

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Arquitectura

Ciudades en ambientes extremos: espacio exterior

Tesina que para obtener el título de **urbanista** presenta:

Samaelí Durán Garizurieta

Director de Tesis

Mtro. Enrique Soto Alva

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. (2020)





Universidad Nacional
Autónoma de México



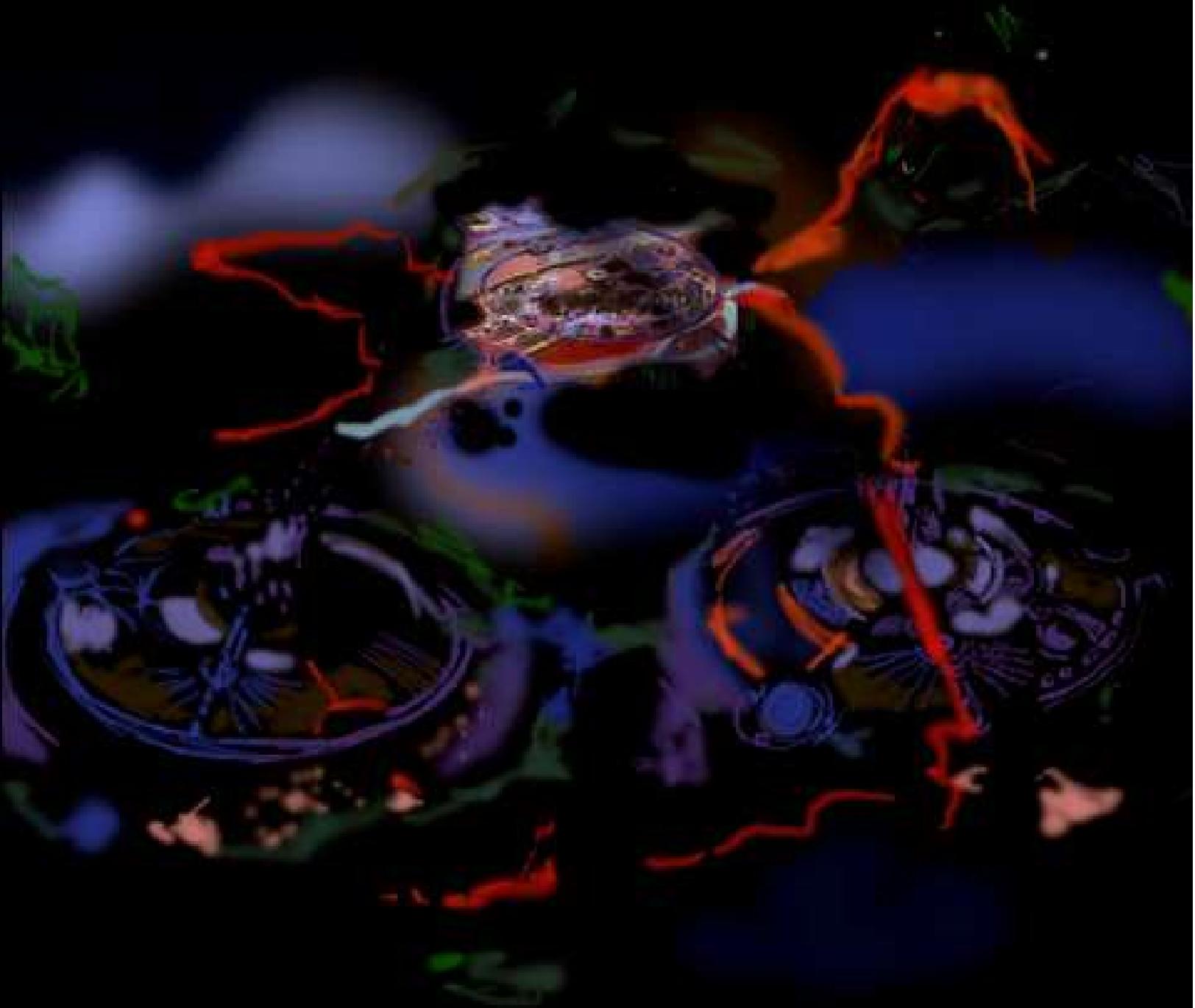
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Ciudades en ambientes extremos: Espacio exterior



Lista de sinodales

Mtro. Enrique Soto Alva

Dr. Carlos Gershenson García

M. Claudia Gabriela Ortiz Chao

Arq. Omar Silis Cabrera

Mtra. Virginia Lahera Ramón

Portada

@ana_garizurieta

acgarizurieta@gmail.com

Contacto

sgarizurieta@ciencias.unam.mx

+52 (1) 55 2711 6880

[u/sgarizurieta](#)

Dedicada:

A Cristina, Rafa, Ana y Morita por apoyarme tanto en mi vida.

A la Pina, por todo lo que ha hecho por mí y quererme tanto.

Al Pinoco, por inculcarme mi amor a la UNAM.

También a Malena y Fausto.

Y a toda la familia que siempre está ahí.

A todas las personas que he conocido en la UNAM: Los cabulash, leo y los ritoboyes, los de judo, los de chino, los de arquí, los de ciencias, los del Cechimex, los de computación, los de montañismo...

A mis amigos.

A la UNAM por tantas cosas que me ha dado. Ahí he tenido las mejores, y también las peores, experiencias de mi vida.

Gracias a Enrique Soto y Virginia por confiar en este proyecto.

Ad astra per aspera

NewSpace

Space 2.0 ó *alt.space* es un movimiento contemporáneo filosófico y de emprendimiento privado, en conjunto con instituciones gubernamentales, que busca liberar el espacio y ponerlo al alcance del ser humano a través del desarrollo económico.

Contenido

INTRODUCCIÓN Y CAPITULADO

CAPÍTULO I

1. ESPACIO	6
2. URBANISMO	15

CAPÍTULO II

3. TRANSPORTACIÓN	24
4. HÁBITAT	50
5. ALIMENTACIÓN	73
6. MOVILIDAD	75
7. GOBERNANZA	77

CAPÍTULO III

8. CHRISTALLER	83
9. COMPLEJIDAD	103

APÉNDICES	113
------------------	------------

“Cuando logras romper la gravedad de la Tierra, ya estás a la mitad de cualquier lugar”

Esta tesina surge con la inquietud de relacionar dos temas que, en un inicio, no parecen tener conexión, el urbanismo y el espacio exterior.

Inicialmente, estuvo presente la preocupación de que no existiera material suficiente para presentar un documento adecuado. Pero, a lo largo del desarrollo de la tesina, fue quedando claro que el tema es mucho más rico de lo que se puede pensar, al grado que, rápidamente se tuvieron que descartar muchas líneas de investigación, también interesantes, en detrimento a las que lograron quedar en el trabajo final.

El documento que se presenta es de carácter introductorio, es decir, tiene como objetivo analizar, de forma general, varios de los conceptos y las ideas que giran en torno a las preguntas ¿se pueden construir ciudades en el espacio? ¿cómo sería la planeación de dichas ciudades?

No se pretende contestar de forma concreta dichas incógnitas, en su lugar se busca que surjan más preguntas al respecto, que sirvan como bases para el desarrollo de una teoría más completa que contenga metodologías cada vez mejor desarrolladas que se utilicen para la implementación adecuada de una colonia humana en el espacio. En este sentido, el objetivo es lograr el interés de académicos y estudiantes de distintas disciplinas, en especial el urbanismo, en el diseño de ciudades en ambientes extremos, en particular en el espacio exterior.

Es complicado clasificar el tipo de tesina que se presenta, pero el término más adecuado que la describe es el de *investigación de frontera*. Todo tipo de investigación podría clasificarse como de frontera, porque están formando nuevo conocimiento, pero este término se refiere en específico al tipo de investigación que se escapa de la “corriente principal” o “ciencia normal” del su campo académico.

Por otro lado, existen múltiples propuestas y ‘renders’ de cómo serían las ciudades en el espacio, pero ninguna realmente profundiza en la dinámica interna de la ciudad o propone una metodología clara de cómo construir las. En este sentido, el presente trabajo busca proponer como podrían funcionar dichas ciudades.

Las ciudades están correlacionadas con la creación de un ecosistema basado en actividades económicas. Durante la tesina se presentan todos los componentes que tienen un papel

importante en dicho ecosistema, no como conceptos aislados, sino como elementos fuertemente interrelacionados.

El documento se divide en tres capítulos, uno es un panorama general, en el segundo se presenta la tecnología que permitiría la creación de colonias humanas y el tercero son propuestas de metodologías para el diseño de las mismas.

Al final de la tesina, en los apéndices, se encuentra un glosario con algunas definiciones que tienen el propósito de explicar algunas palabras de un lenguaje más técnico para que los lectores con diversos trasfondos puedan avanzar en la lectura sin complicaciones. El glosario está en orden alfabético. También, es importante mencionar que en las referencias no solo se encuentran las citas bibliográficas sino, en algunas ocasiones, algunos comentarios cuyo objetivo es profundizar en el tema.

Descripción de capitulado

Capítulo I

La idea de este capítulo es repasar de forma breve e introductoria varios conceptos que ayuden a clarificar la noción de crear ‘ciudades’ en el espacio exterior. En otras palabras, es un pequeño repaso en algunos conceptos fundamentales para el desarrollo de la tesina. Es asentar un punto de partida a las ideas que se van a desarrollar más adelante. Además, se mencionan algunos conceptos básicos sobre el diseño de mundos y la disciplina del urbanismo.

Capítulo II

Este capítulo responde a la pregunta ¿cuál es la tecnología que permitirá el desarrollo de colonias humanas en el espacio? Se explora desde lo más importante, que es transportar al espacio a las personas y los instrumentos e insumos necesarios, hasta la construcción de vivienda. En el caso de la vivienda, se analizan específicamente las propuestas de hábitat con soportes vitales para el espacio exterior.

Por último, se menciona la tecnología de algunos componentes del urbanismo como la alimentación, la movilidad y la gobernanza.

Capítulo III

Es la parte principal de la tesina, es decir, es una pequeña presentación a modo de bosquejo del tipo de herramientas que se podrían utilizar para el diseño de ciudades en el espacio exterior.

En específico, se plantea la posibilidad de crear pequeñas ciudades en el espacio con base a la acumulación modular de las unidades de hábitat. Además, se realiza una propuesta para resolver los problemas espaciales derivados del crecimiento de las colonias humanas a través de una planeación adecuada con esquemas basados en una teoría geográfica para ciudades.

Por último, se propone el concepto de la complejidad para poder analizar mundos en constante evolución que se vuelven muy complicados de estudiar con un acercamiento tradicional. Además de que se exploran los sistemas autoorganizados como una forma de diseñar una ciudad para que pueda ser más robusta.

Capítulo I

{Panorama}

1. Espacio
 - a. Iniciativa privada
 - b. Gobierno
2. Urbanismo
 - a. Ciudades extremófilas
 - b. Diseño Urbano
 - c. Rol de un urbanista
 - d. World Building
 - e. Inteligencia artificial y robótica

Motivación

¿Cuáles pueden ser las motivaciones del ser humano para vivir fuera del espacio?

La motivación principal es la necesidad del ser humano de explorar gracias a la curiosidad sin límite que caracteriza a nuestra especie. Es la misma curiosidad la que ha permitido que se desarrolle la ciencia y que toda superficie del planeta haya sido explorada.

Además, se lograrían mayores avances científicos y se potencializaría la creatividad. El ser humano ha avanzado mucho desde su trinchera, pero el hecho de comenzar a explorar en primera persona espacios fuera de la Tierra, aportaría enormemente al avance de la ciencia y se eliminaría el sesgo de la creatividad actual por una perspectiva uni-planetaria.

Por otro lado, la Tierra no nos servirá siempre para habitarla, a menos que realicemos acciones precisas para evitarlo. Si el ser humano quiere continuar existiendo se tiene que convertir eventualmente en una especie multi-planetaria. Independientemente de que el cambio climático destruya o no la vida en la Tierra, eventualmente, en el transcurso de 100 millones de años o más la Tierra dejará de ser un ambiente propicio para la vida,^a y, aunque podrían buscarse soluciones a las amenazas cósmicas e internas (supervolcano, asteroides, etc), es importante que el ser humano no solo dependa de un planeta

Filosofía y ética

Es importante que la filosofía avance al ritmo de la ciencia y la tecnología para poder responder a la pregunta ¿se debe hacer algo solo por el hecho de que lo podemos hacer? En un ejemplo concreto, ya existen iniciativas para explotar los recursos naturales que se encuentran en espacio cislunar, valuados en trillones de dólares. Pero antes de llevarlo a cabo, debería abrirse un debate de si se debería hacer. Y de ser así, ¿no deberían existir mecanismos para realizar la explotación de una forma sustentable?

Estos son los tipos de preguntas que se debería de plantear en un debate ético sobre el futuro en el espacio del ser humano. Afortunadamente, existen iniciativas como el ‘*The Institute of Future Earth*’, donde se pretende una debatir “ética del futuro” para la humanidad.

^aSandra Faber, astrofísica durante la conferencia titulada: *Cosmic Knowledge and the Future of the Human Race*

Espacio

Iniciativa privada

¿Por qué es posible comenzar un debate sobre la posible creación de ciudades en el espacio exterior? ¿Por qué antes no parecía tan viable que el ser humano pudiera llegar a vivir en el espacio a gran escala y en este momento sí lo es?

