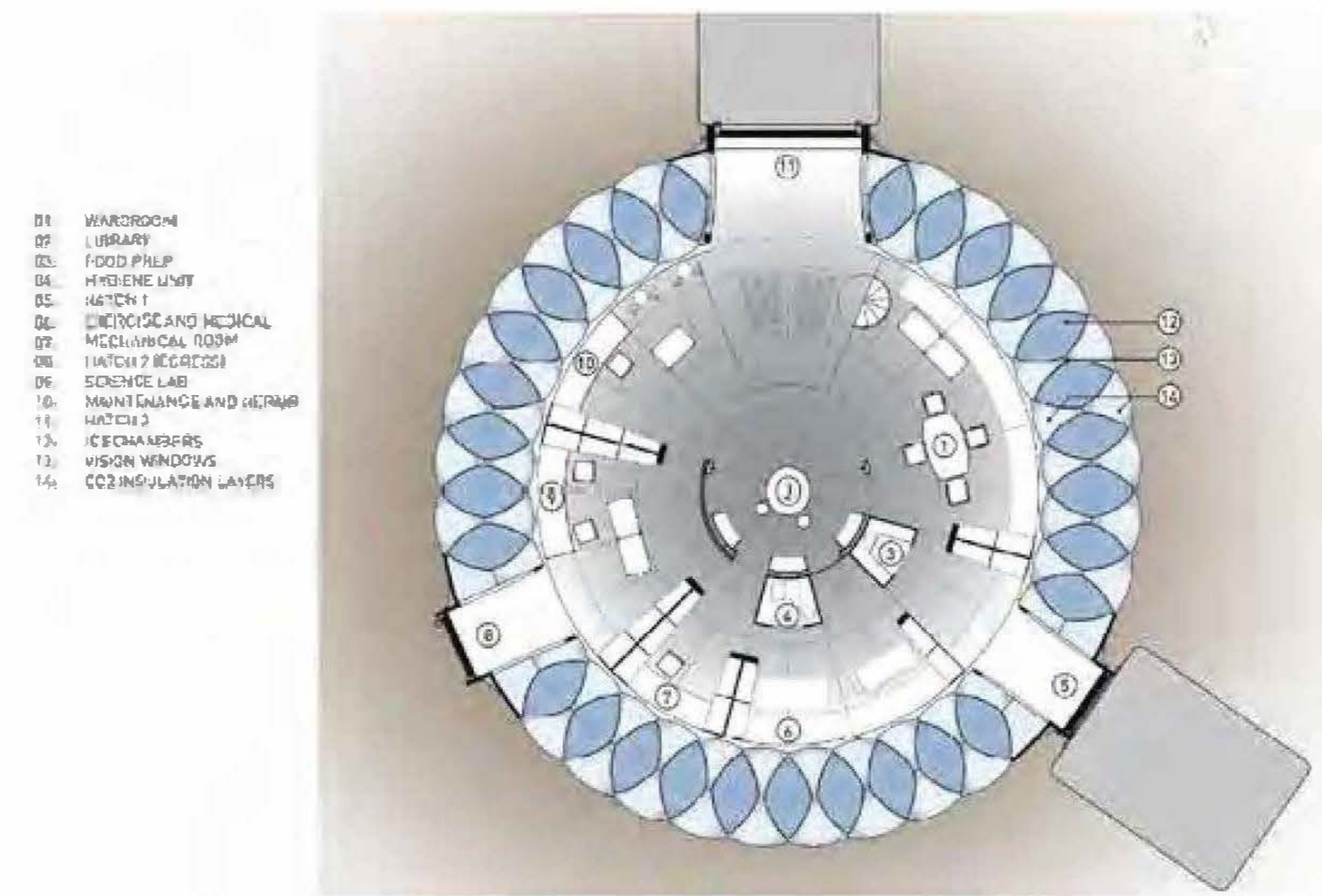
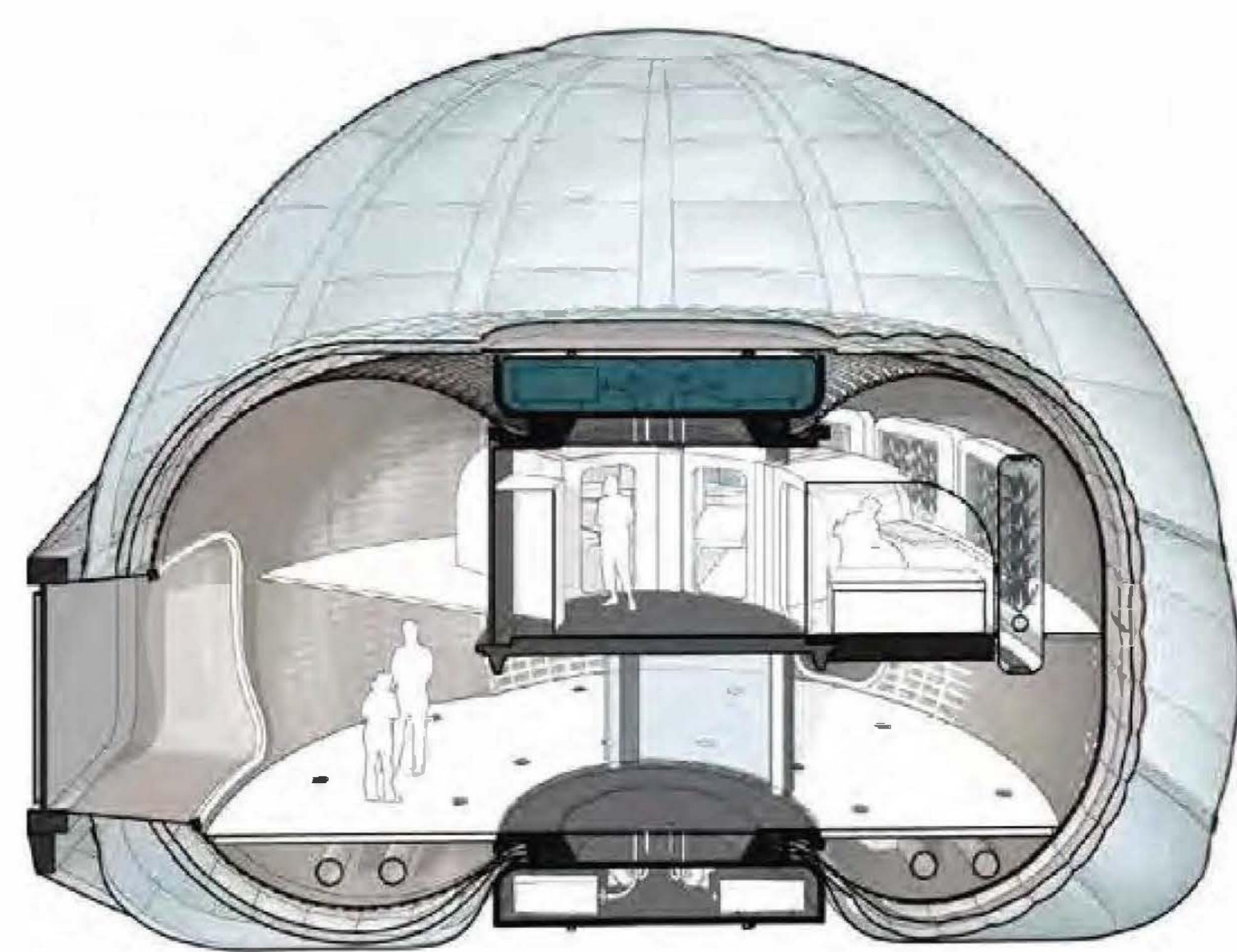


TransHab fue una propuesta de módulo para la EEI diseñada en los 90's basado en tecnología inflable, prefabricado en la Tierra y presurizado en órbita. Esta habría proporcionado un volumen habitable (340 metros cúbicos) tres veces mayor que un módulo estándar de la ISS (que tiene un volumen habitable total de 388 metros cúbicos) La ISS TransHab no sólo habría proporcionado instalaciones para dormir, comer, cocinar, higiene personal, ejercicio, entretenimiento, almacenamiento y protección frente a las tormentas de radiación.

Referente: Ice Home Mars Habitat
 NASA Langley Research Center (2017)

Lugar: Marte
 Capacidad: 12 astronautas
 Masa: 988.3 Kg
 Volumen: 400 m³

Dimensiones: d_{contraído}=6.7m d_{expandido}=13.5m l_{contraído}=9.3m l_{expandido}=10.9m
 Materiales: Fibra de vidrio, Mylar, Hielo, HDPE, Nomex
 Presión interior: 1 atm (14.7 psia)
 Tiempo de operaciones: 15 años



El Mars Ice Home es un concepto de hábitat desplegable en Marte desplegable basado en una estructura inflable que incorpora hielo de agua derivado de la utilización de recursos in situ como escudo contra la radiación GCR y como componente estructural. El Mars Ice Home también proporciona un espacio de trabajo amplio y flexible que puede utilizarse para muchas de las actividades clave que serán fundamentales para el éxito a largo plazo de un puesto de avanzada humano en Marte.

Se prevee también el recurso de pequeños ecosistemas artificiales como método de adquisición de recursos propios. Además, el diseño cuenta con un programa acorde a las necesidades de trabajo y sociales para los primeros habitantes marcianos.



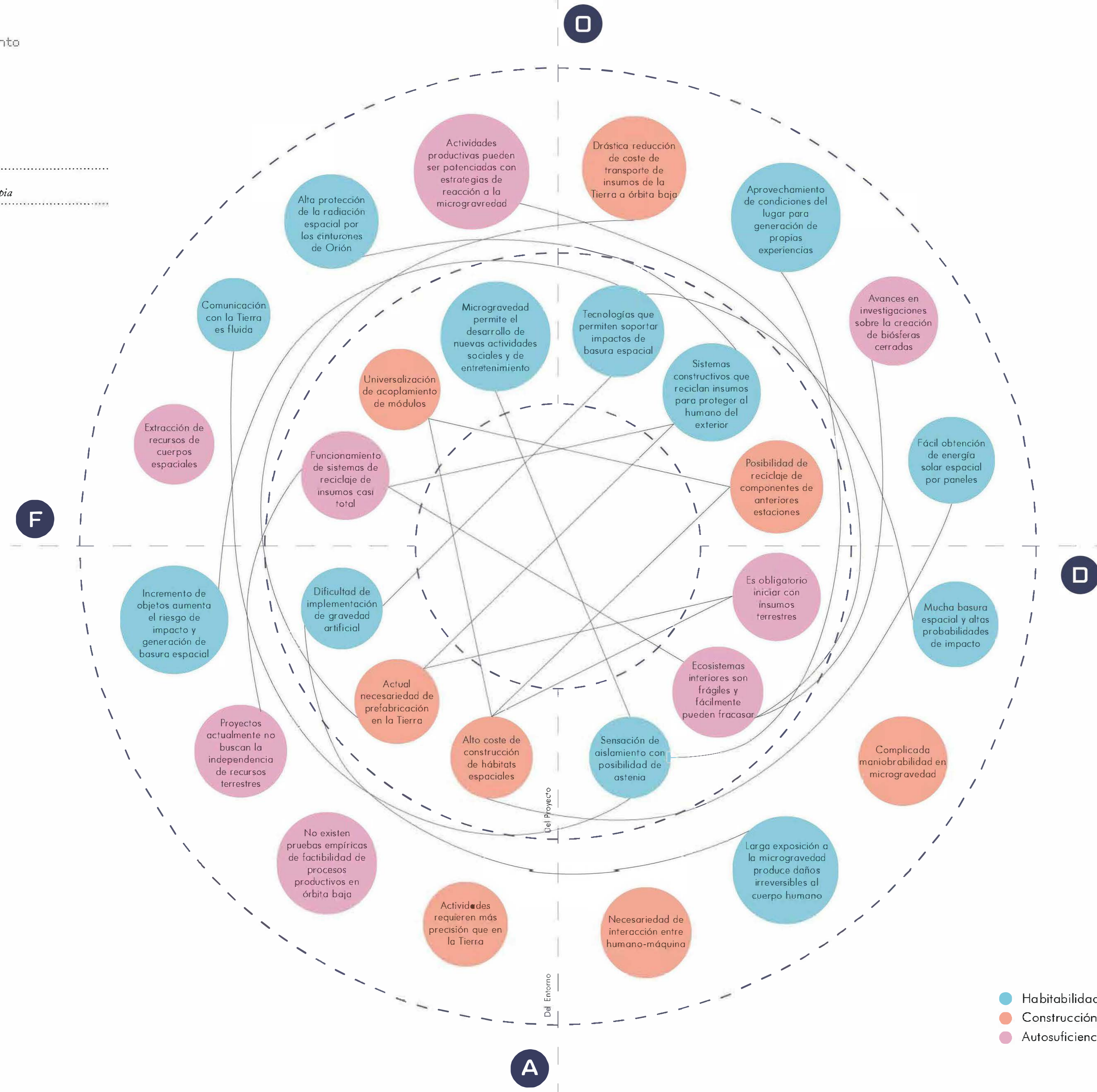
Astronauta en la cúpula de la EEL
Fuente: NASA (2015)

> 02 _ 4

Reconocimiento

El hábitat propuesto en esta tesis reconoce las condiciones mencionadas anteriormente. A partir de ellas, se delimita una serie de criterios necesarios antes de afrontar directamente estrategias de diseño.

Ejercicio FODA
Fuente: Elaboración Propia



- Habitabilidad
- Construcción
- Autosuficiencia

El aprendizaje de las estaciones espaciales antecesoras y la propuesta de introducir a los ecosistemas artificiales como eje de diseño denota 3 variables fundamentales de análisis: la habitabilidad, la construcción y la autosuficiencia. La interrelación de las mismas en base al propio diseño del proyecto y a las condiciones provistas del entorno proponen oportunidades para la aproximación al diseño

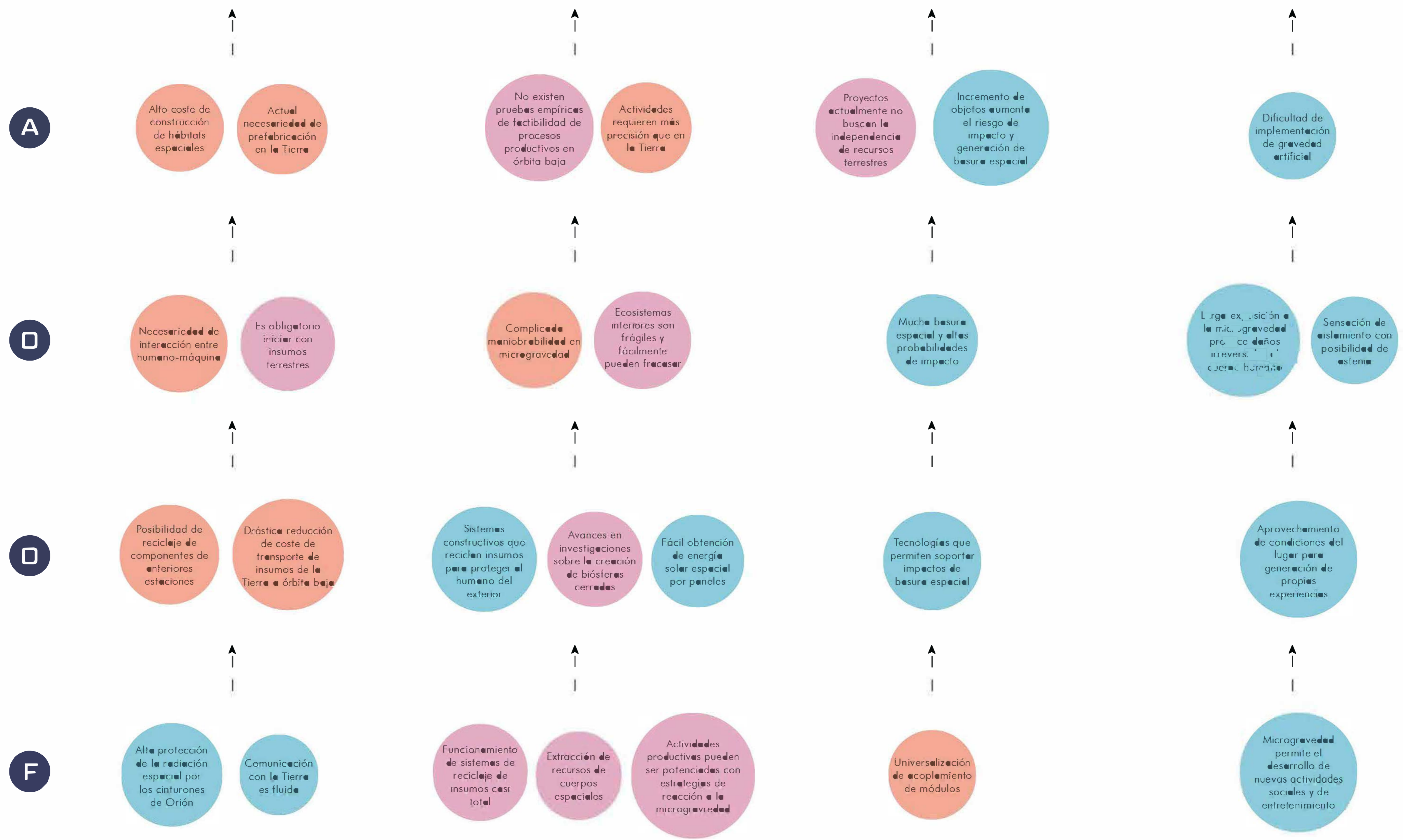
Ejercicio Estrategias
Fuente: Elaboración Propia

1 HABILITAR las condiciones ideales para la supervivencia humana

→ → **2 ADAPTAR** actividades de producción terrestres a las condiciones de la órbita baja

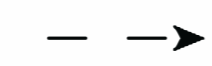
→ → **3 PROYECTAR** el diseño del hábitat hacia un crecimiento basado en la progresividad de la adaptación

→ → **4 VINCULAR** experiencias humanas hacia este nuevo contexto con sus propias condiciones



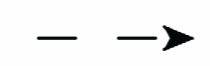
1 HABILITAR

las condiciones ideales para la supervivencia humana



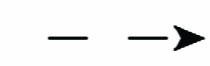
2 ADAPTAR

actividades de producción terrestres a las condiciones de la órbita baja



3 PROYECTAR

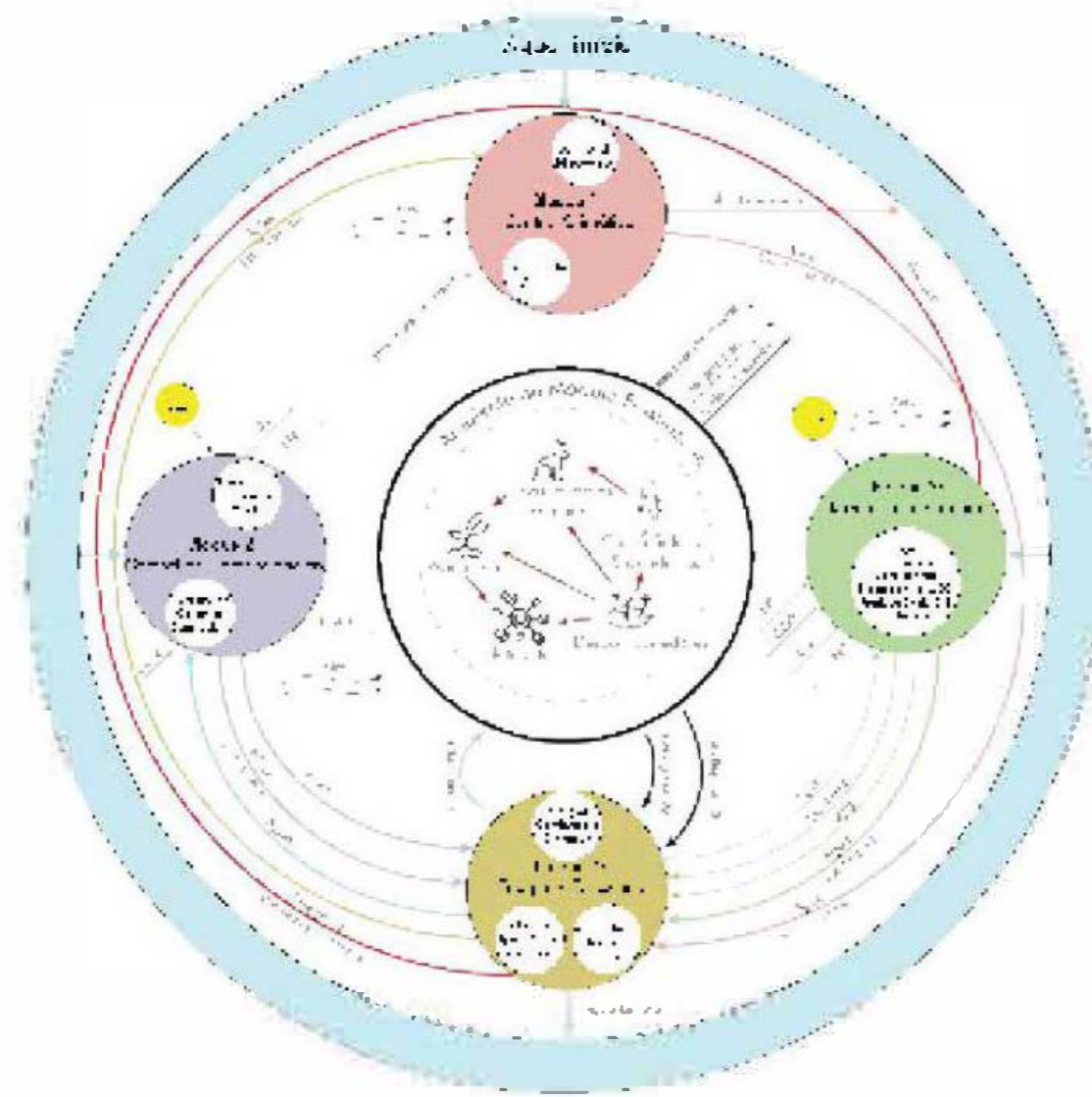
el diseño del hábitat hacia un crecimiento basado en la progresividad de la adaptación



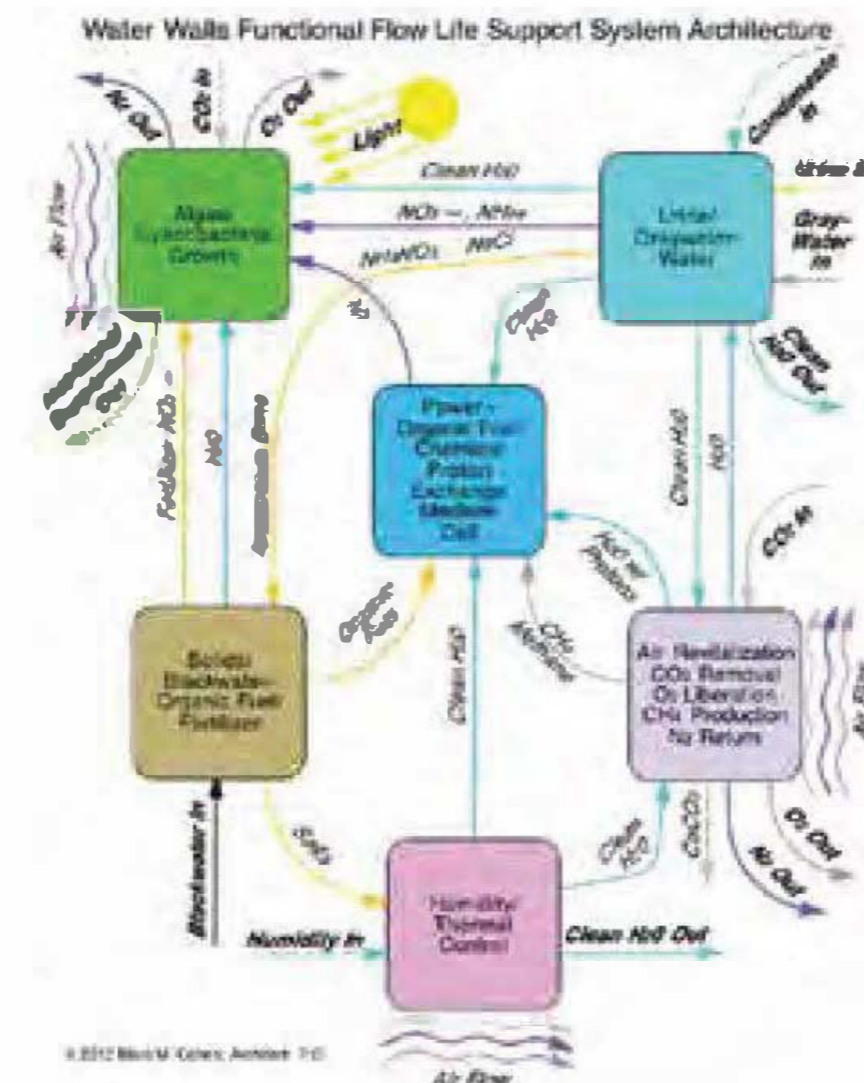
4 VINCULAR

experiencias humanas hacia este nuevo contexto con sus propias condiciones

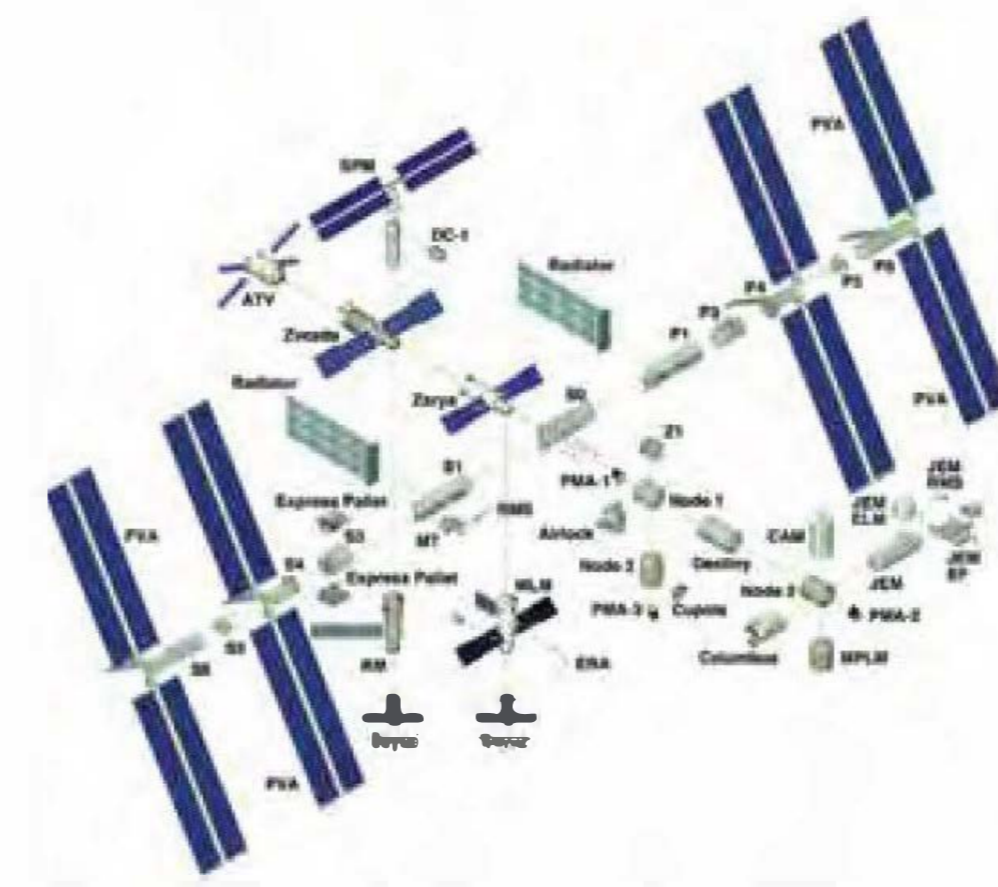
Ejercicio Estrategias
Fuente: Elaboración Propia



Utilización de muros de agua con procesos naturales como protección de las condiciones extremas del exterior
Fuente: Cohen, Marc (2013)



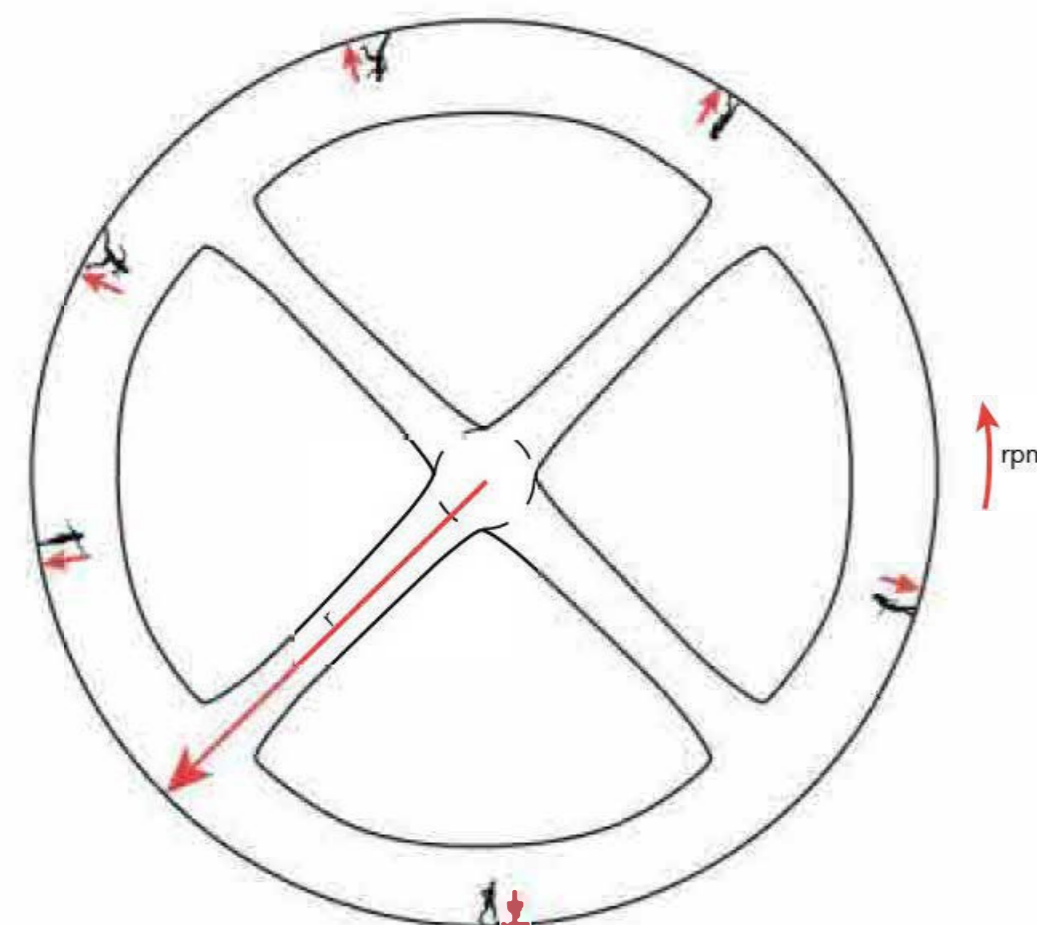
Procesos naturales como medio de generación de energía
Fuente: Cohen, Marc (2013)



Modularidad de la Estación Espacial Internacional como crecimiento progresivo
Fuente: NASA (2021)



Exploración de paisajes a través de la inclusión de volumetrías y colores
Fuente: Bagley, Phnam (2021)



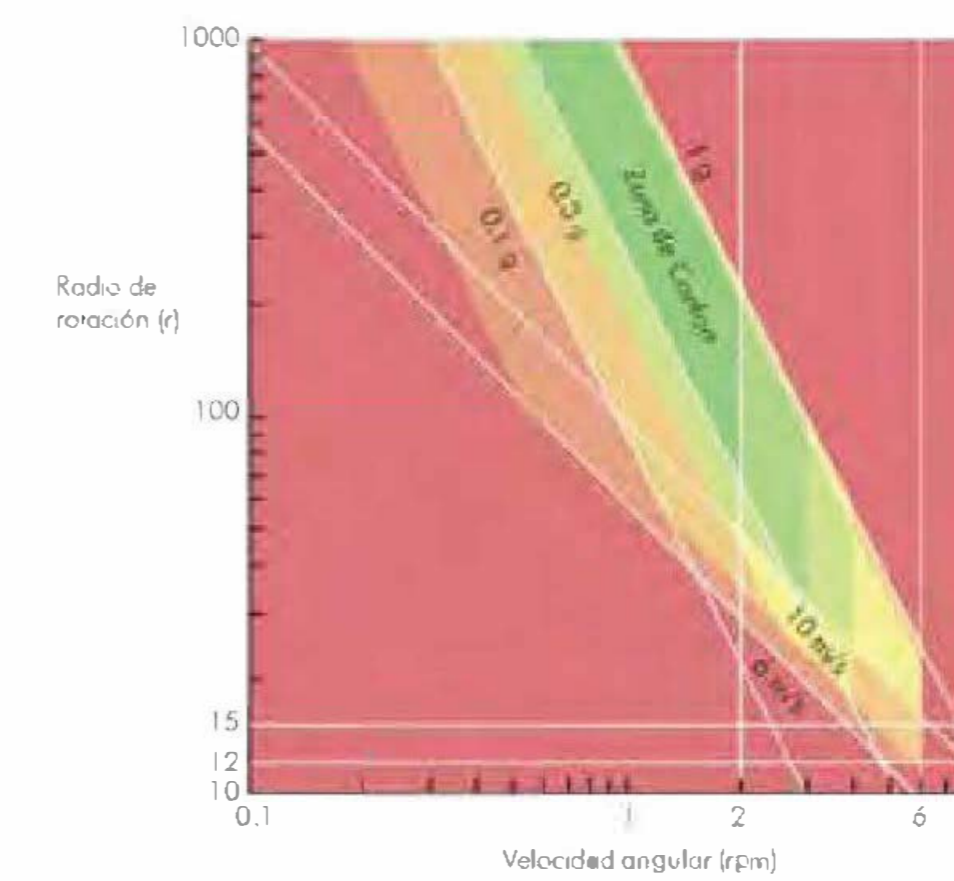
Gravedad artificial como aseguramiento de supervivencia del habitante en largos periodos
Fuente: Elaboración propia



Agricultura en el exterior de la Tierra
Fuente: Enç & Basarir (2020)

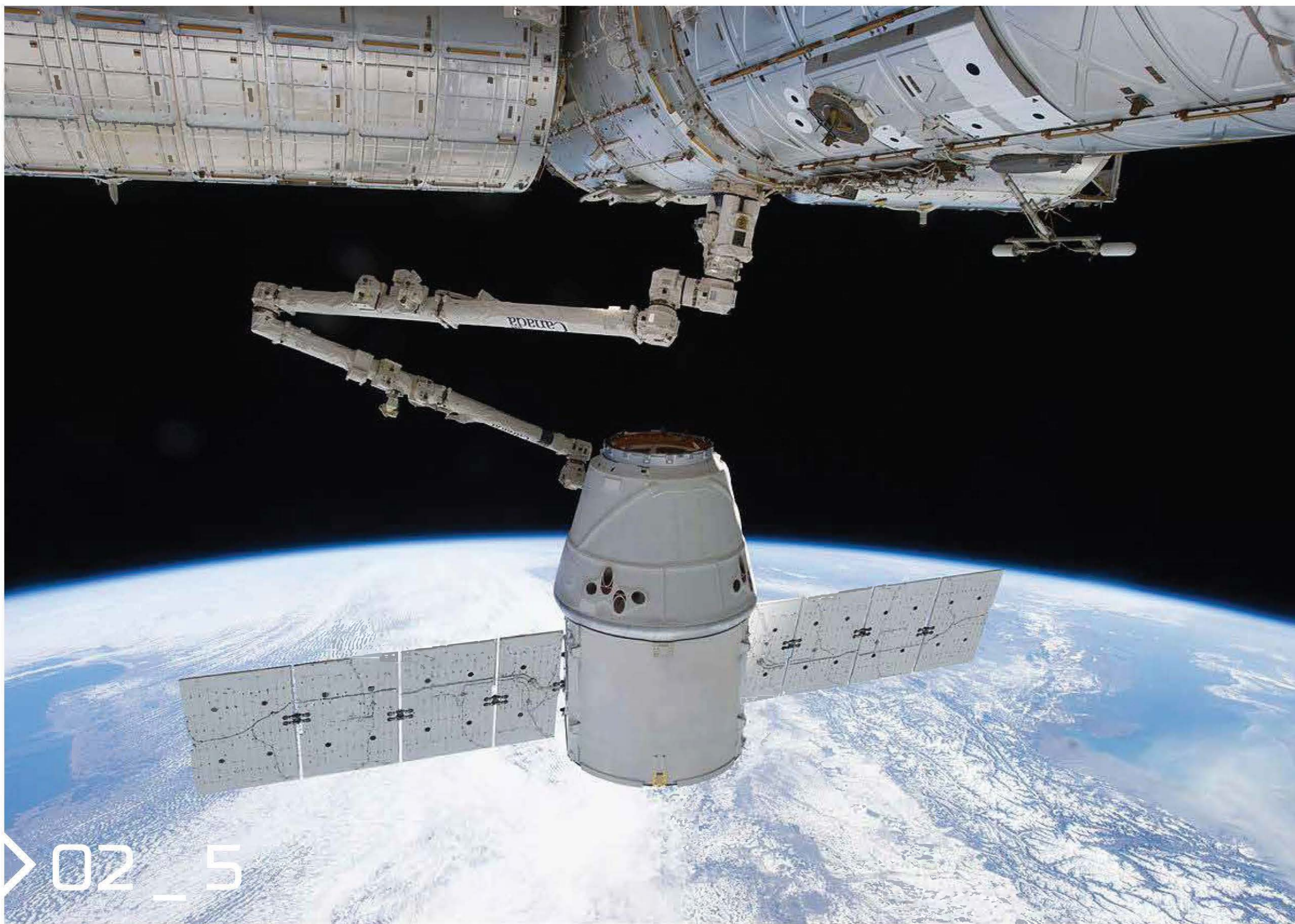


Procedimientos de fabricación digital en el espacio
Fuente: Boyle, Alan (2016)



Posibilidad de exploración distintos valores de gravedad zona de confort
Fuente: Hall, Theodore (1995)

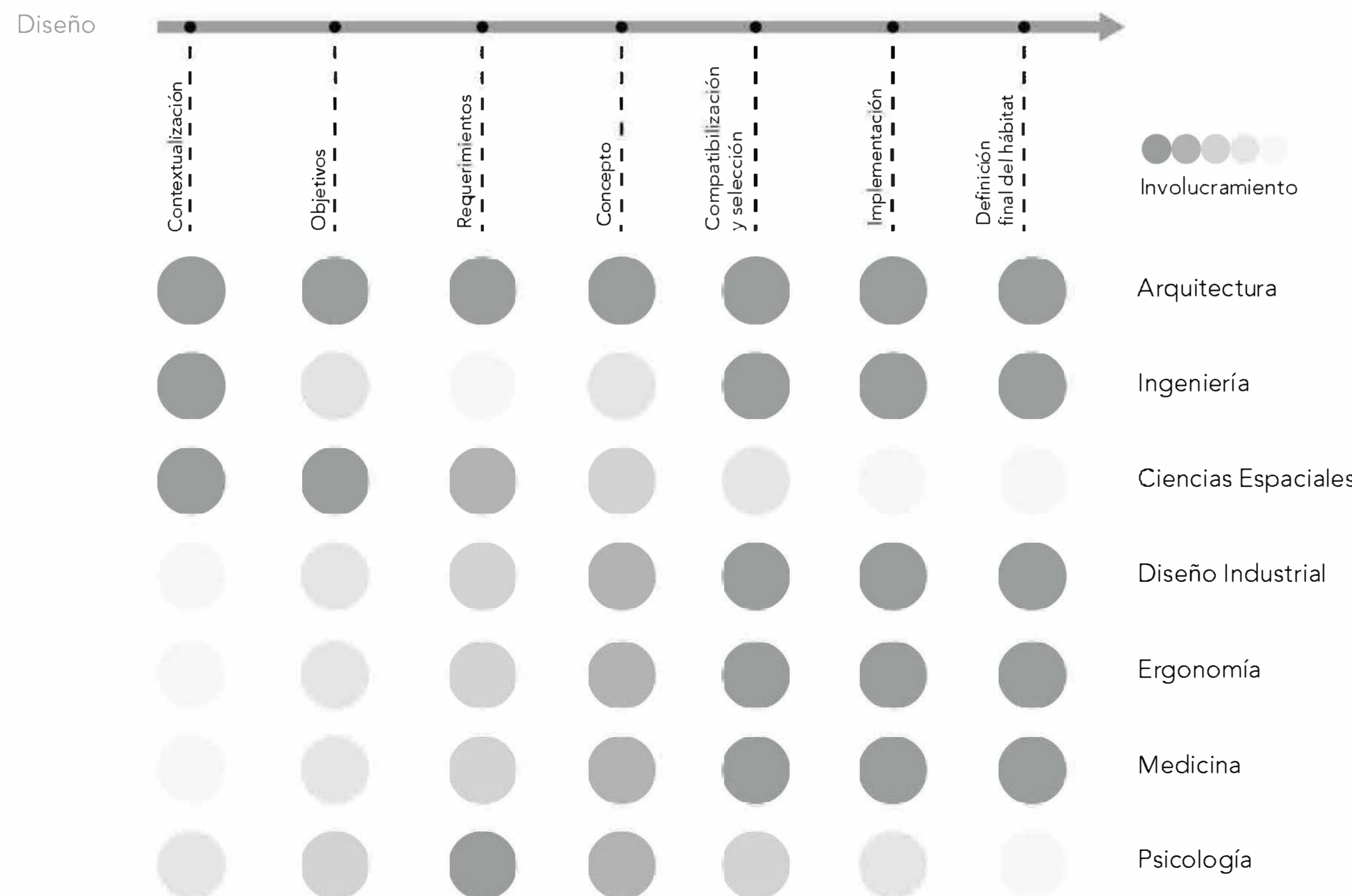
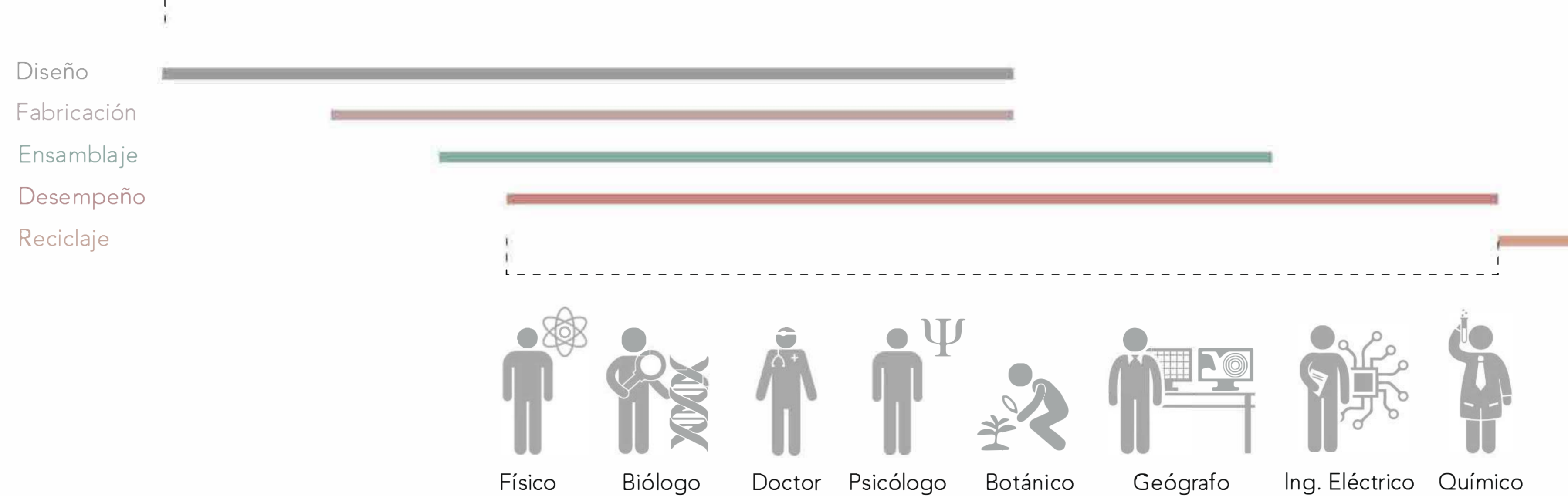
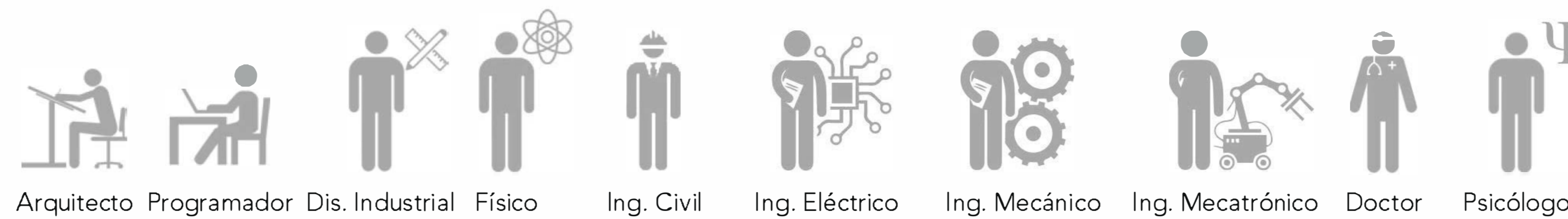
Acoplamiento de la Cápsula Dragon
Fuente: NASA (2014)



> 02_5

Determinación

El análisis culmina en una serie de decisiones que definirán el rumbo del proyecto. Estas decisiones toman información desde la disciplina de la arquitectura espacial en la actualidad tanto como los avances que sus investigaciones han alcanzado.