Para empezar, es importante mencionar uno de los principales motivos que han provocado que la idea de colonias de seres humanos en el espacio no parezca algo tan lejano:

Privatización.

Uno de los momentos fundamentales en la historia del hombre en el espacio exterior, es cuando la NASA decidió liberar el acceso espacial a la iniciativa privada. Con esto, se creó el concepto de economía espacial, lo que dio paso a todas las empresas y ‘startups’ que actualmente se dedican a diferentes aspectos como la colonización de algún planeta, extraer minerales, la investigación, etc.

Todo esto es gracias a una ley que aprobó Obama en Estados Unidos llamada ‘Commercial Space Launch Competitiveness Act of 2015’, que utiliza la posibilidad que tiene cada país de administrar el acceso al espacio, y que permite a las compañías y ciudadanos de dicho país a explotar los recursos naturales que se encuentran en él. Es decir, que cualquiera que pueda extraer algún recurso en el espacio, tiene el derecho a transportarlo, utilizarlo y venderlo. Es importante aclarar que ningún país puede poseer territorios afuera de la Tierra, lo cual está estipulado en el Tratado sobre el espacio exterior firmado en 1967.

Por su parte, la economía espacial, en palabras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés), es “... el rango completo de actividades y el uso de recursos que crean y proveen valor y beneficios a los seres humanos en el transcurso de explorar, entender, administrar y utilizar el espacio. Incluye todos los actores públicos y privados involucrados en desarrollar, proveer y utilizar productos y servicios relacionados al espacio, que van desde la investigación y desarrollo, la manufactura y uso de infraestructura espacial (estaciones en superficie, vehículos de lanzamiento y satélites) hasta aplicaciones permitidas por el espacio (equipo de navegación, teléfonos satelitales, servicios meteorológicos, etc.) y la investigación científica generada por estas actividades. Es

consecuente que la economía espacial va más allá del sector espacial mismo, ya que también abarca los productos, conocimiento y servicios derivados del espacio, que cada vez permean más al mercado. El impacto que tienen sobre la sociedad y la economía cambia continuamente, tanto cuantitativa como cualitativamente. Siguiendo una consulta internacional de gran escala en el periodo 2015-16, tres perímetros generales de la economía espacial fueron identificados: ‘upstream’, ‘downstream’^b y actividades derivadas o relacionadas al espacio. Este acercamiento recibió el respaldo generalizado de administraciones y actores de la industria espacial porque ayuda a clasificar las actividades y permite mejores comparaciones internacionales, aún con los datos existente. Los tres perímetros mencionados se benefician mutuamente”¹

Para el Banco de Estados Unidos, un banco de inversión multinacional, está por comenzar una nueva etapa con grandes avances en la tecnología espacial. Actualmente, el mercado espacial tiene un valor de \$339 billones de dólares con la proyección de que crezca a \$2.7 trillones de dólares en el 2045². Aunque, tradicionalmente ha sido complicado para las empresas obtener ganancias con actividades dedicadas al espacio, se han invertido \$16 billones de dólares en start-ups desde el 2000. Para los inversionistas que no tienen inconveniente de esperar ganancias a largo plazo, el espacio es una de las fronteras finales. Para eso, BofAML ofrece la posibilidad de inversión, con diferentes niveles de riesgo, en más de 70 empresas en el mundo dedicadas a actividades económicas relacionadas al espacio.

Entre las actividades que se planean desarrollar se encuentra el turismo (ej. Virgin Galactic), la minería (ej. Deep Space Industry y Planetary Resources), investigación, energía, abastecimiento de combustible, servicios de transportación, industria manufacturera (por ejemplo, fabricación de fibra óptica de alta calidad gracias a la gravedad cero), entre otros.

En las etapas iniciales, la manufactura en órbita dependerá de materiales traídos de la Tierra. Cuando la economía avance, se minará la materia prima de a Luna y asteroides para sustituir materiales terrestres.

En cuanto al combustible para la transportación, en la Luna se podrá utilizar el agua para generarlo, y con eso mandar materiales de vuelta a la Tierra, todo gracias a la posibilidad de

^b ‘Upstream’ y ‘downstream’ se refiere a los términos para clasificar las empresas de acorde a su lugar en la cadena productiva, mientras más cercano estén de la materia prima más ‘upstream’ son, al contrario, mientras más cerca estén del usuario final, son más ‘downstream’.

reabastecer el combustible en órbita. Eventualmente, se piensa que se podrán construir granjas de energía solar flotando alrededor de la Tierra para proveerla de energía limpia (ver figura 4).³

Lo que se busca es estimular el crecimiento de la economía espacial para que eventualmente se convierta en una economía auto sustentable lejos de la tierra, y a raíz de ello, muchas personas puedan considerar vivir en el espacio.

La base para lograr todo esto, es necesariamente proveer a las personas que habitan en el espacio de un lugar en el que no solo puedan tener los factores básicos para la soportar la vida, sino poder vivir y desempeñar sus actividades de forma plena.

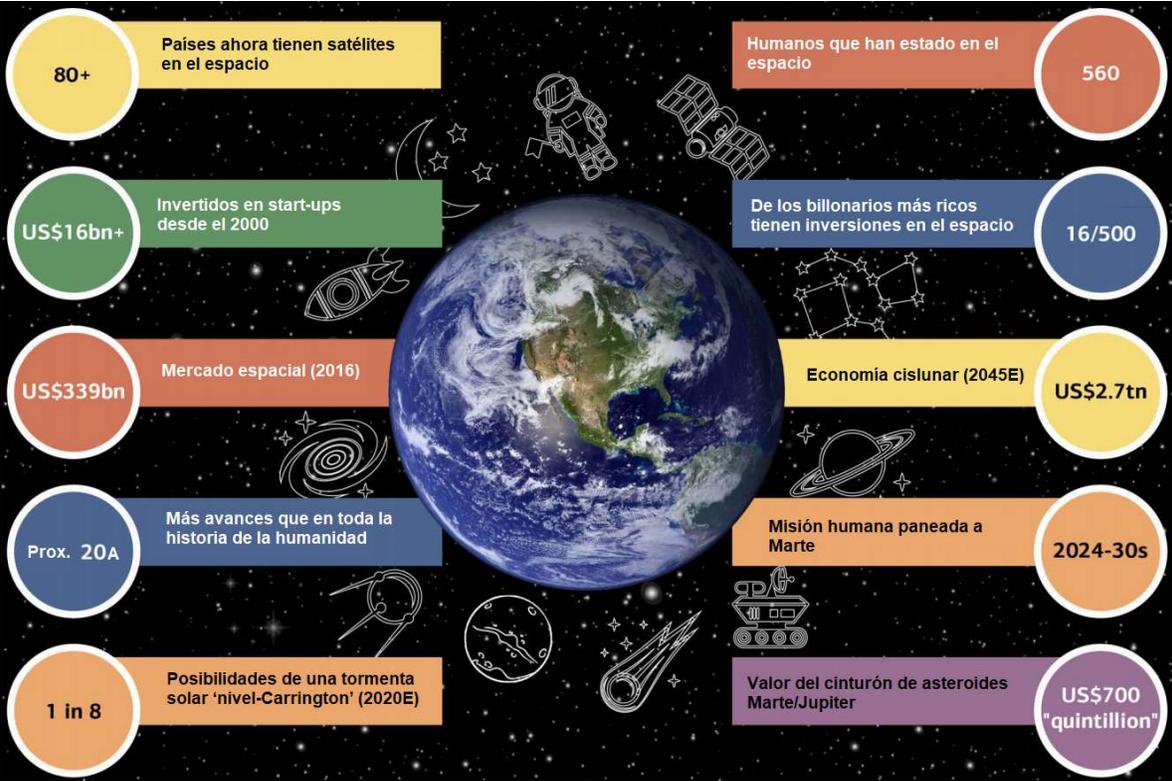


Figura 1. Estadísticas sobre el espacio del Banco de Estados Unidos. (Crédito: BofAML)

Visión Cislunar 1,000

Como ejemplo de las empresas participando en la economía espacial, está la visión de *United Launch Alliance* (ULA), que consiste de 1,000 personas trabajando en el espacio cislunar en 2045. Lo que buscan es lograr extraer recursos que se encuentran de forma abundante en la superficie de la luna y sus asteroides, los cuales son escasos en la Tierra. Esta concepción no solamente será trabajada por ULA, sino varias compañías de emprendimiento. ULA propone ser la parte de la arquitectura de la transportación, lo cual es base de la economía, esperando que alrededor de otras 200 empresas abarquen otros nichos de mercado.

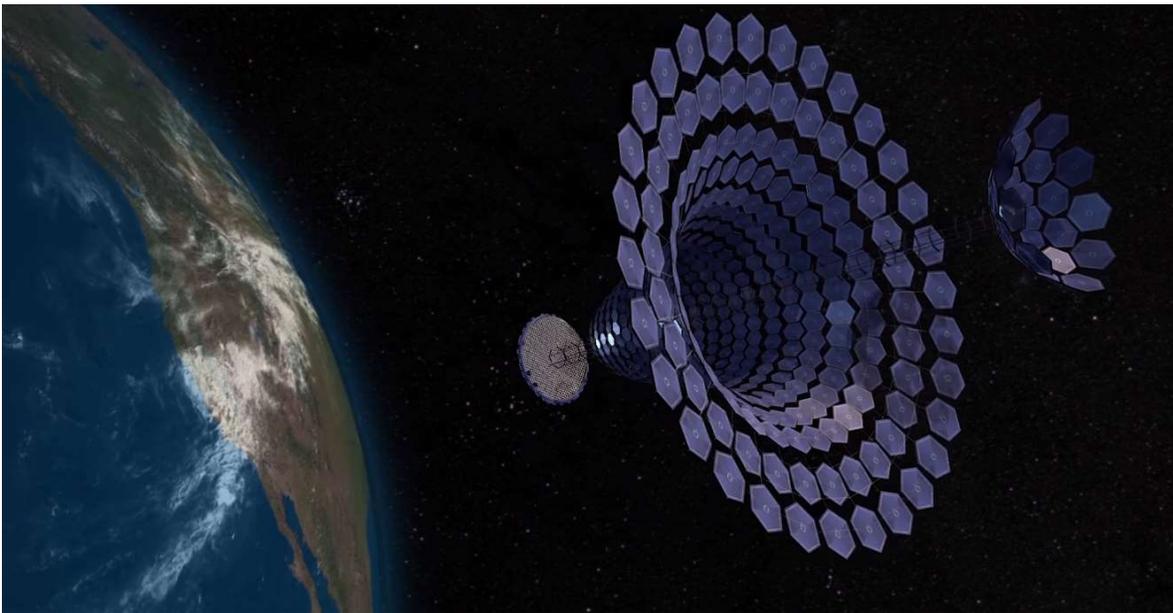


Figura 2. Granjas solares fuera de la Tierra. (Crédito: United Launch Alliance)

Se tiene contemplado que en órbitas terrestres y en EML-1 (Punto de Lagrange terrestre-lunar 1) se lleven a cabo trabajos relacionados con las industrias de minería, manufactura y energía.⁴ Eventualmente, la idea es que la comunidad cislunar logre ser autosuficiente con utilización de recursos in situ (In site resource utilization ISRU, concepto que se refiere a utilizar los recursos encontrados o fabricados en un cuerpo astronómico para completar una misión).

El lograr establecer una economía cislunar facilitaría las misiones y exploración del espacio profundo. Porque no es lo mismo en materia de costos y eficiencia el lanzar un cohete desde la Tierra con todas las provisiones y elementos que se requieren, a lanzar misiones desde un puerto espacial, con todas sus provisiones, desde el combustible hasta el hardware, creadas por completo en el espacio. Además, el impulso necesario para romper la poca gravedad de la Luna

es menor al necesario para escapar de la atmosfera terrestre, lo cual abarata los costos de lanzamientos lunares.

Por otro lado, generar combustible fuera de la tierra cambia las reglas del juego para el abastecimiento de las naves espaciales por dos razones. En primer lugar, puedes despegar los cohetes desde la Tierra sin combustible para su viaje en el espacio, y, posteriormente abastecerlos en órbita terrestre, lo cual reduce el costo de lanzamiento. Y, en segundo lugar, se podría llegar más lejos porque habría estaciones en el espacio (como gasolineras) que permitirían recargar el combustible.

ULA ha realizado un estudio detallado del mercado de combustible basado en agua en espacio cislunar (Tierra-Luna) y los precios en cada punto específico. Por ejemplo, como cliente ULA pagaría \$3,000 dólares por kg en LEO por combustible o \$500 dólares por kg en superficie Lunar⁵. Con esto se reduce dramáticamente el costo de transportar mercancía en el espacio (1/1,000).

En las primeras fases ULA está trabajando con Bigelow Aerospace, empresa analizada más adelante, para proporcionar hábitats para que 20 personas puedan vivir y trabajar en el espacio. Lo que abriría la posibilidad a una expansión de la población.

Las etapas del proyecto cislunar para 1,000 personas⁶:

1. Actual. 6 personas en el espacio.
2. 2021. Población: 20. ACES y Vulcan en activo. Hábitat e investigación comercial, manufactura espacial, búsqueda de prospectos para extracción de recursos. \$500 billones de dólares al año de ganancias brutas.
3. 2031. Población: 300. Almacenaje de combustible en espacio y establecimiento del sistema de transporte espacial. Turismo espacial, minería, manufactura en la luna, y extracción de agua de la luna y asteroides. \$900 billones de dólares al año de ganancias brutas.

4. 2046. Población: 1,000. Estructura manufacturera de gran escala en EML-1^c. ACES transportará los productos terminados en el espacio a órbitas Terrestres. De esta forma se harán satélites para energía solar en GEO (órbita geoestacionaria)^d que proveerán a la Tierra de energía limpia. \$2.7 trillones de dólares al año de ganancias brutas.

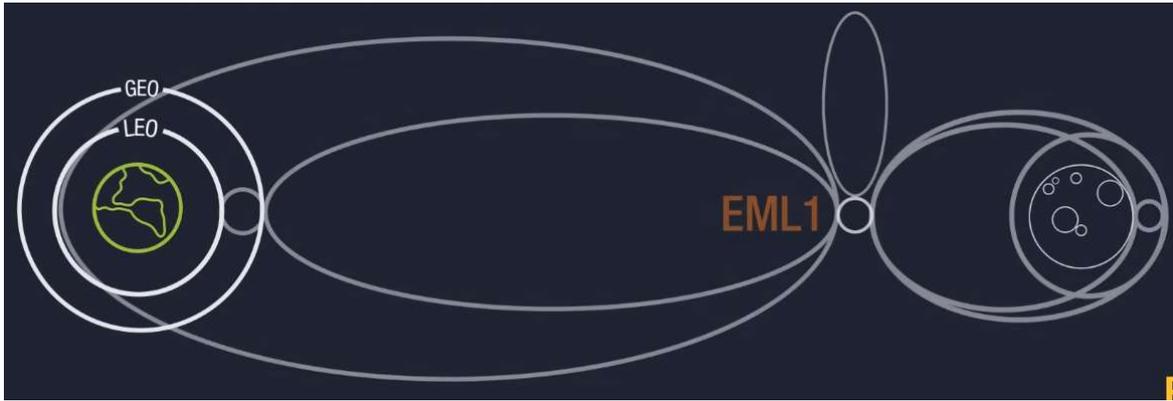


Figura 3 Las diversas órbitas terrestres y el EML-1 (Crédito: ULA)

Gobiernos

Los gobiernos también están involucrados en la carrera espacial debido a que, con la explotación de recursos, aspiran mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos y elevar el nivel económico de su país.

Emiratos Árabes Unidos (EAU)

‘Mohammed Bin Rashid Space Centre’, agencia espacial de los Emiratos Árabes Unidos, tiene como objetivo tener una colonia humana en Marte en los próximos 100 años, cuyos lineamientos a seguir están establecidos en su plan ‘Mars 2117’. Con esto buscan colocarse en el escenario internacional como una agencia espacial de vanguardia. Además, tienen contemplado lanzar satélites que orbitarán Marte y van a construir un complejo gigantesco en el desierto para probar tecnología y desarrollar capacidades para vivir en un ambiente como Marte.

Dicho complejo, ‘Mars Scientific City’, tendrá un costo de 500 millones de AED^e, lo que es alrededor de \$136 millones de dólares, y, se desplantará en una superficie de 177,000 metros

^c Consultar Glosario: Puntos de Lagrange

^d Consultar Glosario: Órbitas terrestres

^e Moneda de los Emiratos Árabes

cuadrados. Será diseñado por el arquitecto danés Bjarke Ingels, en colaboración con científicos e ingenieros de los Emiratos Árabes. El plan es que sea una ciudad de domos interconectados hechos de plástico reciclado que se inflan y que servirán para filtrar la radiación.

La idea es simular las condiciones marcianas con el mayor realismo posible en la Tierra. Por dentro, habrá laboratorios para intentar resolver los problemas de manejo de agua, residuos, alimentación y energía. Los equipos de trabajo estarán durante un año para tener una referencia de las condiciones que se puedan presentar en una misión de esa longitud. Además, se tiene planeado trabajar en técnicas de construcción en Marte.

Por último, el complejo contará con un museo, construido con arena del desierto usando impresión 3D, cuyo objetivo es cautivar y entusiasmar a las nuevas generaciones con la idea de colonizar Marte.⁷



Figura 4 Ciudad científica de Marte, un análogo terrestre (Crédito: <https://www.sciencealert.com/to-prepare-for-mars-the-uae-is-building-a-simulated-martian-city-on-earth>)

Unión Europea

La Unión Europea es representada por su agencia espacial, 'European Space Agency' (ESA) o la Agencia Espacial Europea.

El director de dicha agencia, a través de 'Moon Village Assosiation', propone un concepto llamado 'Moon Village'⁸, que tiene el enfoque de construir una comunidad permanente y sustentable en la Luna con la cooperación de varios países, organizaciones y empresas, para incentivar la investigación, turismo, minería, manufactura entre otras cosas. Para la ESA es importante establecer una colonia en la Luna porque puede fungir como base de operaciones



Figura 5 Como se vería la comunidad en la Luna (Crédito: ESA)

para también llegar a Marte, y, eventualmente explorar el resto del universo, además del desarrollo de una economía espacial.

Se planea construir la base lunar con impresión 3D, utilizando regolito de la Luna como materia prima. Actualmente, están trabajando con el despacho de arquitectura 'Foster + Partners', para desarrollar la tecnología y propuestas conceptuales de la comunidad, que está planteado comenzar la construcción alrededor del 2025.

La asociación cuenta con un equipo multidisciplinario de especialistas, el despacho de arquitectos SOM y personal de ESA, trabajando en propuestas de la planeación urbana de la comunidad, con lo cual, buscan diseñar todo lo necesario para soportar la vida humana, desde los módulos individuales de hábitat hasta un plan maestro



Figura 6 Vista por dentro de uno de los renders que la ESA tiene sobre 'Moon Village' (Crédito: ESA y 'Foseter + Partners')

del asentamiento. La parte sustentable también es parte del proyecto, se busca que todo sea un juego de suma cero, es decir que el agua, la energía y todos los demás componentes tengan, un loop cerrado.⁹

Existen varios gobiernos interesados en el proyecto como la Administración Espacial Nacional China (CNSA), Roscosmos (Agencia Espacial Federal Rusa), India, y recientemente, la NASA.^{10 11 12 13 14 15}

Estados Unidos

La agencia espacial de Estados Unidos, 'National Aeronautics and Space Administration' (NASA), tiene muchos proyectos, de los cuales, uno de los principales es el de la conquista de Marte. Dicho proyecto consiste en tres etapas:

- Dependiente de la Tierra
- Zona de experimentación
- Independencia terrestre

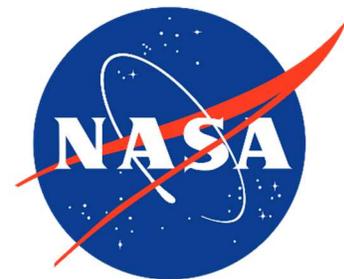


Figura 8 Logo de la NASA (Crédito: NASA)

Urbanismo

Ciudades extremófilas

¿Qué es un organismo extremófilo? Es un organismo que vive en condiciones extremas, es decir, ambientes hostiles a la mayoría de los organismos. Este concepto se puede adaptar a una ciudad si se estudia como un organismo artificial¹. Pensar la ciudad de esta forma, induce a la idea de estudiarlo como una entidad compleja (metodología que será revisada más adelante), cuyo principal razonamiento es que cualquier alteración al sistema u organismo, desata una reacción en cadena impredecible.

El Instituto de Santa Fe o 'Santa Fe Institute', es un instituto dedicado al estudio de las ciencias de la complejidad que reúne a académicos de varias disciplinas (al igual que su contraparte en la UNAM, C3 o el Centro de Ciencias de la Complejidad), como químicos, físicos, biólogos, etc. El cual busca darle un nuevo enfoque a la ciencia a través del marco de pensamiento complejo.

Dicho instituto organiza un festival llamado 'InterPlanetary Festival' o IPfest cuyo objetivo es estudiar la "complejidad de mundos en constante evolución", a través de un pensamiento riguroso lógico, matemático y computacional. En un panel del festival denominado "Extremophile Cities", o ciudades extremófilas, se expusieron temas sobre la construcción de ciudades en ambientes extremos, por ejemplo, en el caso hipotético de un cambio climático o la implementación de las mismas en el espacio exterior.

Entre los conceptos mencionados, se encuentra el uso de herramientas y tecnología en el diseño de la organización de las ciudades. Además, se mencionó que hubo una transferencia de conocimientos, técnicas y nociones de diseño de sistemas, por parte de la NASA, a la planeación urbana en Estados Unidos en los años 60's a 70's, lo cual demuestra que la influencia mutua entre disciplinas relacionadas al espacio exterior y el urbanismo puede resultar en beneficio para ambas.

Por otro lado, en el panel se propuso un diseño enfocado al cambio (e.g. cambio climático, incertidumbre ambiental, o cambios poblacionales), y la adaptación de la ciudad a dichos cambios. En palabras de léxico urbano, es el concepto de resiliencia, pero en marco de la complejidad, se le conoce como robustez.

Por otra parte, Ann Pendelton-Julian, de la Universidad de Massachusetts, en el 2004 dirigió una tesis de maestría² en el Departamento de Arquitectura, para obtener el título de Maestro en Arquitectura de Georgi Petrov. El objetivo de la tesis es “diseñar espacios confortables y sustentables” con las limitantes de construir en Marte. Se presenta un diseño arquitectónico detallado con capacidad para 24 habitantes, con conexiones para una posible expansión. La técnica arquitectónica propuesta es la construcción in situ junto con inflables provenientes de la Tierra (más adelante, en esta tesina, se expone la idea de que existe la tecnología para la impresión 3D de un hábitat es una solución más moderna). Además, en dicha tesis, se analiza el comportamiento del asentamiento para 100 habitantes, porque aunque es una tesis de arquitectura, tiene un enfoque social del factor humano. Incluso llega a proponer un sistema de organización espacial, similar a la de esta tesina, pero basada en el modelo de ciudad lineal, que es una teoría urbana. Por último, detalla el lugar en Marte dónde se va a desarrollar el asentamiento, Candor Chamsa.

Por otra parte, Pendelton-Julian menciona que la “Office of Science and Technology Policy” de EU, está llevando a cabo un proyecto de colonización del sistema solar junto con una comunidad de biólogos, científicos, escritores de ciencia ficción, constructores de mundos y compañías privadas, etc.

Diseño urbano

Multidisciplina

Es importante que un equipo multidisciplinario diseñe el funcionamiento de las ciudades y micro-ciudades que se construyan en el espacio. Son tantos los componentes que puede tener una ciudad, que es necesario que se coordinen equipos de diversas disciplinas cuyo objetivo final es crear un producto urbano. Una ciudad de esta forma puede ser mucho más compleja que un cohete, por eso no existe la posibilidad de que crezca de forma irregular como lo han hecho muchos asentamientos en la Tierra. Cada detalle de una ciudad espacial debe ser meticulosamente planeado, por lo que en el proceso del diseño debe haber personas involucradas en la solución de problemas específicos, pero también especialistas en el funcionamiento más general del sistema, como un urbanista.

A través del presente documento, se espera que se comiencen a involucrar personas de diferentes contextos y disciplinas, y, que se abra un debate académico para iniciar una discusión para generar ideas relacionadas al tema.

Participación colectiva

Las ideas no son únicas de un individuo, es por eso que para la creación de ciudades es necesario contar con la participación de todas las personas involucradas, en especial las que habitan el lugar. La participación es la que toma en cuenta la opinión del público en la toma de las decisiones.

A través de tecnologías como el Internet, cada vez es más eficiente que las personas se involucren en decisiones respecto a la planeación y creación de ciudades. A su vez, los ciclos de planeación en el espacio, probablemente sean más cerrados, ya que el control de crecimiento de población será más estricto que en la Tierra, con lo que todos los habitantes de las ciudades en el espacio deberán tener más acceso a la participación de los proyectos de su colonia espacial. La comunicación con los equipos de planeación en la Tierra será fundamental, por lo menos en etapas iniciales. Idealmente, la participación ciudadana en las ciudades en la Tierra, debería tener el nivel de participación que una ciudad en el espacio tendrá, por lo que se podrá aprender mucho sobre este tema a través de una futura participación colectiva espacial.

Sustentabilidad

Las ciudades en el espacio deben de tener un enfoque sustentable, donde los ciclos para sostener vida humana sean lo más cerrados posible, es decir, lograr mayores niveles de reciclamiento y depender poco de factores externos al sistema de ciudad. Inicialmente, las colonias dependerán de los recursos de la Tierra, pero se espera que eventualmente cada colonia se vuelva autosustentable.

Para lograr la sustentabilidad de las ciudades exoterrestres, se tiene que aprovechar la oportunidad de crear ciudades desde cero y realizar una planeación adecuada que mitigue el impacto del ser humano en el espacio o en otros planetas. Existen posturas que postulan que en el momento que el ser humano llegue a Marte, afectará su ecosistema lo cual provocará que, si existe vida en ese planeta, ésta se vea afectada por la intervención humana.³

Es por eso que es importante la creación o replanteamiento de un sistema jurídico promueva la protección ambiental de los planetas y el espacio exterior. Este tema no es menor, ya que aún en la actualidad, el espacio exterior más cercano a la Tierra se encuentra contaminado por desechos de satélites y otros objetos creados por el ser humano⁴. Tomando esto en cuenta, y ante la inminente depredación de la iniciativa privada que tiene como objetivo minar e industrializar el espacio, es importante que se comiencen a crear leyes⁵ que promuevan la expansión sustentable del ser humano en el espacio, aprendiendo de lo que se ha hecho bien y mal en la Tierra.