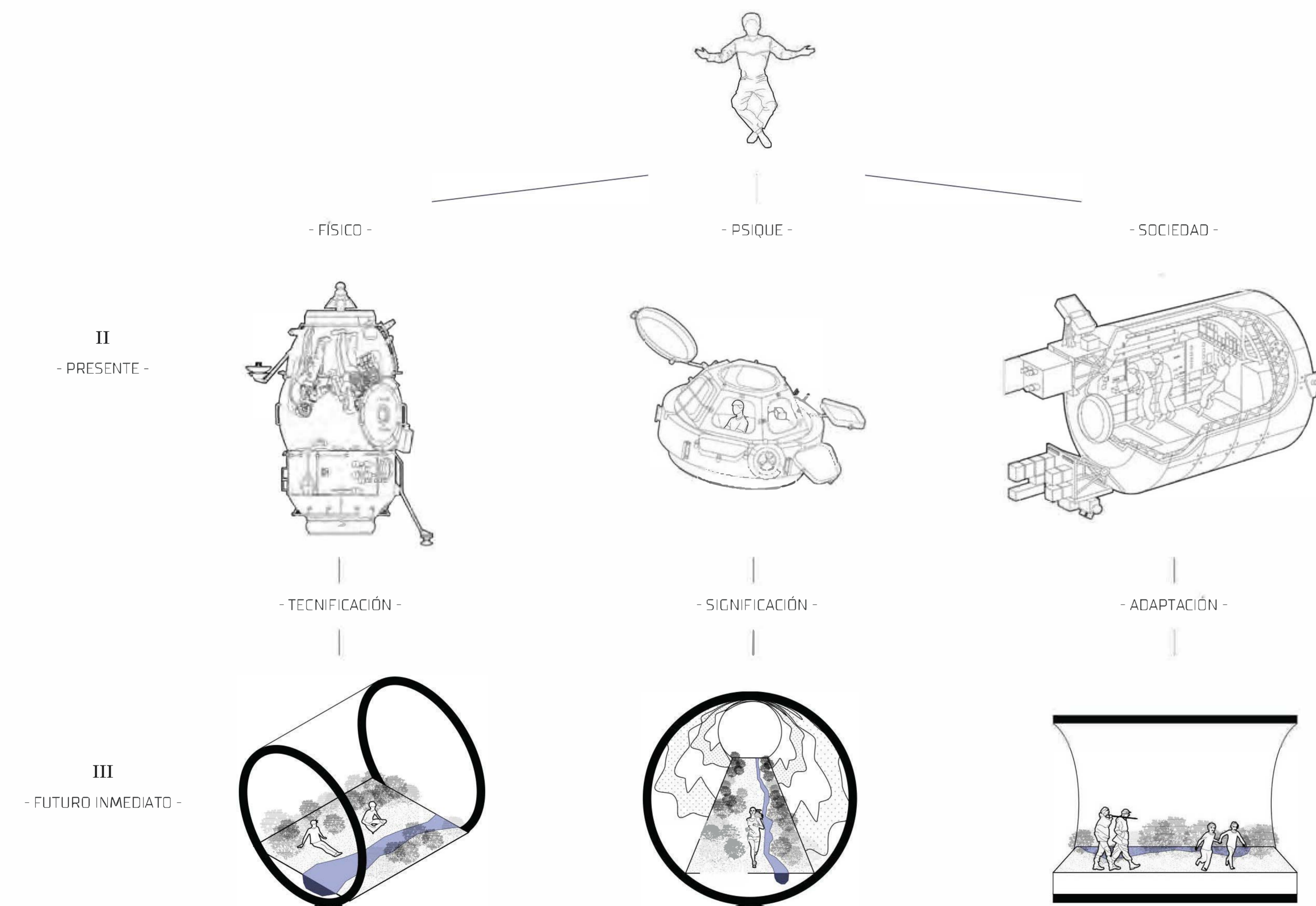
En base a los estudios de Häuplik-Meusburger & Bannova (2016), se determinaron 5 etapas para el desarrollo del hábitat: diseño, fabricación, ensamblaje, performance y reciclaje. Durante todo este proceso, diversas disciplinas se encontrarán monitoreando la totalidad del proceso, incluyendo la arquitectura. Asimismo, estarán involucradas en el financiamiento y desarrollo de las operaciones.

La dos primeras etapas serán realizadas en la superficie terrestre debido a los límites tecnológicos existentes actualmente. El diseño modular permitirá que el ensamblaje sea realizado in situ, es decir, en órbita baja. Gran parte de este proceso se beneficiará al reciclar componentes de su predecesora, la Estación Espacial Internacional. En la etapa de performance es cuando las investigaciones se llevarán a cabo, iniciando por la estandarización de procedimientos requeridos por los científicos. Por último, se considerará el reciclaje del proyecto para futuras misiones.

Asimismo, Häuplik-Meusburger & Bannova (2016), ambas arquitectas espaciales, definen a la disciplina arquitectónica como el principal eje articulador de la etapa de diseño de los hábitats espaciales. Esto se debe a que la función fundamental de la arquitectura es la articulación de las variables de diseño con el fin de determinar una formalización ideal de las mismas.

Ahí radica la diferencia entre la arquitectura y la ingeniería: “Engineers think architects make things prettier, difficult to build, and more expensive. Some can, but space architects are different. They analyze like an engineer and synthesize like an architect.” [Los ingenieros piensan que los arquitectos hacen las cosas más bellas, difíciles de construir y más caras. Algunos pueden, pero los arquitectos espaciales son diferentes. Ellos analizan como un ingeniero y sintetizan como un arquitecto] (Griffin, 2014, p. 2).

Tres procesos de mejoramiento
Fuente: *Elaboración propia*



Tecnificación: exploraciones sobre el confort físico en el espacio para el ser humano

Husserl (2008):

Tomemos una humanidad cerrada, en su territorio y su tiempo histórico (podemos hablar de espacio-temporalidad histórica), de ella debemos atender que el territorio no es una porción de tierra fija y que un pueblo nómada que permanece unido en su tradición cuando cambia de lugar de residencia, sigue teniendo en su tiempo histórico su lugar de residencia.

El territorio no se abandona simplemente desplazándose de un lugar a otro porque perdura no sólo en las costumbres de las comunidades sino también en el cuerpo de las personas. La anatomía y psique del humano es un conjunto de hábitos en un entorno concreto definido por las cualidades del territorio que se habita: un clima y una topografía. Es decir, estas habitualidades se deben a un bioma, un mundo circundante compuesto por seres bióticos y abióticos.

Correlación: exploraciones sobre las futuras sociedades en el espacio

Lefebvre (1974):

... habitar, para el individuo o para el grupo es apropiarse de algo. Apropiarse no es tener en propiedad, sino hacer su obra, modelarla, formarla, poner el sello propio. (...) Cualquier ciudad,

cualquier aglomeración, ha tenido y tiene una realidad o una dimensión imaginaria (...) y es necesario hacer un sitio a estos sueños, a este nivel de lo imaginario, de lo simbólico, espacio que tradicionalmente ocupaban los monumentos.

La relación entre la comunidad y el espacio habitable se construye mediante la plasticidad que brinda el espacio hacia los requerimientos de ellos. Esta conversación entre ambos entes demanda una plasticidad del espacio en su dimensión histórica.

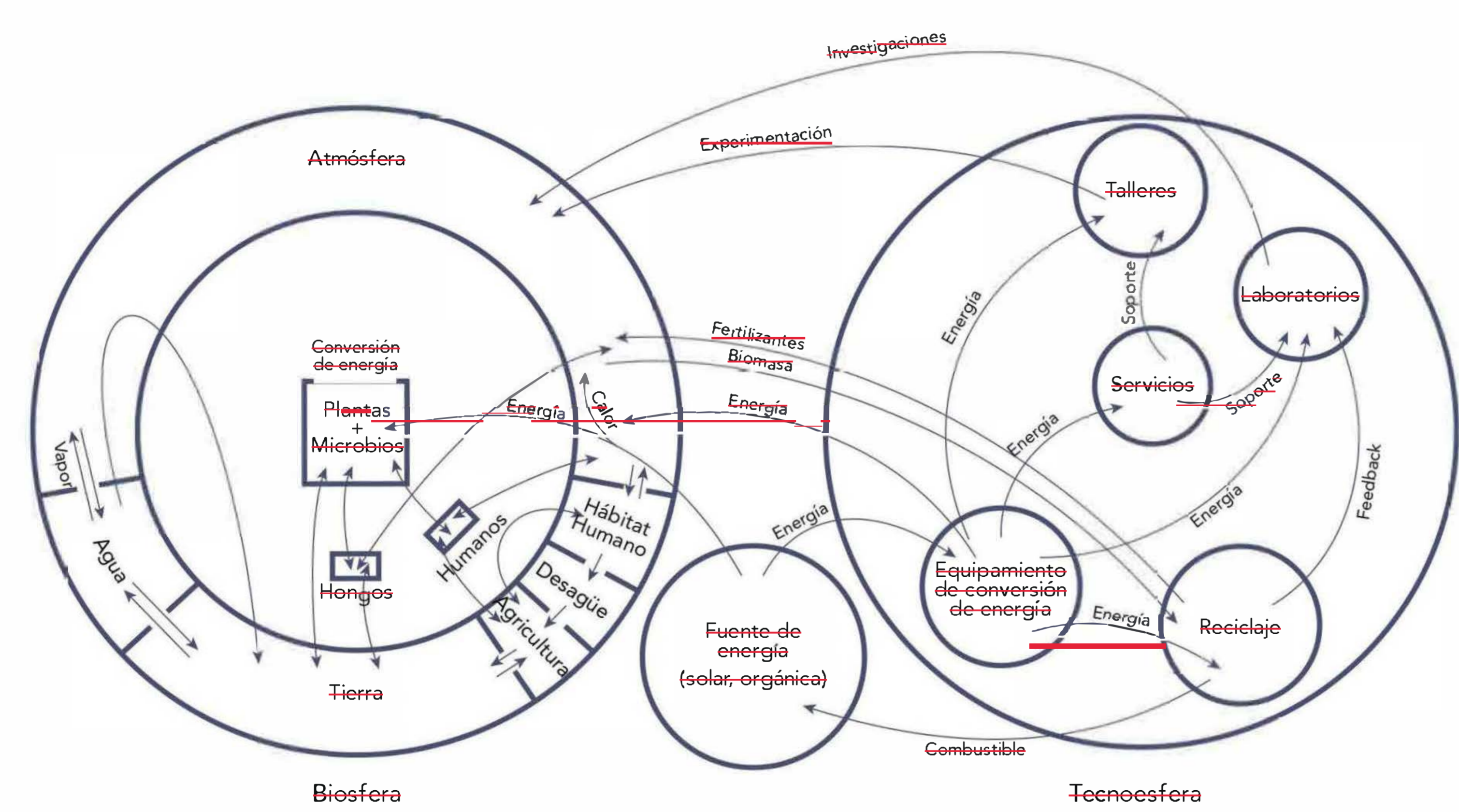
Significación: exploraciones vivenciales en el espacio

Heidegger (1927):

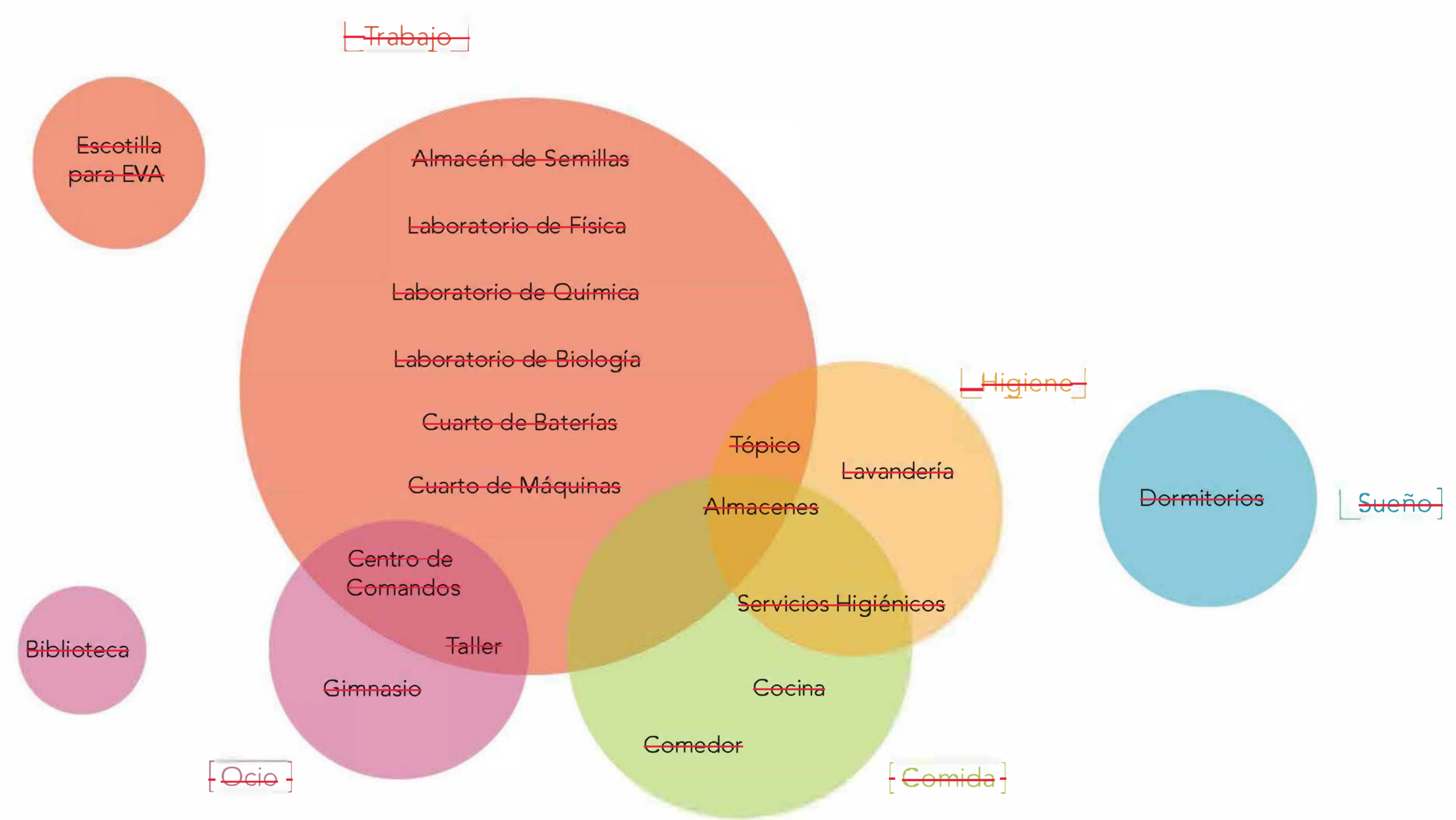
La casa tiene su lado del sol y su lado de sombra; por ellos se orienta la distribución de los "espacios" y, dentro de éstos, la disposición del "mobiliario" de acuerdo, en cada caso, al carácter que tiene de útil. Las iglesias y las tumbas, por ejemplo, están situadas de acuerdo con la salida y la puesta del sol, zonas de vida y de muerte, desde las cuales el Dasein mismo está determinado desde el punto de vista de sus más propias posibilidades-de-ser en el mundo.

La autopercepción humana se encuentra determinada por la espacialización de las ideas y costumbres que están relacionadas directamente al entorno en el que se erigen. El Dasein se nutre de los inputs ideológicos de los espacios y la determinación de los elementos en los que este habita.

Funcionamiento de ecosistema artificial
Fuente: ~~Elaboración propia~~



Programa propuesto para la Máquina de Hábitats
Fuente: ~~Elaboración propia~~

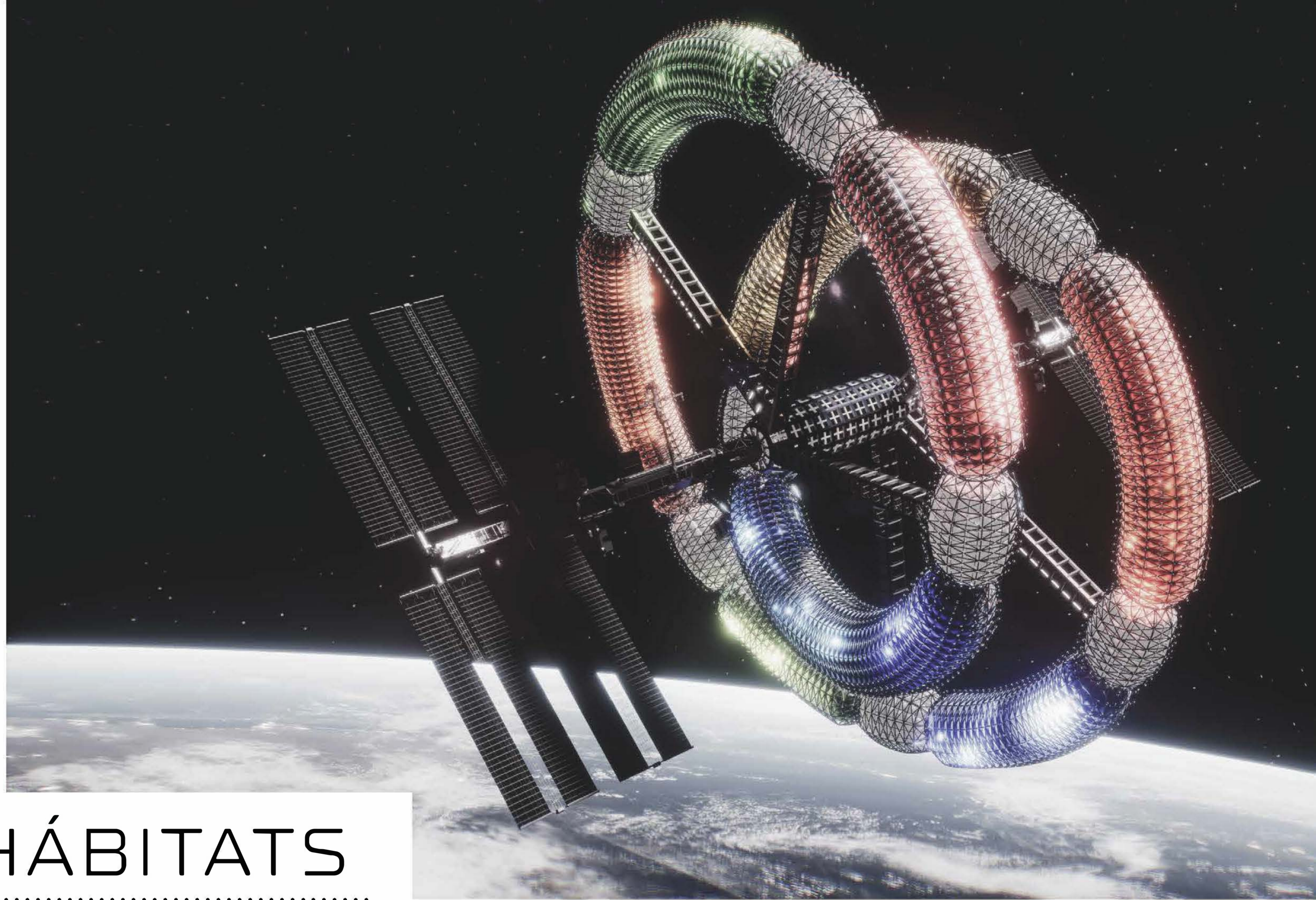


Basándose en el flujo de trabajo del proyecto Biosphere 2, se propuso uno para La Máquina de Hábitats. Alrededor de dos sistemas, la biosfera y la tecnoesfera, es posible controlar el funcionamiento ideal de ecosistemas artificiales. De esta manera, la tecnoesfera es la maquinaria y mecanismos que brindarán los recursos imposibles de conseguir naturalmente en el contexto de la Órbita Baja Terrestre. Además, se depende de una fuente de energía, la cual será tanto solar como orgánica.

El programa propuesto apunta a no diferir en gran medida frente a un laboratorio terrestre común con el fin de continuar con las investigaciones realizadas. Las actividades fuera del trabajo toman gran relevancia en un hábitat destinado a servir como residencia aislada de cualquier condición exterior. De esta manera, los espacios sociales van a ser considerados de gran manera en el proceso de diseño. Asimismo, se plantea un trabajo multidisciplinario con el fin de beneficiar a la mayor cantidad de ciencias. Además, este trabajo complementario ayudará a mejorar las actividades de cada disciplina.

> 03

Planimetría



Proyecto de Fin de Carrera; Marzo 2023

> LA MÁQUINA DE HÁBITATS

Laboratorio de Ecosistemas Artificiales en Órbita Baja Terrestre

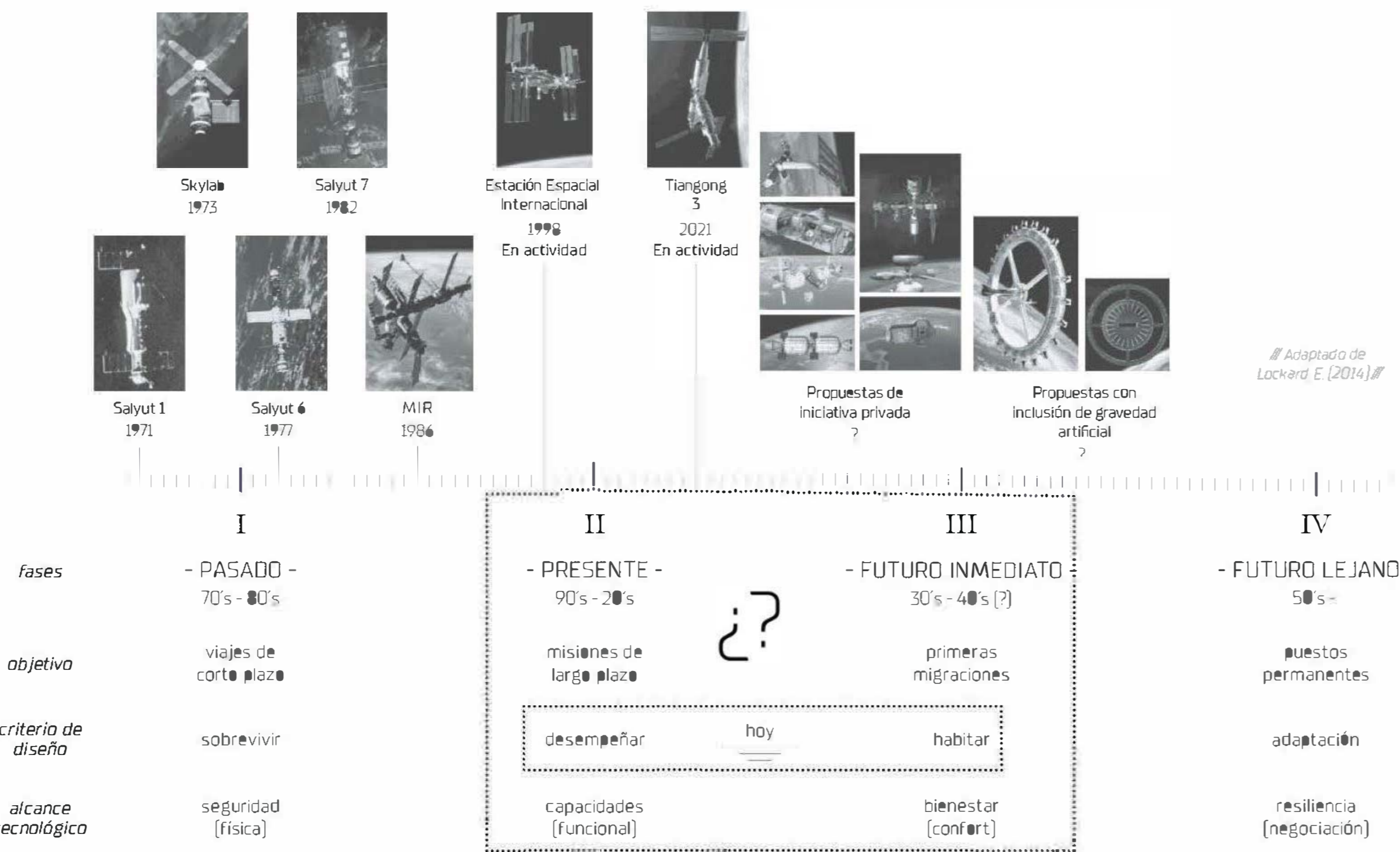
> Autor; César Requejo Peña

> Asesor; Augusto Román

El concepto de machine à habiter es desarrollado por Le Corbusier, quien argumentaba que los edificios debían ser eficaces, como un sistema de mecanismos que sirven a las tareas para las que han sido diseñados. Tomando como premisa que los edificios son destinados al propósito de habitar, este conjunto de mecanismos toman una situación extrema en el caso de las estaciones espaciales.

Desde la década de los 70's, estos hábitats en el espacio han resuelto de distintas maneras el problema de habitar al aislarse de las condiciones extremas de la Órbita Baja Terrestre. Esta cuestión se ha resuelto mediante distintas tecnologías disponibles en cada época, las cuales se han ido perfeccionando progresivamente hasta el punto de ser capaces de mantener la vida humana por varios meses. Además, estas son capaces de optimizar el reciclaje de recursos con el fin de reducir el coste y trabajo de transporte desde la Tierra.

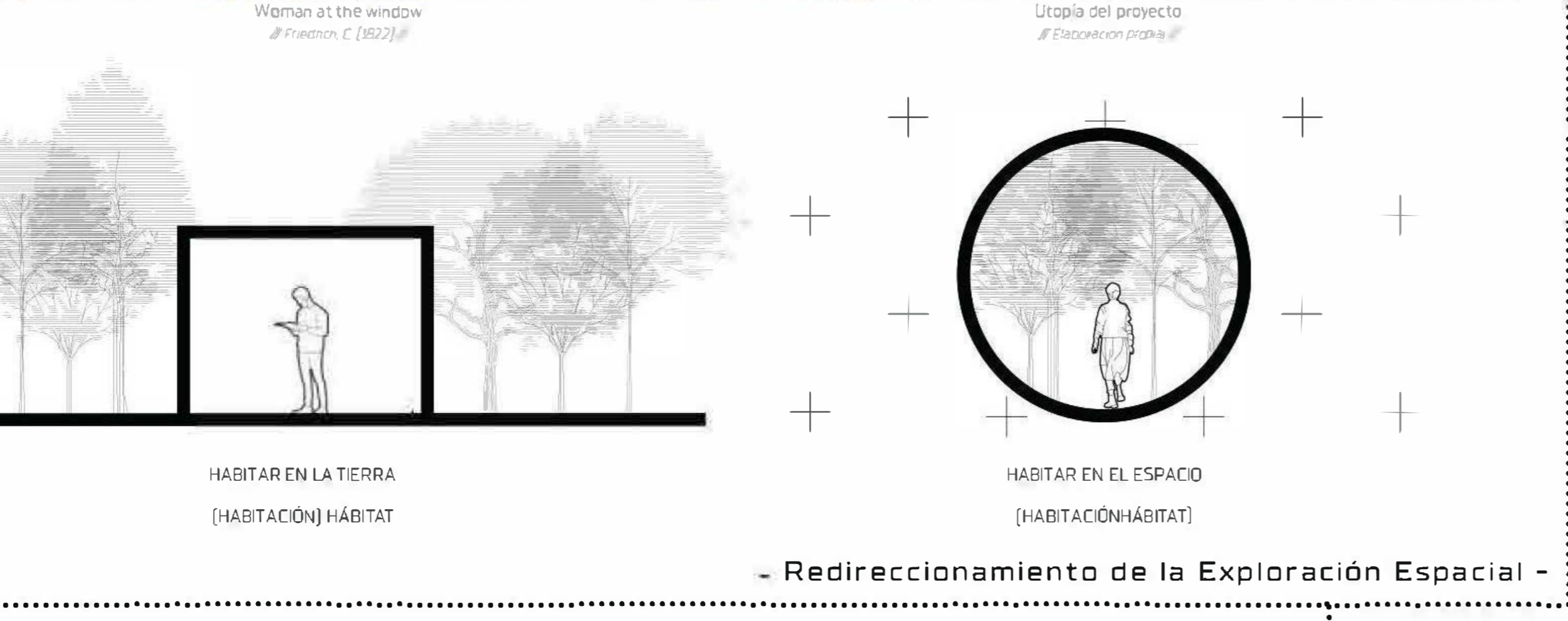
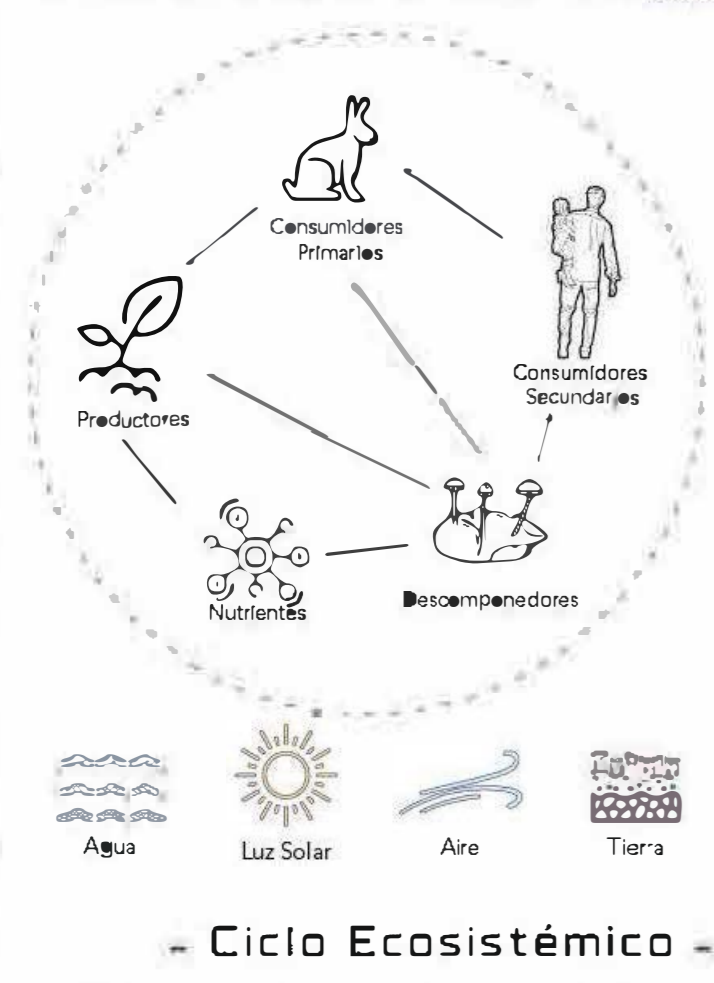
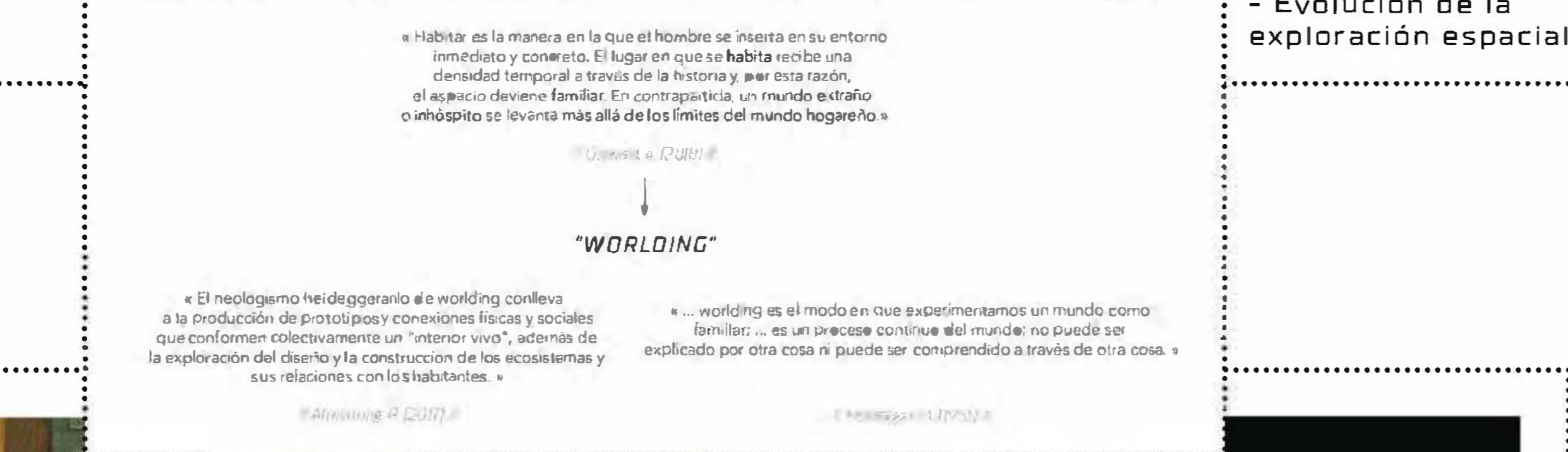
La EEI forma parte de una de las etapas del largo camino de la exploración espacial. Sin embargo, esta estación culminará sus funciones en 2028, lo cual daría fin a esta presente etapa. El principal objetivo de ella fue el garantizar las condiciones ideales a los astronautas para la experimentación de la vida humana en el espacio.



- Experiencia del Entorno -
// Elaboración Propia //

Esta tesis encuentra su objetivo en el cambio de paradigma que supondrá esta nueva etapa de la exploración espacial cuyo principal objetivo dejará de ser únicamente la investigación del entorno. Esta se enfocará en el habitar humano, hacia las primeras migraciones: incentivará insólitas relaciones entre el ser humano y este contexto. Este proceso exige a la arquitectura una profunda reflexión sobre la relación del ser humano con su entorno tangible e intangible.

Desde teorías del habitar y técnicas constructivas, se indaga y plantea que la exploración espacial continúe hacia la siguiente etapa con base en lo que ha permitido al ser humano su evolución y subsistencia: la Tierra. Bajo el concepto de "worlding", se plantea que la arquitectura espacial tome como eje a los ecosistemas, en lugar del aislamiento de ellos. La máquina de hábitats plantea cuestionar la mirada de la arquitectura como refugio del ecosistema y tomar a este como eje de diseño para poder utilizar sus ciclos como fuente de producción y renovación de los recursos necesarios para la supervivencia humana en el espacio.