Rol de un urbanista

Si se conformara un equipo multidisciplinario para poder diseñar y crear una ciudad desde cero en el espacio, ¿cuál sería el aporte o el rol de un urbanista?

Una opción es ser ‘gestores’ o promotores, es decir, encargados de coordinar a todos los demás profesionistas involucrados en el proyecto, y observar que todo fluya de forma adecuada hacia los objetivos, a través del diálogo y la negociación. Además, un urbanista podría desarrollar las políticas públicas de la ciudad.

En la parte más científica, podrían presentar modelos para mayor optimización del espacio físico. Los que cuenten con una preparación más sólida en matemáticas, computación o ingeniería, podrían trabajar en la implementación de tecnología para el funcionamiento de la colonia. Por ejemplo, se puede utilizar inteligencia artificial para dotar de tecnología viviente a la ciudad, o para controlar robots que mejoren la calidad de vida y la organización en el núcleo urbano.

Desde un punto de vista del plan de estudios de urbanismo de la UNAM⁶, podrían ser parte de la “...solución de los aspectos demográficos, físico-ambientales, jurídico-administrativos, financieros y de diseño”. O también, “construir visiones estratégicas del desarrollo urbano sostenible”. Además de “impulsar y defender la convivencia y el disfrute en los espacios públicos de la ciudad mediante intervenciones” y la planificación del espacio físico de las ciudades en el espacio exterior.

World Building⁷ (Construcción de mundos)

‘World building’ es el proceso de construir mundos imaginarios, el resultado puede ser llamado ‘constructed world’ o simplemente ‘conworld’. Aunque se utiliza principalmente en la ciencia ficción, también se implementa en otros ámbitos como la creación de mundos en videojuegos^f. Además, se propone que puede ser una herramienta interesante para el urbanismo y la creación de ciudades nuevas.

Esta forma de diseñar mundos inexistentes tiene una metodología basada en las estrategias ‘top-down’ o ‘bottom-up’ (“de arriba hacia abajo” y “de abajo hacia arriba”, respectivamente) de las ciencias de la computación, que también han sido adaptadas a las ciencias exactas y sociales.

Con el método ‘top-down’ (TD) el diseñador comienza con crear un panorama general del mundo y un resumen del sistema sin detalles. Posteriormente, cada parte es refinada con mayor detalle hasta lograr la validación del modelo. En contraparte, en el diseño ‘bottom-up’ (BU) cada componente se detalla a la perfección para posteriormente ser unidas con el resto de las partes. Cada modelo tiene su ventaja, por ejemplo, con TD se logra más consistencia del mundo, mientras con BU se tiene una implementación más rápida.

Un exponente de esta metodología es Alex McDowell,⁸ quien se ha desenvuelto como creador de mundos para inmersión de historias, por ejemplo, en la industria cinematográfica. En un proyecto con la Universidad de California Sur USC, dónde se imparten clases sobre World Building, se propuso la construcción de una ciudad para una comunidad nómada en el desierto. Después de presentar el proyecto con simulaciones virtuales al gobernador local, éste les otorgó tierras para su construcción, demostrando que es posible crear un mundo inexistente con ayuda de herramientas tradicionales-modernas y una narrativa que pueda convencer a otras personas.

Actualmente, en un laboratorio con la misma universidad de USC, llamado ‘World-building Media Lab’ (WbML), se trabaja con estudiantes multidisciplinarios en diversos proyectos de construcción de mundos, varios de ellos relacionados con ciudades. Por ejemplo, en el proyecto ‘Dry City’ se imaginan una ciudad en el futuro dónde hay escasez de agua y el agua ha

^f Ver apéndice para una lista de videojuegos que recrean mundos con temática similar a la tesina.

sido privatizada. También tienen un proyecto llamado ‘The Cell and the City’, donde crean una célula virtual, basada en la célula de función pancreática beta, que pueda ser recorrida como una ciudad.

En conclusión, es importante mencionar el concepto de ‘World Building’, porque es una metodología que permite imaginar y construir mundos que no existen. Y a través de las narrativas e historias ficticias tener un impacto en la realidad para lograr la construcción de ciudades en el espacio exterior.

Inteligencia artificial (IA) y robótica

Tanto la inteligencia artificial como la robótica pueden ser un componente fundamental del diseño de ciudades en el espacio. Los robots podrían asistir a los seres humanos en las tareas más riesgosas, además de ser los pioneros en avanzada para construir el hábitat para la llegada después de las personas. Aún en la actualidad, se busca implementar inteligencia artificial y robots en las ciudades⁹.

Es difícil englobar en una definición lo que es la inteligencia artificial, pero en términos generales, se refiere a las técnicas computacionales que se utilizan para que una máquina pueda realizar acciones cognitivas típicas al ser humano. Recientemente, la inteligencia artificial ha logrado tener una explosión en cuanto a sus aplicaciones gracias a las técnicas de aprendizaje de máquina (machine learning ML) y aprendizaje profundo (deep learning DP). El aprendizaje de máquina son una serie de técnicas que se utilizan principalmente para el análisis, entendimiento y el reconocimiento de patrones en los datos. Mientras que el aprendizaje profundo se puede ver como un subconjunto del aprendizaje de máquina que trata de emular las neuronas del cerebro humano a través de las redes neuronales. Visto como un esquema matemático sencillo:

$$DL \subset ML \subset AI$$

Donde DL = (aprendizaje profundo), ML = (aprendizaje de máquina) y AI = (inteligencia artificial). Es decir, DL es parte de ML , mientras que ML es parte de AI .

Por otro lado, los robots utilizan la inteligencia artificial para poder realizar tareas y acciones de forma autónoma. Se distingue un robot como una máquina capaz de realizar movimientos

mecánicos. Existen múltiples tipos de robots cuyo rango de utilización es muy amplio; robots industriales, de servicio, domésticos, médicos, militares, educacionales, humanoides, espaciales (por ejemplo, los utilizados en Marte), etc.



Figura 9 Toyota quiere construir una ciudad desarrollada con tecnologías relacionadas a la automatización, inteligencia artificial, robótica, movilidad y sustentabilidad. (Crédito: Toyota <https://www.toyota.mx/nota/conoce-woven-city-la-ciudad-del-futuro-creada-por-toyota>)

Las ciudades se pueden utilizar robots para volverlas más eficientes. Cada vez más los robots se incorporarán a las ciudades para que se logre una mayor automatización. Se puede hablar de aplicaciones más concretas como la distribución de bienes, la vigilancia, seguridad, etc. Pero, también se puede hablar sobre la reestructuración automatizada de la

ciudad como un sistema robótico. Es decir, ver la integración de la robótica y la inteligencia artificial como un sistema interconectado. Para ello podemos hablar de dos categorías principales: Un *sistema de administración automatizada* y la *robotización de los servicios urbanos*. El primero busca reducir o simplificar el cálculo humano en el manejo de los sistemas que soportan la funcionalidad de la ciudad. El segundo concepto tiene como objetivo reemplazar o mejorar los servicios urbanos que son demasiado peligrosos, repetitivos o exceden la capacidad humana.¹⁰

Capítulo II

{Tecnología}

3. Transportación
 - a. SpaceX
 - b. Blue Origins
 - c. United Launch Alliance
 - d. Lockheed Martin
4. Hábitat
 - a. Antecedentes
 - i. Estación Espacial Internacional
 - b. Propuestas de habitat
 - i. NextStep
 - ii. Deep Space Gateway
 - iii. 3D Printed Habitat Challenge
 - c. Diseño del habitat
 - i. Clasificación
 1. Clases de habitat
 2. Tipos de Hábitat
 - ii. Diseño
 1. Sistemas de soporte
 2. Psicosocial
 - a. Actividades
 - b. Psicología
5. Alimentación
6. Movilidad
 - a. Caminabilidad
 - b. Análisis sociocinético
7. Gobernanza
 - a. Asgardia

La tecnología es un componente principal para poder crear cualquier tipo de ciudad. Por ejemplo, cuando los romanos inventaron el concreto, eso permitió que las construcciones fueran más grandes y más resistentes, por lo tanto, las ciudades pudieron crecer en escala y magnitud. Otros ejemplos podrían ser la electricidad, las tuberías, los vehículos de transporte, etc.

Es por eso que para conquistar el espacio y establecer asentamientos humanos en él, la tecnología que se requiere es diferente y novedosa. Por este motivo, en este capítulo se exploran las tecnologías existentes que pueden funcionar para implementar colonias humanas en el espacio. Dicha tecnología necesita ser la más avanzada y debe contar con los métodos más innovadores.

El capítulo comienza con la arquitectura de la transportación, que es el término utilizado para referirse a la planeación, el diseño y la construcción de la infraestructura que llevará al hombre a otros planetas y a través del espacio vacío. El término abarca naves espaciales, cohetes, estaciones de abastecimiento de combustible, estaciones espaciales, además de otros elementos de la infraestructura. Se debe distinguir entre la arquitectura de la transportación y la movilidad, la primera se refiere a el transporte interciudades, el segundo se refiere a la movilidad intraciudades.

Posteriormente, se realiza una revisión exhaustiva sobre el hábitat utilizado para condiciones de ambientes extremos. Se analizan propuestas y se presenta una clasificación de los tipos de hábitat. Además, se exploran las ideas básicas detrás del diseño del hábitat. Esta sección es importante debido a que un módulo de hábitat funge como la unidad básica del sistema de una ciudad exoterrestre.

Por último, se mencionan aspectos importantes sobre tres componentes de una ciudad, el alimento, la movilidad y la gobernanza. El primer aspecto, se complica al ser llevado a ambientes extremos, y, con el segundo, se replantea el concepto que tenemos de él en la Tierra.

Transportación

SpaceX

Space Exploration Technologies Co., mejor conocida como SpaceX, es una empresa privada, con más de 6,000 empleados, fundada en el 2002, por Elon Musk. Su objetivo de reducir los costos de transporte en el espacio exterior y con la misión de convertir al ser humano en una especie interplanetaria. A partir de ese año, la empresa ha conseguido consolidarse como un referente en la industria espacial con varios logros.

- Tuvieron el primer cohete de propulsor de combustible líquido, financiado con capital privado, que logró colocarse en órbita (Falcon 1, 2008).
- La primera compañía privada en mandar una nave espacial a la Estación Espacial Internacional (Dragon, 2012).
- Por primera vez, lograron aterrizar la primera fase de un cohete (Falcon 9, 2015).
- También, fueron los primeros en reutilizar un cohete (Falcon 9, 2017).

El objetivo de la empresa¹ es “diseñar, producir y lanzar cohetes y naves espaciales con tecnología avanzada y revolucionar la tecnología espacial, cuyo objetivo final es permitir que la gente viva en otros planetas”. La forma en la que lo quieren lograr es ofreciendo modos de transporte que reduzcan significativamente los costos marginales al reutilizar completamente las estructuras de los cohetes, una situación nunca antes lograda.

El éxito que ha tenido SpaceX va ligado al apoyo que ha tenido por parte de la NASA, esto a pesar de que ‘Falcon 1’, su primer cohete, fracasó en sus primeros tres intentos. Cuando el cuarto lanzamiento fue exitoso, la NASA le ofreció un contrato a SpaceX en 2006 para que fungiera como proveedor de servicios. La empresa ha realizado más de 64 lanzamientos de forma exitosa.

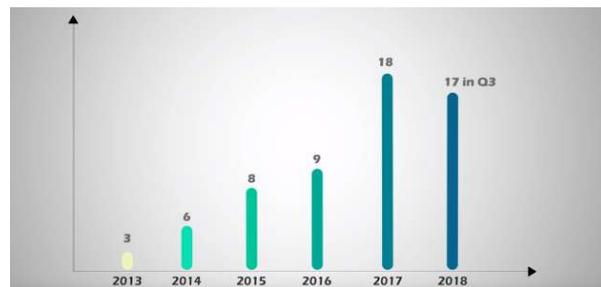


Figura 10 Lanzamientos de la empresa por año (Crédito: Youtube, SpaceX Vs. Blue Origin Vs. ISRO, Who will dominate the Future of Space?)

Vehículos

A continuación, se presentan los productos de SpaceX, los cuáles son cohetes diseñados para llevar carga y personas fuera de la Tierra.

Dragon

‘Dragon 1’ es una nave espacial que tiene principalmente dos modalidades. La primera es una

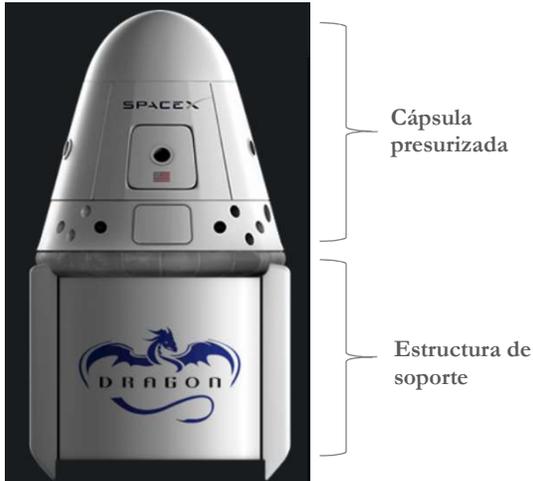


Figura 11 Nave espacial Dragon (Crédito: SpaceX)

cápsula de transporte de carga, la otra modalidad es una cápsula para transporte de tripulación, aunque todavía no se utiliza este modo. En el manifiesto de misiones, se estipula que ‘Dragon’ ha estado presente en 16 de los 66 vuelos a la fecha por parte de SpaceX y ha dado servicio a diversas compañías y gobiernos, entre ellos, a la NASA. La agencia estadounidense la utiliza para abastecer la Estación Espacial Internacional (EEI), convirtiéndose en la primera nave espacial privada llegar a la EEI (2012).

La nave espacial se divide en dos, la cápsula presurizada y la estructura de soporte. El compartimiento presurizado lleva la mayor parte de la carga útil. Por su parte, la estructura de soporte se encarga de dotar de soporte a la nave espacial durante el despegue y almacenar la carga que no requiere de presión. Cuando la nave espacial regresa a la tierra, la estructura de soporte se desprende dejando solo la cápsula. Además, cuenta con un despliegue de paneles solares. Actualmente, es de las pocas naves espaciales capaces de transportar cargas significativas de la Tierra a la órbita terrestre y de regreso.



Figura 12 Estructura de soporte o cajuela de la cápsula Dragon (Crédito: Space X)

La segunda versión de la cápsula es 'Dragon 2' y tiene tres variantes; 'Crew Dragon', 'Cargo Dragon' y 'DragonLab', que son naves espaciales para tripulación, carga y un laboratorio, respectivamente.

'Crew Dragon' es una nave espacial diseñada para llevar hasta 7 personas más carga a destinos en órbita. Actualmente, por acuerdo con la NASA, se está planeando el primer viaje tripulado a la Estación Espacial Internacional.

'Crew Dragon' puede estar desde una semana (vuelo libre) a dos años (anclada en el espacio).

Especificaciones²:

- Masa total de carga útil de lanzamiento: 6,000 kg
- Masa total de carga útil de retorno: 3,000 kg

Falcon 1

El primer cohete de SpaceX y el más pequeño. Tuvo un total de 5 vuelos, de los cuales, los primeros tres fueron fallidos. En 2008 logró su primer vuelo exitoso con simulación de carga en el espacio vacío, y se convirtió en el primer cohete de financiamiento privado en llegar a órbita terrestre. En 2009, 'Falcon 1' realizó su quinto y último vuelo colocando exitosamente un satélite en órbita.

El costo total para la fabricación del cohete es de \$90 millones de dólares. Para la primera fase del vuelo 'Falcon 1' utiliza el motor 'Merlin'.

Falcon 9³⁴

Es el segundo cohete diseñado y fabricado por SpaceX. Es un cohete de dos etapas, la primera etapa utiliza 9 motores de tipo ‘Merlin’, que a su vez utilizan oxígeno líquido (LOX) y RP-1 (propelente de cohete por sus siglas en inglés) tipo queroseno como combustible. Los tanques de esta primera etapa están hechos de una aleación de aluminio y litio. El empuje de la primera etapa son 7,607 kilonewtons (kN)^g a nivel del mar y 8,226 kilonewtons (kN) en el vacío. Esta primera fase, en la versión actual del ‘Falcon 9’ *Block 5*, es completamente reutilizable.

La segunda etapa consiste en solo un motor de vacío ‘Merlin’, y, cuyo objetivo es colocar la carga en la órbita deseada. Además, puede re-encenderse varias veces con el propósito de depositar cargas en diferentes órbitas. El empuje de la segunda fase es de 934 kilonewtons (kN).

Este cohete puede transportar carga útil o tripulación humana, a través de la cápsula ‘Dragon’. En total, el ‘Falcon 9’ tiene capacidad de carga de:

- 22,300 kg a órbita baja terrestre (LEO)
- 8,300 kg para órbita de transferencia geoestacionaria (OTG) si es desechable la primera fase y 5,500 kg cuando la primera fase se reutiliza después de la recuperación
- 4,020 kg a Marte.

En agosto de 2018, la NASA anunció que cuatro tripulantes viajarán a la estación espacial en el futuro.⁵ SpaceX está a la espera de conseguir la certificación de la NASA para ese vuelo tripulado.



Figura 13 Falcon 1, Falcon 9 y Falcon Heavy (Crédito: Space X)

^g Consultar glosario: Newton

El costo comercial para el Falcon 9 es de \$62 millones de dólares, pero con la implementación de la versión *Block 5*, que es de reutilización, el costo se reducirá alrededor de los \$52 millones de dólares. La versión Falcon 9 ha tenido un total de 61 lanzamientos.⁶

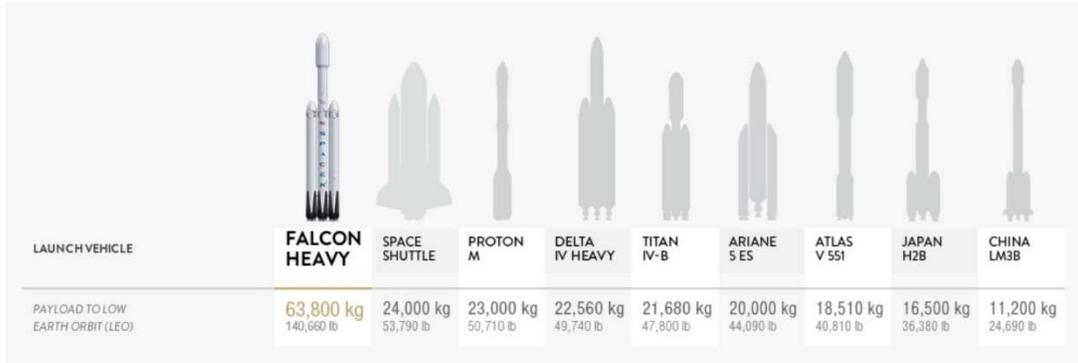


Figura 14 Comparación del Falcon Heavy con los cohetes más potentes del mundo (Crédito: SpaceX)

*Falcon Heavy (FH)*⁷⁸

Prácticamente, ‘Falcon Heavy’ es tres veces la primera fase del Falcon 9 armadas juntas, por lo que el funcionamiento ‘Falcon Heavy’ y ‘Falcon 9’ es similar. La primera fase del Falcon Heavy tiene un empuje de 22,819 kN a nivel del mar, y una capacidad de carga útil de:

- LEO de 63,800 kg
- GTO 26,700 kg
- 16,800 kg a Marte
- 3,500 kg a Pluto.

Los tres núcleos de ‘Falcon 9’ suman un total de 27 motores ‘Merlin’ en su primera etapa. Los dos ‘boosters’ de ambas orillas desaceleran pocos segundos después del despegue, posteriormente, se desprenden, y, el ‘booster’ central comienza a acelerar. La segunda etapa del FH también es como el ‘Falcon 9’, que solo tiene un motor ‘Merlin’ que funciona al vacío.

Actualmente, es el cohete con más capacidad de carga en funcionamiento, solamente superado por Saturno V, cuyo último vuelo fue en 1973. En enero 2018, Falcon Heavy tuvo su primer vuelo y fue exitoso, logrando aterrizar dos de los tres ‘boosters’ para su reutilización. Hasta la fecha, Space X no tiene planeado que la NASA certifique el cohete para vuelos tripulados, por lo que es un cohete solamente para carga. El precio de lanzamiento comercial de Falcon Heavy es de \$90 millones de dólares.



Figura 15 La nave espacial Starship (BFR) sobrevolando la luna (Crédito: SpaceX)

BFR (Big Falcon Rocket)⁹(recientemente renombrado ‘Starship’)¹⁰

El concepto del BFR, ahora ‘Starship, está en constante evolución debido a que aún se encuentra en proceso de diseño. ‘Starship’ es un cohete gigante cuya longitud supera los 100 metros y cuyo diámetro es de 9 metros. Es la estrella del programa a Marte de SpaceX debido a sus capacidades. Actualmente (2018), se encuentra en desarrollo y se esperan que se hagan



Figura 16 Starship (BFR). Tendrá 118 m de largo y podrá colocar 100 toneladas en LEO (Crédito: SpaceX)

pruebas sub-orbitales en el 2019. El cohete tendrá una capacidad de carga en la órbita baja terrestre aproximadamente de 100 toneladas¹¹ y será totalmente reutilizable en todos sus componentes.

El cuerpo completo del BFR está compuesto por dos partes, la nave espacial (Starship) y el ‘booster’ (‘Super Heavy’). El ‘booster’ se desprende de la nave espacial, posterior al lanzamiento, para que ésta haga el recorrido espacial sola. La nave espacial, a su vez, se divide en tres, los tanques de los combustibles, los motores y la carga útil.

La nave espacial, ‘Starship’, tendrá una longitud de 55 metros, lo que es aproximadamente 8 pisos de altura. La parte de la nave en la que se encuentran las cabinas para la tripulación cuenta con una zona central para almacenamiento, una galera, un área de entretenimiento (con juegos de gravedad cero), un refugio contra tormentas solares y 40 cabinas. Como el viaje a marte puede durar entre tres y seis meses, lo ideal es que las cabinas estén ocupadas, por comodidad, por máximo tres personas, lo cual arroja un número mayor a 100 personas que pueden ser transportadas por cada ‘Starship’.

Los tanques de la nave tienen capacidad para 860 toneladas de oxígeno (O₂) y 240 toneladas



Figura 17 Tanque de fibra de carbono avanzado (Crédito: SpaceX)

de metano (CH₄) sub-enfriados. El tanque de la nave espacial, compuesto de una matriz nueva de fibra de carbono, es lo más complicado de hacer, porque necesita soportar la carga de metano y oxígeno líquido a temperaturas muy bajas. El equipo de SpaceX ya lo logró exitosamente las primeras pruebas del tanque.¹²

‘Starship’ tendrá 7 motores raptor. El ‘booster’ es de fibra de carbón avanzada y tiene la intención de acelerar a la nave espacial hasta 8,500 kilómetros por hora. Una vez cumplida su misión, se podrá regresar el motor de reacción a una plataforma terrestre, de preferencia la misma del despegue, con el 7% del combustible utilizado.

Inicialmente, estaba planeado utilizar 42¹³ motores raptor, pero, lograron diseñar una mejor versión del motor con mayor empuje y de menor tamaño. Esta nueva versión elevará el cohete con tan solo 31¹⁴ motores ‘Raptor’, los cuales dotaran al cohete con un empuje de 5,400 toneladas al cohete que tiene un peso de 4,400 toneladas.

El motor ‘Raptor’ se abastece de un sistema a base de metano líquido densificado y oxígeno líquido (LOX) que pertenecen a la familia criogénicos, que son combustibles que requieren ser conservados en bajas temperaturas para que mantengan su estado líquido. El motor Raptor está pensado para "la próxima generación de lanzadores de SpaceX, diseñados para la exploración y colonización de Marte"¹⁵.

Por otro lado, ‘Starship’ tendrá una de las mayores capacidades de carga, superando la de Saturno V. A pesar de esto, debido a la reutilización total de los componentes de ‘Starship’, y, aprovechando los costos marginales, el costo de lanzamiento, según SpaceX, será menor que el de Falcon 9, que es uno de los cohetes con tarifa de lanzamiento más económica del mercado.

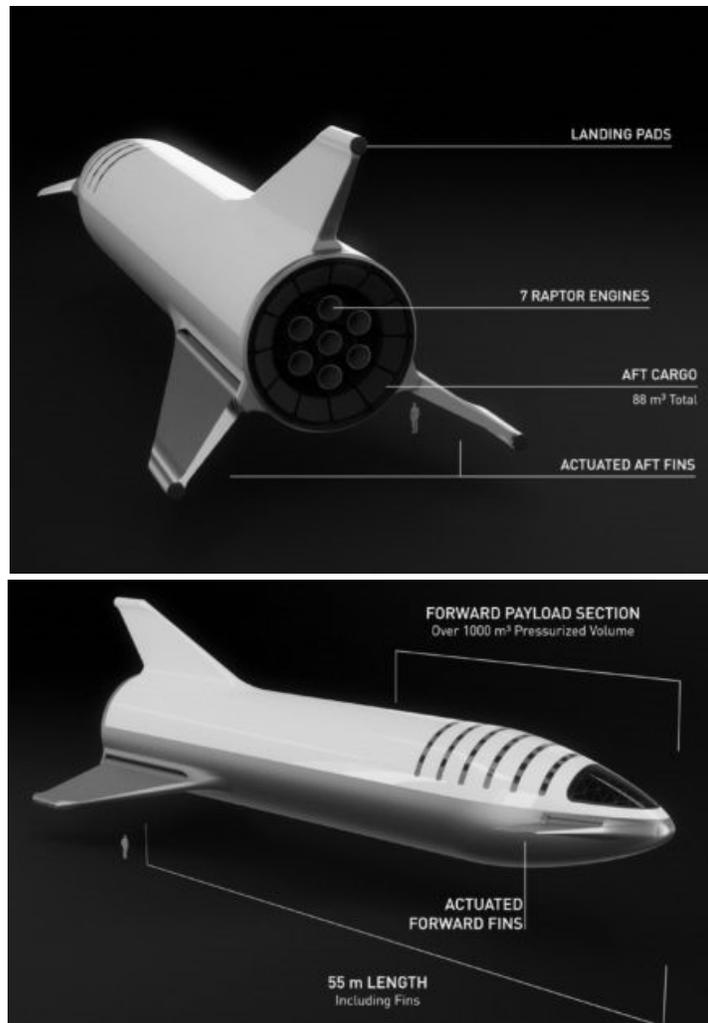


Figura 18 Dos perspectivas de la nave Starship, versión modificada en septiembre de 2018 (Crédito: SpaceX)