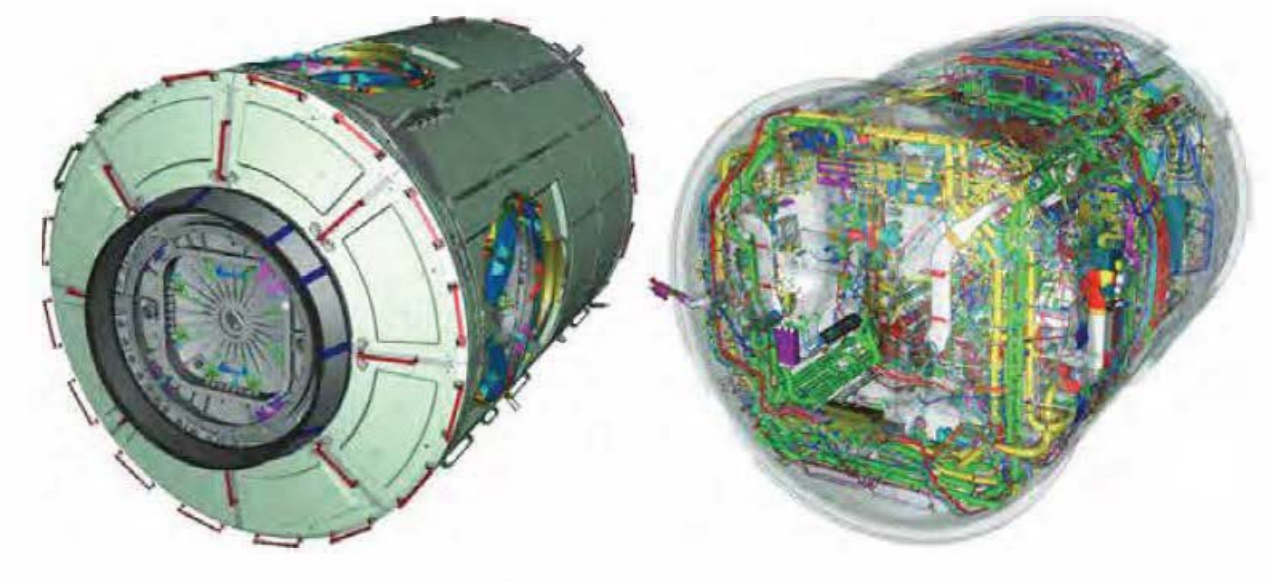
1998 - 2028
periodo de actividad

915.6 m
volumen habitable

73 x 109 m
dimensiones

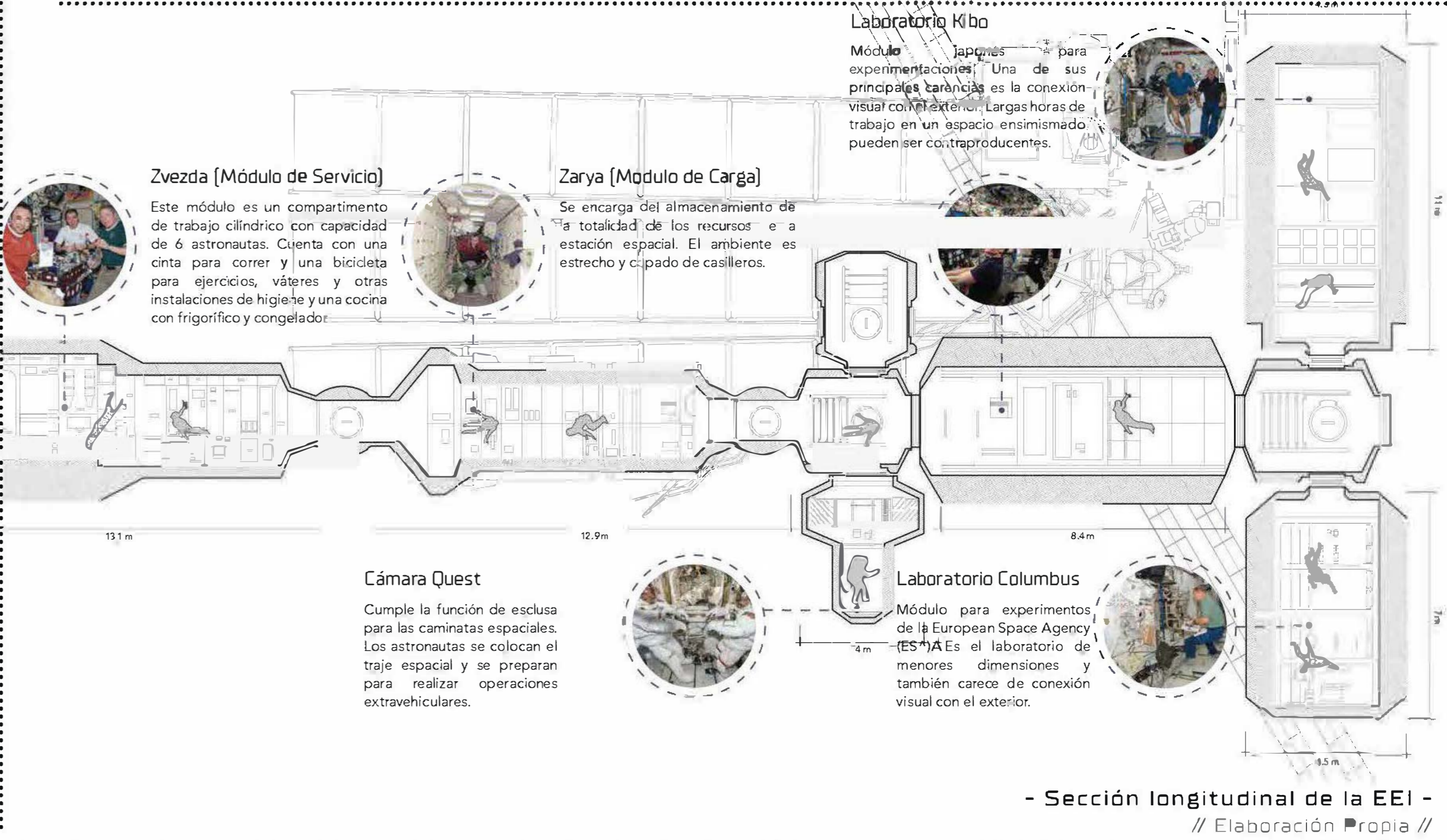
1 atm
presión interior

6 personas por
6 meses
misiones



Sistemas de Soporte Vital de Módulos en la EEI
// European Space Agency (2010) //

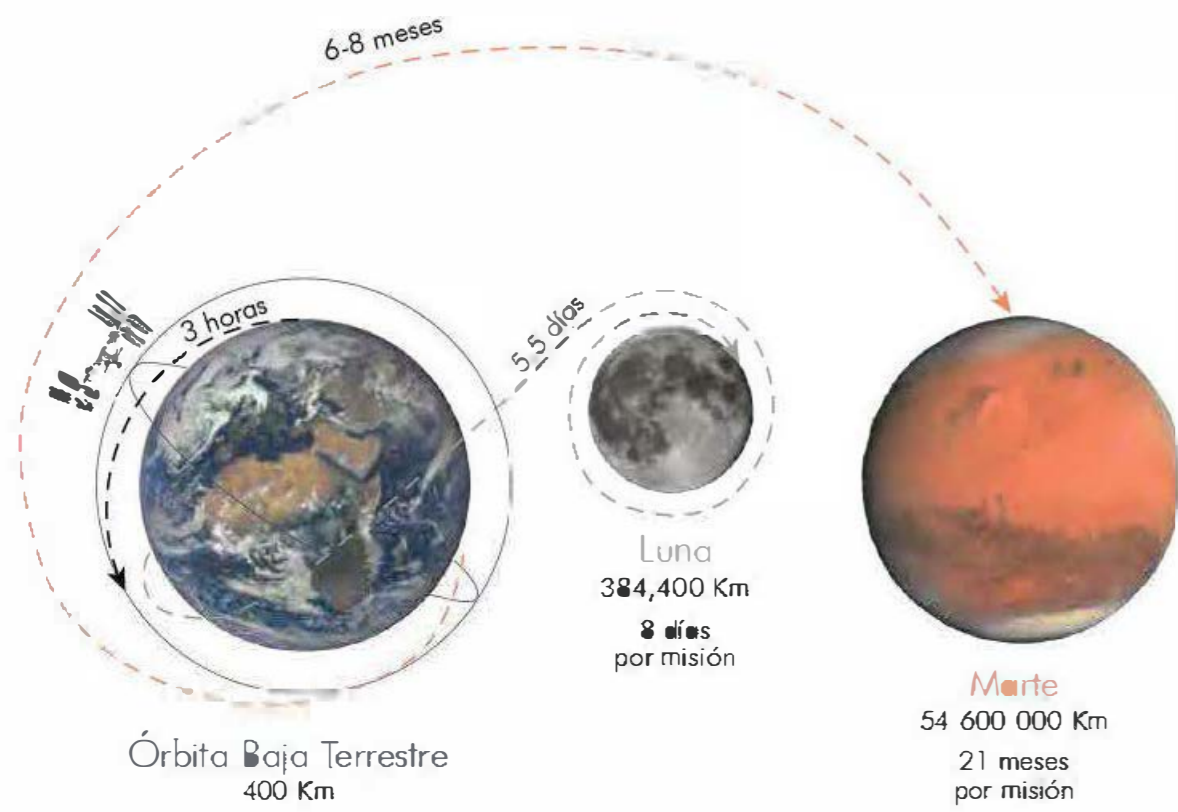
- Estado Actual de la Estación Espacial Internacional -



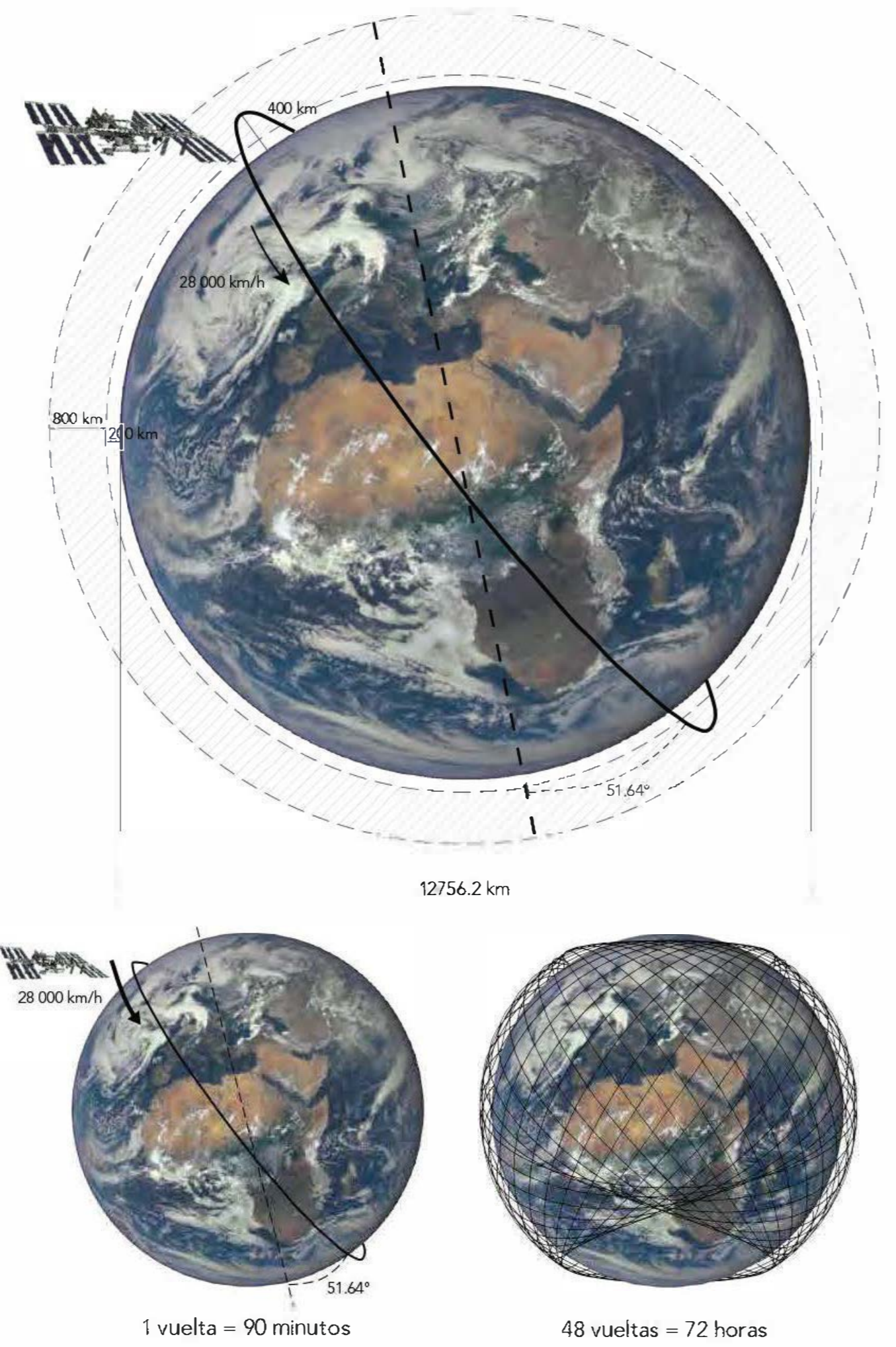
- Sección longitudinal de la EEI -
// Elaboración Propia //

Las condiciones a ensayar se tomarán de la Órbita Baja Terrestre, a 400 km sobre la superficie, donde la EEI ha cumplido sus labores por más de 20 años. Es ideal por su posicionamiento como punto intermedio entre la Tierra y los futuros destinos de la exploración espacial: la Luna y Marte.

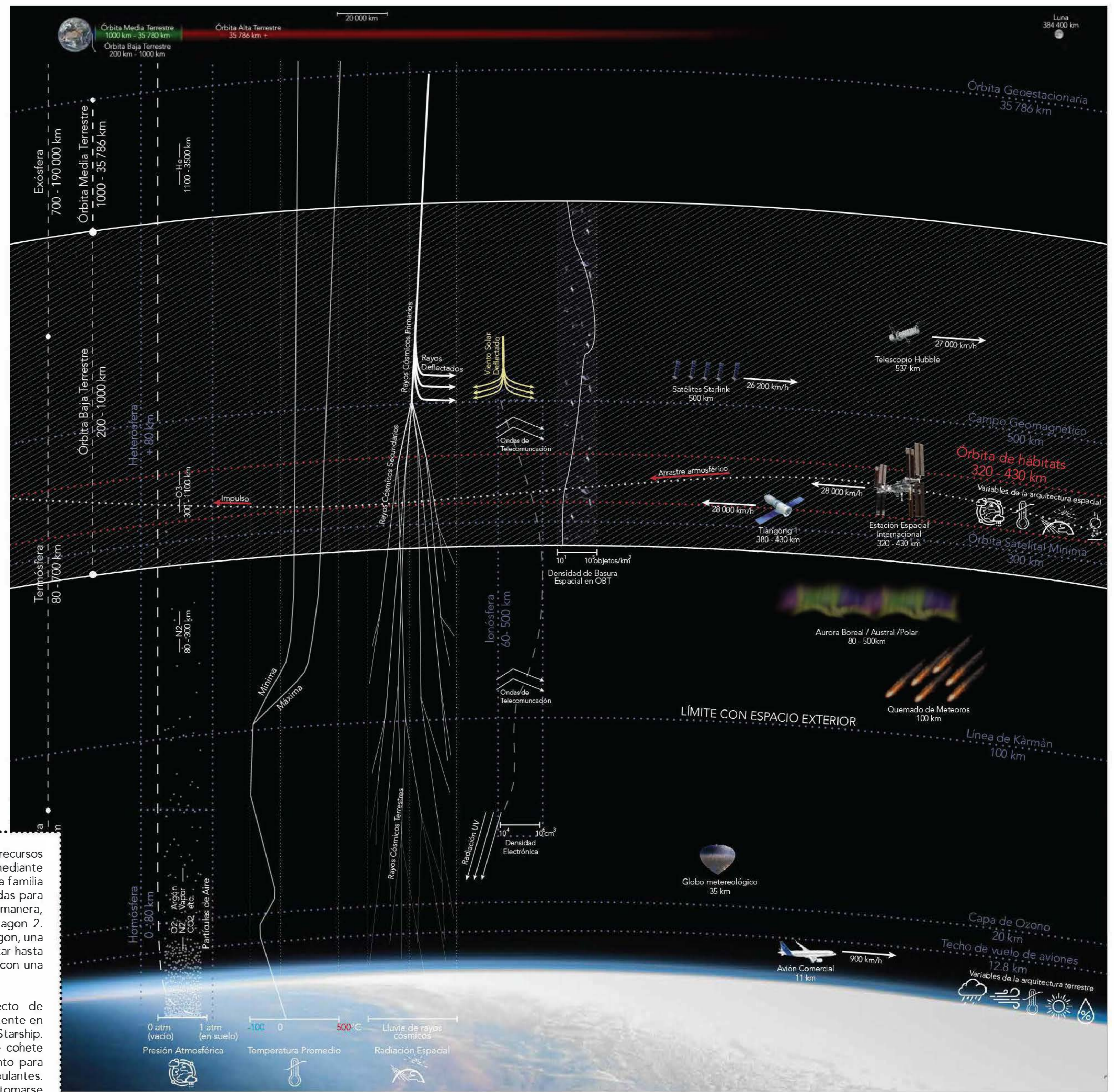
Tanto como sus antecesoras, el hábitat espacial en Órbita Baja Terrestre, la Estación Espacial Internacional, orbita la Tierra 1 vez cada 90 minutos. Se desplaza a una velocidad de 28 000 km/h y con una inclinación de 51.64° respecto al eje terrestre mientras evita colisiones con otros objetos que se encuentran en esta zona, como satélites o basura espacial. Además, esta órbita se desplaza cada vez que se completa. Gracias a ello, la EEI recorre toda la Tierra cada 3 días, por lo que es posible mantener el transporte de recursos con cada lugar de lanzamiento en la superficie terrestre.



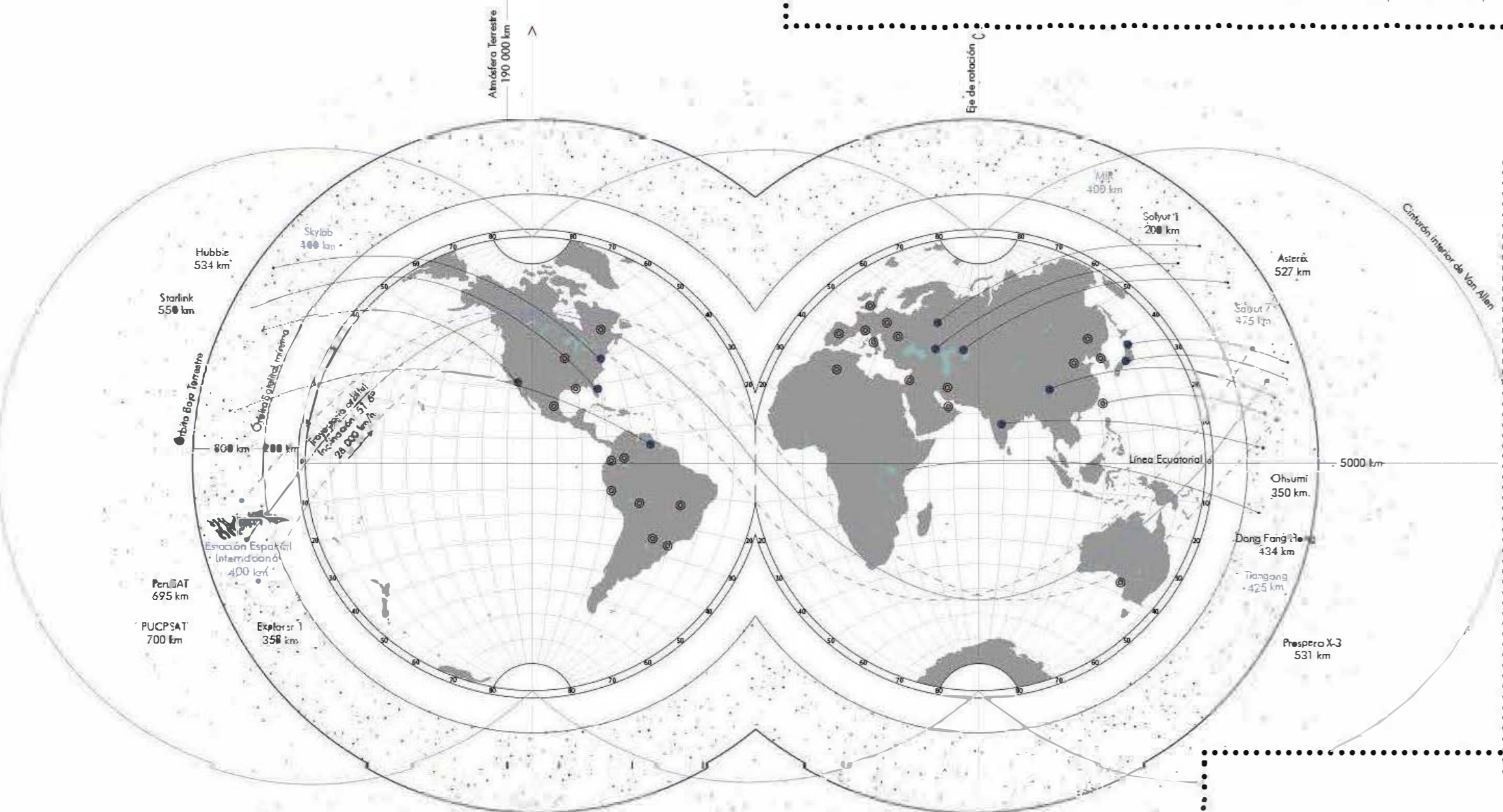
- Relación con la Luna y Marte -



- Órbita Baja Terrestre y recorrido orbital de la EEI -
// European Space Agency [2020] //



- Condiciones en la Órbita Baja Terrestre -



- Conexiones y Relaciones con la Tierra -

Una de las maneras de transportar recursos a las estaciones espaciales se da mediante los vehículos Progress. Estos son una familia de naves no tripuladas rusas utilizadas para llevar víveres y combustible. De igual manera, se utiliza la cápsula reutilizable Dragon 2. Cuenta con dos variantes: Crew Dragon, una cápsula espacial capaz de transportar hasta siete astronautas, y Cargo Dragon, con una capacidad de 6000 kg.

Por otro lado, para este proyecto de investigación se tomarán principalmente en cuenta las dimensiones del cohete Starship. Esta selección se debe a que este cohete cuenta con distintas variaciones tanto para carga como para transporte de tripulantes. Además, se diseñó con el fin de tomarse para uso masivo y con fines comerciales; por ello, el consumo de combustible es eficiente y barato en comparación a sus antecesoras.



- Progress, Dragon 2 y Starship -

Altura	100m	75m	50m	25m	0m
Año	2011	2011	2014	1998	
Altura	6.6 m	8.4 m	9 m	100.000 kg	128 m (max)
Carga	6000 kg	12000 kg	10000 kg	10000 kg	
Precio por kg	\$185	\$158	\$128	\$128	

Actualmente utilizados / Inicio en 2023

- Selección de Vehículo de transporte -

- 0 atm (Vacío)** // NASA [2014] // Composición Atmosférica
- 157°C – 121°C** en exterior de estaciones espaciales // NASA [2011] // Temperatura
- 220 mSv/año** radiación recibida por astronautas // NASA [2020] // Radiación Espacial
- 0 G** // NASA [2020] // Gravedad

- Variables de la Arquitectura Espacial en Órbita Baja Terrestre -
// Yegen, E. [2019] //



TECNIFICACIÓN

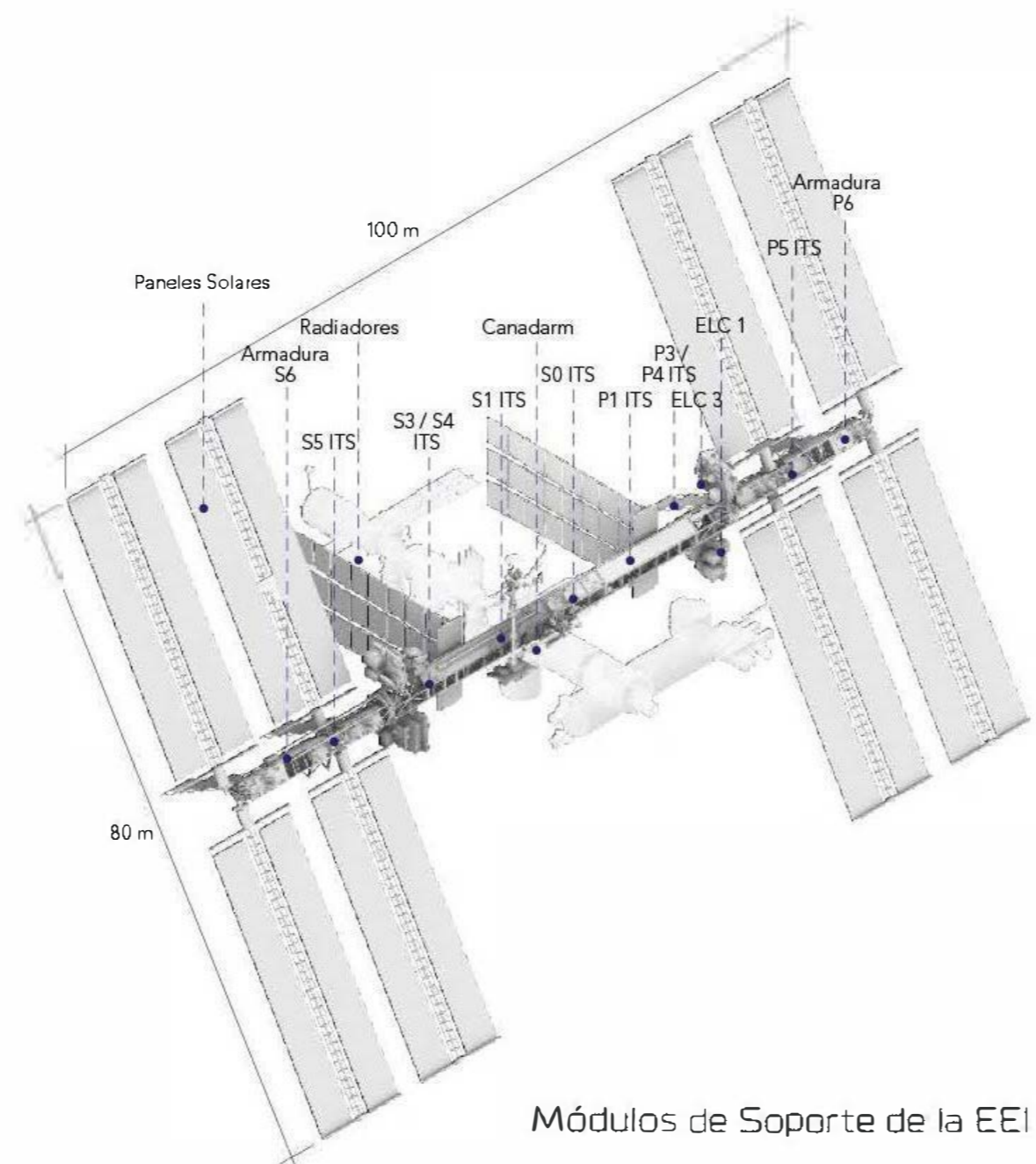
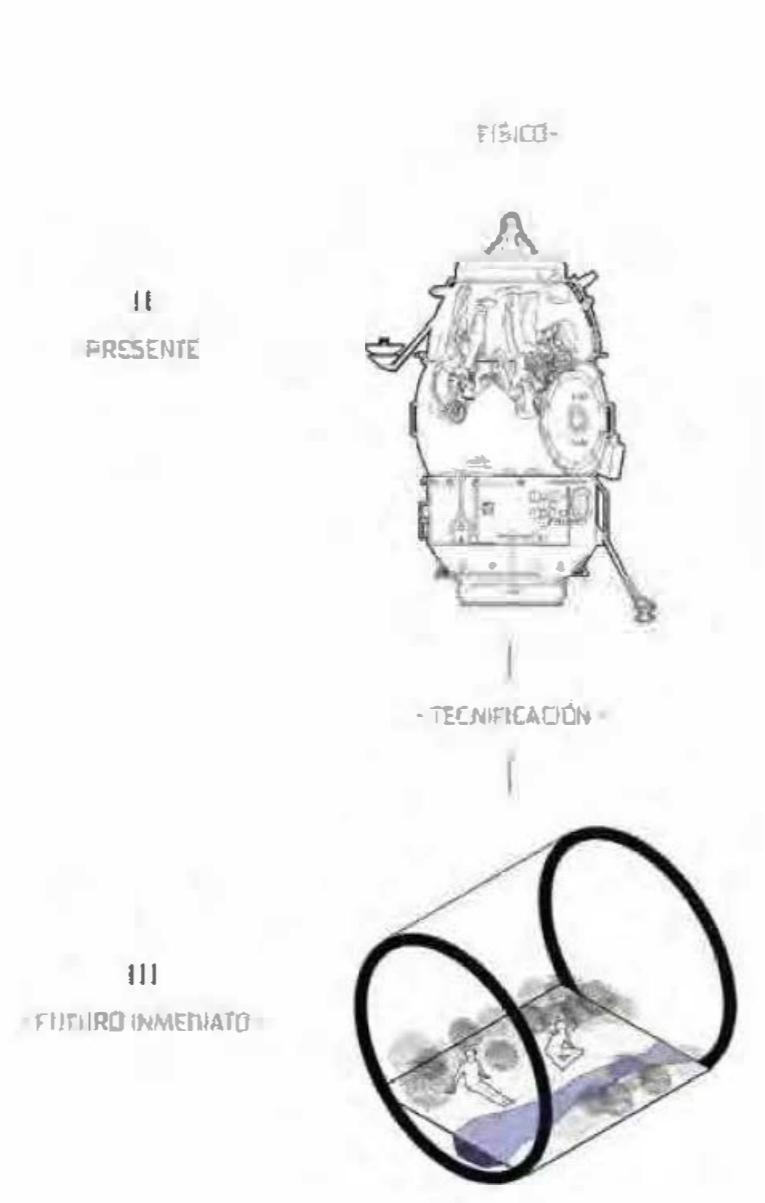
Exploraciones fisiológicas en OB

...debemos atender que el territorio no es una porción de tierra fija y que un pueblo nómada, que permanece unido en su tradición, sigue teniendo en su tiempo histórico su lugar de residencia.

// Husserl (2008) //

Un territorio no se abandona por la acción del desplazamiento, debido a que perdura tanto en las costumbres de las comunidades como en su cuerpo físico. Este cuerpo resulta en una serie de habitualidades de un entorno concreto definido por las características específicas del territorio del cual uno es originado: un clima, una topografía, al igual que un bioma. En otras palabras, un mundo se define por las condiciones que dan posibilidad a la existencia de sus ciclos ecosistémicos.

La OB no presenta condiciones favorables para la existencia de la vida. La imposibilidad de esta genera el requerimiento de la exploración de técnicas que se acerquen a las habitualidades del cuerpo humano vinculadas al su territorio originario. Los sistemas involucrados aprovecharán los ciclos ecosistémicos como una fuente de energía, recursos y territorialización del hábitat propuesto. De esta manera, el hábitat no es solo una propuesta formal, sino sistemática.



Módulos de Soporte de la EEI



// NASA (2015) //

Sistema de Servicio de Movilidad

Es un sofisticado conjunto de robótica compuesto por tres sistemas robóticos que desempeñan un papel fundamental en el montaje, el mantenimiento y el reabastecimiento de la EEI.

- Canadarm**
Operaciones Exteriores
Longitud: 17 m
Peso: 1497 kg
- Dextre**
Mantenimiento
Longitud: 3.5 m
Peso: 1662 kg
- MBS**
Almacenamiento
Longitud: 5.7 m
Peso: 1584 kg

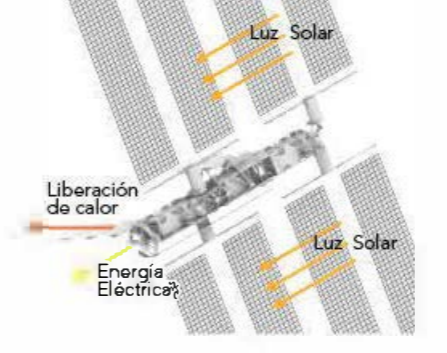
// NASA (2015) //



// NASA (2015) //

Sistema de Energía Eléctrica

Consiste en dos "mantas" retráctiles de células solares con un mástil entre ellas. Utiliza cerca de 33.000 paneles solares, cada uno con 4.100 diodos. Cuando están completamente extendidas, cada una mide 35 metros.



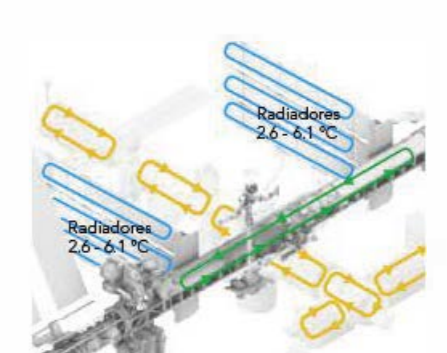
14% de eficiencia
26 kW
160V



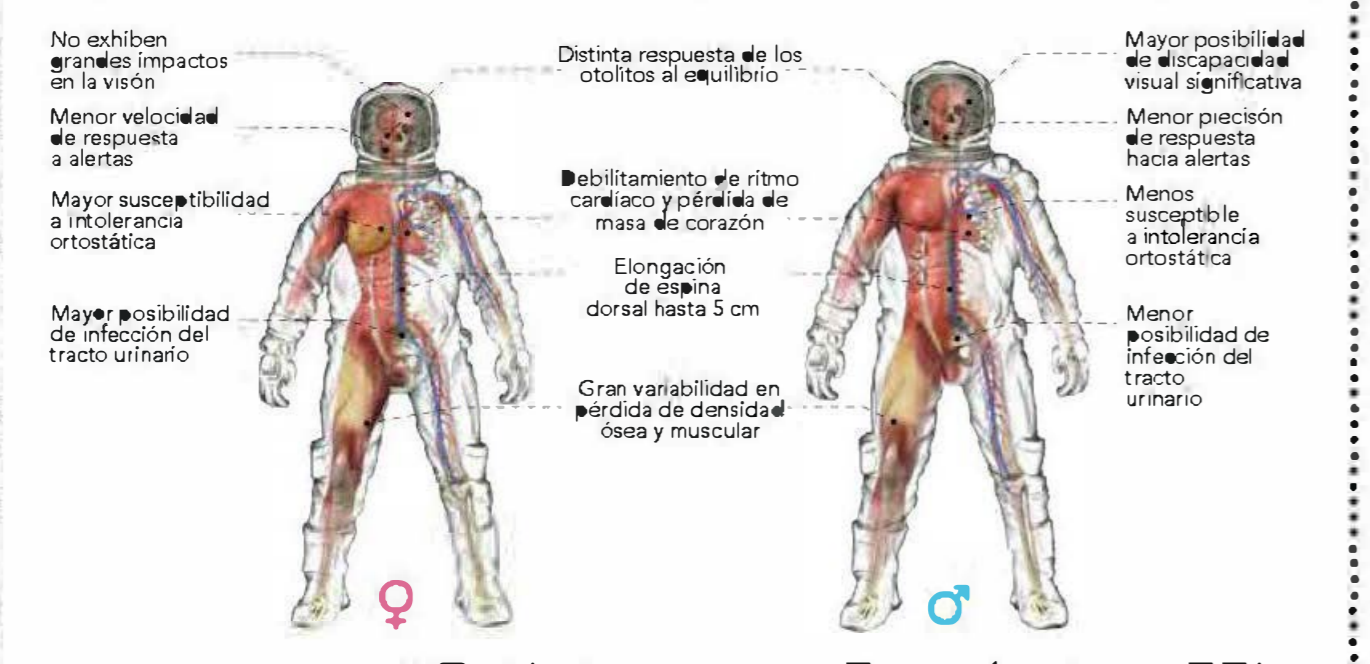
// NASA (2015) //

Sistema de Control Térmico

Está compuesto por un sistema activo y otro pasivo. El primero se encarga de controlar en lugares puntuales como las placas eléctricas o las cabinas de tripulación. El segundo está compuesto por aislamientos y tubos de calor.



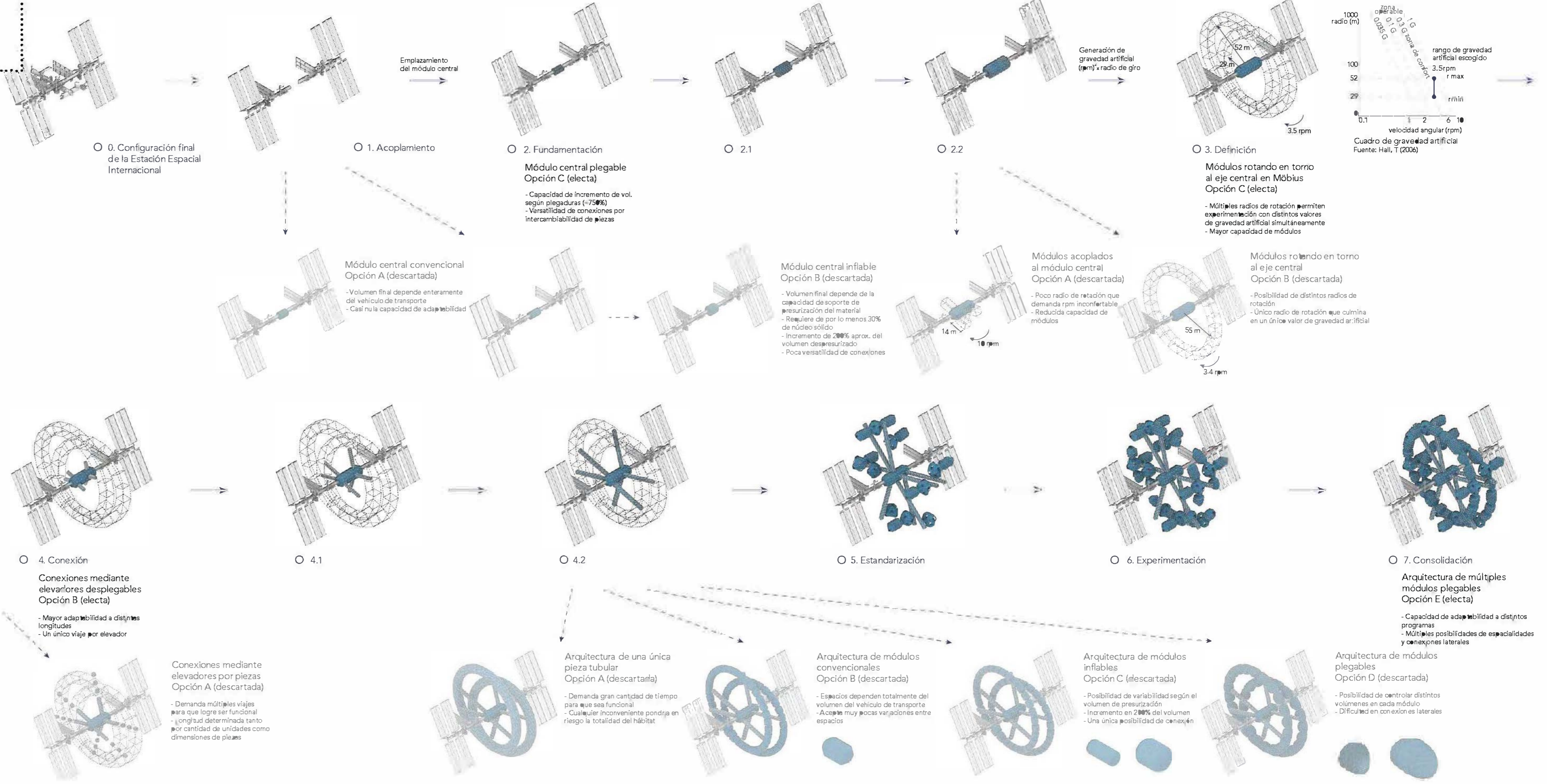
- Sistemas de Soporte de la EEI -



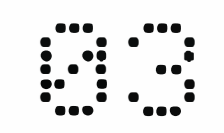
- Perjuicios de la Estadía en la EEI -

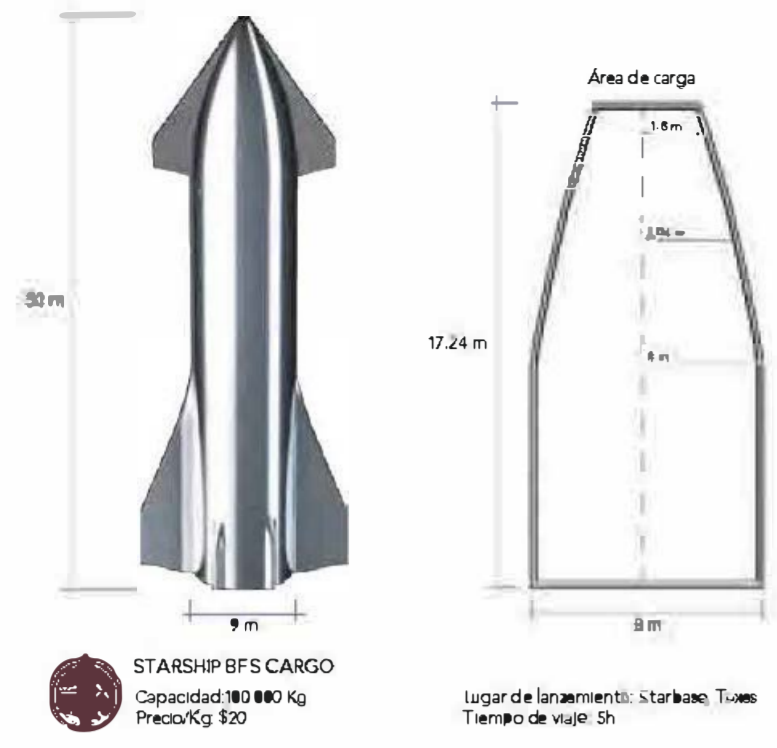
// NASA (2022) //

- No exhiben grandes impactos en la visión
- Menor velocidad de respuesta a alertas
- Mayor susceptibilidad a intolerancia ortostática
- Mayor posibilidad de infección del tracto urinario
- Distinta respuesta de los otolitos al equilibrio
- Menor precisión de respuesta hacia alertas
- Menos susceptible a intolerancia ortostática
- Menor posibilidad de infección del tracto urinario
- Debilitamiento de ritmo cardíaco y pérdida de masa de corazón
- Elongación de columna dorsal hasta 3 cm
- Gran variabilidad en pérdida de densidad ósea y muscular
- Mayor posibilidad de incapacidad visual significativa
- Mayor posibilidad de respuesta hacia alertas
- Mayor posibilidad de intolerancia ortostática
- Mayor posibilidad de infección del tracto urinario