El objetivo principal, es que este cohete sea el portal a todo el universo, con auxilio de una planta de propelente en los planetas o asteroides, para ir ‘brincando de planeta en planeta’ y que los humanos se expandan en el universo.¹⁶

Por último, como forma para financiar los planes de llegar a Marte, está planeado que con el ‘Starship’ puedan realizar viajes dentro de la misma tierra en menos de media hora los destinos con mayor distancia, por ejemplo, Nueva York a París en 30 min, en un vuelo que generalmente tarda 7 hrs y 20 min.¹⁷

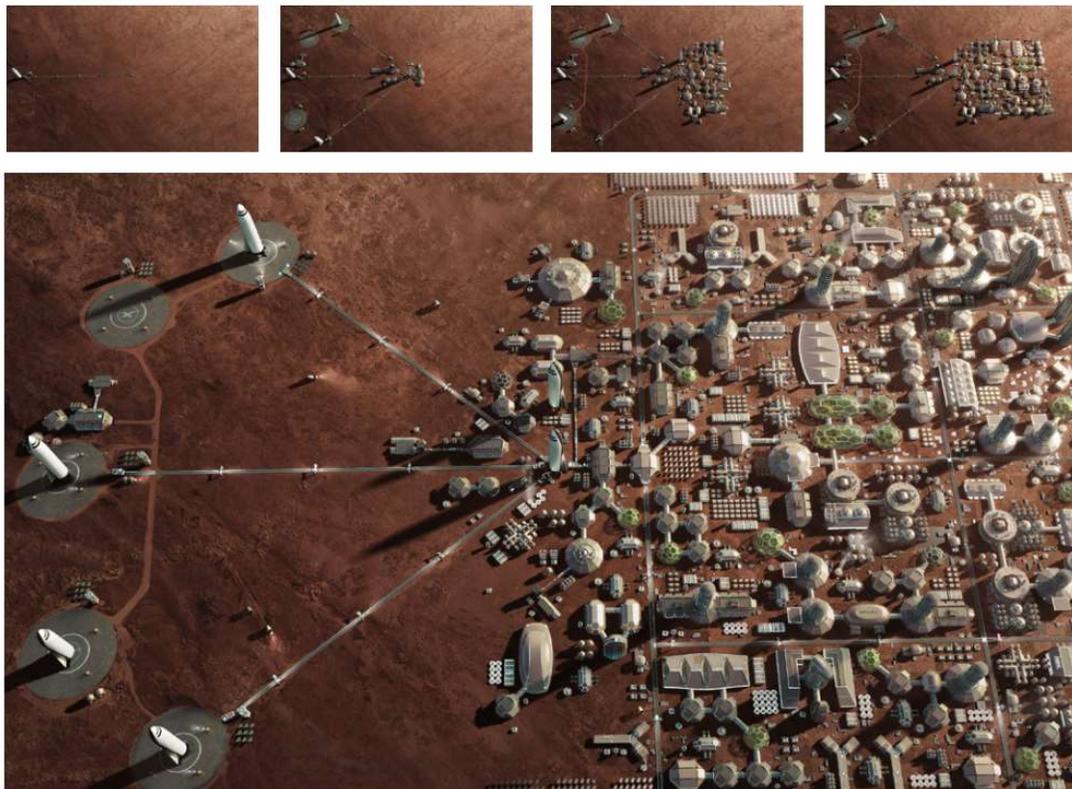


Figura 19 Esquema de ‘etapas’ de la fundación de la primera ciudad de Marte (Crédito: SpaceX)

Plan para una ciudad en marte

La perspectiva de SpaceX para la colonización de marte está más enfocada en facilitar los medios de transporte de los recursos y requerimientos necesarios para el establecimiento de las colonias, es decir, el crear la arquitectura de la transportación a Marte, lo cual sería a través de reducir los costos de lanzamiento, además de la creación de una planta de combustible en Marte.

Este proceso está planteado por fases:

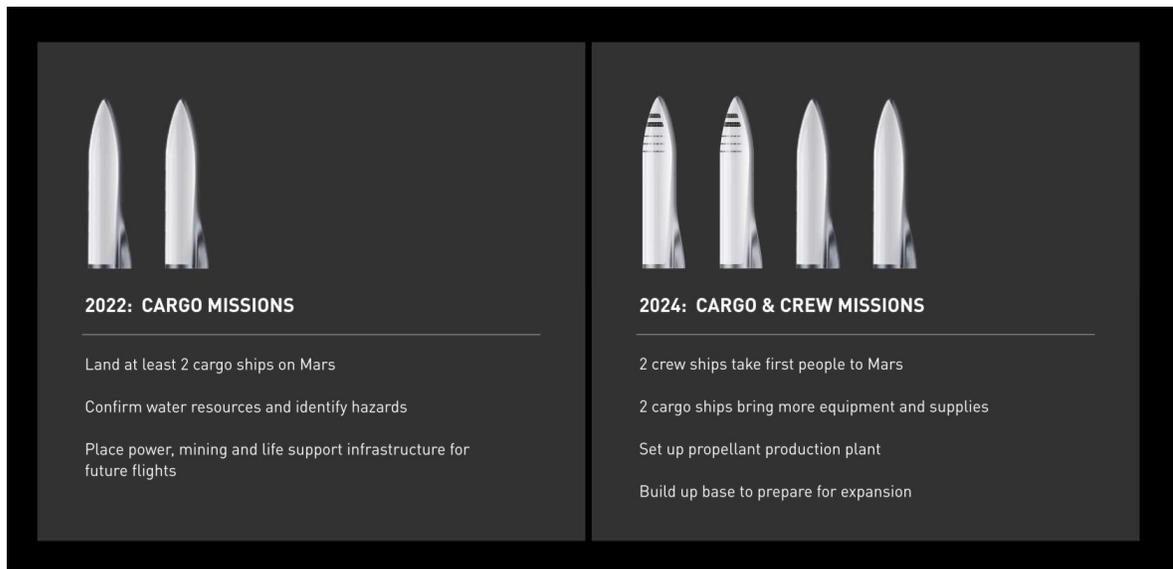


Figura 20 Pequeño cronograma de las próximas misiones (Crédito: SpaceX)

1. La primera misión está planteada como objetivo en 2022 y no será tripulada. Dos naves espaciales de tipo 'Starship' serán las encargadas de llevar la carga necesaria para establecer las bases para la siguiente fase de la colonización, además de confirmar la existencia de agua, identificar posibles peligros y colocar la infraestructura para soportar la vida.
2. La segunda fase de la misión, está diseñada para que aterrice en 2024 en Marte. Esta misión será conformada por cuatro naves 'Starship', dos de las cuales serán tripuladas y las otras dos naves llevarán más provisiones y equipo necesario. La idea es que esta misión construya una planta de propelente o combustible para poder recargar las naves y que sean habilitadas para volver a la tierra. También, servirá para construir la base para una futura expansión y la eventual creación de ciudades.
3. Posteriormente, será importante la contribución de empresas industriales y millones de personas para la construcción de ciudades en Marte.¹⁸ Una analogía de esto es, por ejemplo, comparar a SpaceX con lo que está haciendo el gobierno chino con la Ruta de la Seda, el gobierno chino está construyendo la infraestructura para el comercio, pero es cuestión de los individuos construir las redes y utilizar esa infraestructura de forma benéfica.

Existen múltiples organizaciones, en especial la NASA, que han contribuido mucho sobre los detalles del medio físico de Marte y como establecer una colonia ahí, estos son los avances sobre los que se impulsarán las ciudades en Marte.

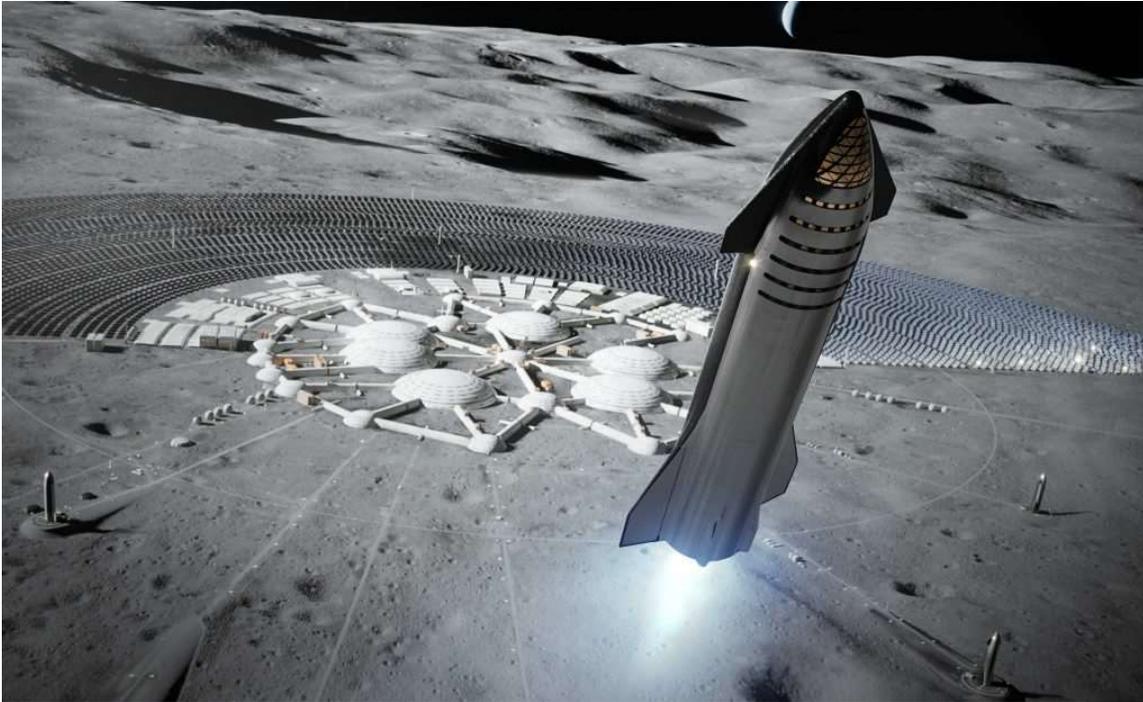


Figura 21 Un render sobre la visión de SpaceX para una colonia humana en la luna (Crédito: SpaceX)

Arquitectura de la transportación

SpaceX apuesta a seguir empujando la idea de alcanzar Marte sabiendo que es algo real y que alguien necesita ser un referente respecto a ese tema, y, pensando que eventualmente el apoyo irá creciendo exponencialmente. Además, creen es algo que se puede lograr durante el transcurso de esta generación.

El mecanismo que proponen consiste en lanzar la nave espacial al espacio exterior y rellenarla de propelente en órbita y con eso viajar a Marte. Para lograr esto, buscan juntar dos BFR cola a cola, uno de los cuales hará la función de transmisor del propelente, mientras que el otro, el que tiene carga o tripulación, será el receptor del propelente. Para esto, es fundamental que sea automatizado el ‘anclaje orbital. Si se logra lo único por lo que se estaría pagando es el propelente y este último es relativamente barato con respecto a los demás costos de lanzamiento. Con esto se maximiza la capacidad de carga de la nave espacial.¹⁹

Una vez en Marte es necesario generar localmente el propelente. Marte tiene una atmosfera de dióxido de carbono (CO₂) y mucha agua (H₂O) congelada, con estos compuestos puedes extraer metano (CH₄) y oxígeno (O₂) usando el proceso Sabatier para que sean utilizados como combustible de la nave espacial. Para regresar no es necesario el impulso de un motor de reactor debido a que la gravedad en Marte es el 38% de la gravedad en la Tierra. Es decir,

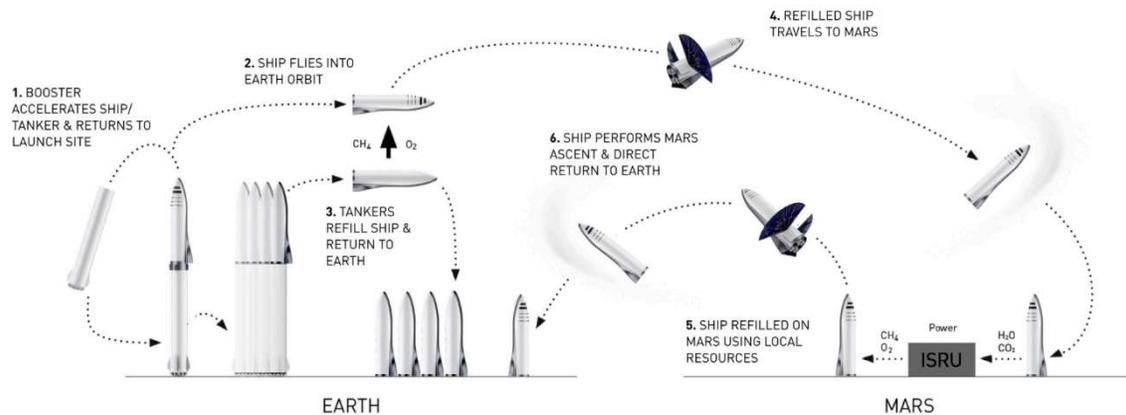


Figura 22 Esquema de la arquitectura de la transportación (Crédito: SpaceX)

puedes ascender de Marte y viajar a la tierra solamente con la nave espacial.

Esquema de funcionamiento:

1. Reacción de motor acelera a la nave/tanque de propelente y regresa a la zona de lanzamiento, posteriormente, el motor de reacción regresa después de 20 minutos a la superficie terrestre para volver a lanzar la nave de recarga de propelente. Este procedimiento se repite 4 ó 5 veces.
2. La nave espacial vuela a la órbita terrestre.
3. Los tanques de propelente recargan a la nave y regresan a la tierra.
4. La nave espacial, ya recargada, viaja a marte.
5. La nave espacial es rellenada en marte utilizando recursos locales.
6. La nave asciende de marte y regresa a la tierra.

El plan de SpaceX es que eventualmente existan muchas naves espaciales esperando en órbita terrestre, aproximadamente 1,000 vehículos, posteriormente, viajar a Marte en grupo y aprovechar la economía de escala. Para tener una civilización de 1,000,000 de personas viviendo en Marte con las naves espaciales ‘Starship’ cuya capacidad es de 100 personas, se

requerirían 10,000 viajes. El objetivo de tener un millón de personas en Marte es para dentro de 100 años

Financiamiento

Utilizando un método similar al programa Apollo de la NASA, costaría aproximadamente \$10 billones de dólares por persona llegar a Marte, lo cual no es factible si se busca establecer una civilización ahí. Para SpaceX, es necesario reducir el costo a \$200,000 dólares por persona. ¿Cómo lograr esto? Con una total reutilización de las partes del cohete y recarga de tanques de propelente en órbita, generación de propelente en Marte y escoger el propelente adecuado.

Se pretende que el costo por persona sea inicialmente de \$200,000 dólares, pero puede bajar hasta \$100,000 dólares. Además, una tonelada de carga tendría un costo de \$150,000 dólares. La idea es que los que quieran ir puedan ir a un costo accesible y que la construcción de una colonia en Marte sea un trabajo conjunto privado-gubernamental.²⁰

¿Cómo financia actualmente los proyectos SpaceX? Los cohetes Falcon 9 y Falcon Heavy junto con la cápsula Dragon 1 proveen de servicio a diversos organismos. Con el dinero de estos servicios SpaceX piensa desarrollar 'Starship' que, a su vez, puede mejorar el servicio de lanzamiento de satélites, viajes a la Estación Espacial Internacional, habilitar viajes a la luna y servir como forma de transportación entre ciudades de la tierra. Además, otra forma con la que se piensa financiar el desarrollo del 'Starship' es a través de aportaciones de particulares. En septiembre de 2019, SpaceX anunció que tenían a su primer pasajero privado que compró un vuelo a la luna,²¹

Yusaku Maezawa, un emprendedor japonés que volará a la luna con un grupo de 6 u 8 artistas en 2023 en un 'Starship'. Todo esto establecería la base financiera para soportar los costos de las misiones a Marte.

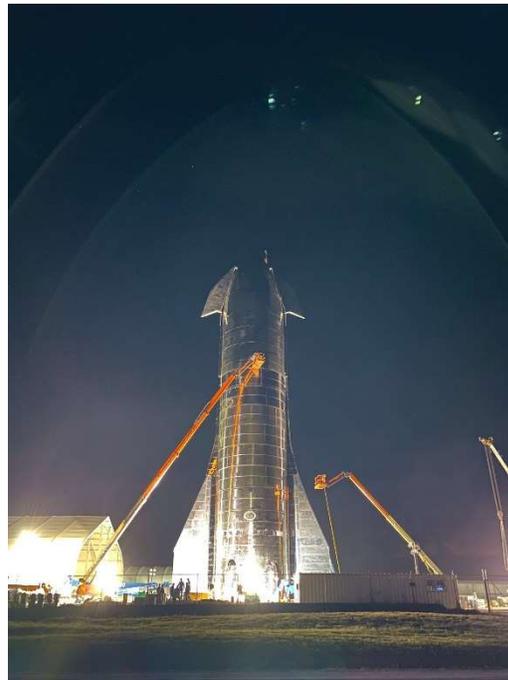


Figura 23 Develación en septiembre de 2019 del prototipo de 'Starship' (Crédito: Twitter, @elonmusk)

Por su parte, la Fuerza Área Norteamericana ha tenido pláticas e interés en el ‘Starship’ para asociarse y tener acceso para poder llevar carga al espacio y, además, pre posicionar equipo y provisiones en órbita terrestre, para que después puedan ser soltadas a la Tierra, todo esto en menos de media hora.²²

Por último, en octubre de 2018 se reportó que SpaceX estaba buscando financiamiento de préstamo por parte de Goldman Sachs para dos de los principales proyectos. Uno es Starlink, una constelación de satélites (4,500 de inicio y 7,500 en la segunda etapa) que proveerán de internet de alta velocidad a todo el mundo y, el otro, la nave espacial ‘Starship’²³

Línea de tiempo (E)²⁴

- 2018 Construir un complejo de lanzamiento en ‘Boca Chica’, Texas.
- 2019 Debut de la nave espacial BFR (puede variar). Se lanzará un BFR desde Texas sin llegar a la órbita como prueba.
- 2020-21 Las primeras pruebas a órbita del BFR
- 2022 Dos misiones a Marte con carga y provisiones, pero sin tripulación
- 2022-23 Aterrizaje de los primeros BFRs en Marte.
- 2023 Lanzamiento de las primeras personas en el BFR en un viaje tripulado alrededor de la luna.
- 2024 Primeras personas en ser lanzadas a una misión a Marte.
- 2025 Llegada de las naves espaciales a Marte, serán utilizadas como el primer hábitat.
- 2028 (tentativo) Se termina de construir la ‘Mars Base Alpha’. Con domos para producir alimentos y una planta de propelente.
- 2030 (meramente especulativo) Inicio de la construcción de la primera ciudad.
- 2100 Terratransformar Marte.



Figura 24 Terratransformación de Marte (Crédito: SpaceX)

Blue Origin

'Blue Origin' es una empresa aeroespacial de capital privado fundada por Jeff Bezos, fundador también de Amazon, en el año 2000. Tienen como objetivo "crear un futuro donde millones de personas trabajen y vivan en el espacio" y cuyo fin es "preservar la Tierra utilizando los recursos que ofrece el espacio". Están en búsqueda de un futuro donde el espacio exterior tenga un papel dinámico en el desarrollo del ser humano y que cualquiera pueda explorar el sistema solar. En pocas palabras, buscan establecer el camino para que las nuevas generaciones construyan una vida en el espacio.



Figura 25 Logo de Blue Origin (Crédito: Blue Origin)

Blue Origin se ubica en Kent, Washington en un complejo de más de 27,500 metros cuadrados.

Los productos que tienen actualmente son principalmente cohetes. Tienen en específico dos, 'New Glenn', que está en desarrollo y su función será transportar carga pesada a nivel órbita. El otro, 'New Shepard', será para vuelos suborbitales y con fines turísticos, ambos buscan ser totalmente reutilizables y con esto bajar los costos de lanzamiento.

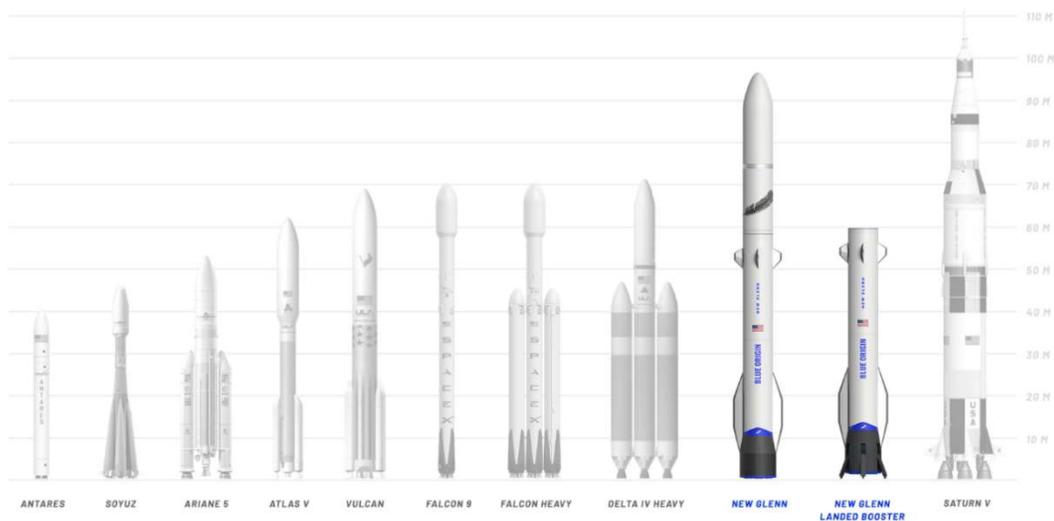


Figura 26 Comparación de cohetes con 'New Glenn' (Crédito: Blue Origin)

Cohetes

Vehículos

*New Glenn*²⁵

Es un vehículo de lanzamiento, en desarrollo, de carga pesada (Heavy-lift) cuyo objetivo es llevar de forma rutinaria a órbita Terrestre, y más allá, carga y personas.

Características:

- La primera fase podrá ser utilizada hasta 25 veces.
- Se han invertido \$2.5 millones de dólares de capital particular.²⁶
- Una sola configuración para todas las misiones; civiles, comerciales y de seguridad nacional.
- Busca ser confiable y ofrecer un bajo costo al ser reutilizable.
- Puede despegar en 95% de las condiciones meteorológicas.
- Mide **95 metros** de largo ('Booster' es 60 metros de largo).
- Puede colocar **45 toneladas métricas** a LEO y **13 toneladas métricas** a GTO.

Especificaciones:

- Primera fase: 7 motores BE-4, que dan un total de *17,100* kilonewtons (kN).
- Fase superior: 2 motores BE-3U, optimizados para el vacío, con un total de *1,069* kiloNewtons (kN).



Figura 27 'New Glenn' 95 m
(Crédito: Blue Origin)

*New Shepard*²⁷

Llamado así tras el primer hombre en llegar al espacio, Alan Shepard. Es un sistema de cohetes suborbitales diseñado para llevar astronautas, carga y turistas a la Línea Kármán, el límite espacial reconocido internacionalmente. El viaje es de 11 minutos contando el despegue y aterrizaje. El cohete es completamente reutilizable. Tiene un total de 9 lanzamientos exitosos de los 9 que se han lanzado, solamente el primero, en 2015, se estrelló el vehículo de lanzamiento (booster) al aterrizaje. El modelo del cohete NS-2 se ha utilizado actualmente hasta 5 veces. Los turistas espaciales, astronautas, que deseen utilizar los servicios podrán experimentar la gravedad cero y vistas espectaculares de la Tierra y el espacio.

El sistema consiste en dos partes:

- Cápsula presurizada
- Vehículo de lanzamiento



Figura 29 Por dentro de la cápsula de 'New Shepard' (Crédito: Blue Origin)

La cápsula presurizada tiene grandes ventanas para cada uno de los asientos (6), su aterrizaje lo hace con paracaídas y una pequeña aceleración antes de aterrizar. También tiene la posibilidad de escape de emergencia en cualquier momento del despegue con un motor de 311 kN por si existe cualquier imprevisto.

El vehículo de lanzamiento despegue de forma vertical, acelera durante 2.5 minutos y realiza la separación de la cápsula. Posteriormente, el vehículo regresa para aterrizar de forma autónoma, ya que después de la aceleración inicial, cuando está descendiendo el motor BE-3PM, se reinicia para proveer de la desaceleración necesaria para aterrizar de forma intacta.

Datos:

- Espacio para 6 tripulantes cómodamente
- Costo probable por pasajero: \$200,000 - \$300,000 USD²⁸



Figura 28 'New Shepard' (Crédito: Blue Origin)

Motores²⁹

Actualmente, 'Blue Origin' cuentan con dos motores para cohetes principales: BE-3 y BE-4

- *BE-3*. Es a base de hidrógeno (LOX) y oxígeno líquido (LH2) y tiene dos variantes:
 - BE-3PM. Diseñado para la primera fase de un cohete, tiene un empuje de 489 kN y cuando regresa a Tierra puede desacelerar a 88 kN para un aterrizaje de precisión. El combustible es de energía limpia y eficiente ya que utiliza LOX y LH2, lo que deja como residuo de combustión agua.
 - BE-3U. Diseñado para la fase superior de un cohete y optimizado para el espacio vacío, todavía está en desarrollo. Tiene una torva más grande lo que le permite acelerar hasta 556 kN.
- *BE-4*. Es la cuarta generación de motores de cohete de líquidos, se puede decir que sustituye el motor ruso RD-180³⁰.

Actualmente está en desarrollo. Utiliza 'Oxygen-rich' (ox-rich), un método de combustión de fases de oxígeno líquido y gas natural licuado para presurizar los tanques de propelente. Tiene **2,446 kN** de empuje y estará diseñado para un mínimo de 25 viajes. Blue Origin tiene un contrato con 'United Launch Alliance' para que éste último utilice el motor con su proyecto de cohete *Vulcan*.