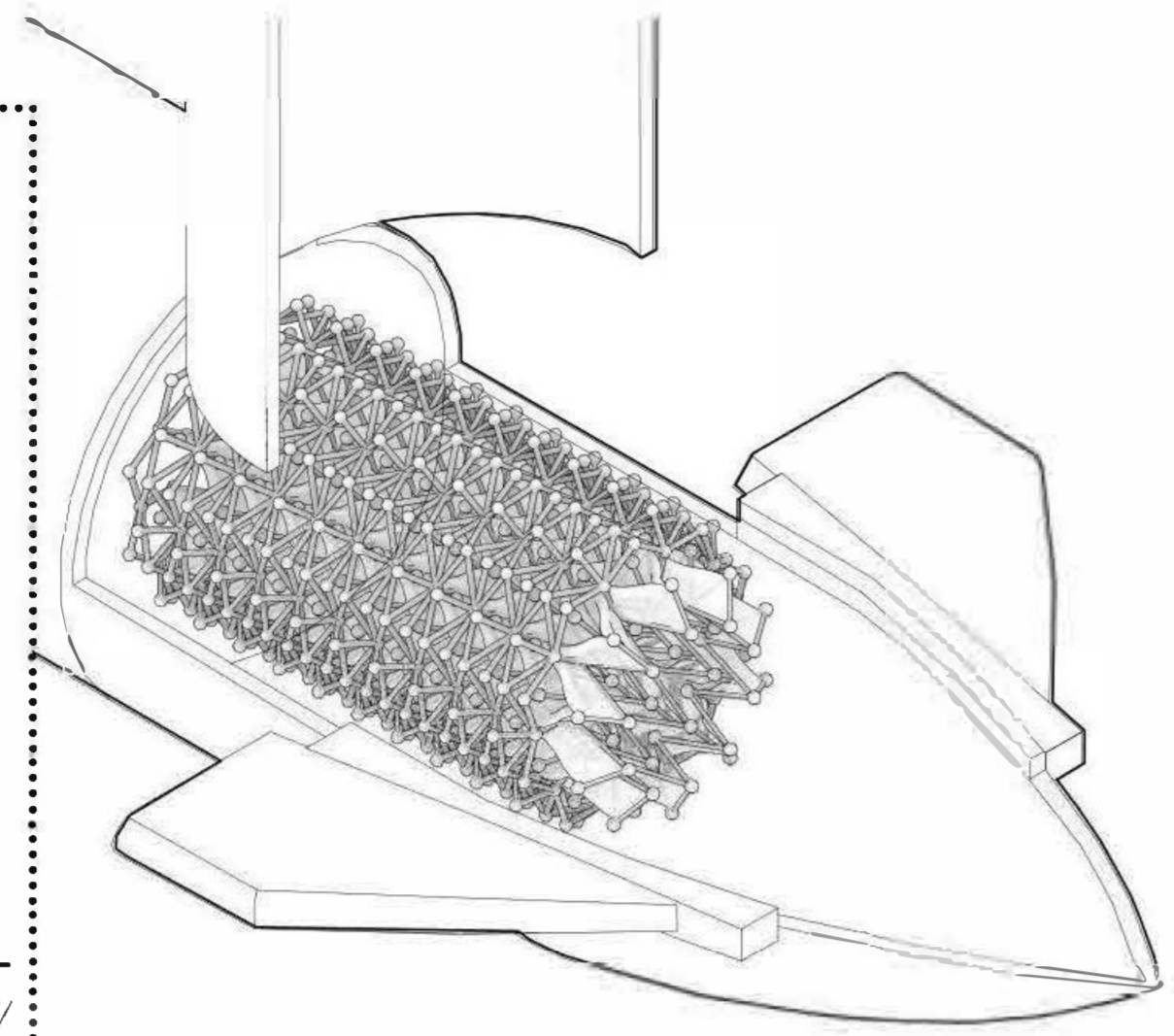


- Estudio de Proceso y Selección de Sistemas Formales -

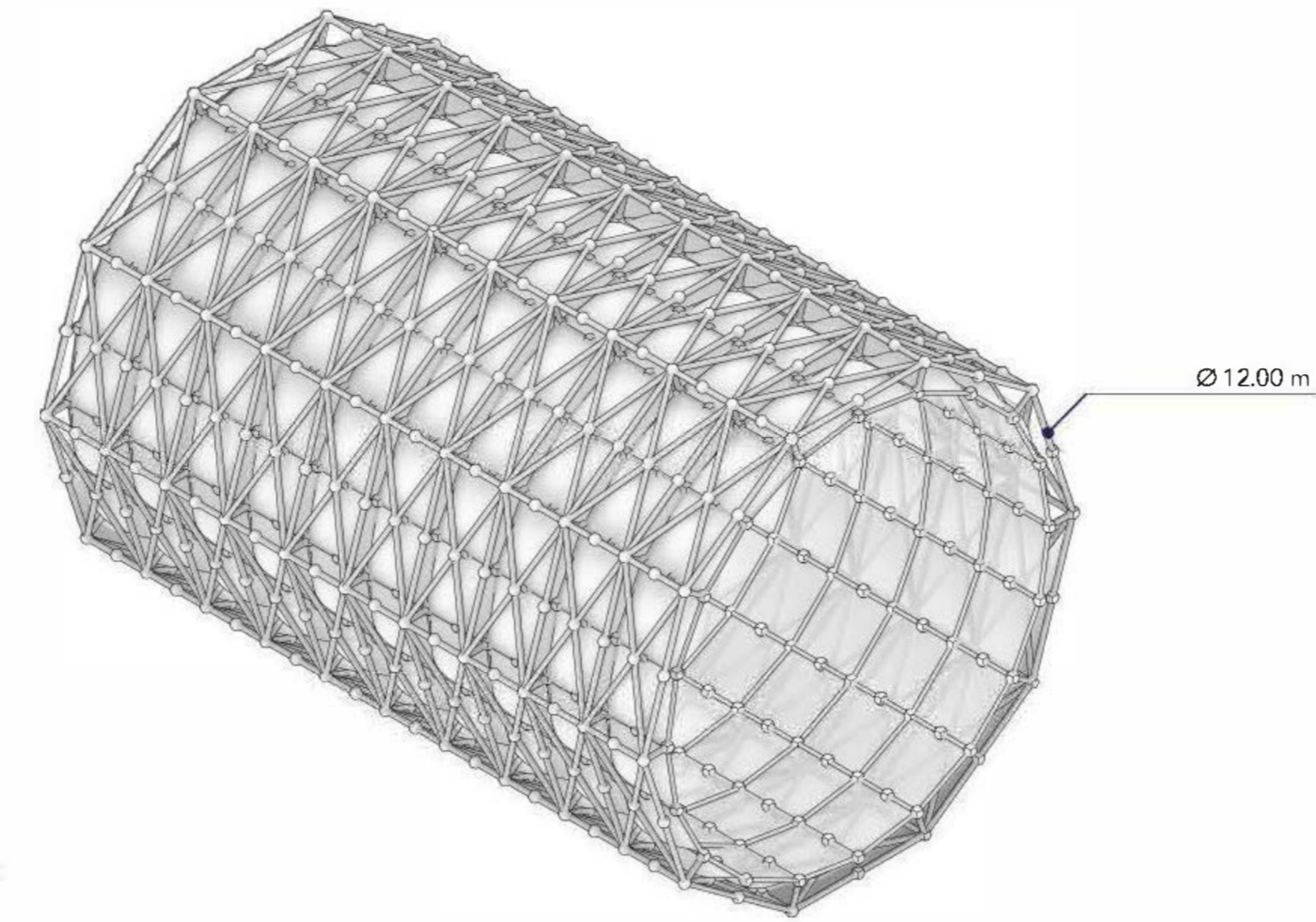




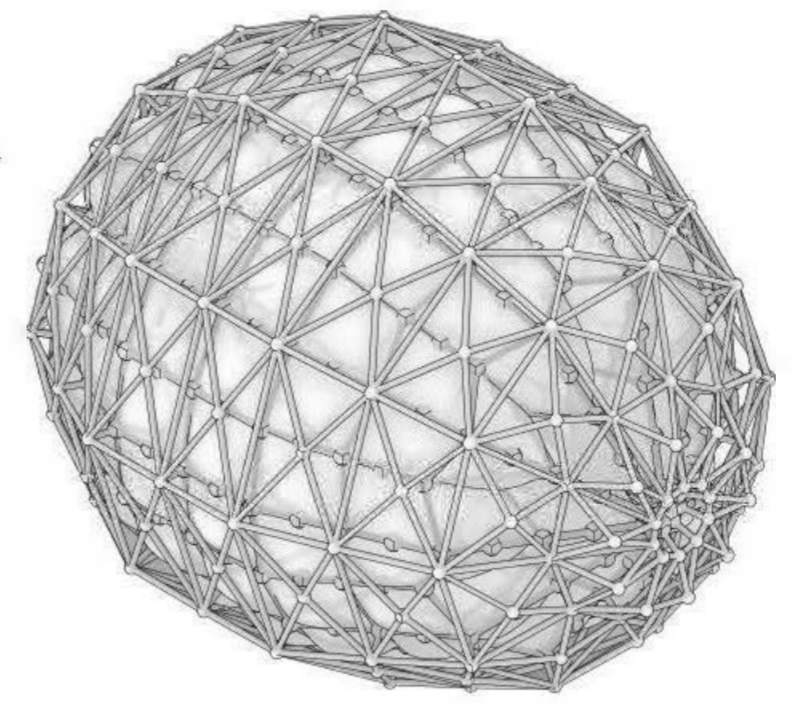
- Dimensiones de Carga del Starship -
// Adaptado de SpaceX (2020) //



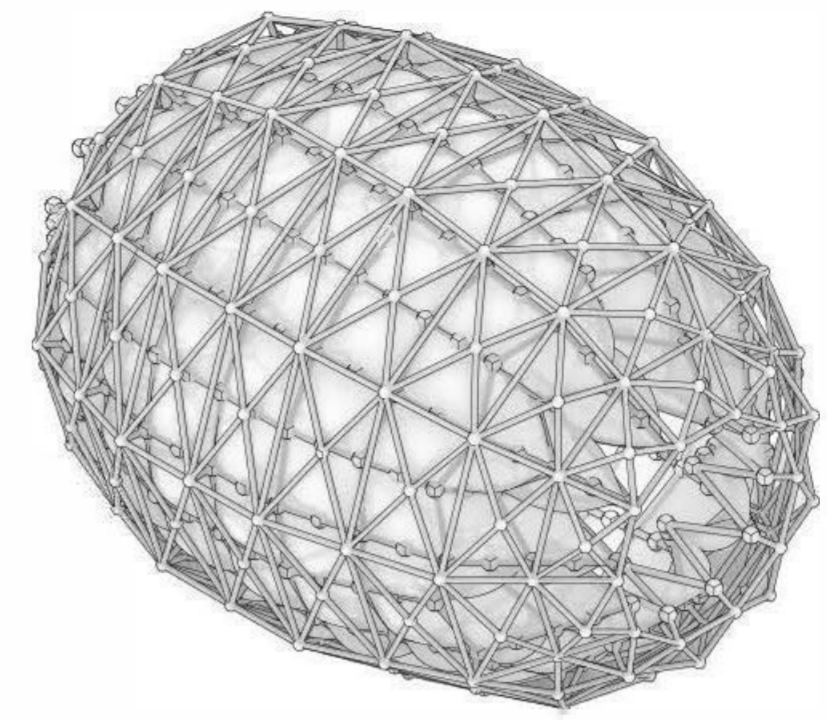
Módulo Plegado en Starship



Módulo Desplegado



Módulo Aislado



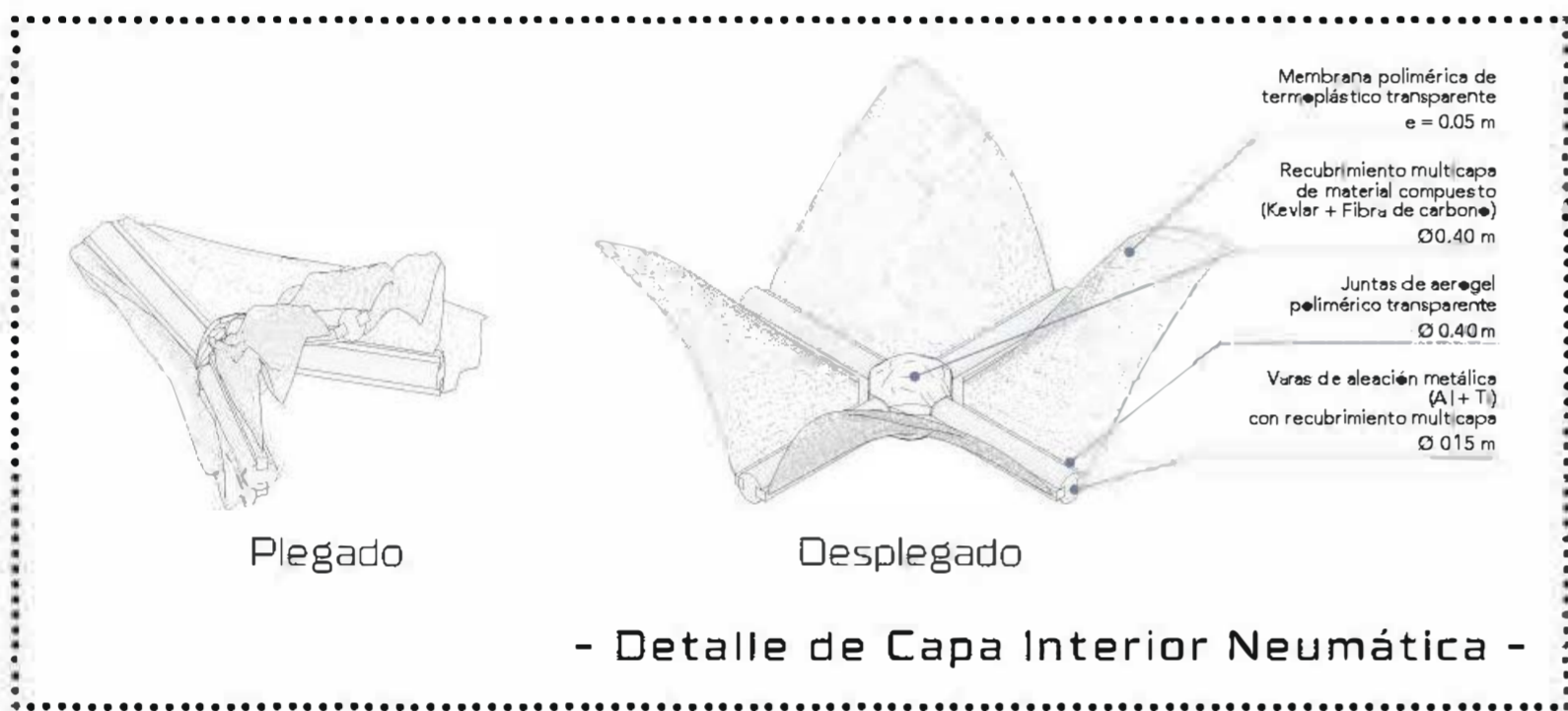
Módulo Conectado

- Despliegamiento de Módulo e Interacciones -

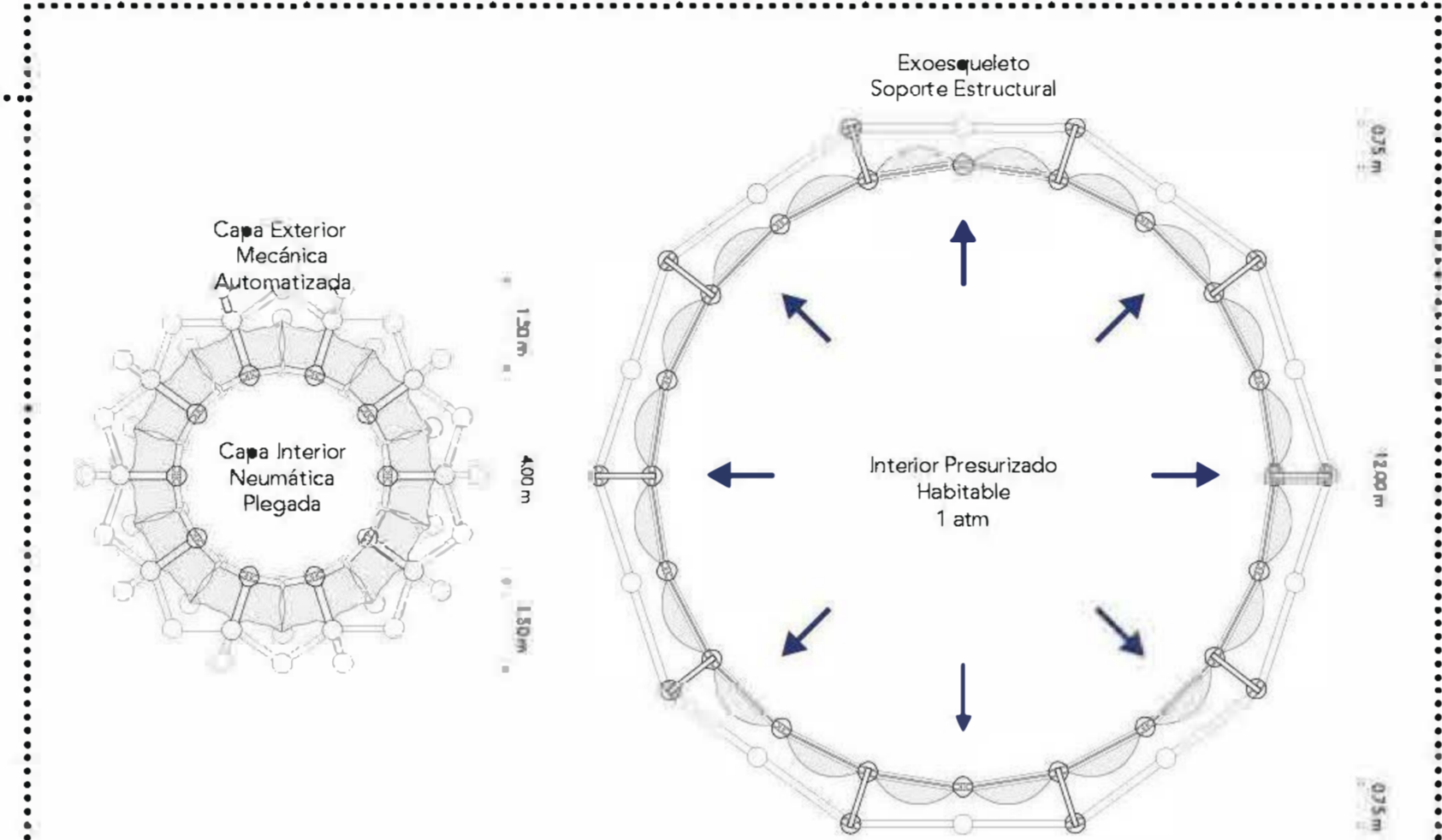
Por la facilidad de transporte y la facilidad de ensamblaje, se diseña un módulo neumático plegable fabricado en la superficie terrestre y capaz de ser transportado en el área de carga del cohete Starship. Este módulo posibilitará la existencia de un hábitat en su interior al aislarlo de las condiciones extremas del exterior. Su estructura estará basada en 2 capas: una interior neumática y otra exterior automatizada. La primera permitirá la presurización del interior mientras la segunda definirá la geometría del módulo y le brindará rigidez a este.

Gracias a este sistema estructural, podrá presentar distintas variaciones según los requerimientos del hábitat. Es decir, contará con la capacidad de modificar su geometría en base a su posición respecto al conjunto. Ello no solo facilitará su ensamblaje, sino también permitirá explorar distintas posibilidades del hábitat a lo largo de su existencia. Asimismo, la modularidad permitirá el reemplazo de alguna pieza en caso de que se vea afectada por condiciones externas imprevistas, como basura espacial no monitoreada.

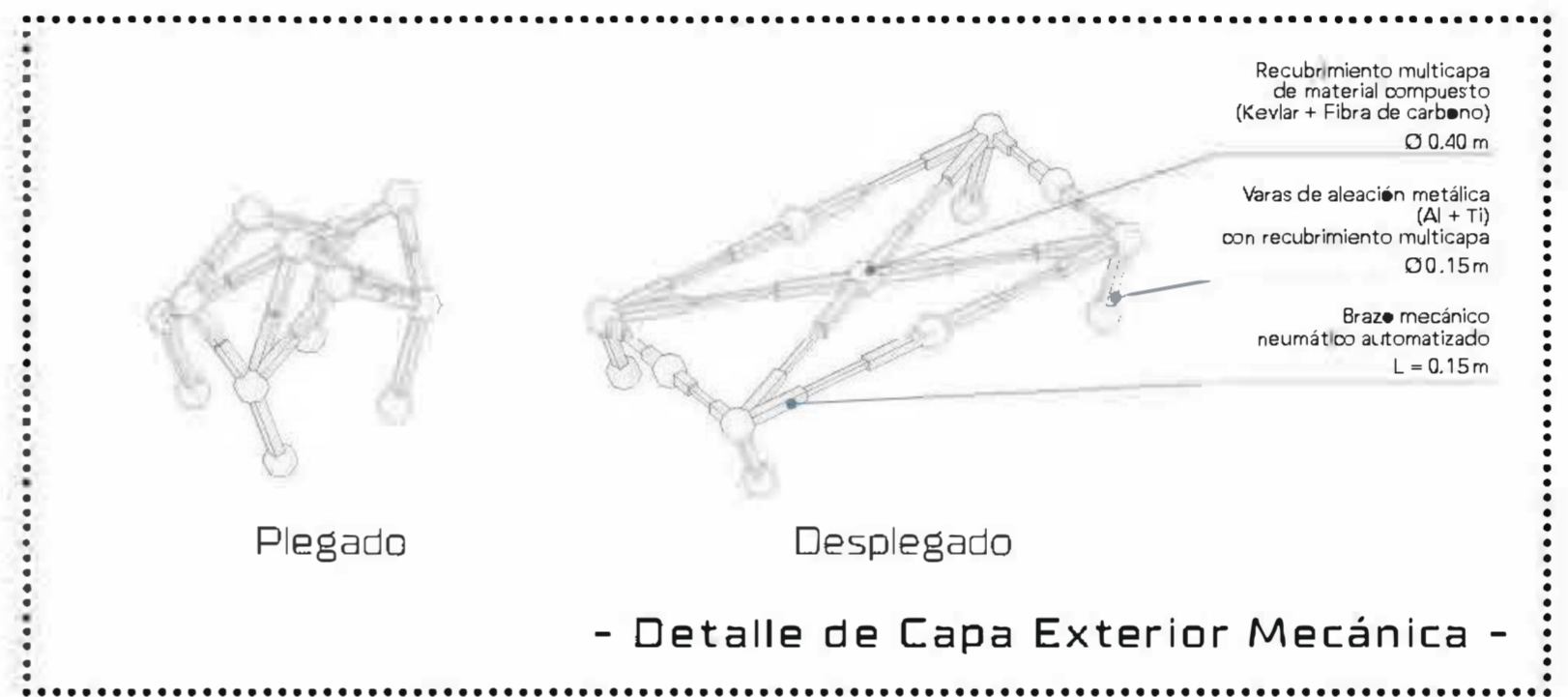
Por otro lado, el diseño del módulo también responde a la necesidad de establecer fases de implementación, pues no es posible trasladar la totalidad del hábitat a la OBT. De esta manera, es posible iniciar la construcción con menor cantidad de recursos e ir incrementando las dimensiones del hábitat según los recursos disponibles.



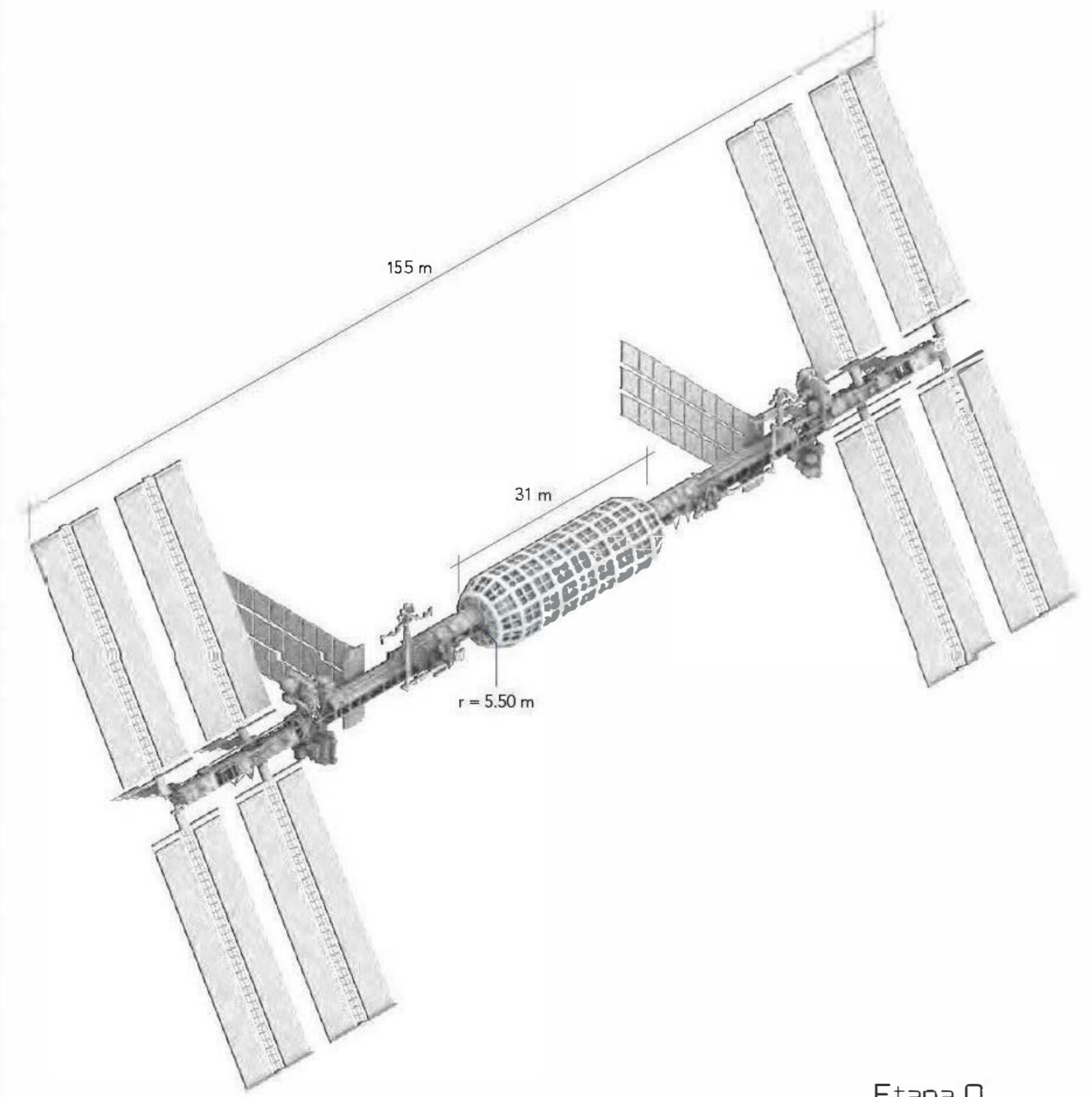
- Detalle de Capa Interior Neumática -



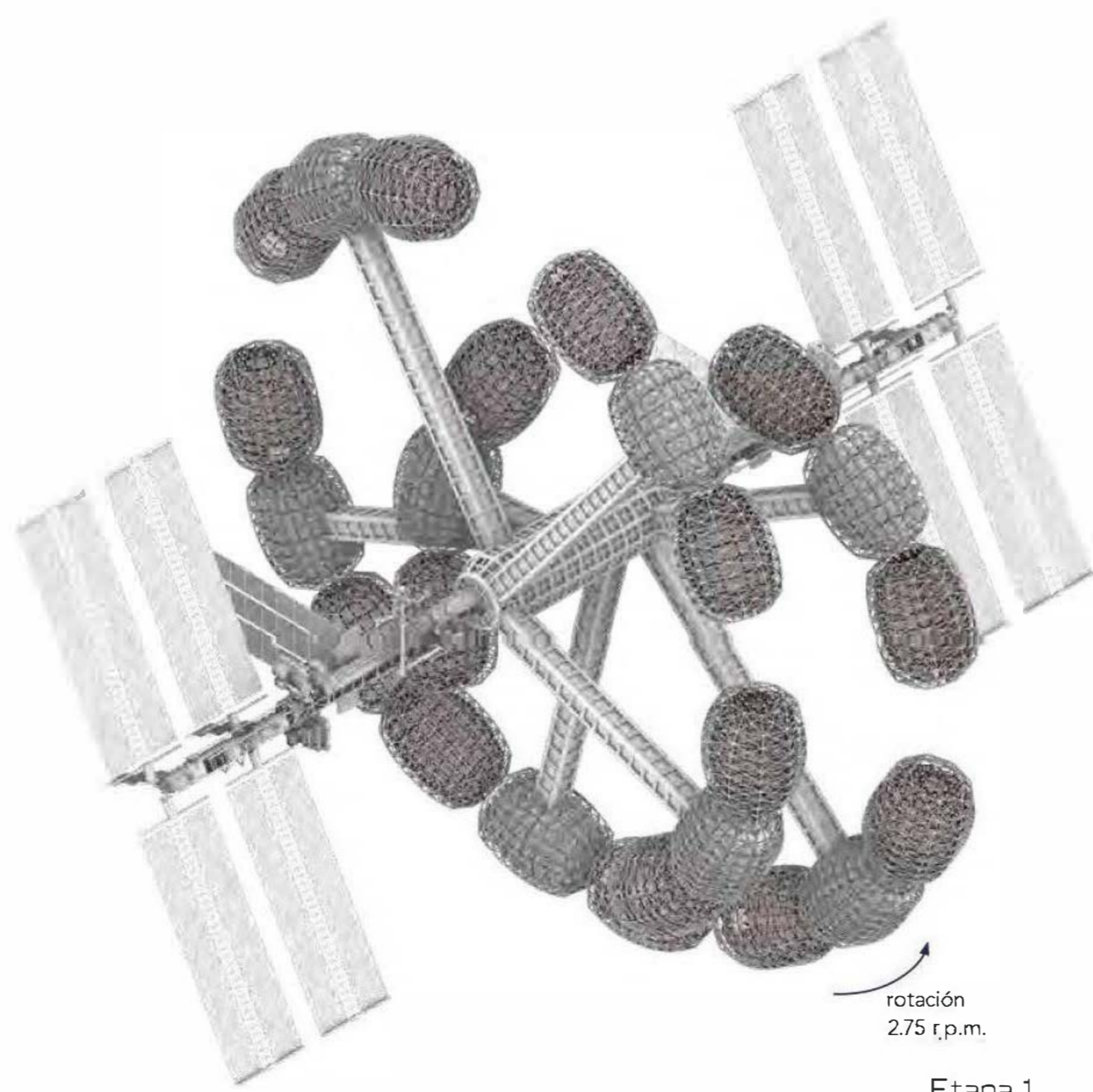
- Diagrama Estructural de Módulo -



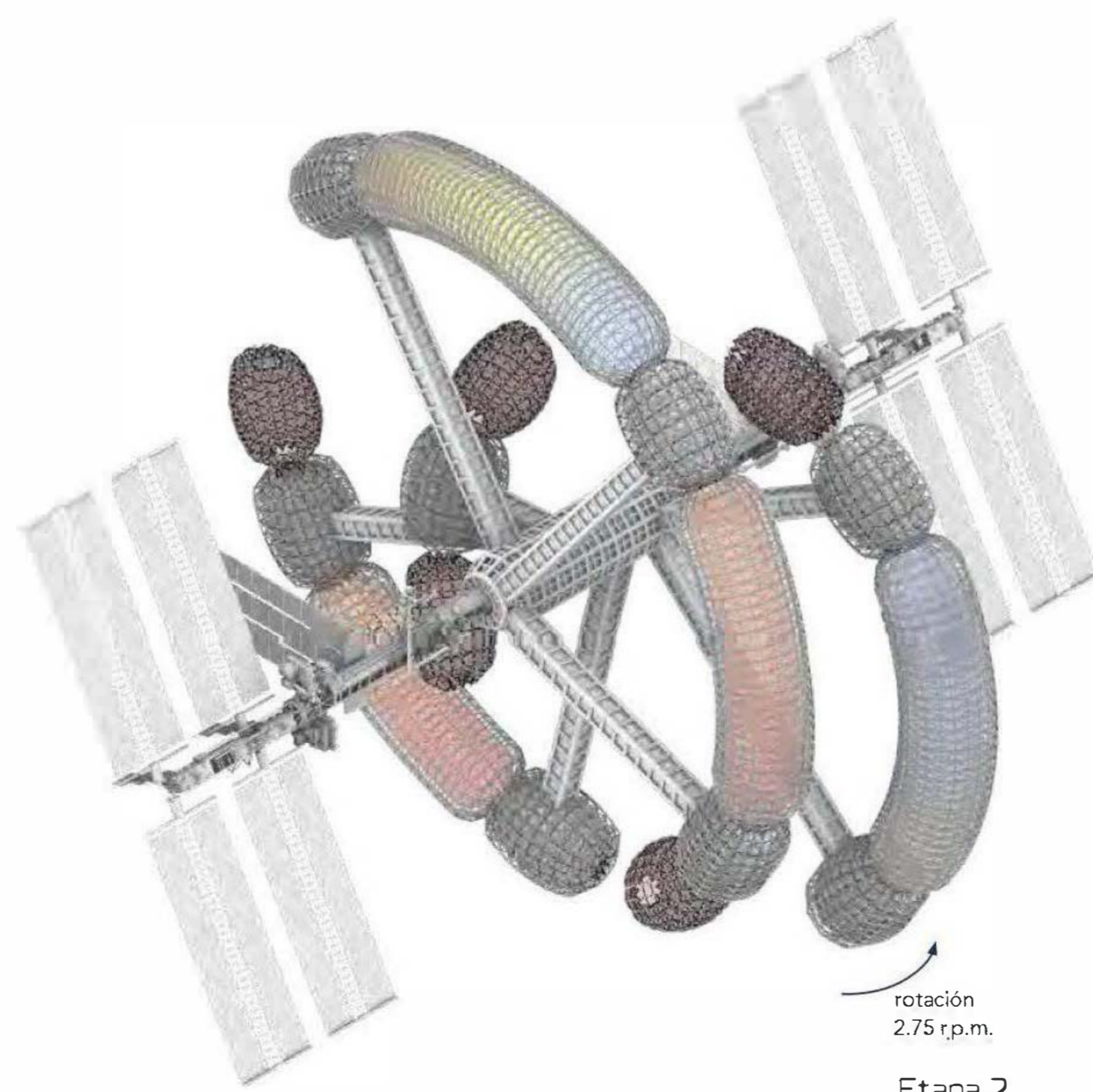
- Detalle de Capa Exterior Mecánica -



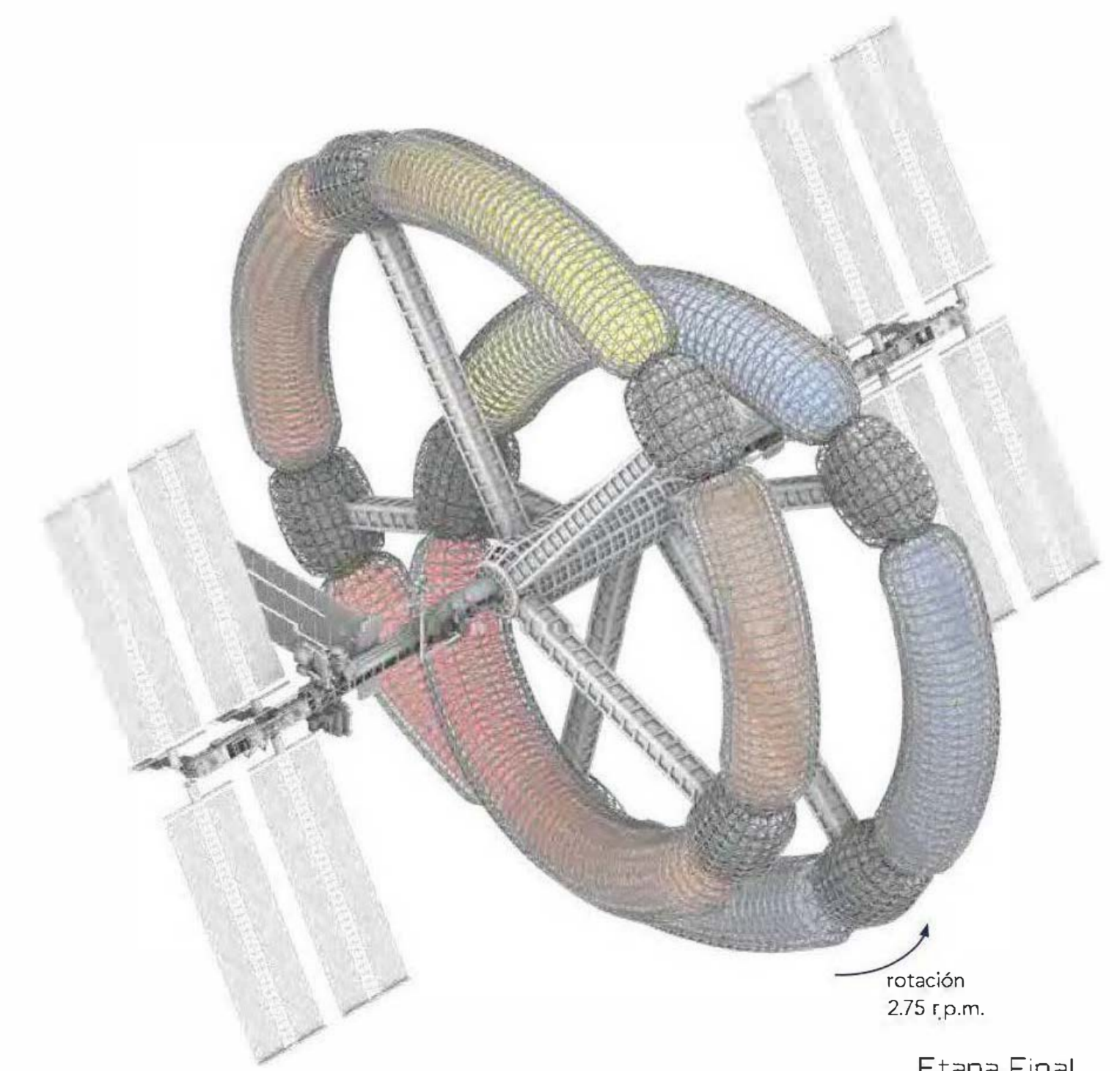
Etapa 0



Etapa 1



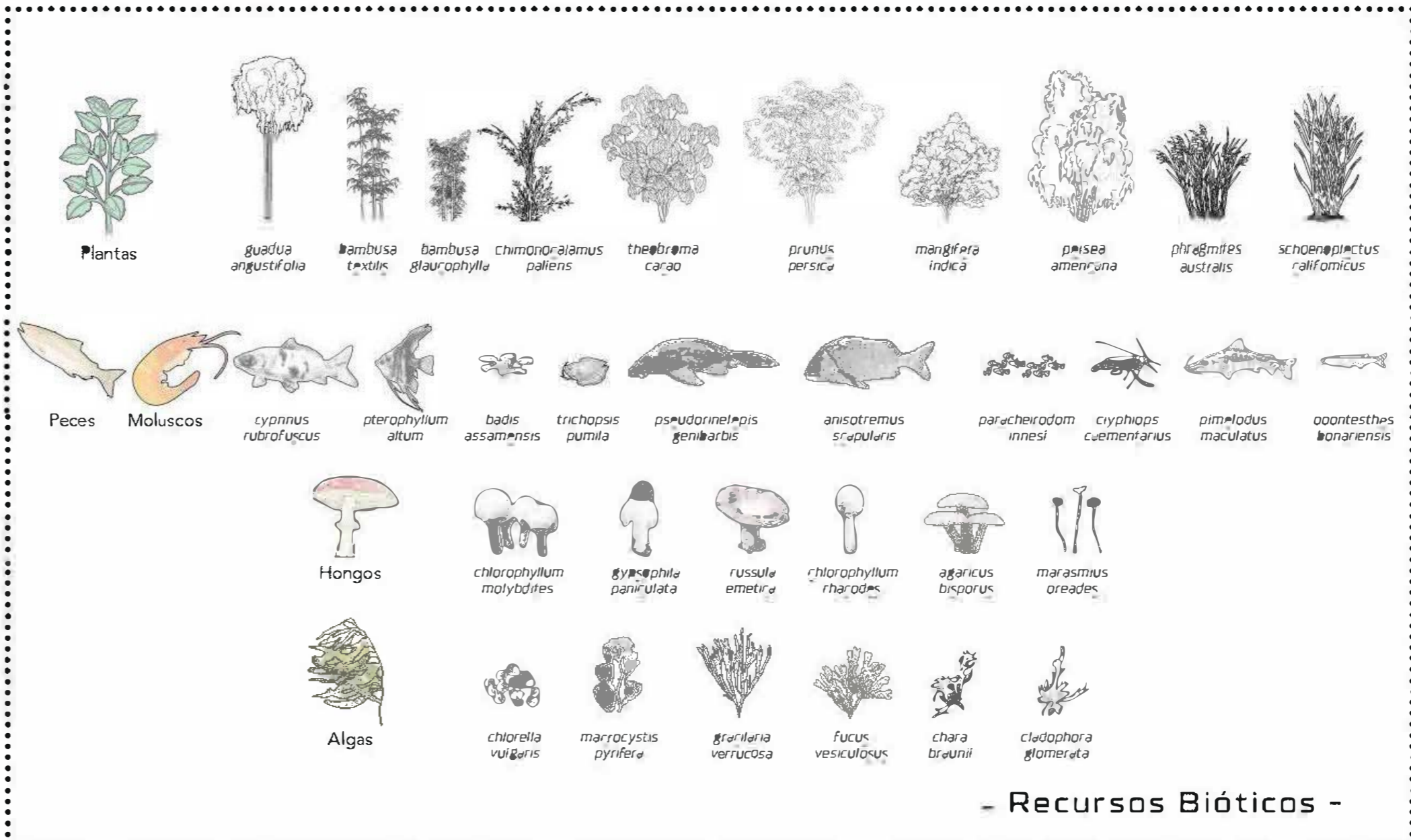
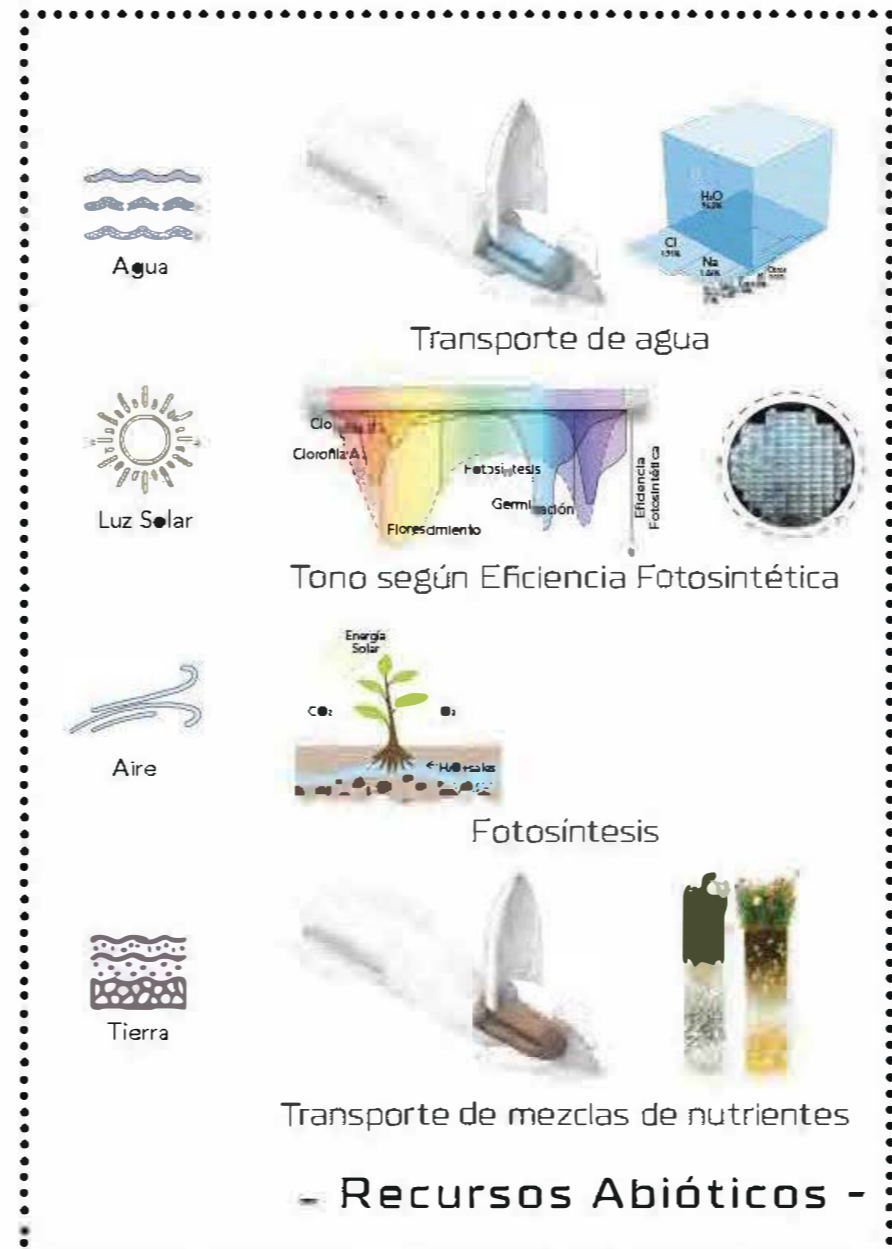
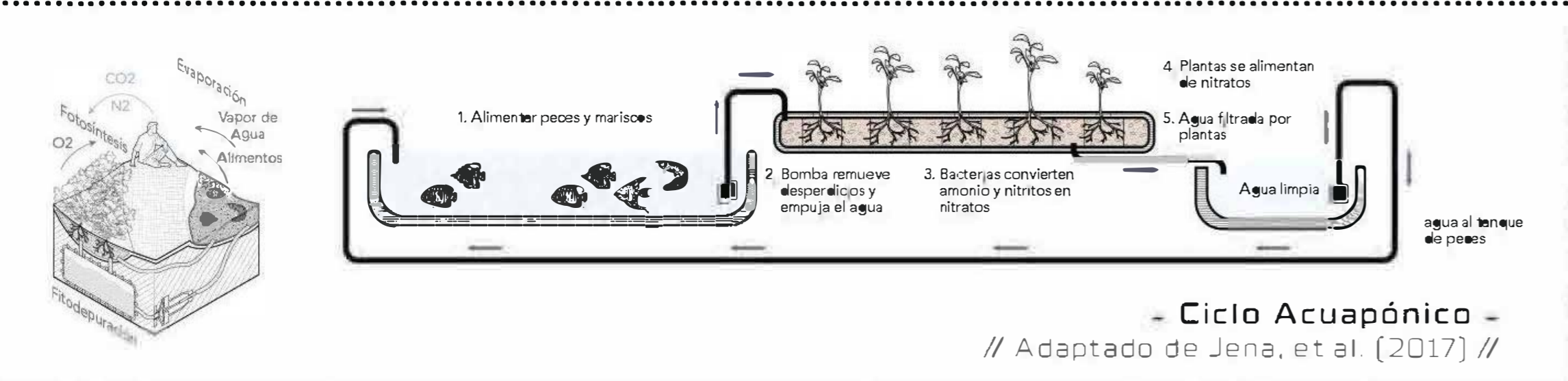
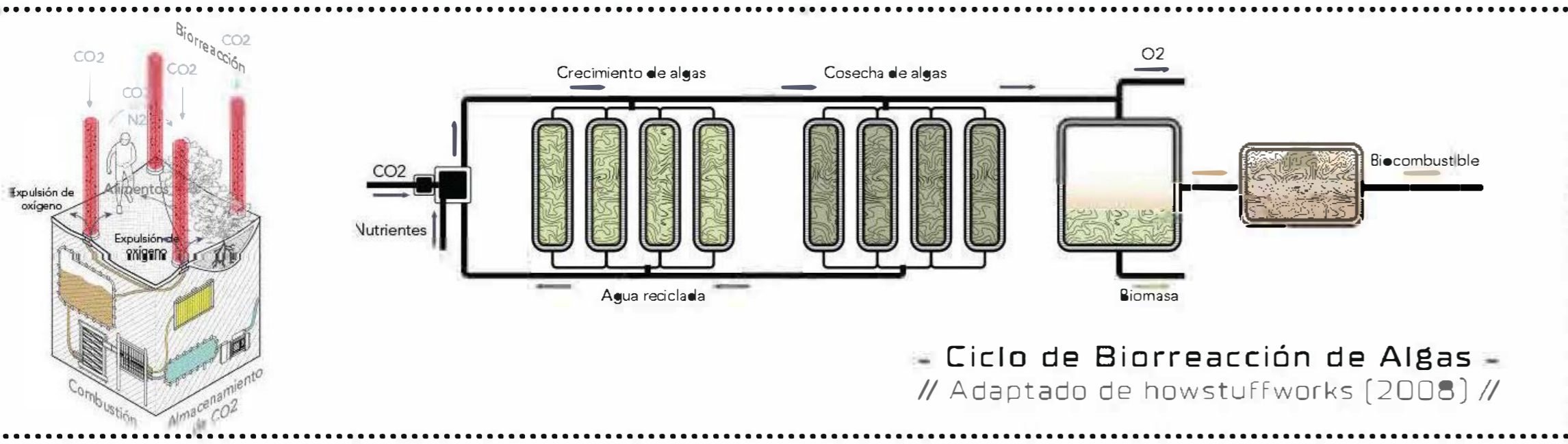
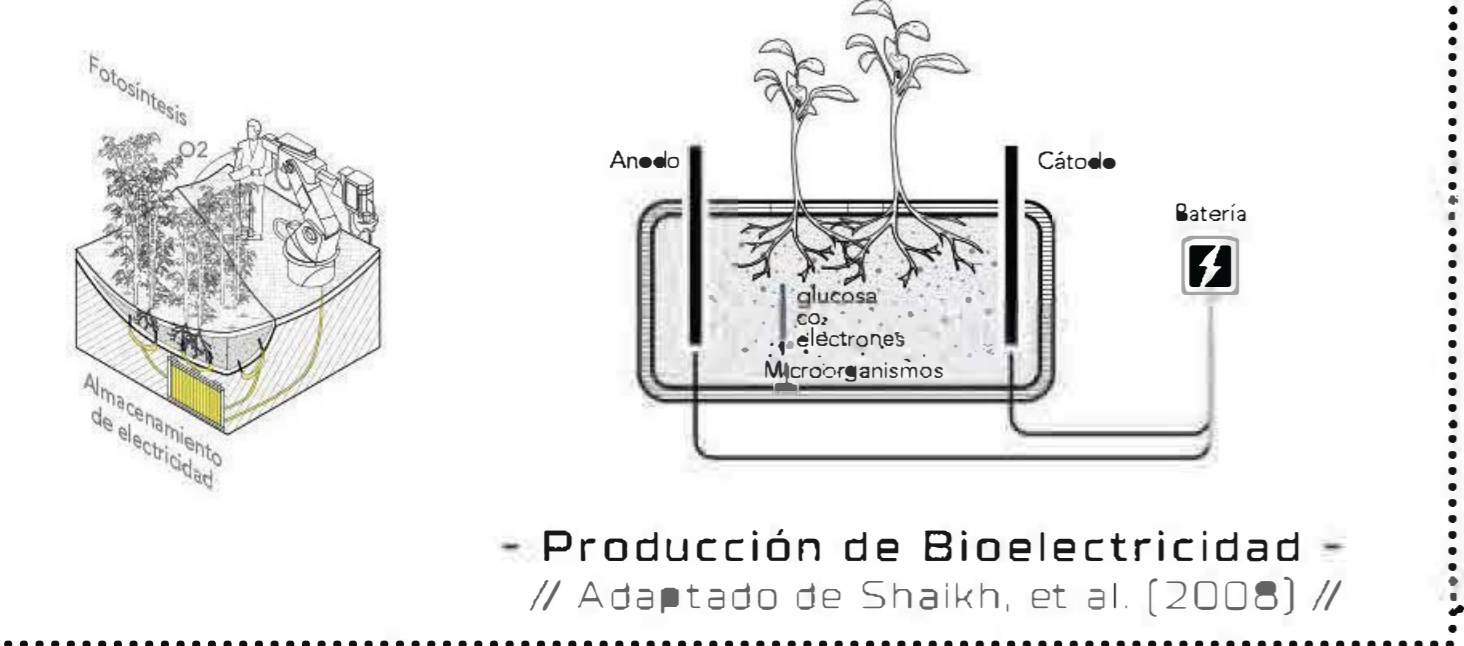
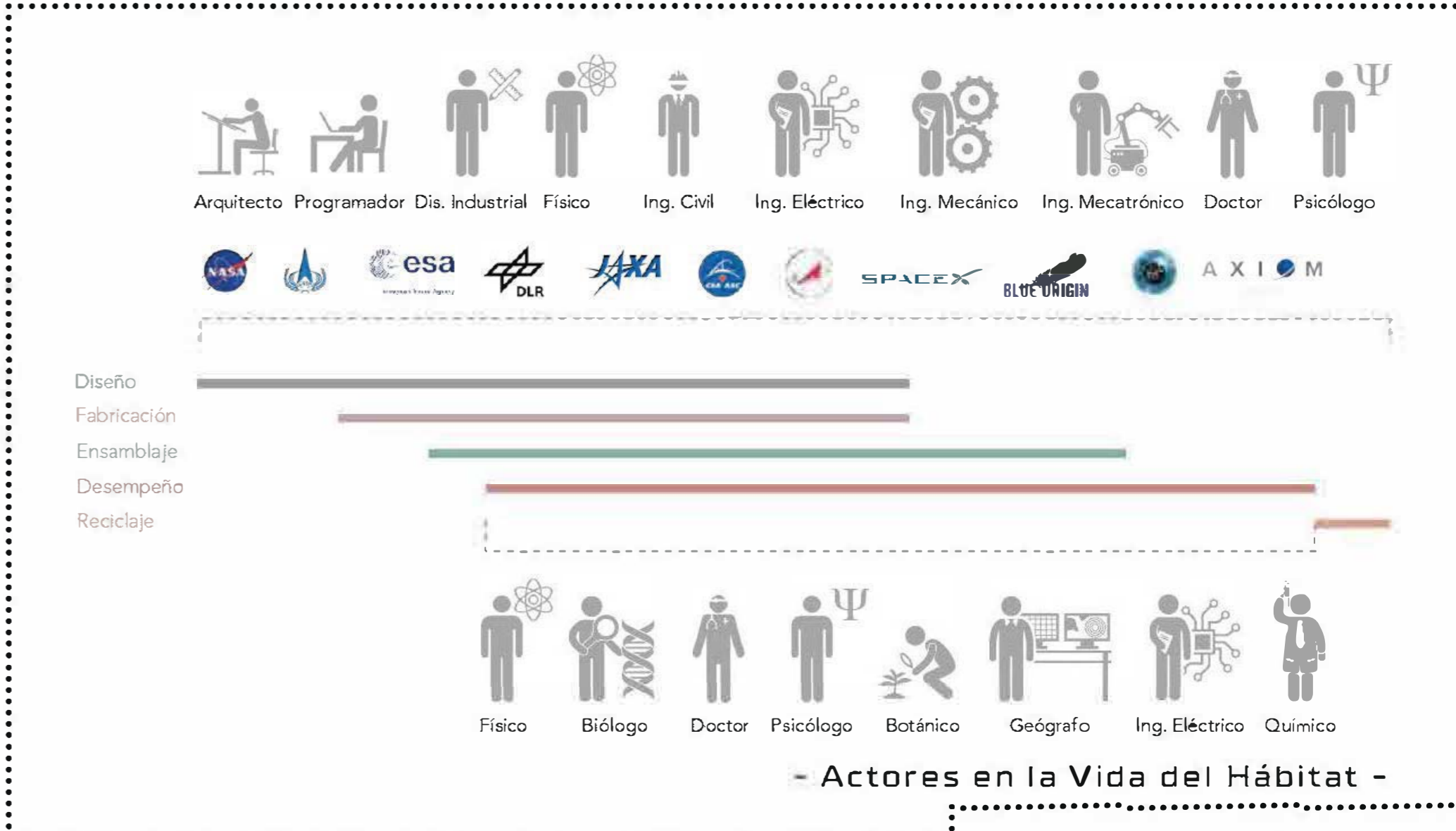
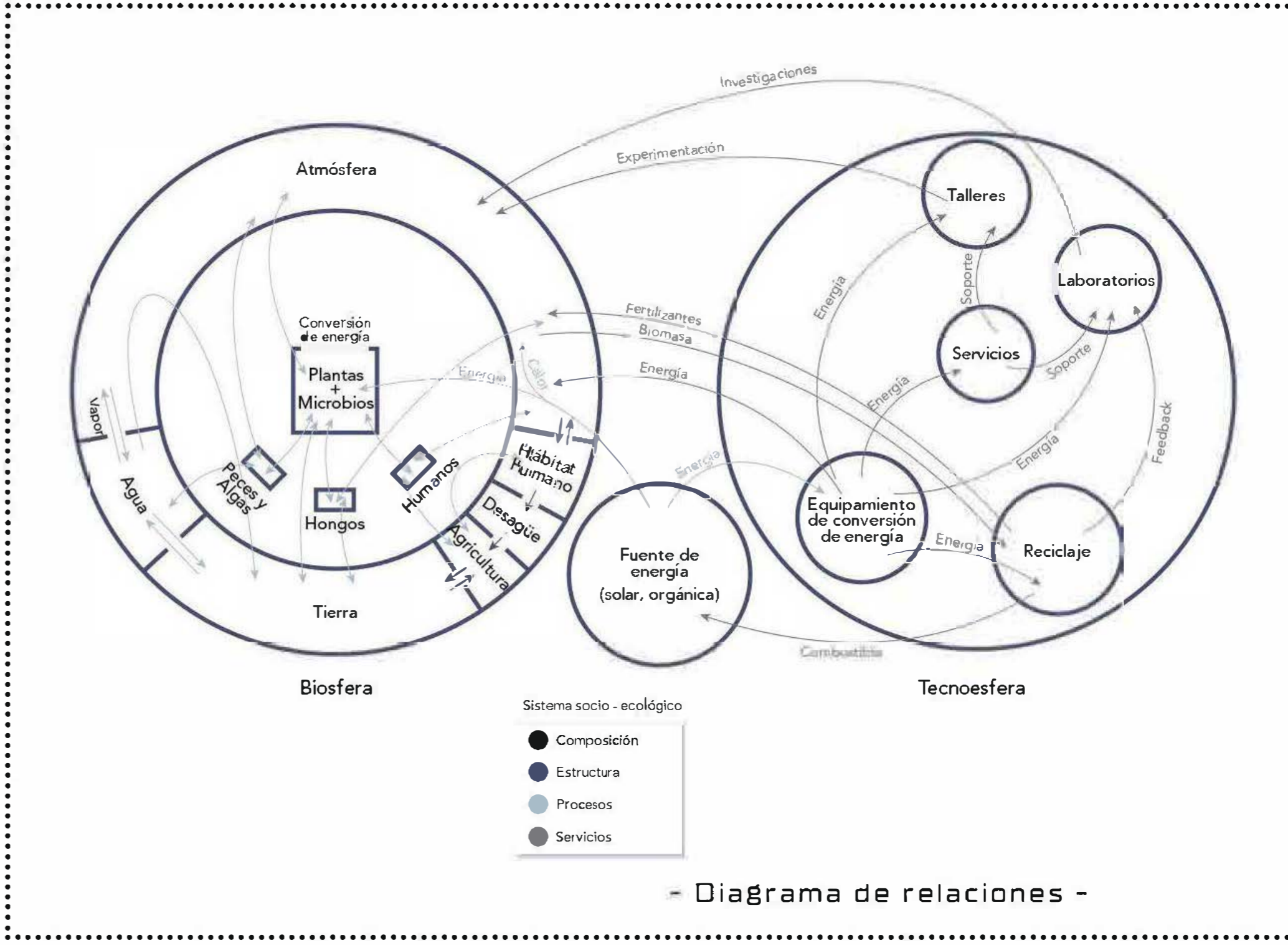
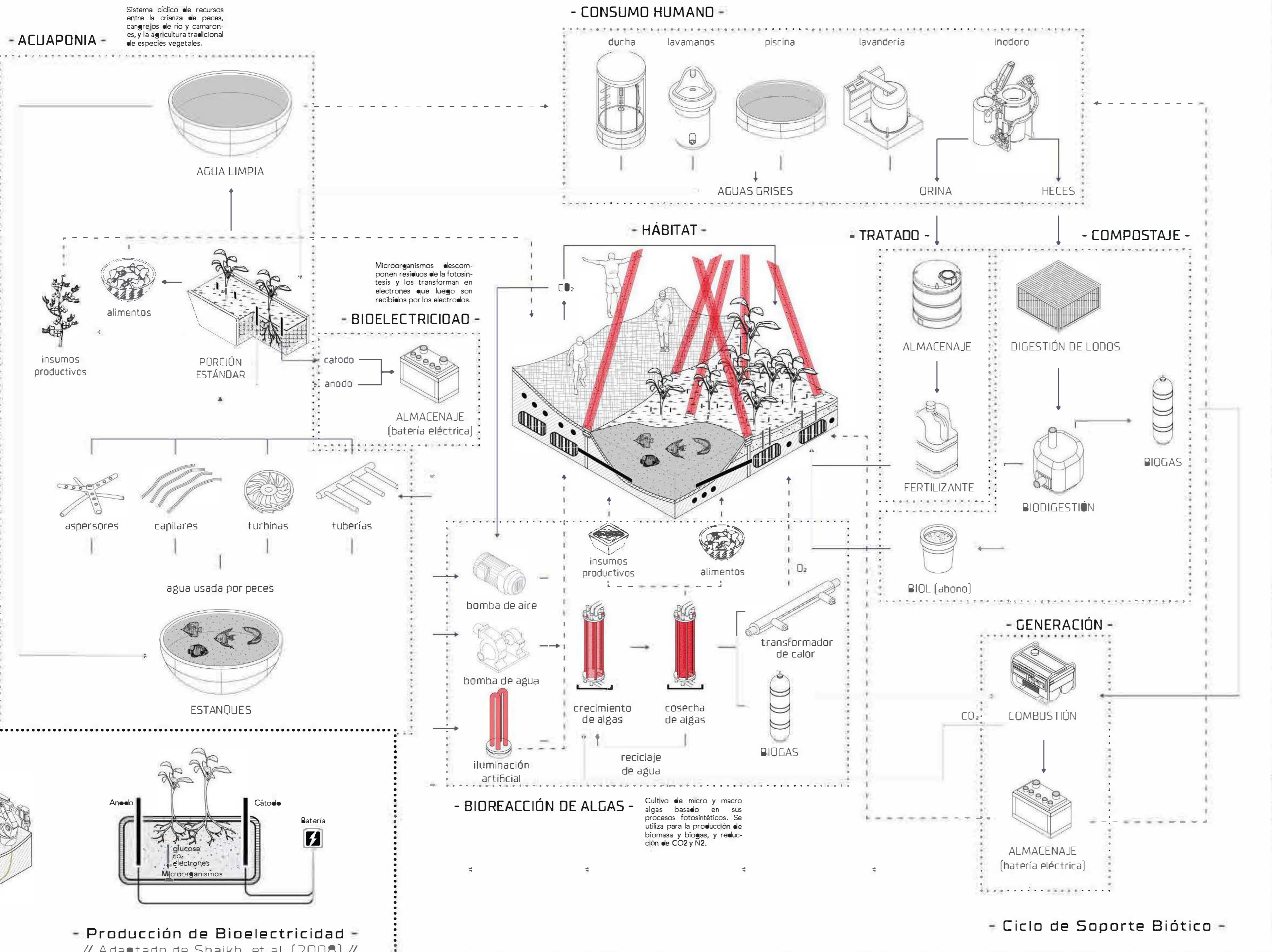
Etapa 2



Etapa Final

- Proceso de Ensamblaje del Hábitat -





Se resuelve el objetivo de que el hábitat sea capaz de producir sus propios recursos mediante el aprovechamiento de ciclos ecosistémicos. Es decir, se busca servir de la interacción entre las propiedades y funciones de seres bióticos y abióticos para la supervivencia humana en el espacio. Gracias a ello, no solamente se obtendrán recursos cíclicos y renovables, sino también nuevas interacciones entre los seres humanos y otros seres vivos.

Para este fin, se recurrirá a distintas técnicas y herramientas. La acuaponía, la biorreacción de las algas, la producción de bioelectricidad de las plantas y la fotosíntesis serán las principales fuentes de producción de recursos beneficiosos para la vida y las actividades del ser humano. Por ello, se llevarán seres vivos desde la Tierra al hábitat tales como peces, mariscos, algas, plantas, hongos y la microbiota propia de estos.

De estas interacciones, los astronautas podrán prevalerse recursos como el biofuel; la electricidad; la cosecha de plantas, algas y peces; el ciclo de renovación de agua; el ciclo de renovación del aire; la cosecha de energía eléctrica; entre otros. Además, los ecosistemas también pueden sacar ventaja de los recursos utilizados por los humanos y al mismo tiempo reciclarlos para otros fines.



ADAPTACIÓN

Exploraciones sociales en OBT

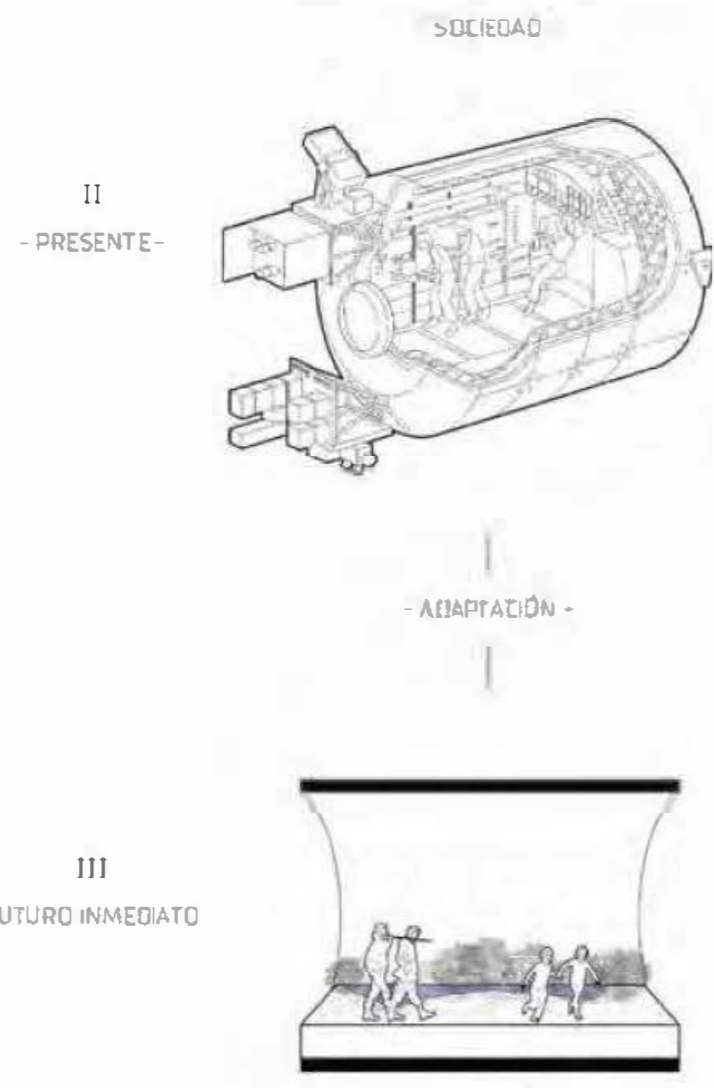
... habitar, para el individuo o para el grupo es apropiarse de algo. Apropiarse no es tener en propiedad, sino hacer su obra, modelarla, formarla, poner el sello propio.

// Lefebvre (1974) //

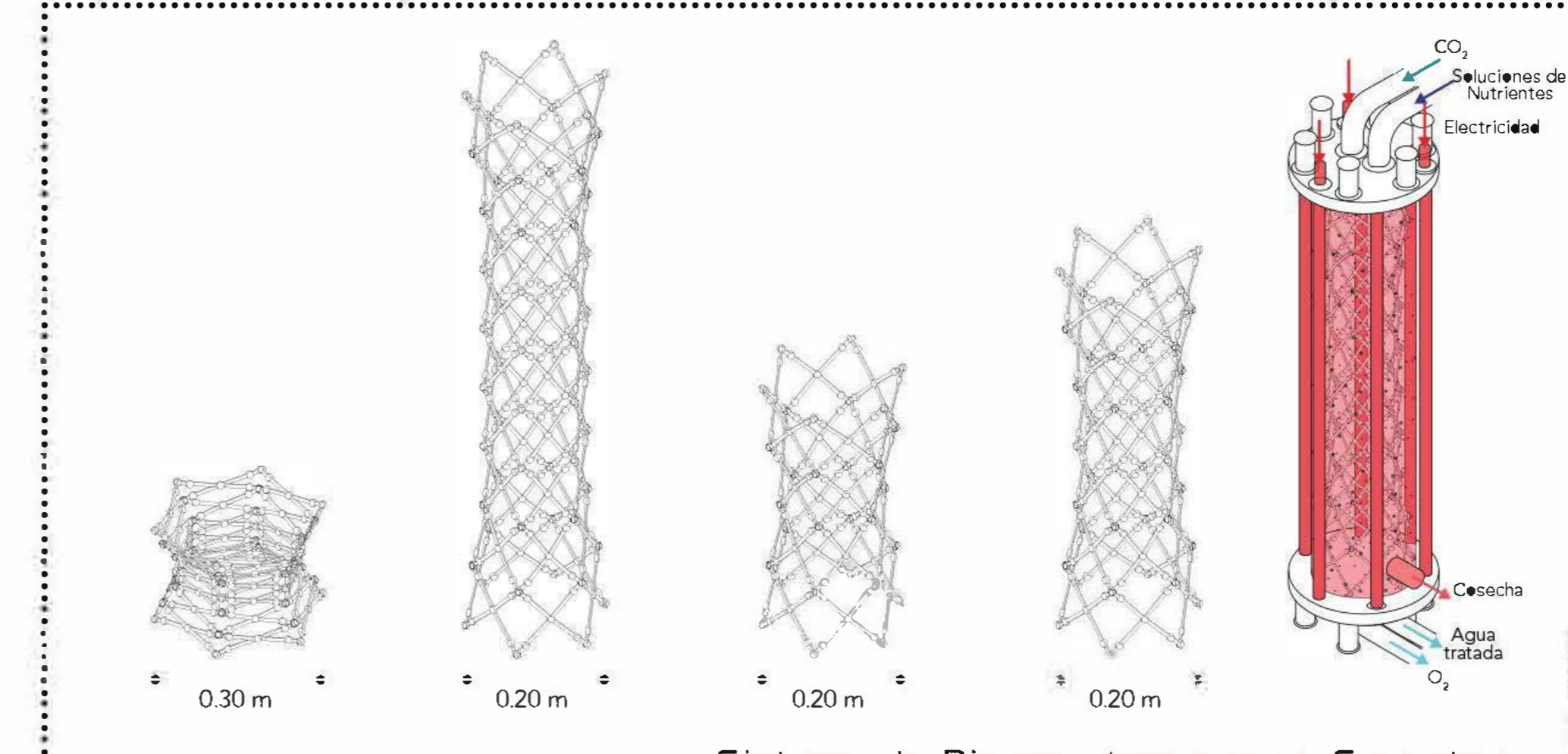
La relación entre la comunidad humana y el espacio habitable se construye mediante las capacidades adaptativas que brinda el segundo hacia los requerimientos de la primera. Esta conversación entre ambos entes demanda una plasticidad del espacio en su dimensión histórica; es decir, la técnica arquitectónica debe fundamentarse en la evolución temporal del espacio.

Se despierta un interés por una de las primeras construcciones humanas: la arquitectura textil nómada. Su ligereza en el transporte y adaptabilidad al contexto son las principales razones para esta mirada. Además, la ideología intrínseca en estas culturas demandaba una relación con la naturaleza específica y nada invasiva.

Este proyecto adapta esta postura hacia sus condiciones. Su arquitectura debe sentar las bases para que esta nueva sociedad aproveche su condición como un eslabón único para la humanidad, uno que producirá el conocimiento científico y la tecnología necesaria para los siguientes pasos de la exploración espacial y al mismo tiempo beneficiar a la vida humana en la Tierra.



- Yurtas de Comunidades Nómadas Kyrgyz -
// Katorisi (2001) //

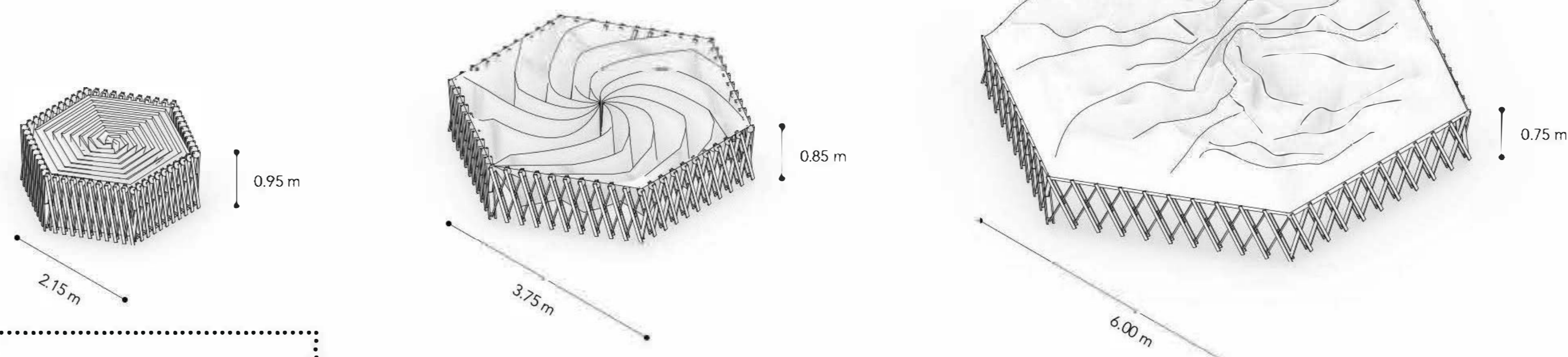


- Sistema de Biorreactores como Soportes -

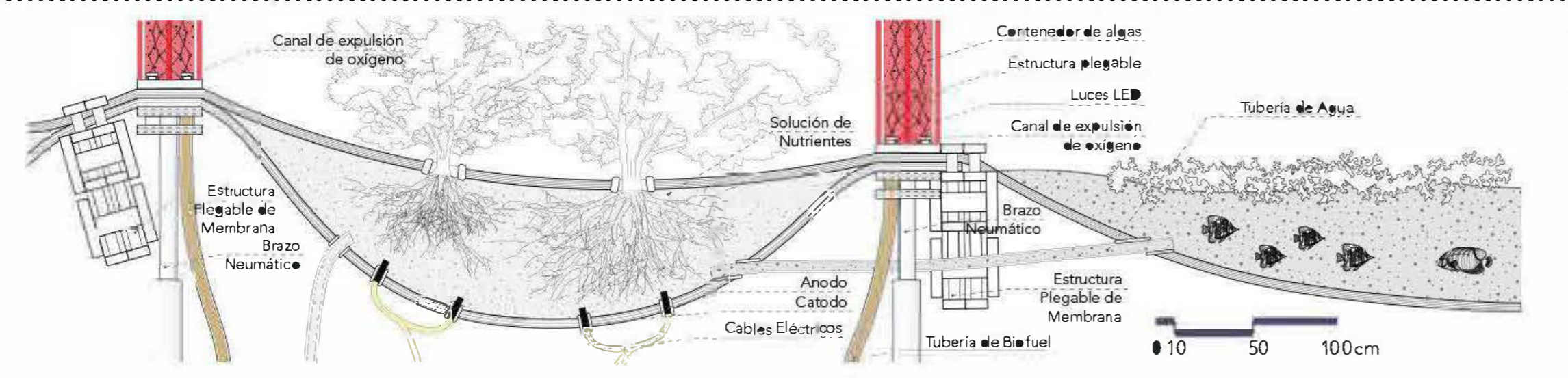
La tecnología constructiva que permitirá la evolución de la sociedad en el espacio se basará en tensoestructuras desplegables. La humanidad no ha sido ajena a ellas desde sus inicios. Las comunidades nómadas de Asia Central utilizaban esta tipología de estructuras para su desplazamiento comunal constante. Ellas permitieron su supervivencia desde hace miles de años hasta la actualidad al mismo tiempo que sentó las bases de la cultura y estilo de vida.

En la OBT, estas estructuras permitirán un gran rango de exploración a los habitantes. No solo por su ligereza y compactabilidad, sino también por su capacidad de ser transformada. Además, debido a las condiciones generadas por los distintos valores de gravedad artificial menores a la gravedad terrestre en cada ecosistema, la tensión de las membranas será capaz de soportar mayores cargas respecto a lo que podrían cargar en la Tierra.

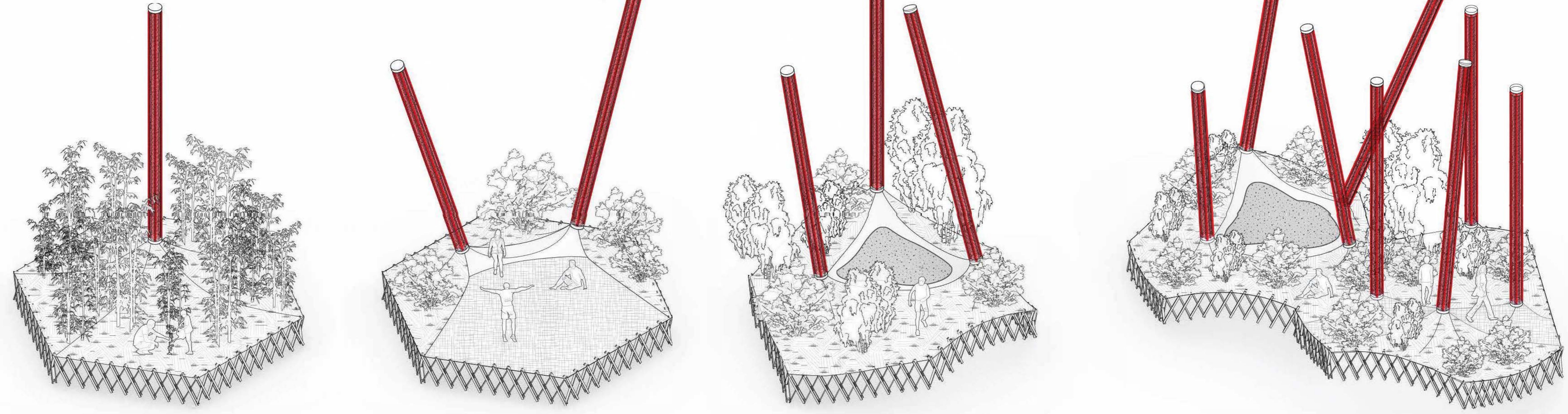
Por otro lado, al ser geometrías que se generan a partir de soportes de tensión, existe un gran rango de atmósferas posibles que pueden ser transformadas según los datos recopilados de los ecosistemas como resultado de los experimentos de los astronautas. Es decir, la arquitectura tendrá la capacidad de formar parte de los experimentos realizados por los habitantes.



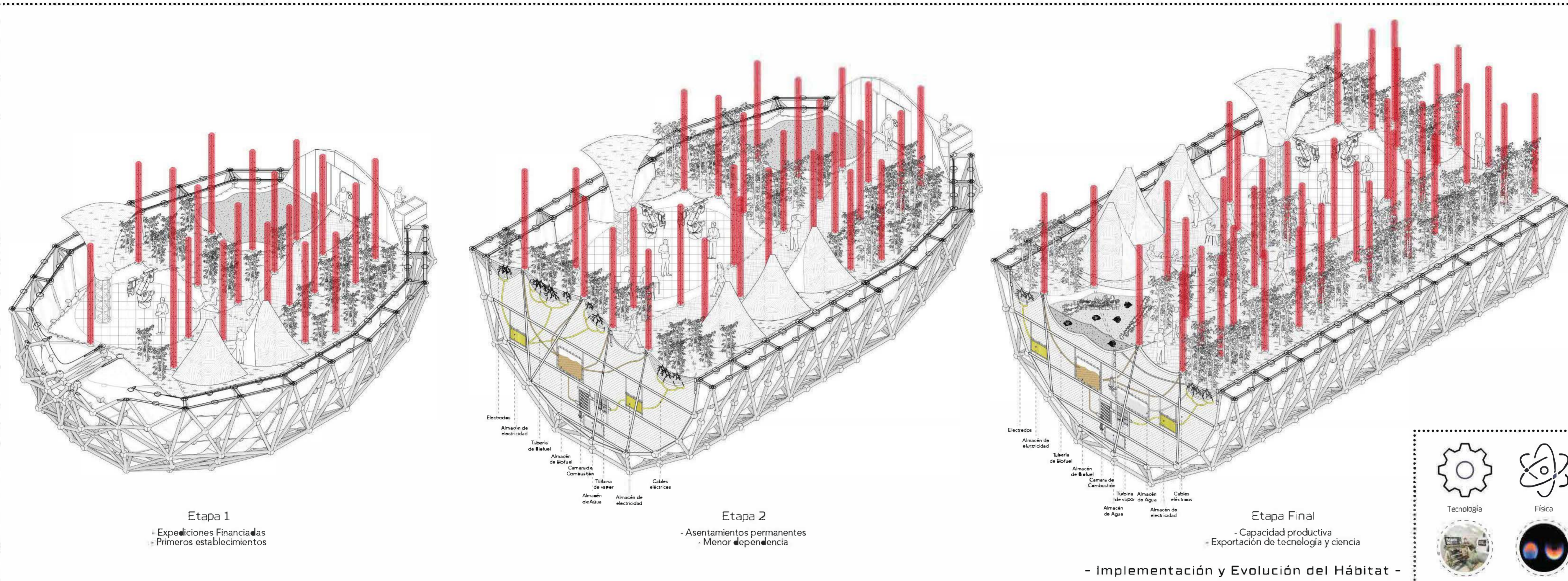
- Proceso de Despliegue de Membranas -



- Detalle de Membranas Tensadas -



- Ensayos de Tensado y Habitabilidad en Membranas -



El objetivo final del hábitat no es mantener una independencia total de la Tierra. Por el contrario, toma en cuenta su posición única respecto a ella y apunta a ser capaz de producir conocimiento científico y tecnología únicamente capaces de ser desarrollados en este contexto. Gracias a ello, el hábitat no solo será únicamente sostenible a nivel de recursos, sino también a nivel comercial y podrá mantenerse con un capital propio.

Se tomará en cuenta las ramas a las que la Estación Espacial Internacional ha aportado a la comunidad humana durante sus años de funcionamiento y se agregarán algunas necesarias para el futuro propuesto de la exploración espacial. Ocho son las seleccionadas: agricultura, botánica, prótesis, investigaciones humanas, robótica, física, ciencia de materiales y acuicultura.

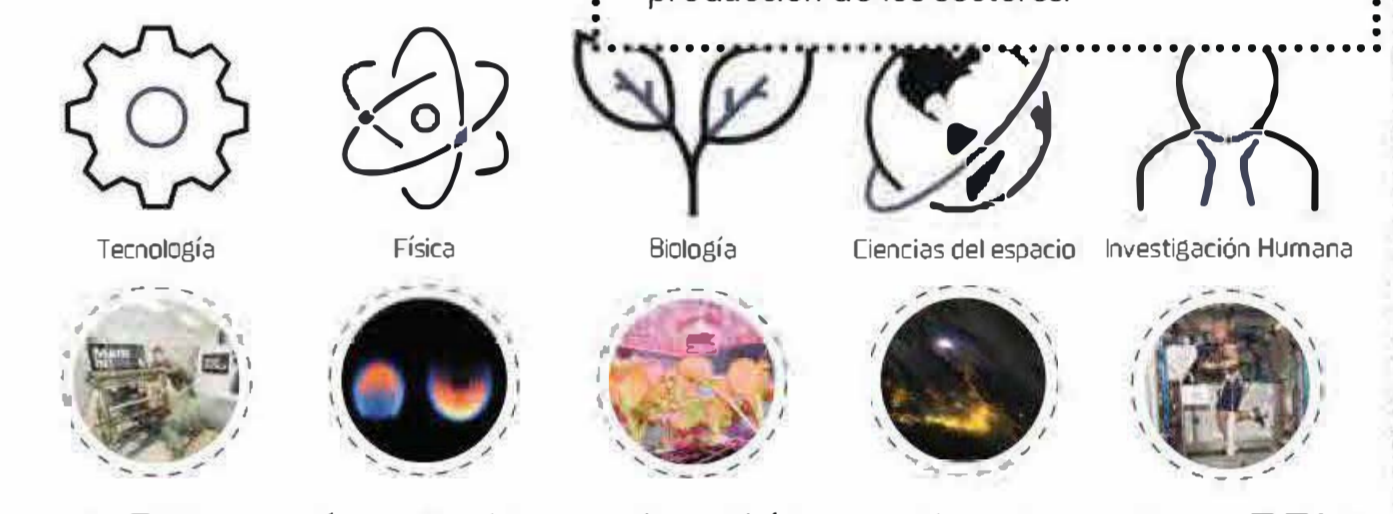
Como anteriormente se ha mencionado, los ciclos ecosistémicos formarán parte de la producción de cada uno de estos sectores. Por ello, se asignan distintos ecosistemas terrestres que aportarán beneficios específicos para la adecuada labor de ellos. Todos los sectores contarán con determinadas variables de temperatura, humedad, volumen e incluso gravedad artificial, factor fundamental en la existencia de los mismos. Asimismo, las especies vivas que se desarrollarán en cada ecosistema serán seleccionadas de acuerdo a su capacidad de supervivencia y confort en las condiciones, además de su aporte a la producción de los sectores.

Etapa 1
- Expediciones Financieras
- Primeros establecimientos

Etapa 2
- Asentamientos permanentes
- Menor dependencia

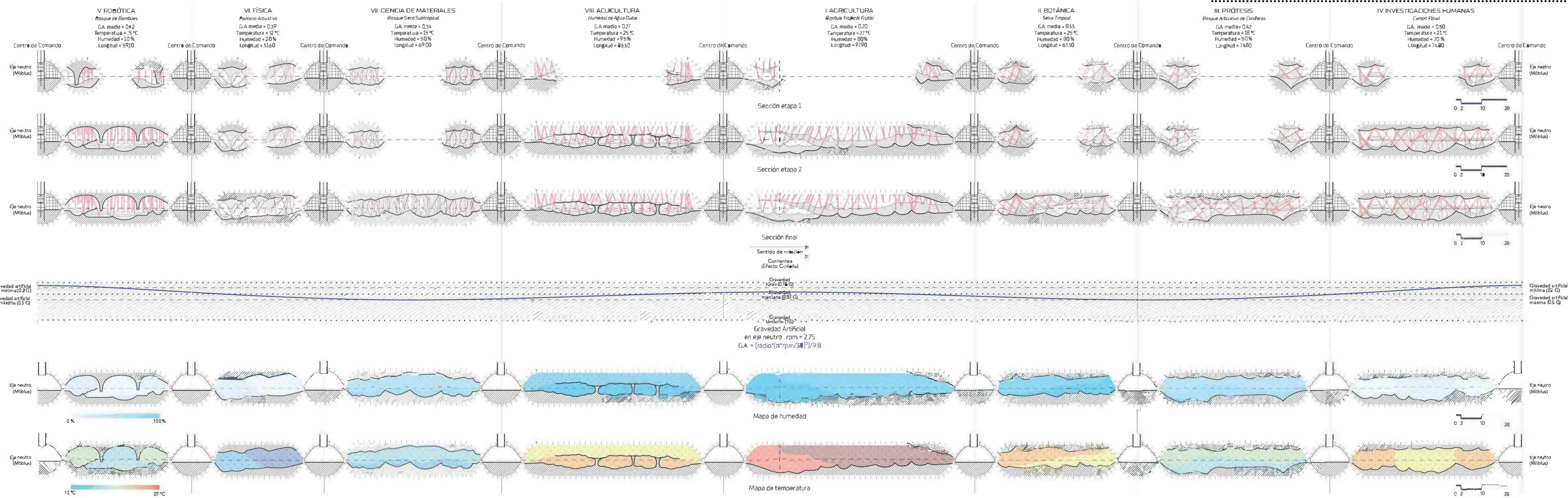
Etapa Final
- Capacidad productiva
- Exportación de tecnología y ciencia

- Implementación y Evolución del Hábitat -



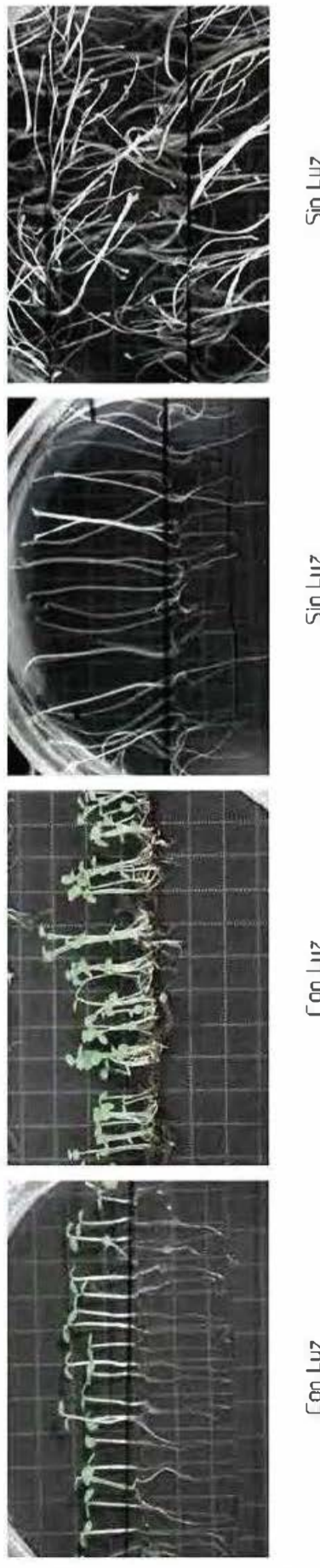
- Categorías de investigación realizadas en la EEI -

// NASA (2023) //



- Secciones Longitudinales Desarrolladas de Hábitat -





- Efectos de Microgravedad en Crecimiento de Plantas -
// Adaptado de Medina, F. (2010) //

PLANTAS

- Carachama *pseudomolepis geribarbis* L. 40 - 50 cm
- Cacao *theobroma cacao* L. 4 - 7 m
- Durazno *prunus persica* L. 4 - 5 m
- Mango *mangifera indica* L. 2 - 4 m
- Palla *persoa americana* L. 4 - 5 m

PECES

- Carachama *pseudomolepis geribarbis* L. 40 - 50 cm
- Chita *anisostemus scapularis* L. 30 - 40 cm
- Pez Neon *parachanna imnesi* L. 3 - 4 cm
- Camarón de Río *cypridopsis caementarius* L. 15 - 20 cm

HONGOS

- Rúscula *rossia emetica* L. 5 - 10 cm
- Alga Roja *Gracilaria verrucosa* L. 30 cm
- Sargazo Veligoso *Fucus vesiculosus* L. 30 cm

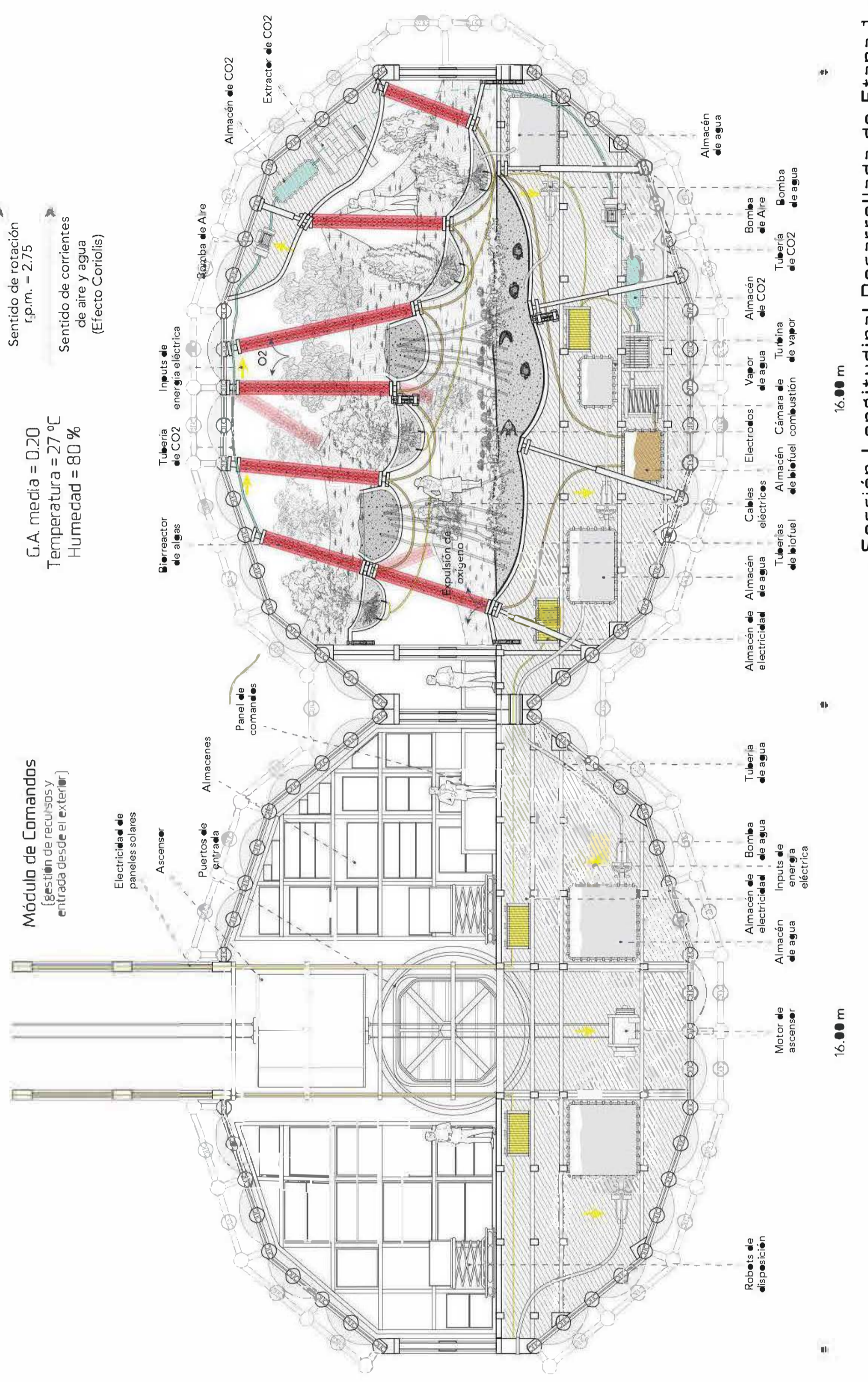
ALGAS

- Especies Propuestas -

La sección destinada a la agricultura, el bosque tropical frutal, busca resolver la necesidad de comida para sus habitantes principalmente. Especies de peces y plantas comestibles y nutritivas son seleccionadas para su cultivo en esta zona.

Las condiciones propuestas para este sector se toman en cuenta según las necesidades para el adecuado ritmo de intercambio de recursos de las especies, el cual es un intercambio acelerado por las altas temperaturas y humedad. Asimismo, la gravedad artificial de 0.2 (un quinto de la gravedad terrestre) no solo será conveniente para que las estructuras tensionadas puedan sostener la gran cantidad de recursos sino también para explorar la capacidad de crecimiento de estos.

Actualmente, investigaciones muestran que las plantas son capaces de crecer apropiadamente en ingravidez. Sus raíces, sin embargo, no crecen direccionándose a la tierra, sino según la distribución de los nutrientes a su alrededor, mientras que el tallo se dirige hacia la luz. Por este motivo, los biorreactores de algas, además de ser fuentes de luz, dirigirán el crecimiento de los tallos en distintos vectores verticales inclinados. De esta manera, las plantas podrán tener mayor crecimiento vertical sin necesidad de que sus raíces ocupen un gran espacio. No obstante, la exploración de los frutos de estas plantas también requiere una exploración en sí misma, la cual será una de las materias en la agenda de los futuros trabajadores en este sector.



- Sección Longitudinal Desarrollada de Etapa 1 -

G.A. media = 0.20
Temperatura = 27 °C
Humedad = 80 %

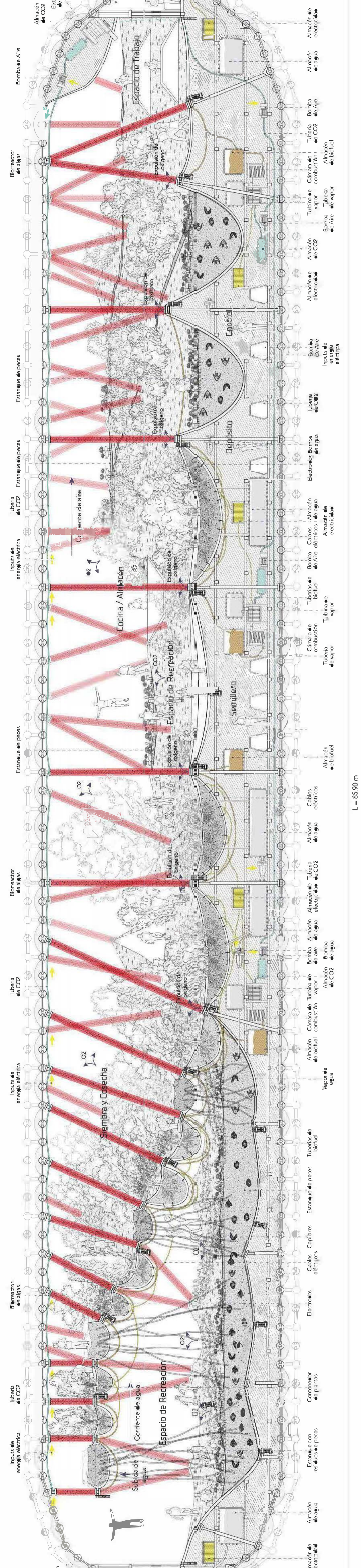
Sentido de rotación
rpm. = 2/75

Sentido de corrientes
de aire y agua
(Efecto Coriolis)

Sentido de rotación
rpm. = 2/75

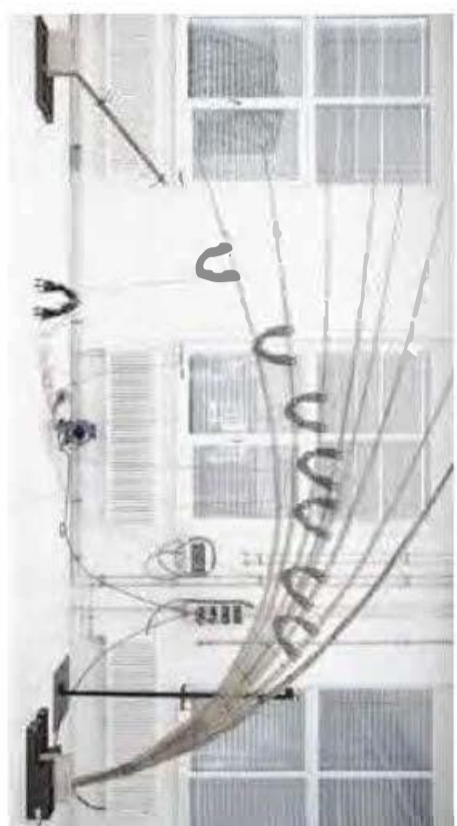
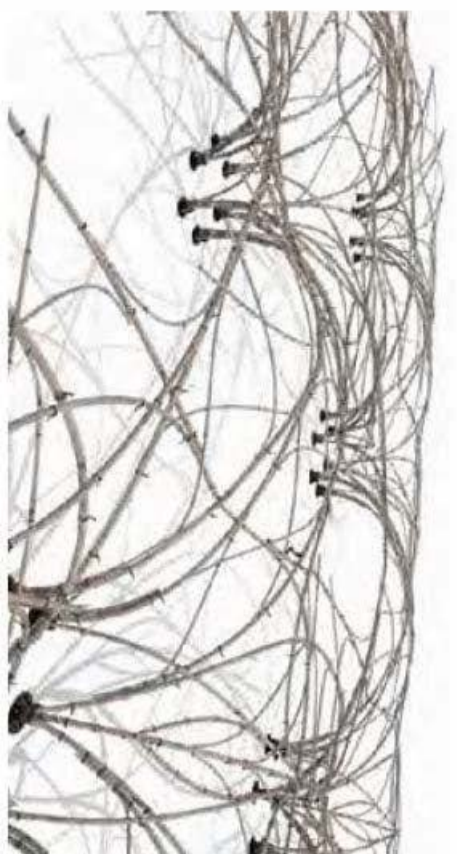
Sentido de corrientes
de aire y agua
(Efecto Coriolis)

G.A. media = 0.20
Temperatura = 27 °C
Humedad = 80 %

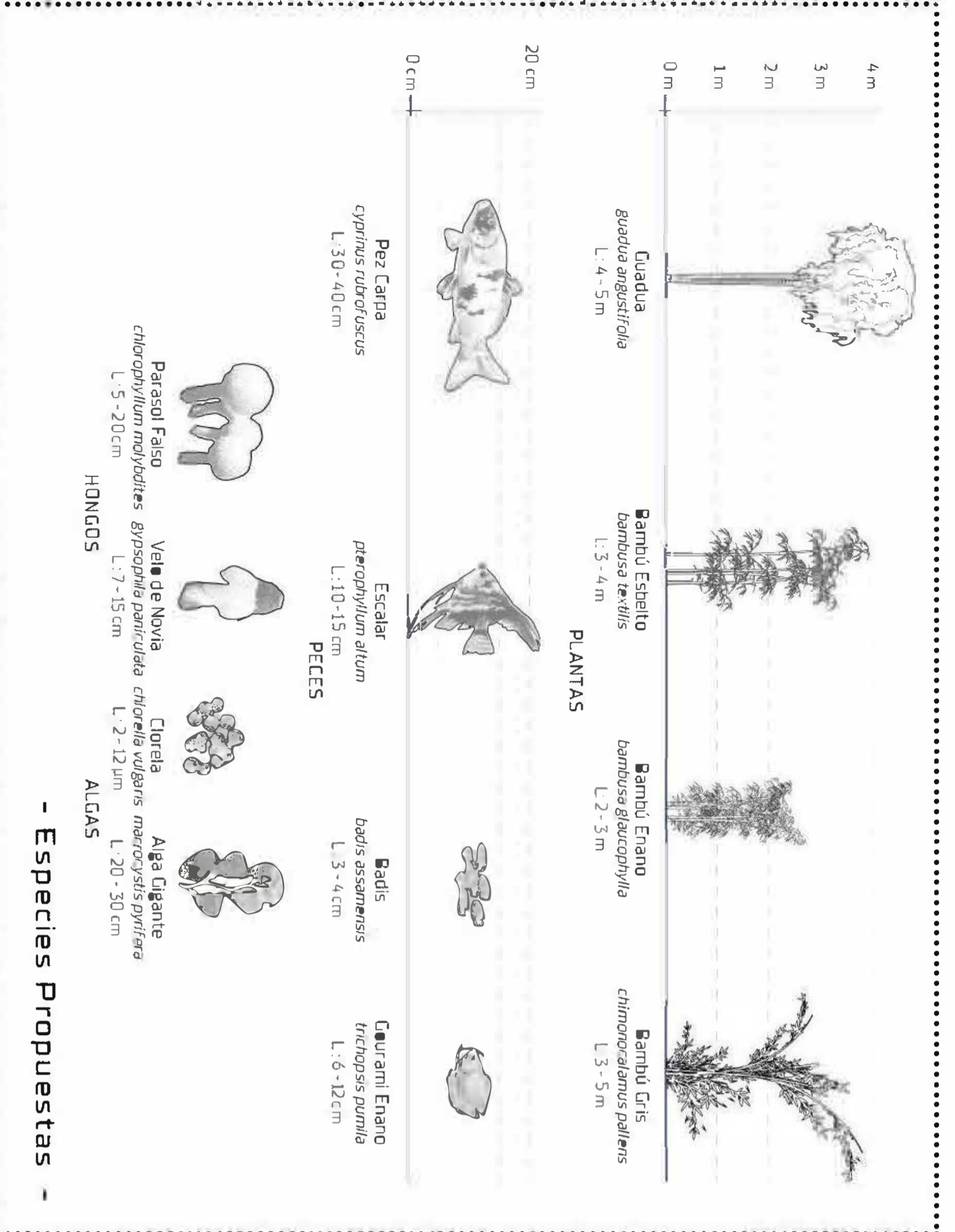


L = 85.90 m

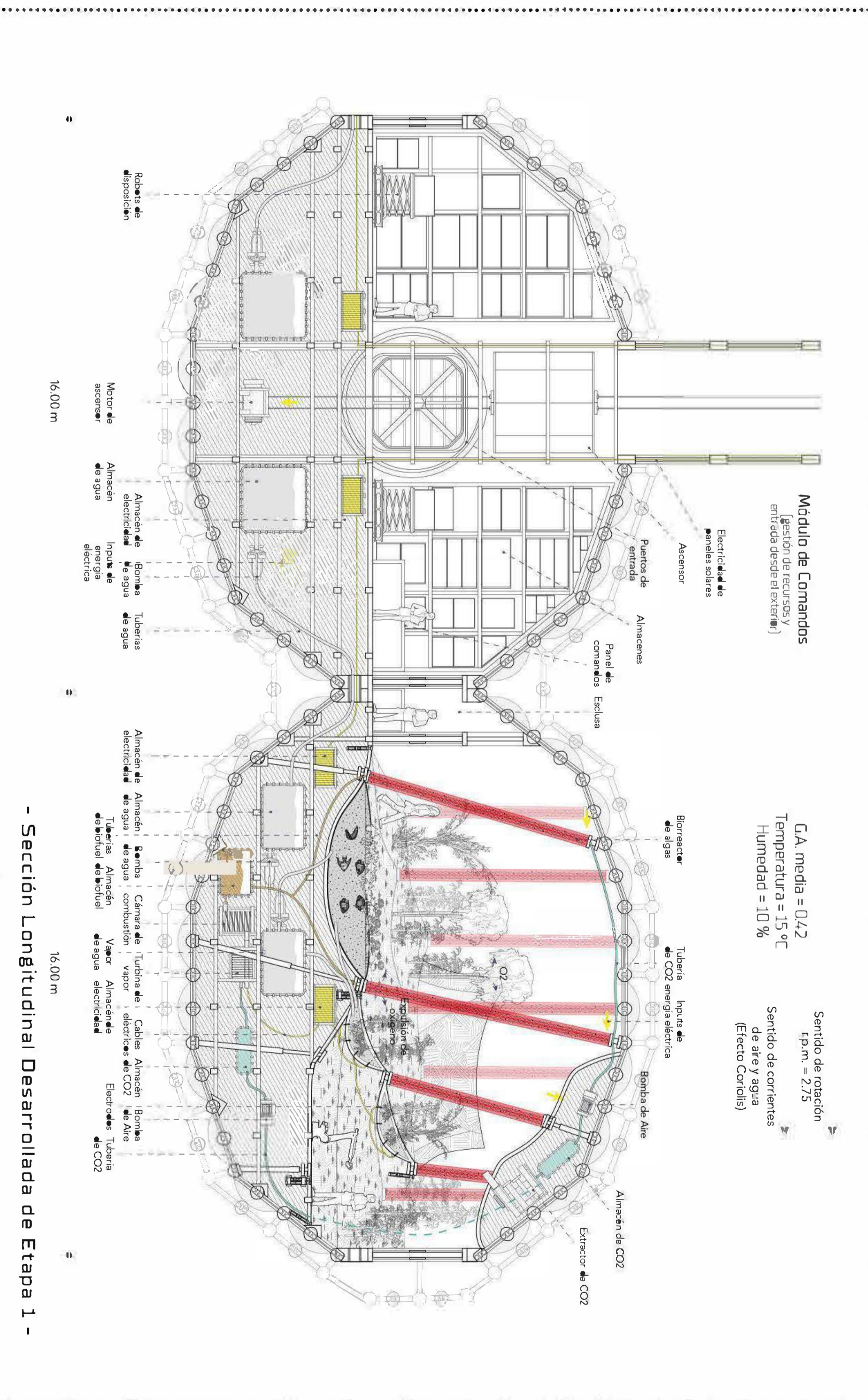
- Sección longitudinal Desarrollada de Etapa Final -



- Construcción Autónoma con Bambúes y Robots -
// Lochnicki, C.; Kudail, N. (2020) //



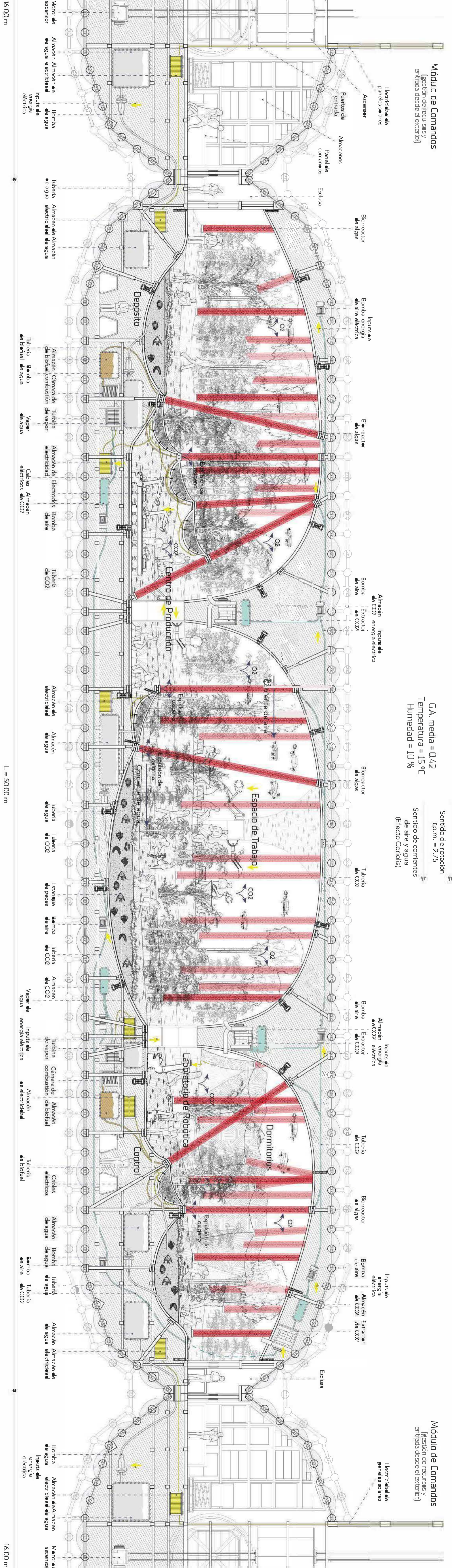
- Especies Propuestas -



El sector de los bosques de bambúes se asigna a la actividad de producción robótica principalmente por la posibilidad de aprovechamiento de esta familia de especies para distintas estructuras. Históricamente, el bambú ha sido una gran fuente de recursos no solo comestibles sino también para construcción. De hecho, la robótica ya ha iniciado investigaciones para la construcción de tecnología con el uso de estas especies.

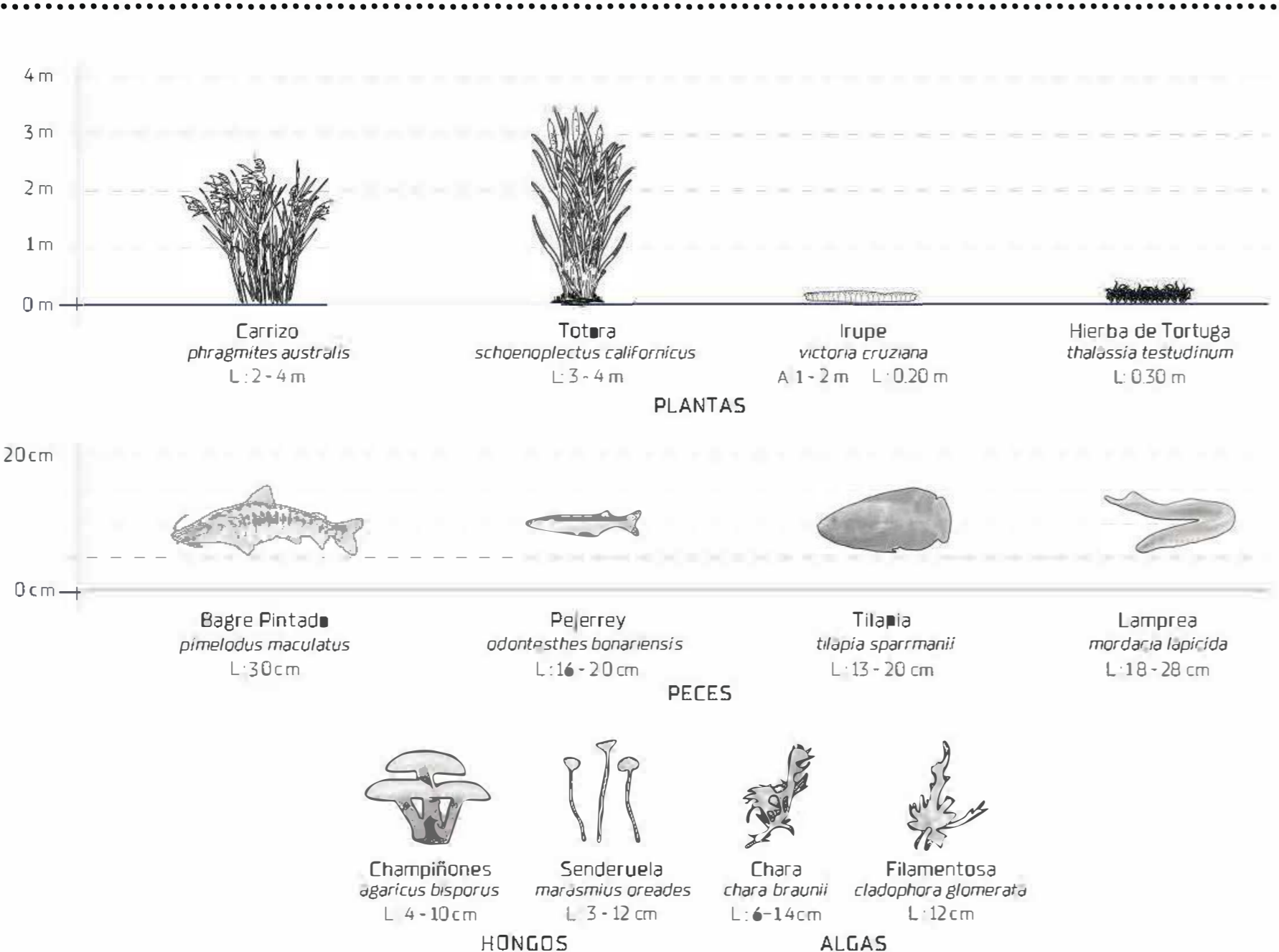
Las condiciones ambientales en este ecosistema artificial apuntan a ayudar al adecuado funcionamiento de las máquinas y el trabajo colaborativo de los atomata. Una baja humedad y una temperatura media apuntan al adecuado mantenimiento y funcionamiento de estos servicios.

Además de ello, se disponen estructuras tensionadas que contienen extractores de dióxido de carbono en los lugares de trabajo y producción para la adecuada confortabilidad en estos. Estas estructuras, además, serán utilizadas como ejes de reparación de energía eléctrica para las máquinas.

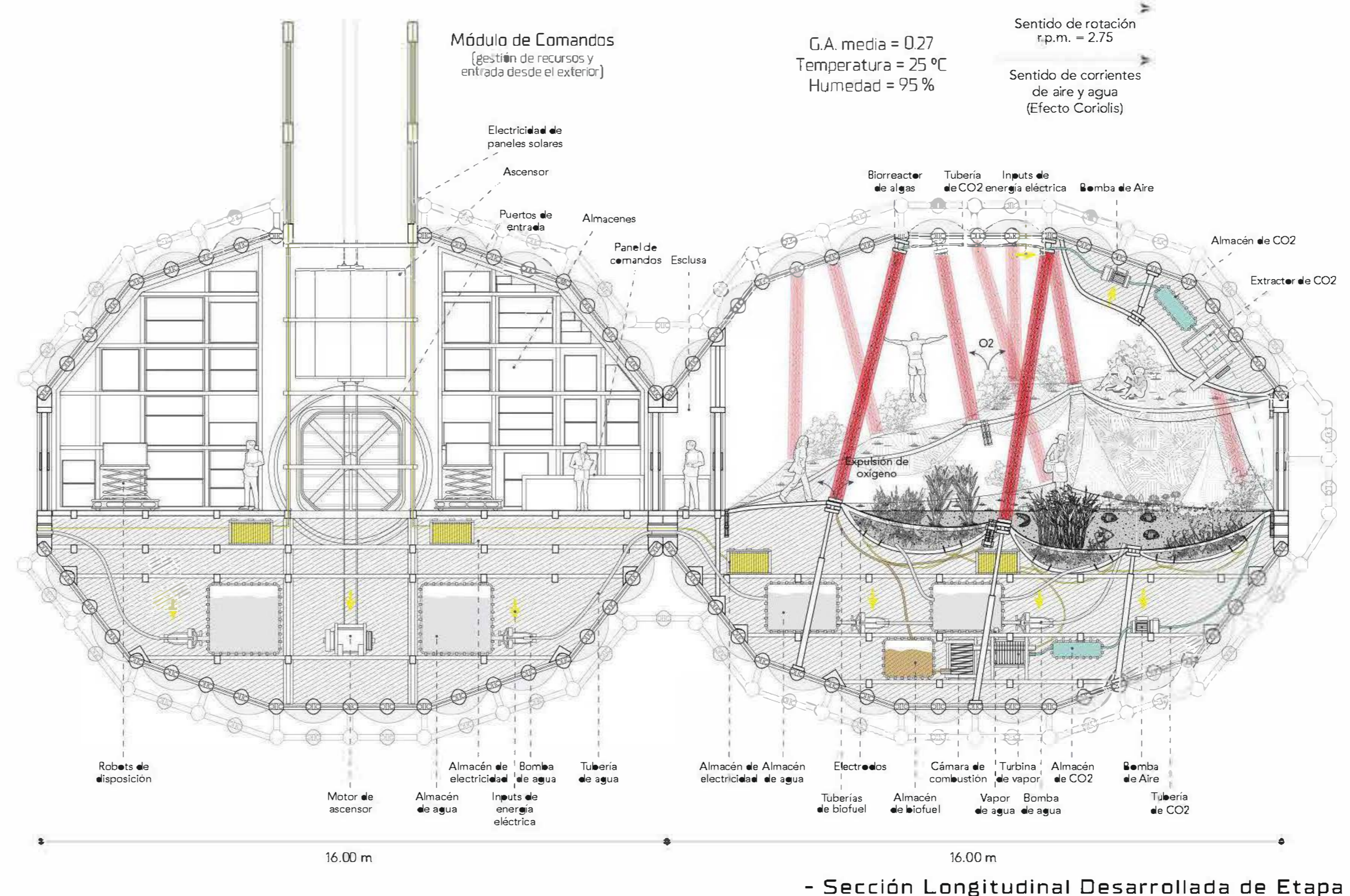




- Peces en el Espacio -
// Chatani, M.; Kudo, A. [2018] //



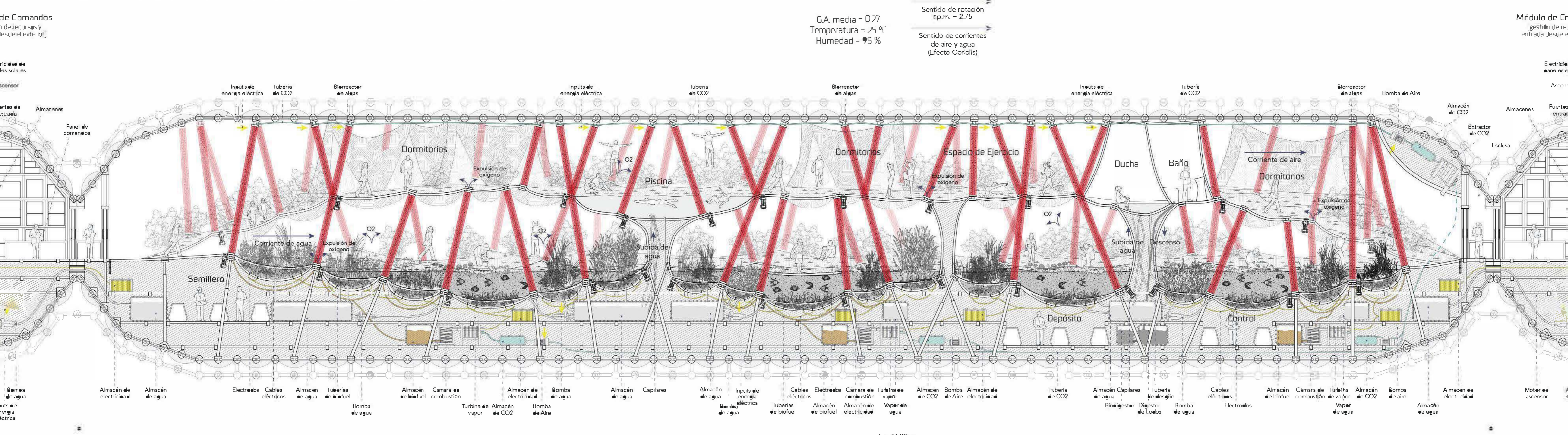
- Especies Propuestas -



La acuaponía es uno de los principales ciclos de producción y renovación de recursos como el agua y comida para el proyecto. Por ello, es necesario la existencia de un sector encargado principalmente de la exploración de esta técnica. Se escoge un ecosistema como el humedal de agua dulce para este fin.

No solamente es un ecosistema capaz de contener a una de las mayores cantidades de especies animales y vegetales acuáticas, sino también es uno de los ecosistemas más eficientes en el uso de recursos. Es decir, utiliza la energía de una manera óptima para la mayor producción de biomasa. Por otro lado, experimentos con peces en el espacio han demostrado que pueden sobrevivir en esas condiciones con perjuicios generados únicamente por la ingravidez, situación que sería contrarrestada con la generación de gravedad artificial en el proyecto.

Asimismo, las cualidades existentes en este sector serán capaces de proporcionar una gran variedad de recursos alimenticios para los astronautas, al igual que aportarán en gran medida a la depuración del agua utilizada. Ello es aprovechable para espacios de relación con estos recursos como una piscina e incluso un sauna. La creación de un segundo nivel se relaciona con ese fin: un nivel destinado a la conservación y preservación de especies y otro para la recreación humana.



➤ SIGNIFICACIÓN

Exploraciones vivenciales en OBT

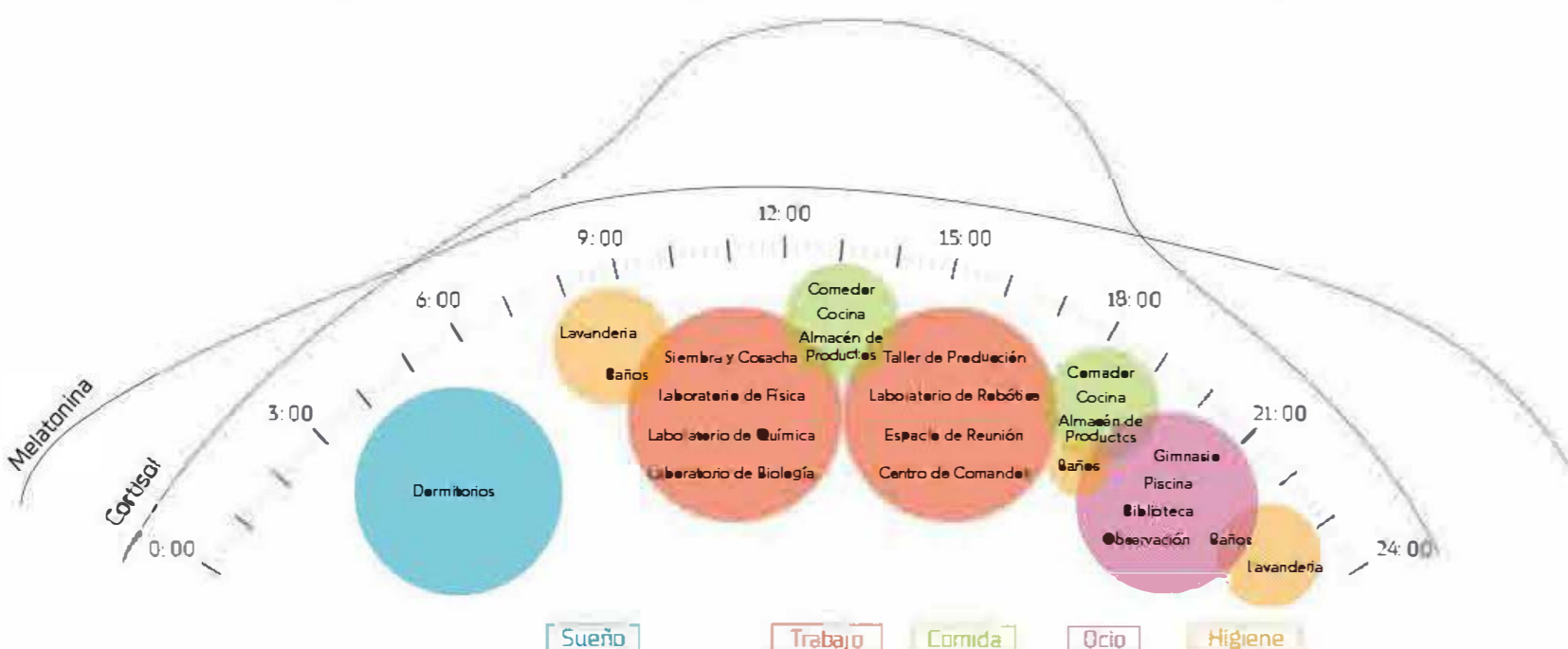
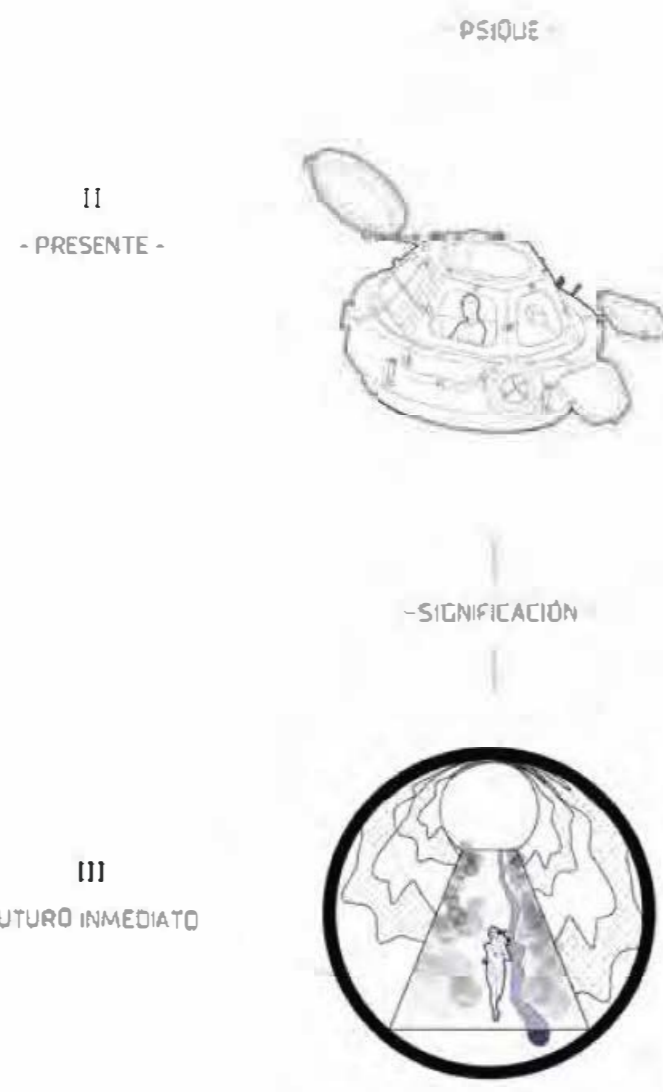
La casa tiene su lado del sol y su lado de sombra; por ellos se orienta la distribución de los "espacios" de acuerdo, en cada caso, al carácter que tiene de útil... desde los cuales el Dasein mismo está determinado desde el punto de vista de sus más propias posibilidades-de-ser en el mundo.

// Heidegger (1927) //

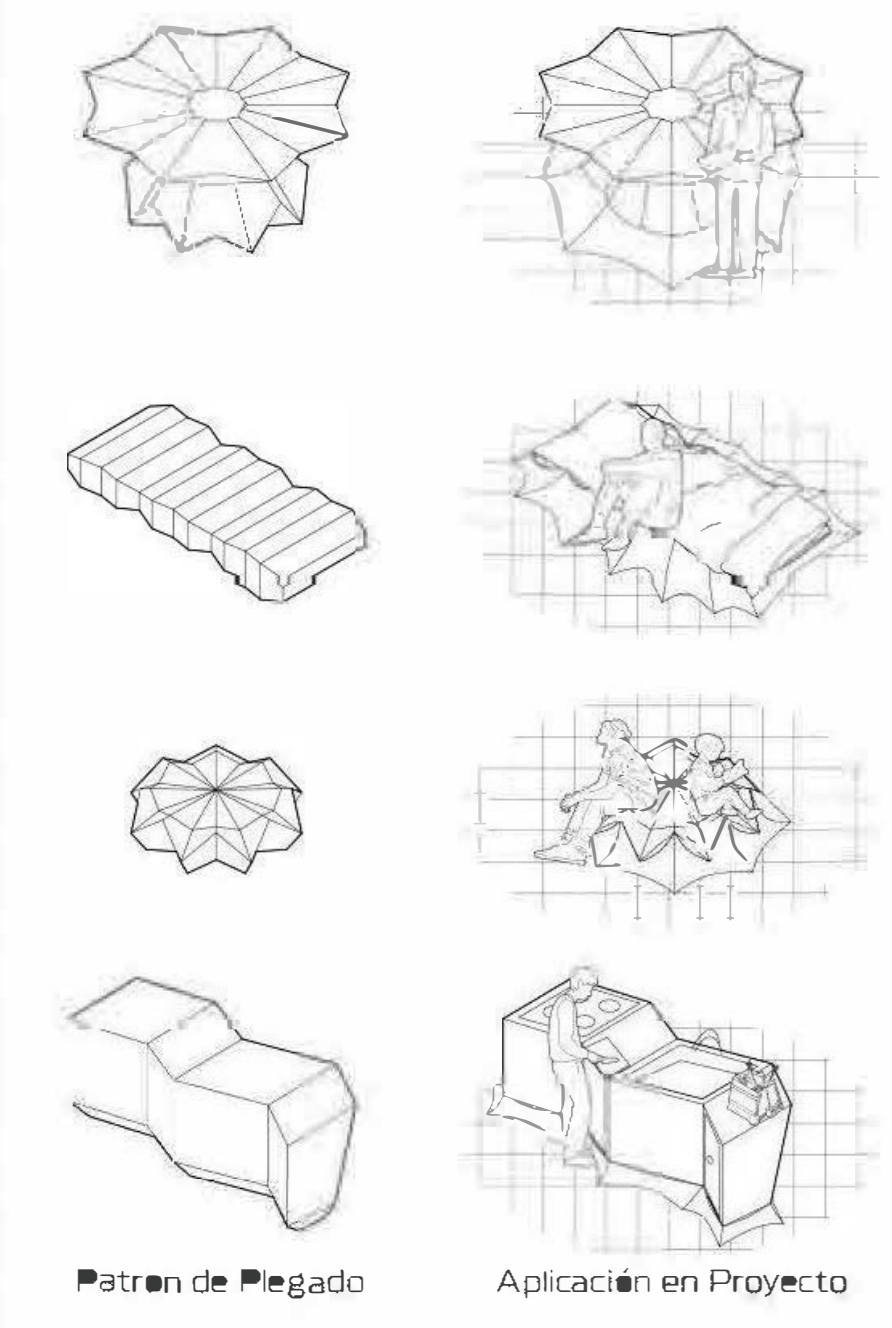
La autopercepción humana se encuentra determinada por la espacialización de las ideas y costumbres que están relacionadas directamente al entorno en el que ellas se erigen. El Dasein se constituye sobre la normativización de sus espacios, por la determinación de los elementos en los que este habita.

El hábitat necesita que el usuario encuentre su posibilidad de existencia más allá de su bienestar físico. Esta se definirá sobre las actividades que pueda realizar, además de las experiencias personales y sociales posibles de construir.

Para ello, se explora sobre la generación de distintas relaciones del ser humano con este entorno. Los habitantes necesitan estar conscientes de que su presencia en la órbita baja terrestre se delimita por los recursos obtenibles gracias a los ecosistemas generados y los recursos obtenibles desde el exterior.



- Programa y Ciclo Circadiano -



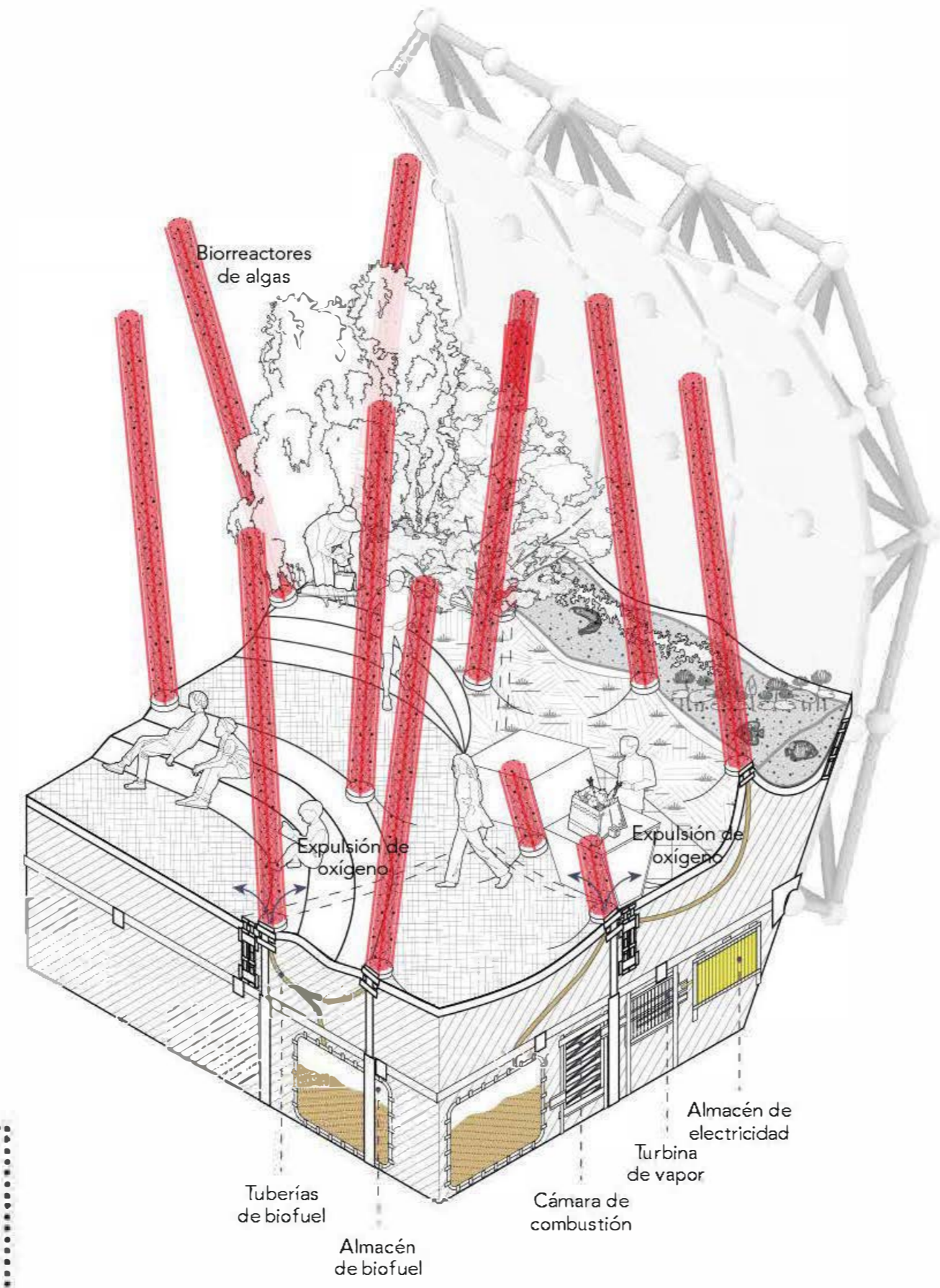
- Mobiliario Desplegable -

Las condiciones biológicas de los habitantes que dan como resultado su ciclo circadiano se toman en cuenta para el diseño del programa del proyecto. Se diseñan espacios basados en 5 actividades fundamentales diarias en el ser humano: sueño, trabajo, comida, ocio e higiene.

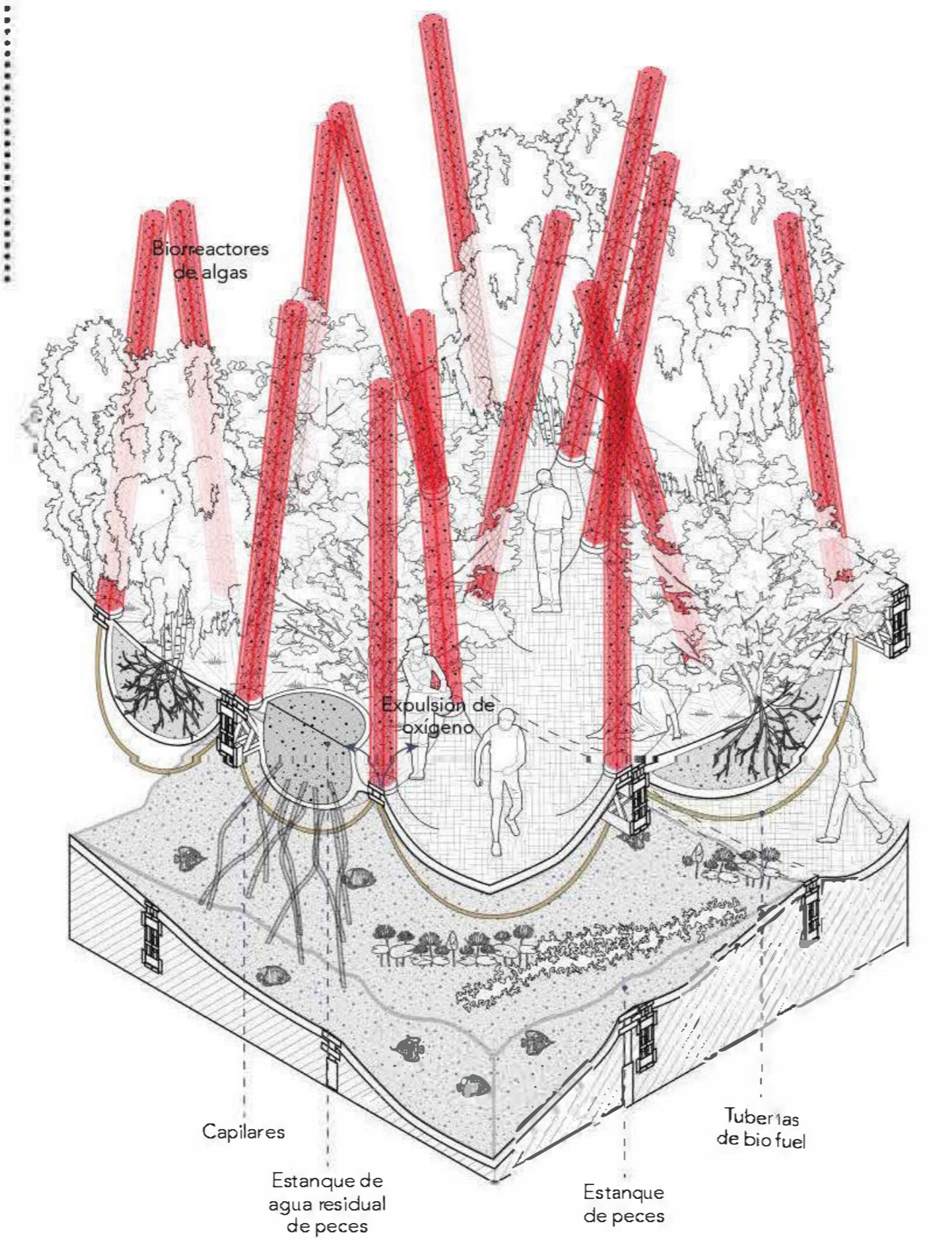
El proyecto no solo propone una manera de disponer la existencia de ciclos ecosistémicos fuera de la biosfera terrestre, sino también la posibilidad de que los astronautas aprovechen estos espacios para sus actividades cotidianas. Además, la estancia en el proyecto estará acompañada de continuas interacciones con los seres bióticos de cada ecosistema.

Los ambientes diseñados proponen un aprendizaje contrario a aquellas visiones que incompatibilizan la humanidad con sus orígenes naturales primigéneos. La propuesta de este hábitat se halla en la demostración de la posibilidad de convivencia de las necesidades contemporáneas humanas con aquellos orígenes. Sin embargo, la propuesta no mira el pasado con nostalgia, sino utiliza los avances de la tecnología contemporánea para sus fundamentos.

Sector: I. Agricultura Bosque Tropical Frutal

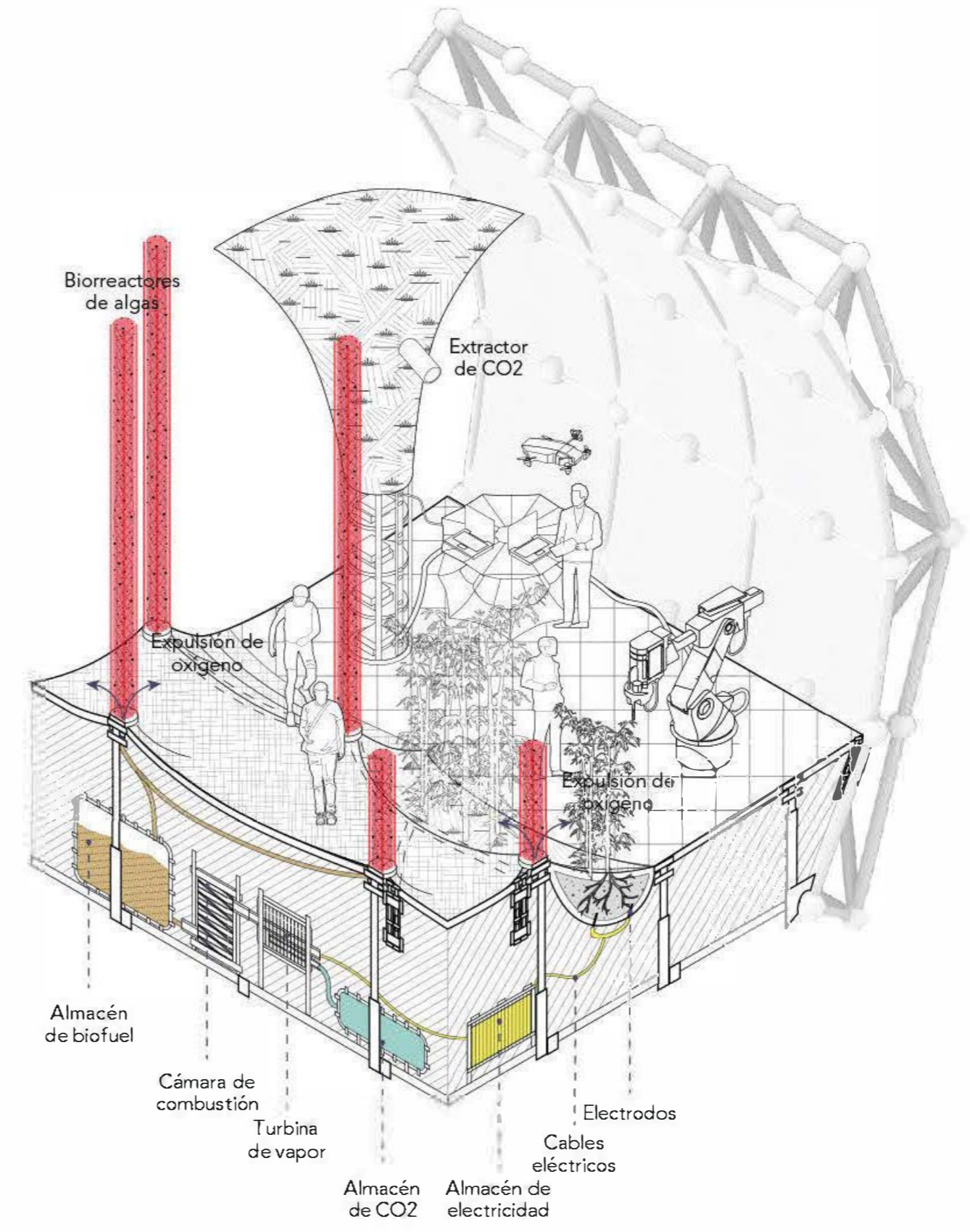


- Isometría de Espacio de Recreación y Cocina -

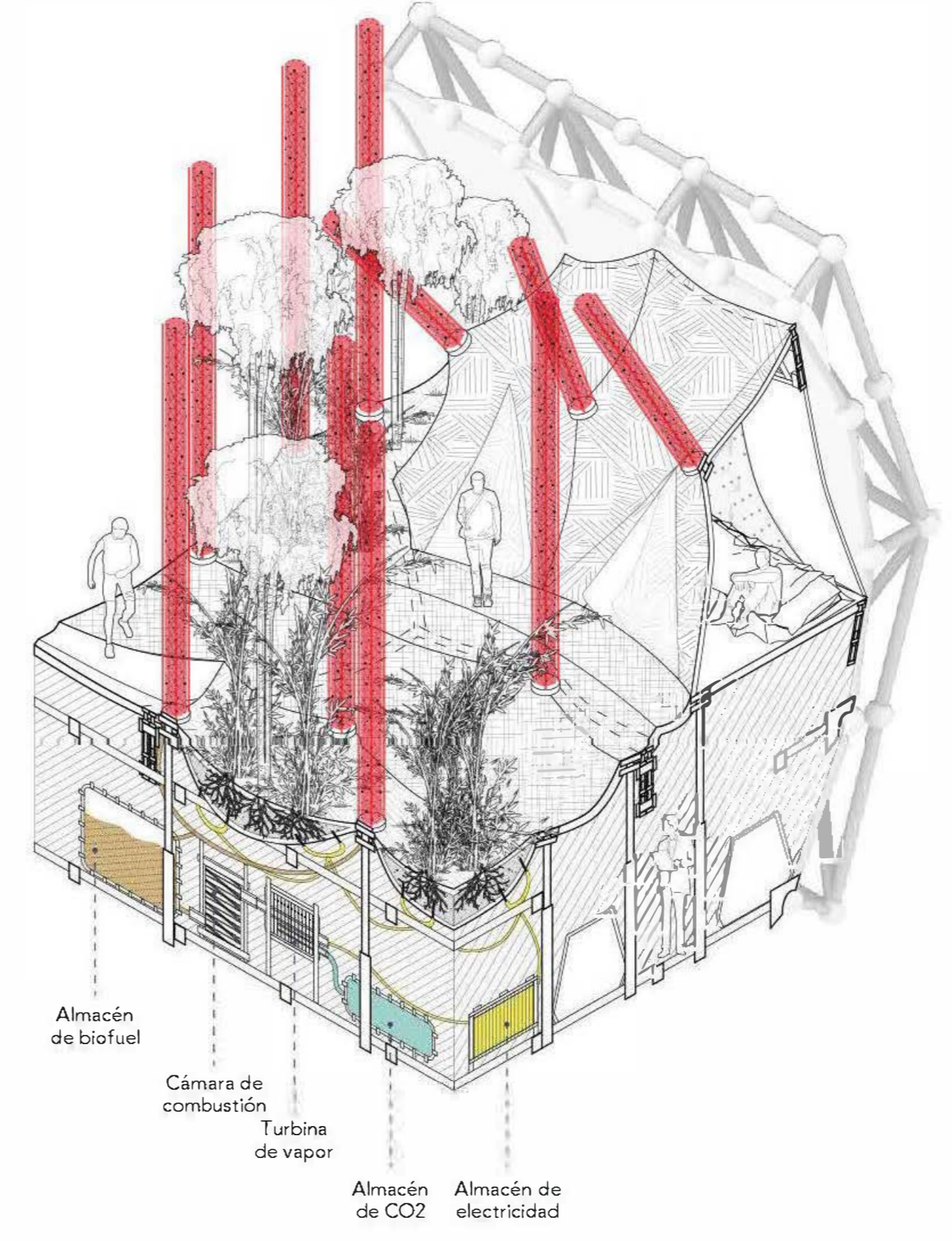


- Isometría de Espacio de Siembra y Cosecha -

Sector: V. Robótica Bosque de Bambúes

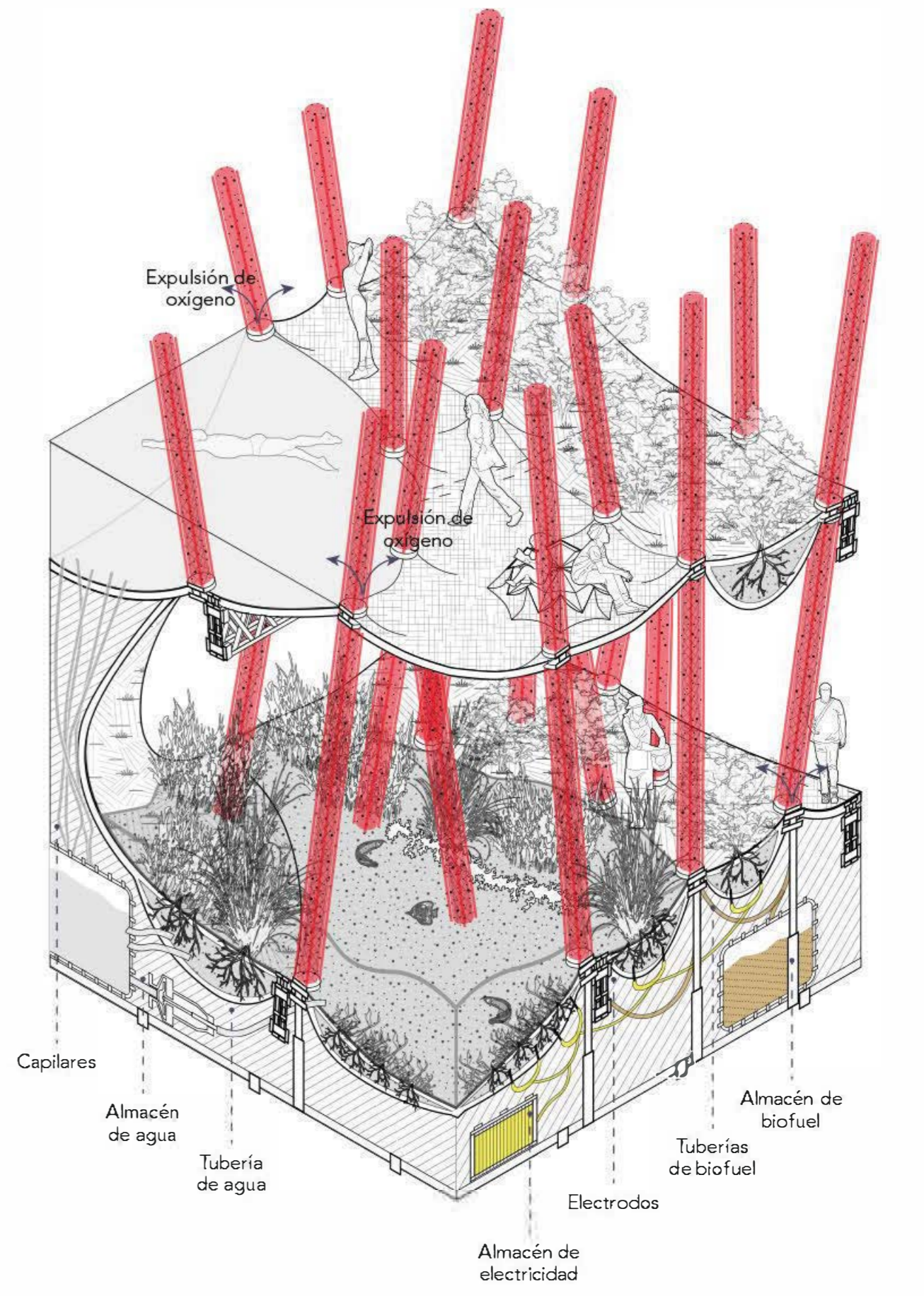


- Isometría de Laboratorio de Robótica -

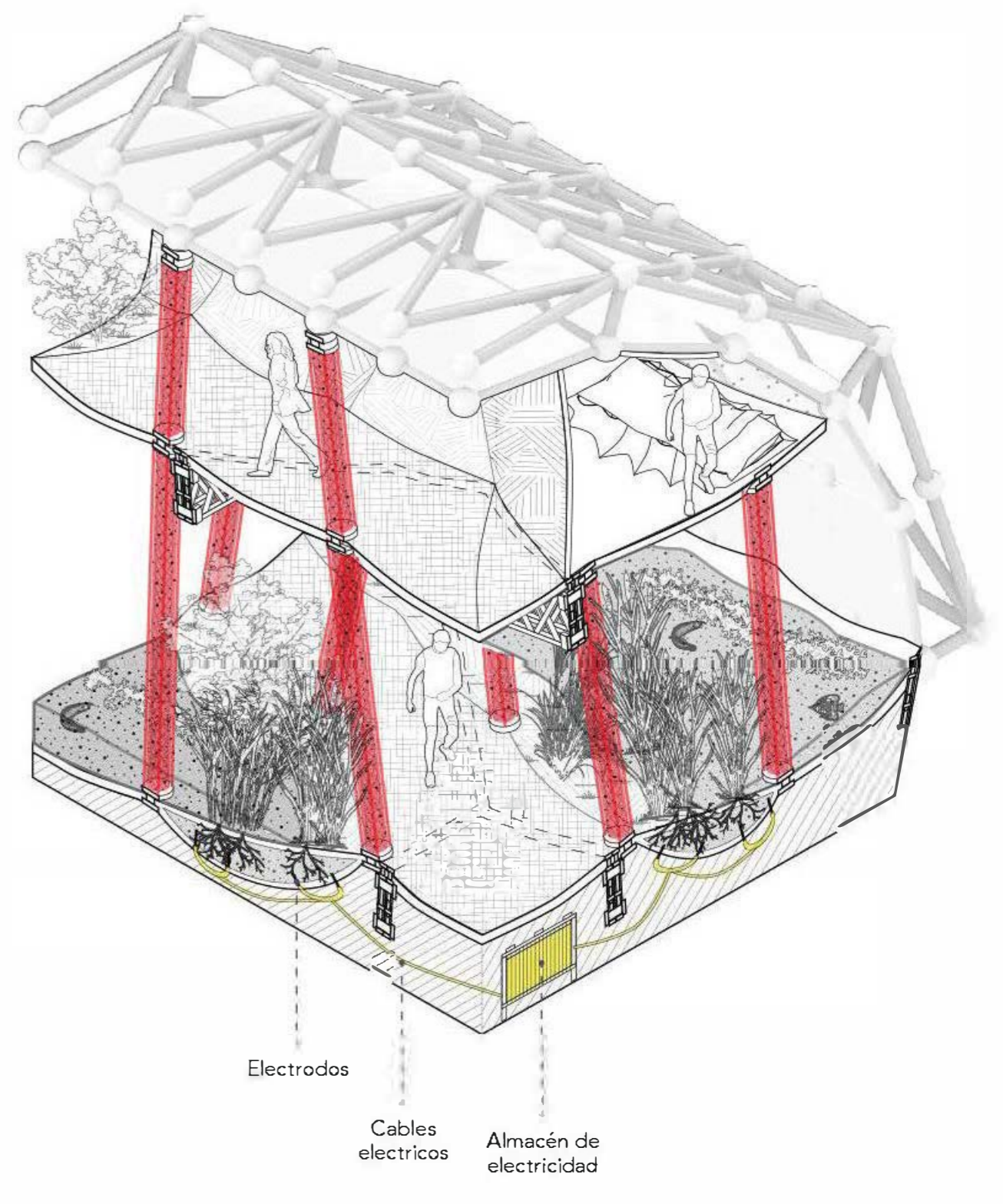


- Isometría de Dormitorios -

Sector: VIII. Acuicultura Humedal de Agua Dulce

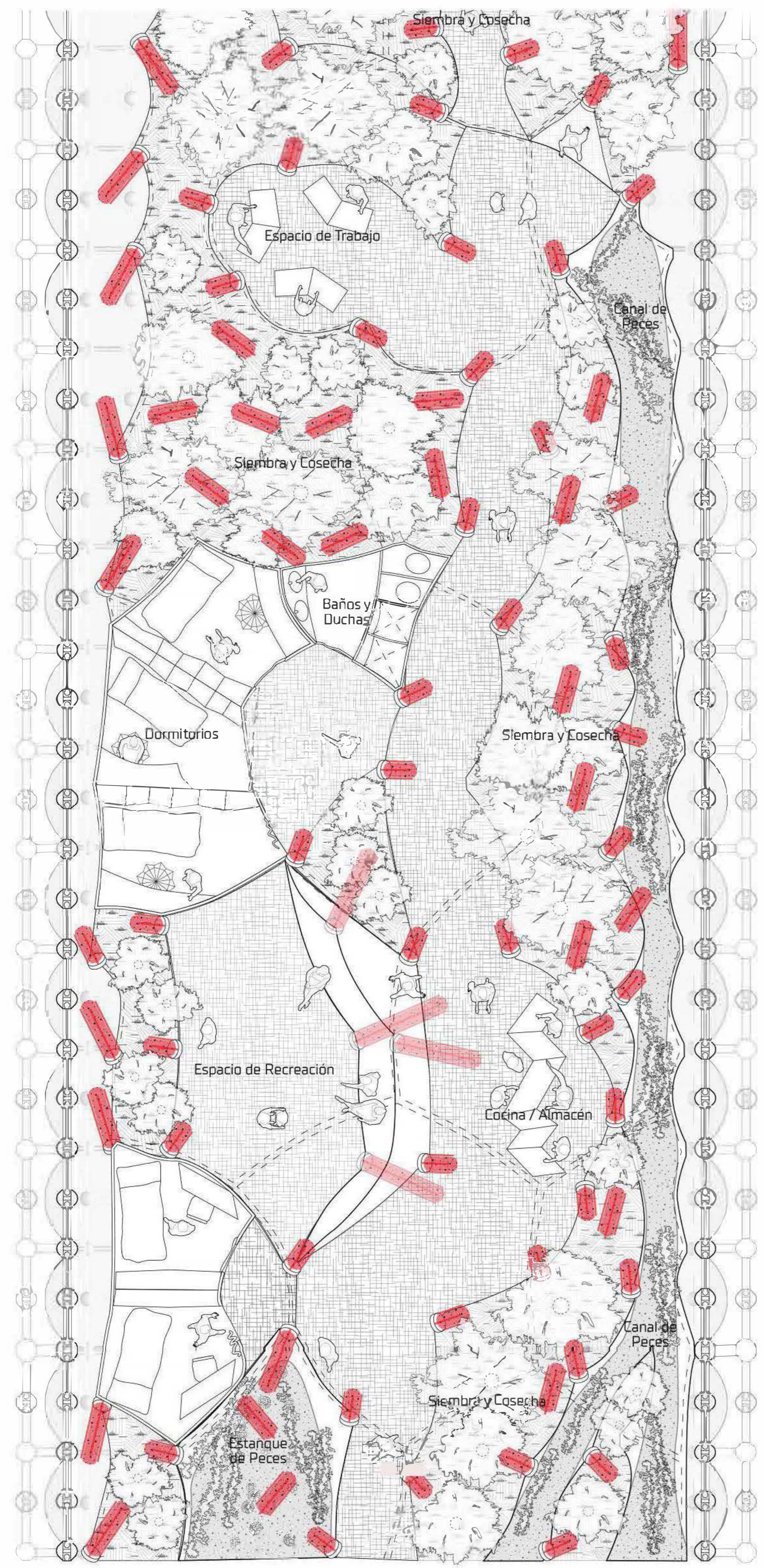


- Isometría de Piscina y Humedal -



- Isometría de Dormitorios y Humedal -



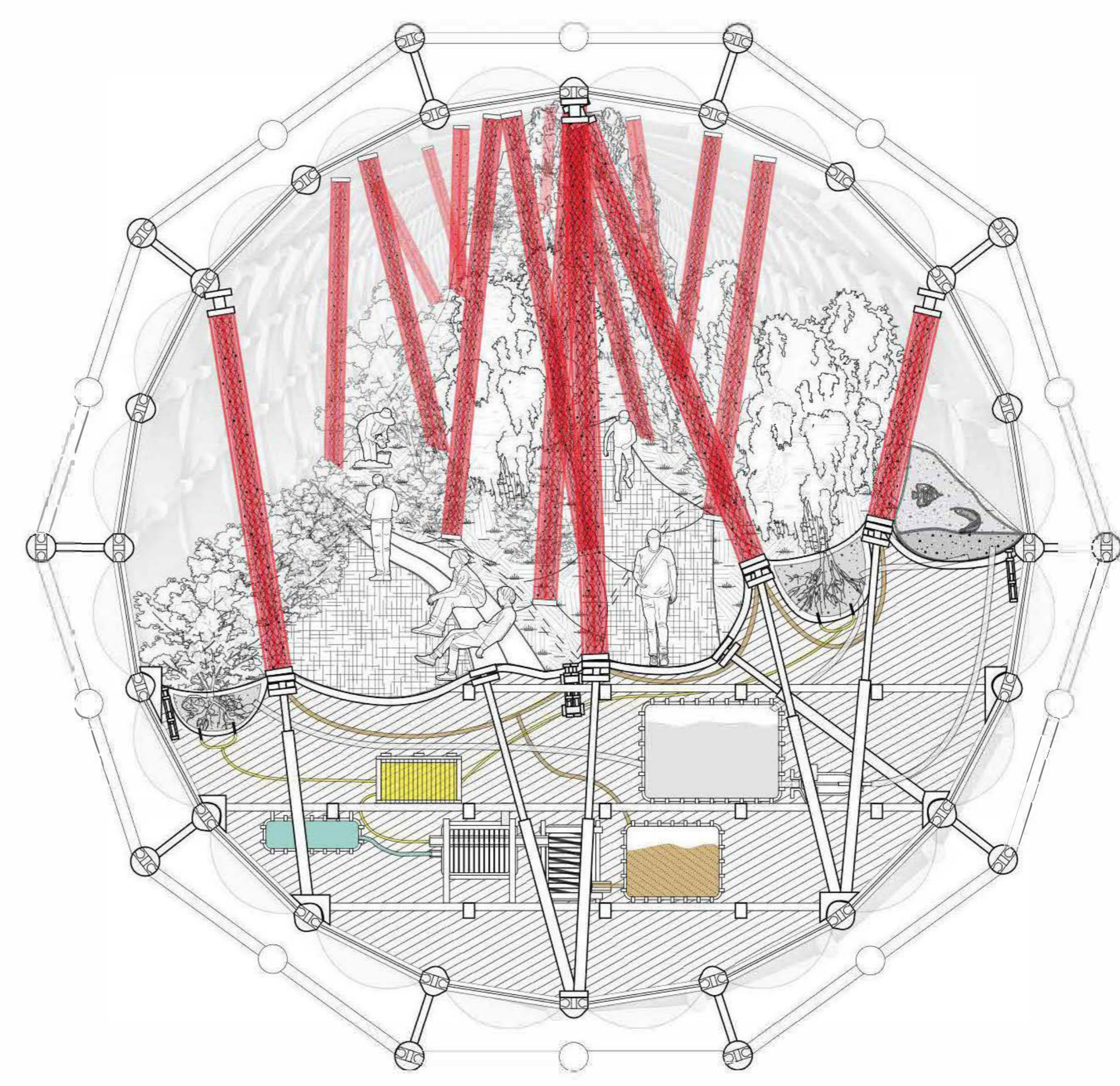


Sentido de corrientes
de aire y agua
(Efecto Coriolis)

Sentido de rotación
rpm = 275

12.00 m
G.A. media = 0.20
Temperatura = 27 °C
Humedad = 80 %

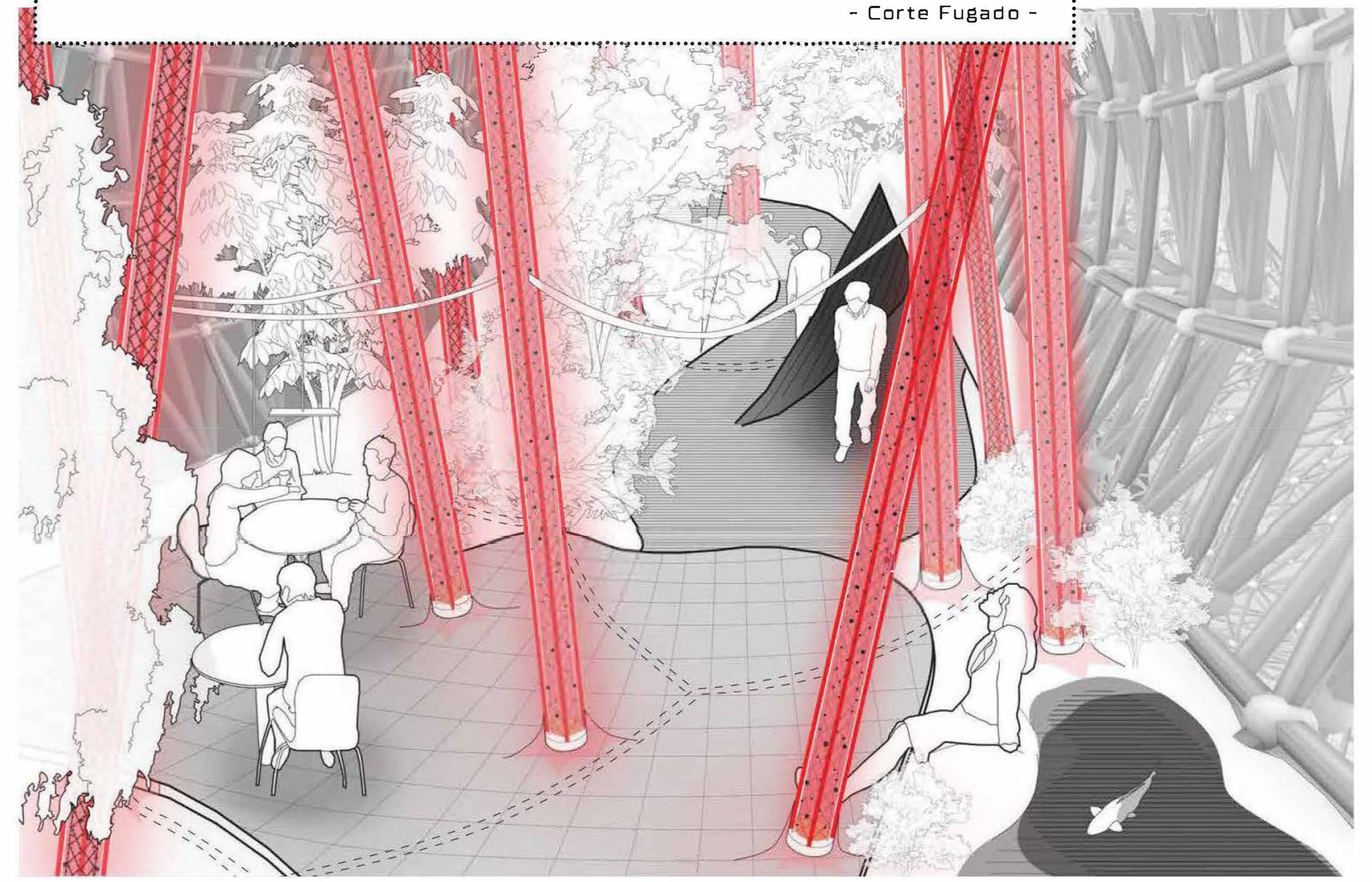
- Planta Desarrollada -



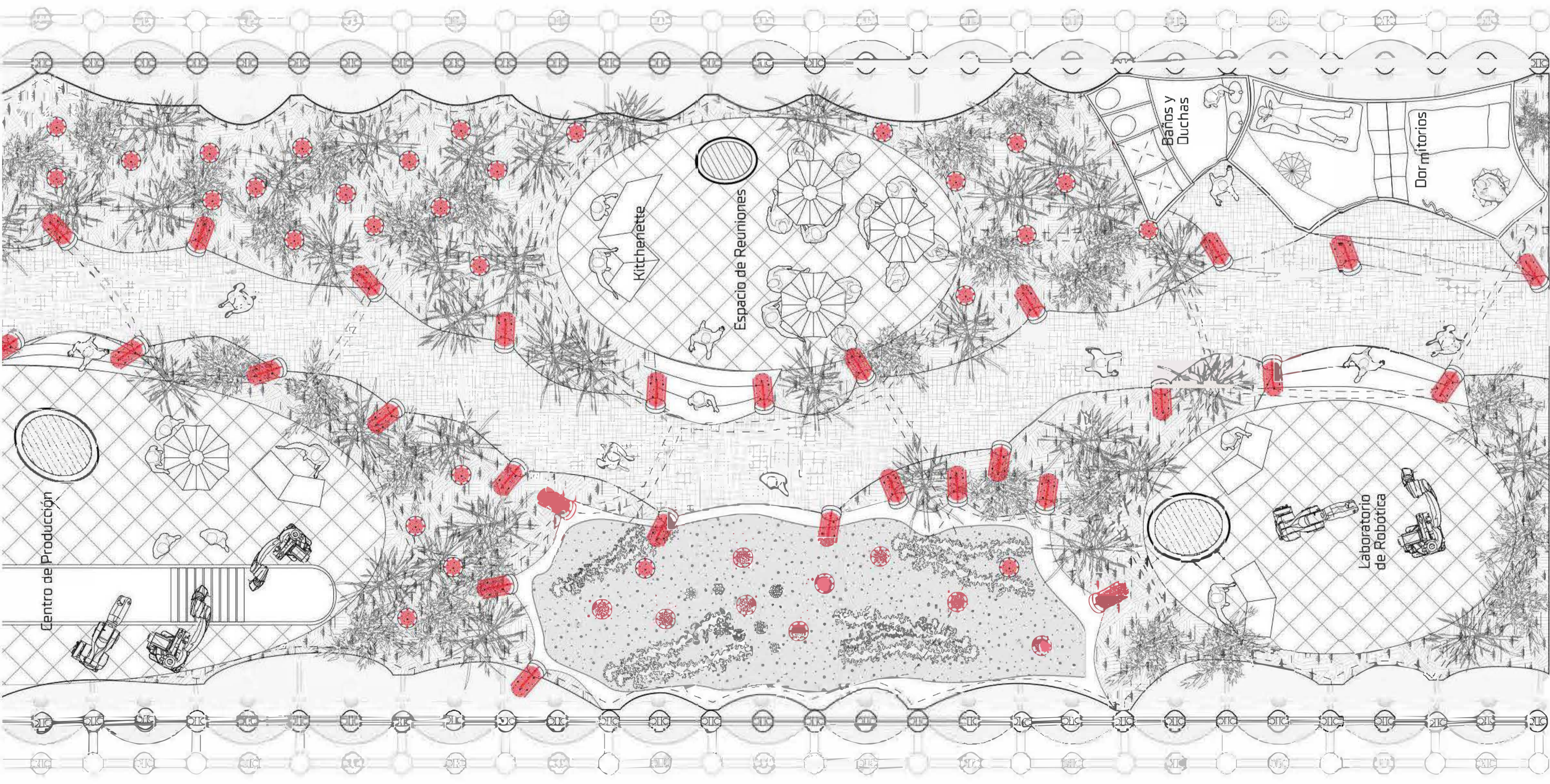
Las principales actividades a realizar en este ambiente se destinan a la siembra y cosecha, la recreación y el trabajo. Estas buscan generar una relación de los astronautas y su entorno basados en la naturaleza. Para ello, aquellas actividades son capaces de generar una gran cantidad de recursos alimenticios capaces de ser consumidos inmediatamente.

Asimismo, los espacios de recreación se destinan para las reuniones y actividades lúdicas de los astronautas en una gravedad similar a la experimentable en la luna. La generación de estas actividades será capaz de crear una nueva cultura basada en la naturaleza para los futuros astronautas que dirijan su destino a ese satélite terrestre.

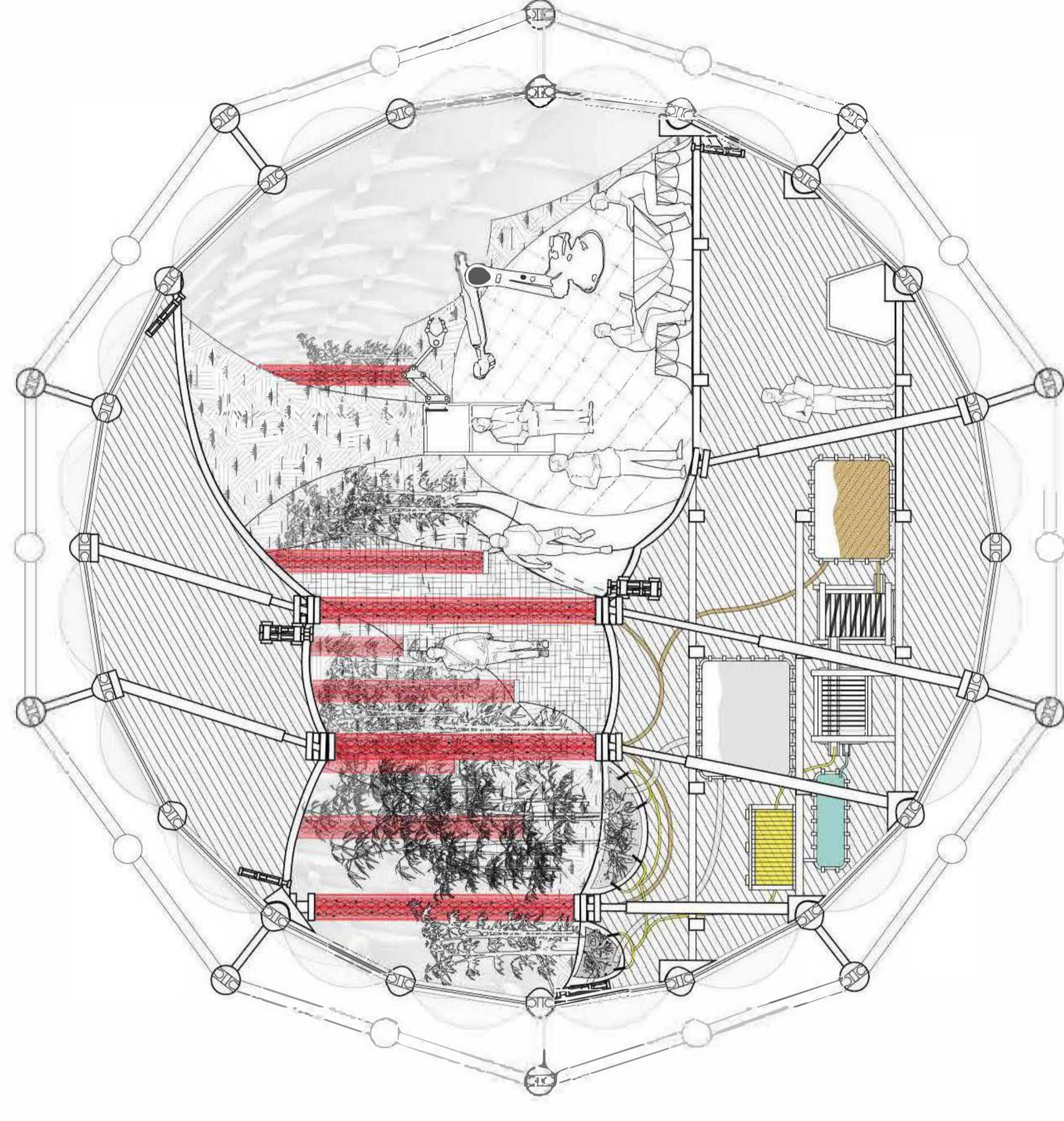
- Corte Fugado -



- Perspectiva -



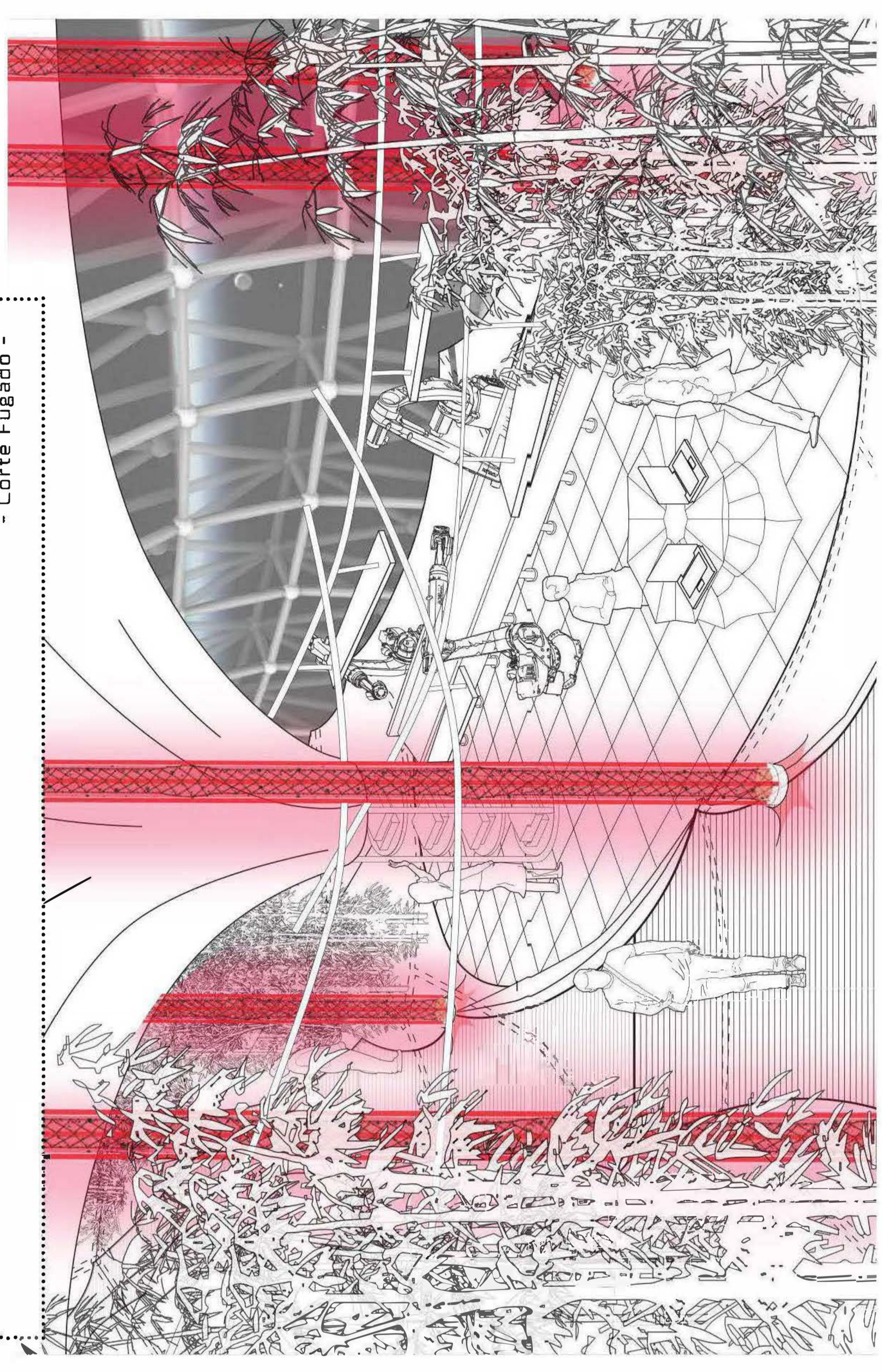
- Planta Desarrollada -



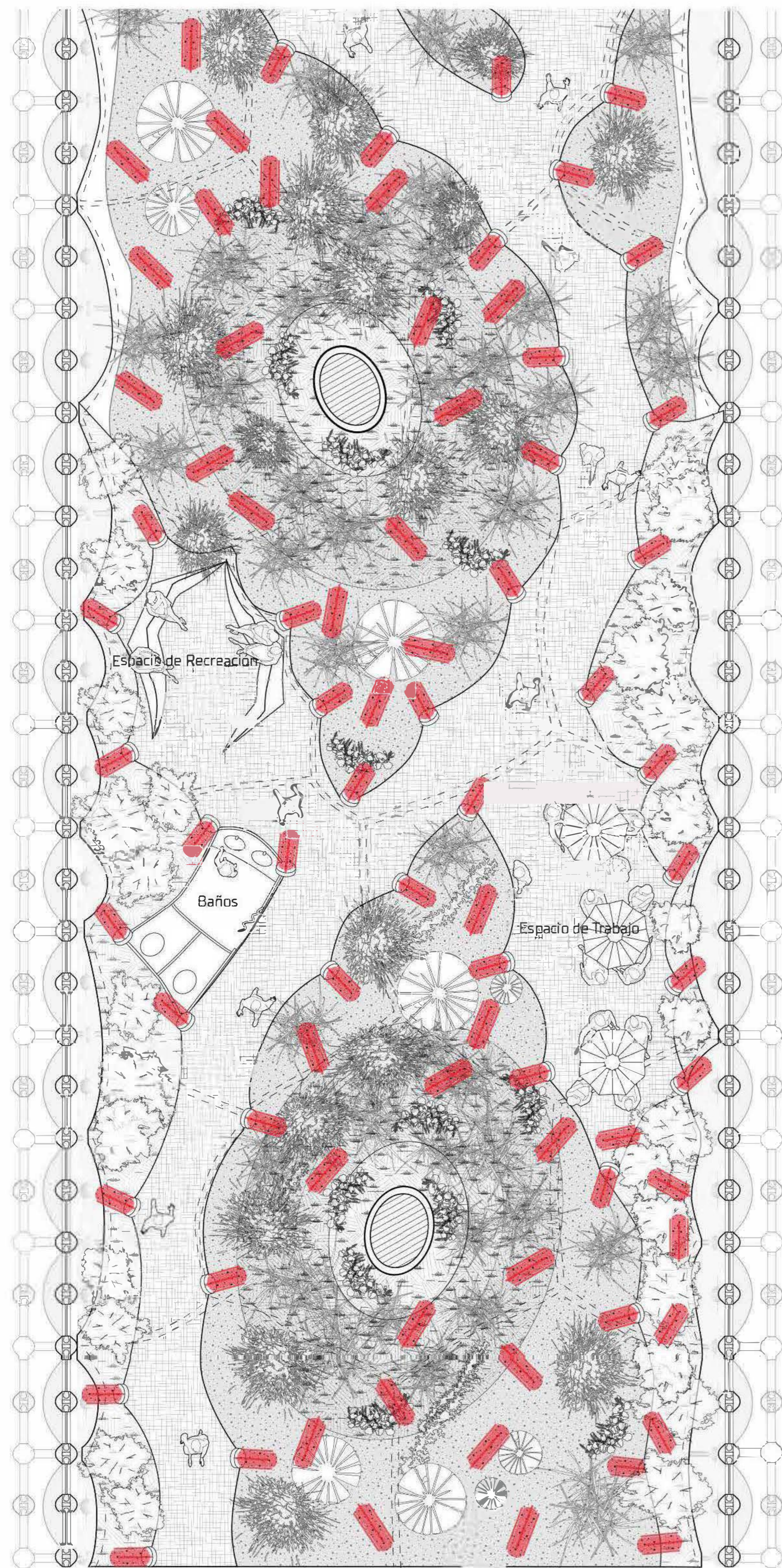
- Corte Fugado -

Un factor fundamental para el sector de robótica fue evidentemente la eficiencia. Un pasillo central que distribuya a los espacios de trabajo es el principal esquema para el funcionamiento de este. Ello facilitará el transporte de materiales entre los espacios, además de

Por otro lado, se determina que las zonas destinadas para la fabricación se encuentren rodeadas de vegetación con el fin de generar una separación visual con los espacios de recorrido. De esta manera, se incrementa la concentración del trabajo de los astronautas, además de facilitar la extracción del dióxido de carbono emitido tanto por los astronautas tanto como por las máquinas durante las actividades de producción.



- Perspectiva -



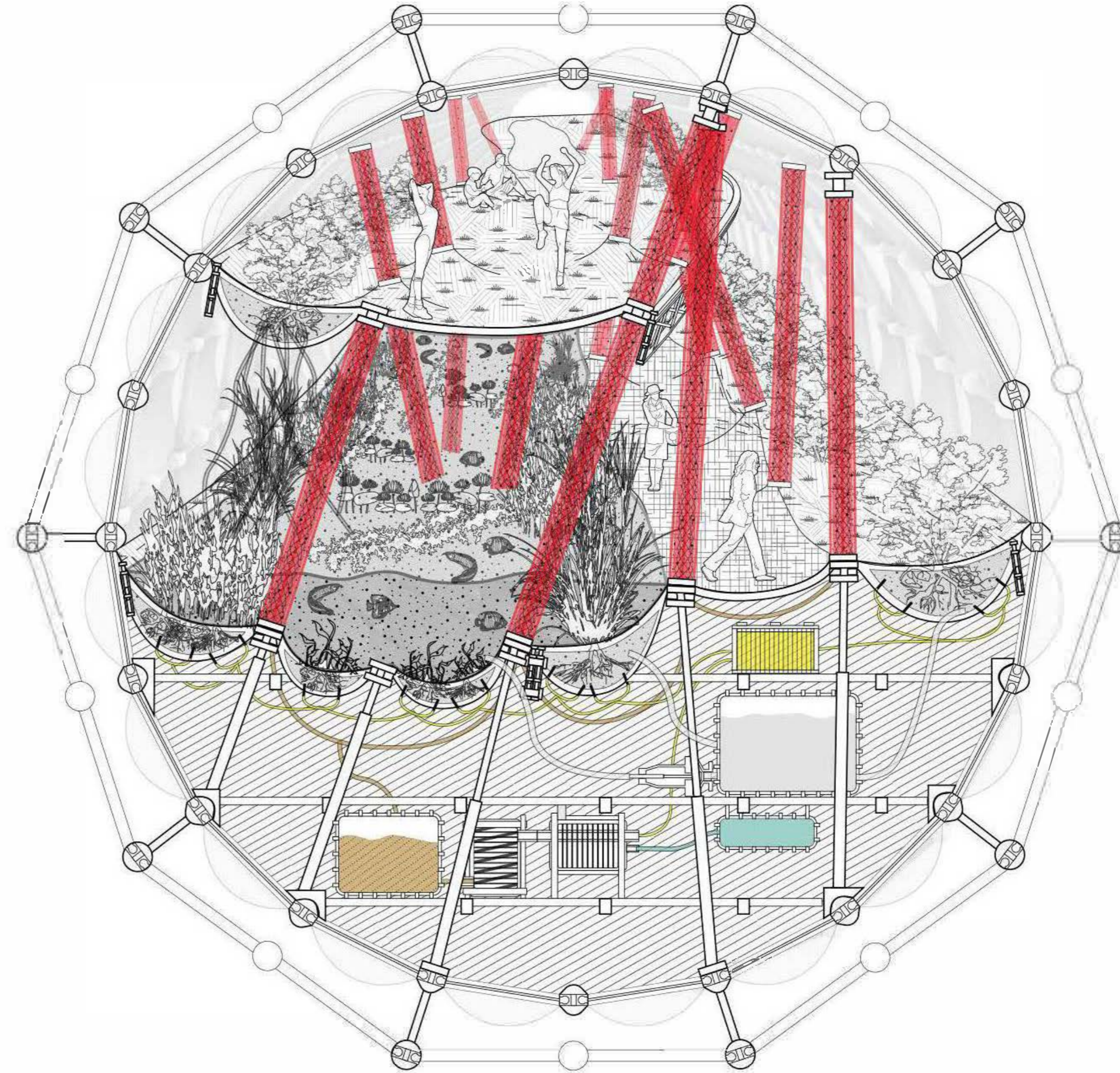
Sentido de corrientes
de aire y agua
(Efecto Coriolis)

Sentido de rotación
1/p.m. = 2,75

12.00 m

G.A. media = 0,27
Temperatura = 25 °C
Humedad = 95 %

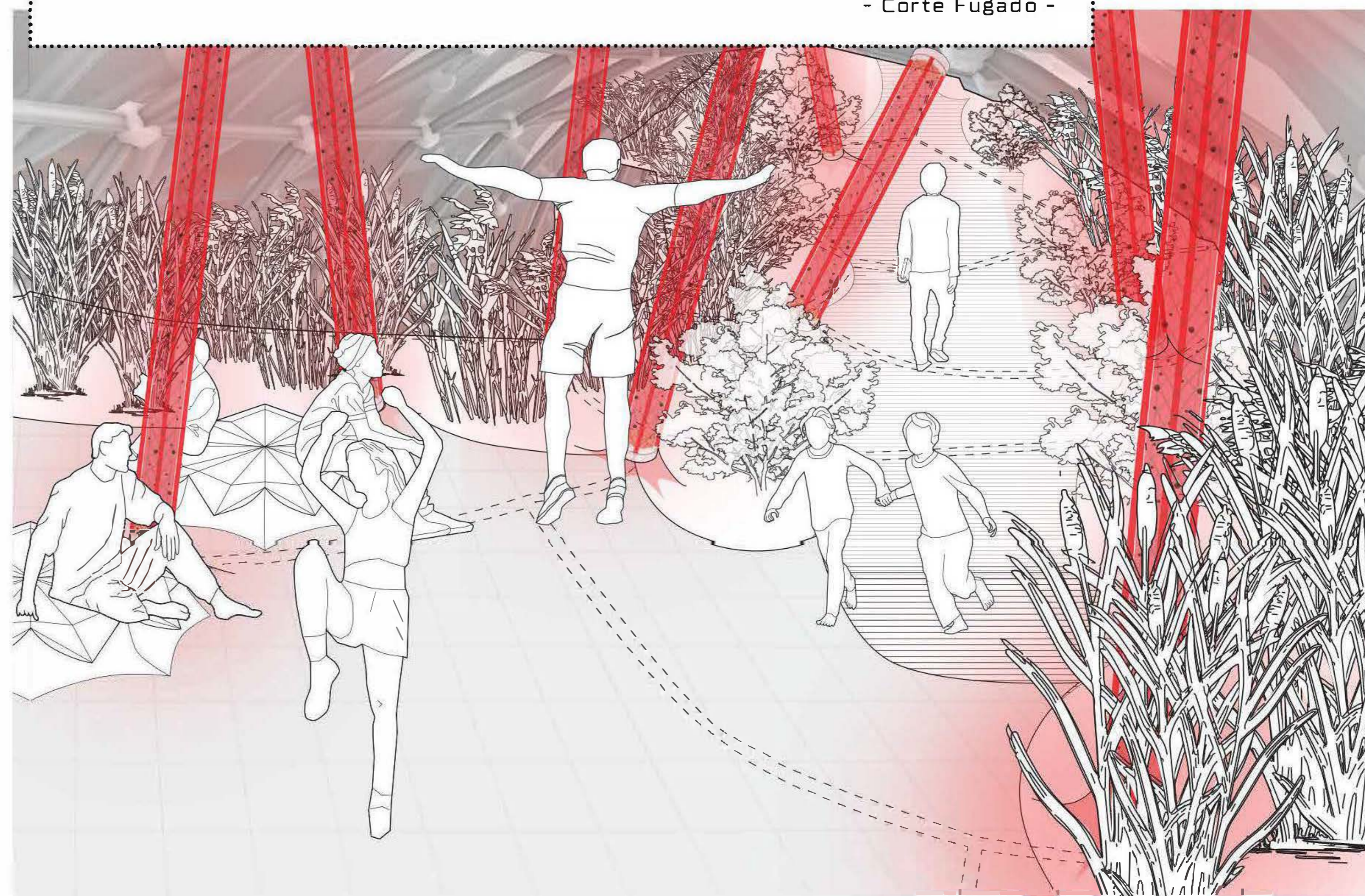
- Planta Desarrollada
de Primer Nivel -



En este sector, el primer nivel se centrará en el potenciar las actividades del mantenimiento de los ciclos ecistémicos de los humedales para poder mantener un segundo nivel enfocado en las actividades humanas. No obstante, los astronautas cuentan con la posibilidad de relacionarse con los humedales con espacios de recorrido, trabajo y esparcimiento.

Asimismo, puesto que los humedales son uno de los ecosistemas terrestres más ricos en oxígeno, las actividades físicas de los astronautas serán incentivadas por los espacios del segundo nivel. La existencia de dos niveles en este sector no determina una independencia de recursos entre ellos. Por ejemplo, el recurso del agua se comunicará por medio de capilares para la subida y tuberías para el descenso de este recurso.

- Corte Fugado -



- Perspectiva en Segundo Nivel -

El principal objetivo de La Máquina de Hábitats no es el objeto de construcción. Debido a la extrema complejidad que requiere la construcción de un proyecto como tal, el principal postulado se establece en el marco de las posibilidades de diseño de la disciplina arquitectónica. Evidentemente, fue necesaria una postura muy delimitada sobre las variables que puede abarcar esta rama del conocimiento humano. Aquello fue una dificultad constante a lo largo de la investigación que dio pie a la mirada a otras disciplinas para delimitar las posibilidades de la propuesta como arquitecto.

Por ello, se encontró que el arquitecto es capaz de proponer una mirada holística sobre el habitar humano, su principal objeto de investigación. La arquitectura puede encontrarse con la teoría científica en tanto se entienda como un lenguaje que dispone de distintos elementos con posibilidades de ser contruidos para establecer una postura determinada sobre el habitar. Esta delimitación define los elementos de ensayo de la presente tesis.

El interés por la exploración espacial inicia por el próximo cambio de etapa que necesita una postura arquitectónica, pues iniciarán las primeras migraciones. Por ese motivo, se analizan distintas teorías del habitar que determinan los tres procesos necesarios para dar el paso a la siguiente fase: la tecnificación, la adaptación y la significación que mejorarán el ámbito humano físico, el social y el psicológico respectivamente. Sin embargo, la particularidad del ensayo se encuentra en la crítica hacia la mirada del diseño arquitectónico que no es capaz de compatibilizar la naturaleza con la habitabilidad del humano contemporáneo.

En primer lugar, para el proceso de tecnificación se tomó la decisión de reciclar los componentes de servicio de la Estación Espacial Internacional. Además, se postula la disposición de módulos plegables neumáticos en un eje basado en la cinta de Möbius con rotación de 2.75 rpm para la generación de gravedad artificial. Por último, fue necesario diseñar un ciclo de recursos entre componentes bióticos y abióticos para el soporte de los habitantes y sus actividades al interior del sistema definido.

Para el segundo proceso, la adaptación, se define primeramente una tecnología constructiva capaz de modificarse constantemente y ser transportada fácilmente. Con esas variables, se escoge la tecnología de tensoestructuras, las cuales se basan en la tensión de membranas que son capaces de ser plegadas para ocupar menos espacio. Ello permitirá al proyecto pasar por 3 etapas y lograr el objetivo final que contempla la producción y exportación de tecnología y ciencia hacia la Tierra. Se difinen 8 sectores con distintos ecosistemas asignados acorde al potenciamento del desarrollo de la rama del conocimiento científico de cada uno.

Para continuar con el desarrollo de la tesis, se decide enfocarse en 3 sectores. En el sector de agricultura, con enfoque en la producción de alimentos, cuenta con la menor gravedad artificial para la exploración del crecimiento de plantas. En el sector de robótica, se proyecta la plantación de bambúes para su introducción en la construcción de productos. Por último, en el sector de acuicultura, se establece la exploración sobre el crecimiento de especies acuáticas para afianzar la acuaponia.

Finalmente, en el proceso de tecnificación, se ensaya el enlazamiento con el proyecto de las actividades humanas necesarias para el funcionamiento del hábitat. Se toma como fin la producción de espacios ideales para el sueño, el trabajo, el ocio, la higiene y la comida. Los sectores contarán con diseños específicos relacionados a las actividades que sean compatibles con los ciclos ecosistémicos que contengan.

Mediante estos procedimientos, este ensayo no solo genera una propuesta de una nueva habitabilidad para la continuación de la exploración espacial. El proyecto genera espacios capaces de aislar el interior de las condiciones exteriores y generar una autonomía de recursos gracias a los ecosistemas artificiales. Sin embargo, el fin principal se cumple al conjugar los ciclos ecosistémicos con las actividades del ser humano. El ejercicio se enfrenta a la ideología contemporánea de occidente sin negar su existencia. Por otro lado, rescata el avance tecnológico alcanzado para proponer un nuevo eje de diseño que mira el origen del ser humano: la Tierra.



04 Conclusión

Armstrong, R. (2016). *Star Ark: A Living, Self-Sustaining Spaceship* (Springer (ed.)).

Canadian Space Agency. (2020). Everyday benefits of space exploration. Space Benefits. <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/about/everday-benefits-of-space-exploration/#shr-pg0>

Cohen, M. M., Flynn, M. T., & Marossian, R. L. (14 de julio de 2013). *Water Walls Life Support Architecture*. 43rd International Conference on Environmental Systems. <https://doi.org/10.2514/6.2013-3517>

Cohen, D. (2007). *Earth's natural wealth: an audit*. *New Scientist*, 34–41.

Dunbar, B. (2015). *Top 15 Space Station Earth Images of 2015*. Earth. <https://www.nasa.gov/feature/top-15-earth-images-of-2015>

Environmental Systems Research Institute. (2021). *Satellite Map*. <http://richiecar michael.github.io/sat/index.html>

European Space Agency. (2010). *Environment Control and Life Support System (ECLSS)*.

European Space Agency. (2020). *Low Earth orbit: Types of Orbit*. https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits

Fauquet, R. S., & Okushi, J. (1 de setiembre de 1991). *Architectural Studies Relating to the Nature of*

Human Body Motion in Microgravity. <https://doi.org/10.4271/912076>

Finseth, T. T., Keren, N., Dorneich, M. C., Franke, W. D., Anderson, C. C., & Shelley, M. C. (2018). *Evaluating the Effectiveness of Graduated Stress Exposure in Virtual Spaceflight Hazard Training*. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 12(4), 248–268. <https://doi.org/10.1177/1555343418775561>

Griffin, B. N. (4 de agosto de 2014). *Space Architecture: The Role, Work and Aptitude*. *AIAA SPACE 2014 Conference and Exposition*. <https://doi.org/10.2514/6.2014-4404>

Hall, T. (1995). *The Architecture of Artificial Gravity: Theory form, and function in the high frontier*. En B. Faughnan (Ed.), *Twelfth SSI-Princeton Conference* (pp. 182–192). *Space Studies Institute*.

Häuplik-Meusburger, S. (2011). *Architecture for Astronauts, An Activity-based Approach* (Springer WienNewYork (ed.)).

Häuplik-Meusburger, S., & Bannova, O. (2016). *Space Architecture Education for Engineers and Architects, Designing and Planning Beyond Earth* (D. A. Valko (ed.)). Springer International Publishing.

Hayes, H., O'Neil, G. K., & Asimov, I. (1975). *The Roundtable TV Interview*. SSI: Space Studies Institute.

Heidegger, M. (1927). *Sein und Zeit*. Husserl, E. (Ed) *Jahrbuch für Philosophie und phänomenologische Forschung*, Tomo VIII. Halle: Max Niemeyer

Hoover, R., Kraft, R., & Huot, D. (2014). *SpaceX Dragon Spacecraft with NASA, Ames Cargo Set for Return to*

Earth. <https://www.nasa.gov/ames/spacexdragon-spacecraft-with-nasa-ames-cargo-set-for-return-to-earth/>

Howstuffworks. (2008). *Biorreactor Process*. *How Algae Biodiesel Works*. https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/algae-biodiesel3.htm?srch_tag=dcoukx3wfk5xqf6hsovauh75pbuzu

Husserl, E. (2008). *Terrorium*. *Personale Raumzeitlichkeit in ihren Personalstufen en Die Lebenswelt*. *Auslegungen der vorgegebenen Welt und ihrer Konstitution*. *Texte aus dem Nachlass* (1916-1937). Husserliana XXXIX. New York: Springer.

Jena, A. K., Biswas, P., & Saha, H. (2017). *Advanced farming systems in aquaculture: Strategies to enhance the production*. *Innovative Farming*, 2455-6521, 2, 84–89.

Katoinisi. (2001). *Yurt of the Kyrgyz, Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture, Xinjiang, China*. *Kyrgyz Yurts*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yurt_of_Kyrgyz,Kizilsu_Kirghiz_Autonomous_Pref.,Xinjiang,China.JPG

Kennedy, K. (2005). *Inflatable Habitats Technology Development*.

Leach, N. (2014). *Space Architecture: The New Frontier for Design Research*. *Architectural Design*, 84(6), 8–15. <https://doi.org/10.1002/ad.1826>

Lefebvre, H., & Martínez, E. (2020). *La producción del espacio*. *CAPITÁN SWINING LIBROS*. <https://books.google.com.pe/books?id=f2QeFAAAQBAJ>

Lockard, E. S. (2014). *Human Migration to Space* (Springer (ed.)). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05930-3>

Lyndon B. Johnson Space Center. (1997). *A History of U.S. Space Stations*. *Nasa Facts*. <https://er.jsc.nasa.gov/self/history.pdf>

Eochnicki, G., & Kubail Kalousdian, N. (2020). *Co-Designing Material-Robot Behaviors - Systems for Autonomous Construction*. *ITTECH M.Sc. Thesis Project 2020: Co-Designing Material-Robot Behaviors - Systems for Autonomous Construction*. <https://www.itech.unisuttgart.de/itech-thesis-projects/2020-co-designing-material-robot-behaviors/>

Medina, F. J. (2020). *Space explorers need to be space farmers: What we know and what we need to know about plant growth in space*. *Métrode Revista de Difusió de La Investgació*, 11. <https://doi.org/10.7203/metrode.11.14606>

NASA. (2011). *The International Space Station and the Docked Space Shuttle Endeavour*. STS-134.

NASA. (2015). *Reference Guide to the International Space Station*. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-05-022_jsc-iss-guide-2015-update-111015-508c.pdf

NASA. (2016). *First Human-Made Object to Enter Space*. *Explorer / Early Satellites*. https://www.nasa.gov/mision_pages/explorer/bunper.html

>05

Bibliografía

.....

NASA Langely Research Center. (2017). Ice Home Mars Habitat Concept of Operations (ConOps).

NASA. (2018). Glenn Participation in Shuttle-Mir Missions. NASA History. <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/history/mirlewis.html>

NASA. (2022). Renal Stone Risk in Spaceflight. Renal Stone Incidence Rate Quantification. <https://www1.grc.nasa.gov/space/human-research-program/computational-modeling/renal-stone-incidence-rate-quantification/>

NASA. (2023). Categories of exploration. Space Station Research Explorer. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/explorer/

NASA Johnson Space Center. (2000). Transhab Module. International Space Station Imagery. https://web.archive.org/web/20011207025921/spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/transhab/html/s99_05363.html

NASA Johnson Space Center. (2014). Soyuz TMA-13M. Iss040e017377. <https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/14320558097/>

Nespoli, P. (2011, 10 junio). Estación Espacial Internacional [Foto]. Las fotos de la ISS que tomó Paolo Nespoli. https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Las_fotos_de_la_ISS_que_tomo_Paolo_Nespoli

Onearchitectforaweek. (2013). La Máquina de Habitar. http://onearchitectforaweek.blogspot.com/2013/03/le-corbusier_28.html

Oswald, A. M. (2018). El hogar y lo extraño. Una aproximación sobre el habitar: entre la fenomenología e el psicoanálisis. *Revista Do NUFEN*, 10, 64–87.

Roy, J., Rineau, F., De Boeck, H. J., Nijs, I., Pütz, T., Abiven, S., Arnone, J. A., Barton, C. V. M., Beenaerts, N., Brüggemann, N., Dainese, M., Domisch, T., Eisenhauer, N., Garré, S., Gebler, A., Ghirardo, A., Jasoni, R. L., Kowalchuk, G., Landais, D., ... Milcu, A. (2021). Ecotrons: Powerful and versatile ecosystem analysers for ecology, agronomy and environmental science. *Global Change Biology*, 27(7), 1387–1407. <https://doi.org/10.1111/gcb.15471>

Seedhouse, E. (2015). TransHab Up Close. En *Bigelow Aerospace* (pp. 41–66). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05197-0_7

Shaikh, R., Rizvi, A., Quraishi, M., Pandit, S., Mathuriya, A. S., Gupta, P. K., Singh, J., & Prasad, R. (2021). Bioelectricity production using plant-microbial fuel cell: Present state of art. *South African Journal of Botany*, 140, 393–408. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.025>

SpaceX. (2020). Starship Users Guide.

St-Amant, M. (2017). Kuelap. Kuélap, Perú – Antigua Fortaleza de Los Guerreros de La Nube. <http://ufe-perou.com/es/kuelap-peru-antigua-fortaleza-de-los-guerreros-de-la-nube/>

The European Space Agency. (2014). Space Station at night. Science and Exploration. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/10/Space_Station_at_night

The European Space Agency. (2021). Low Earth Orbit. Enabling & Support. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/03/Low_Earth_orbit

Von Braun, W. (1952). Crossing the last frontier. *Collier*, 72(74), 24–29.

Welch, A. (2014). Zoo Aviary London. Cedric Price. <https://afasiaarchzine.com/2014/06/cedric-price/>

Yegen, E. (2019). An Inquiry of Space Architecture: Design Considerations and Design Process. Middle East Technical University.

Autor

César Antonio Requejo Peña

**Tesis para optar por el
Título de Arquitecto**

Proyecto de Fin de Carrera
2023

Asesor

Augusto Roman Moncagatta

FACULTAD DE
ARQUITECTURA
Y URBANISMO



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