Figura 30 Motor BE-4 (Crédito: Blue Origin)

Blue Moon

'Blue Origin' también tiene el proyecto 'Blue Moon', que consiste en un lander robótico de carga que transportara entregas a la Luna de hasta 4,500 kg (como un Amazo, pero del espacio). Se tiene planeado para 2024 el primer viaje. Con este método se planea transportar hábitats, radiadores, paneles solares para construir una estación en EML-1 (por sus siglas en inglés, Punto de Lagrange Tierra-Luna 1) y que sea la base para realizar aterrizajes a la luna.³¹ Posteriormente, se tiene también propuesto, a través de su lander 'Blue Moon', colocar la infraestructura para construir una estación o base en la Luna. El turismo espacial también sería parte de este proyecto.³²

Con el plan de la 'Blue Moon', la Tierra se podría convertir solamente para uso residencial, para que toda la industria y las compañías se muevan a la Luna. Con esto, la Tierra se convertiría en un mejor lugar para vivir ya que no habría industria.

Por último, a Blue Origin le parece atractivo el plan que tiene la Agencia Espacial Europea (ESA por las siglas en inglés) para la Luna, 'Moon Village', el cual consiste en cooperación internacional en capacidades lunares para hacer una colonia lunar en la cual todos los que quieran establecer una base en la Luna lo hagan en la misma zona y aprovechen las economías de aglomeración.³³

United Launch Alliance

Es una empresa fundada, por una cooperación entre Lockheed Martin y Boeing en 2006 y que provee de servicios de lanzamiento al gobierno de Estados Unidos. Actualmente dan servicio con sus dos cohetes Atlas V y Delta IV, cuyas familias de cohetes han estado en activo por más de 50 años (Atlas es de Boeing y Delta de Lockheed Martin). En 2015 lograron su lanzamiento 100 con Mexsat-2 o Morelos III, una serie de tres satélites del gobierno mexicano.

Después de una reestructuración de la compañía en 2014, la empresa anunció un nuevo cohete, Vulcan, y la intención de comenzar a crear una economía lunar basada en dos modelos de propulsores espaciales, ACES y XEUS.

Vulcan

Es un cohete de nueva generación en desarrollo y para el que se tienen planes de que sea puesto en funcionamiento en 2021.

Su capacidad de carga es (en la versión Vulcan Centaur Heavy):

- **A LEO:** 34,900 kg
- **A GTO:** 16,300 kg
- **A GEO:** 7,200 kg

La primera fase, es decir el motor de reacción o el cohete el combustible, es a base de metano y oxígeno líquido. Utiliza dos motores de la compañía Blue Origin BE-4 con fuerza de empuje de 2,400 kN, que suman un total de 4,800 kN. Además, puede tener hasta 6 ‘solid rocket boosters’ (SRB) con un total de 2,200 kN de empuje.

Para la fase superior, inicialmente será utilizado Centaur, un modelo que ya ha sido ocupado en cohetes anteriores de la compañía. Más adelante, la fase superior ACES sustituirá a la fase superior Centaur

Vulcan es la carta fuerte de ULA y la intención es competir directamente con los cohetes de nueva generación, en específico con el Falcon Heavy. Para lograrlo, ULA ideó una estrategia de recuperación de los motores de la primera fase, los BE-4, que son la parte más cara del cohete. Después de servir su propósito, los componentes de la primera fase, regresaran a la Tierra, se abrirá un paracaídas y serán recuperados en el aire por un helicóptero.³⁴

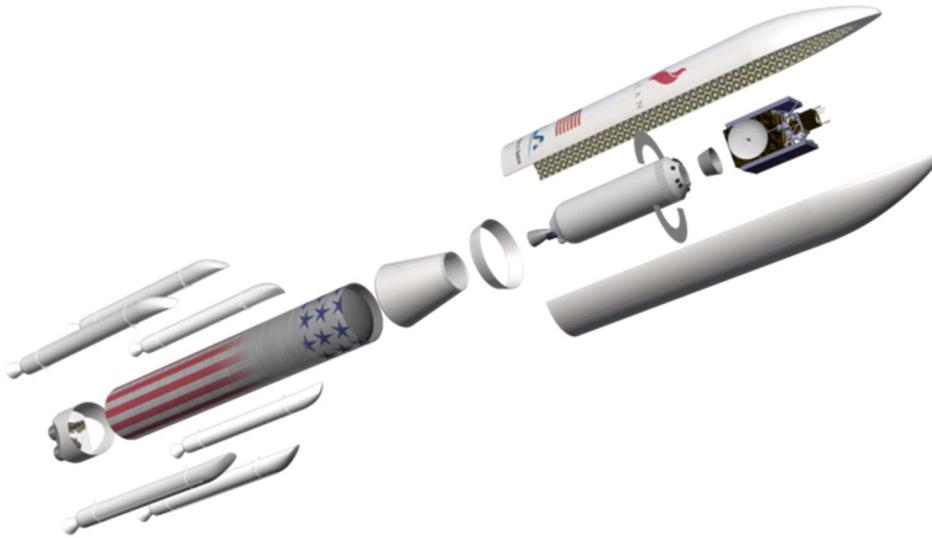


Figura 31 El cohete 'Vulcan' (Crédito: ULA)

ULA anunció tres variantes con diferentes capacidades de carga, uno con 2 SRB (17,800 kg a LEO), otro con 6 SRB (27,500 kg a LEO) y la versión Vulcan Centaur Heavy con 6 SRB (34,900 kg a LEO).³⁵

ACES y XEUS

ACES es 'Advanced Cryogenic Evolved Stage', un elemento de la fase superior y propulsor espacial, es decir que traslada objetos a través del espacio vacío, con propelente a base de oxígeno e hidrógeno líquido. La nave será incorporada al cohete Vulcan tentativamente en 2023. La gran ventaja que tiene es que está diseñada para viajes en el espacio, por lo que su combustible puede ser extraído del agua, que es abundante en espacio cislunar.

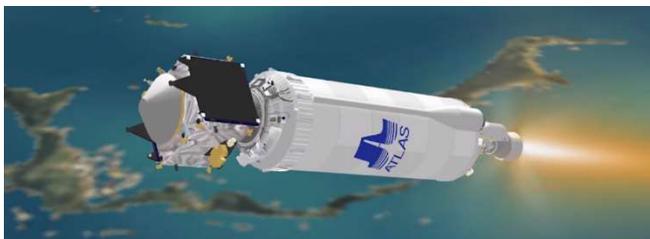


Figura 32 ACES (Crédito: ULA)

Una de sus variantes es XEUS, una versión adaptada de ACES. Para esta versión están trabajando con 'Masten Space Systems', para que funcione como lander lunar para colocar carga de la Luna a órbita lunar, haciendo viajes

redondos y siendo reabastecido de combustible en la Luna. Podrá entregar 10 toneladas métricas a superficie lunar y 25 toneladas métricas de la Luna al espacio. Además, se busca que transporte elementos fabricados en el espacio.³⁶

Lockheed Martin

Es la empresa que más ha construido naves espaciales interplanetarias. Tienen 12 misiones ‘Discovery’, además, cuentan con el primer ejemplar de un cometa regresado a la Tierra. Trabajan con la NASA para reducir los límites de la exploración espacial.³⁷



Figura 33 Logo Lockheed Martin (Crédito: Lockheed Martin)

*‘Mars Base Camp’*³⁸

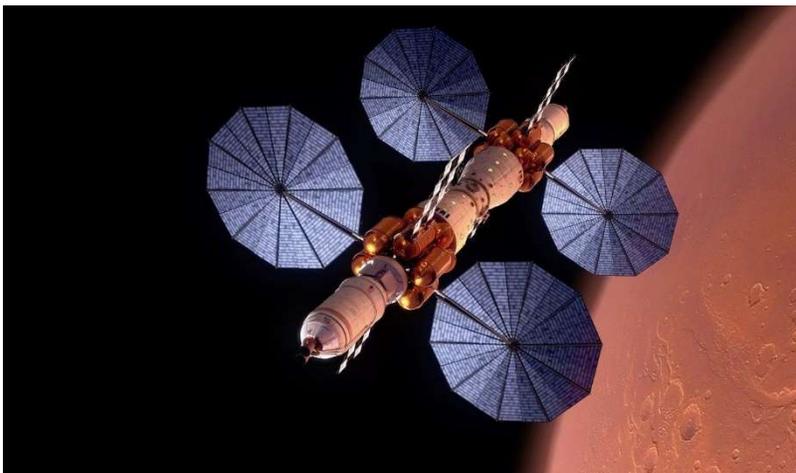


Figura 34 Campamento base de Marte (Crédito: Lockheed Martin)

Tienen como objetivo diseñar el camino para que el hombre pueda aterrizar en Marte alrededor del 2030. Están trabajando con asociados de la industria espacial para poder lograr varios objetivos, entre ellos, asegurar un viaje saludable, confortable y productivo y

colocar al hombre en posición de explorar y hacer descubrimientos en Marte.

¿Cómo lo piensan lograr?

Primero, ir más lejos que la estación espacial, pasando por la luna y luego poner una estación científica orbitando Marte, para que se pueda realizar investigación para analizar Marte y que sirva de base para aterrizar en el planeta.

Buscan, también proponer el diseño de las siguientes tecnologías para la utilización de la NASA y sus asociados en su camino a marte:

- ‘Orion’: Una cápsula de espacio profundo, con soporte de vida de larga duración (1,000 días). Además de comunicaciones también para el espacio profundo y un regreso seguro a la Tierra.
- ‘Space Launch System’: Diseñado para lanzar laboratorios, hábitats y provisiones a Marte. Carga pesada.

- *Habitats*: Construídos con base a su propia investigación ‘nextSTEP’ y junto con el ‘Deep Space Gateway architecture’ de la NASA, estos hábitats para espacio profundo dotarán a los astronautas un lugar donde vivir y trabajar en el camino y en Marte.
- *Solar Electric Propulsion*: Está basado en tecnologías ya existentes en satélites, logrará pre-colocar provisiones en órbita marciana.

‘Mars Lander’



Figura 35 Lander’ para Marte (Crédito: Lockheed Martin)

Eventualmente, cuando se piense bajar de órbita y aterrizar en la superficie, ‘Mars Lander’ del ‘Mars Base Camp’, un lander de una sola fase que utiliza retropropulsión supersónica para aterrizar en la superficie marciana, será el encargado de bajar de la órbita a la superficie por dos semanas con cuatro pasajeros y regresar sin necesidad de recargar combustible. El ‘lander’ utiliza los sistemas y la aviónica de ‘Orion’, tales como la cubierta de comando. Sus motores utilizan propelente de oxígeno e hidrógeno líquido, generado por medio del agua.

Orion³⁹

La cápsula o nave espacial ‘Orion’ de NASA, diseño de Lockheed Martin, será la base para la exploración espacial.

Capacidades:

- Sistemas de reserva. En caso de emergencia los astronautas pueden regresar a Tierra seguros.
- Protección de radiación
- Para viajes interplanetarios. Puede ir de la Luna a Marte, en cualquier misión de 1,000 días.
- Protección térmica. Aunque afuera esté a -184 ó 2,204 grados Celsius, en el interior se mantiene a 22.22 Celsius.
- Soporte de vida.
- Diseñado para mantener la temperatura, aunque la tripulación realice ejercicio.

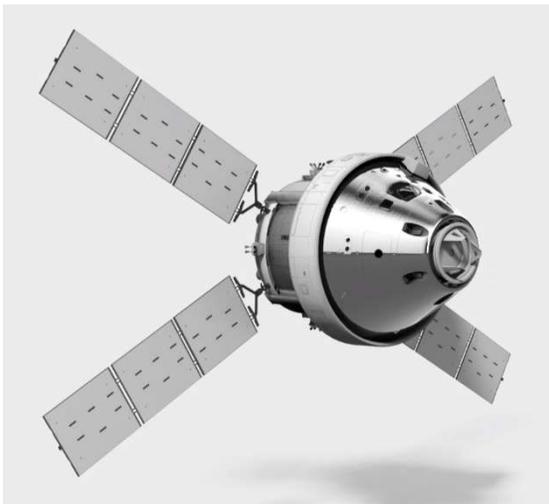


Figura 36 Orion (Crédito: Lockheed Martin)

Está diseñada para funcionar en espacio profundo, actualmente la única nave espacial diseñada para larga duración en el espacio que contenga tripulación y que pueda llegar más allá de la órbita baja de la Tierra, Luna y Marte. Es un vehículo multi-propósito, basado en los principios de la NASA de diseño multiuso. Actualmente, está en fase de pruebas, con dos vuelos cortos exitosos. También, está diseñado para misiones futuras de astronautas a Marte, planeadas para 2032.

Debido al tamaño reducido de espacio habitable del 'Orion', 2.25 m³, un módulo de 'Deep Space Habitat (DSH)⁴⁰⁴¹ (NASA) será necesario para misiones de larga duración. Este módulo de hábitat dotará de más espacio y provisiones para llevar a cabo todo tipo de actividades, desde mantenimiento, ejercicio y recreación. Los DHS están todavía en fase de planeación, y en algunas propuestas se provee de 70.0 m³ de espacio por tripulante extras, el cual puede variar dependiendo de la misión

Misiones contempladas:

Exploration Mission 1 (EM-1). Estaba contemplada inicialmente para el 2019⁴², pero probablemente se retrase hasta el 2020⁴³ y será lanzada a órbita lunar y no tendrá tripulación. Posteriormente, se tienen planeadas 10 misiones más, tripuladas, a partir del 2023, EM-2 al EM-11, de las cuáles el objetivo principal es el ‘Lunar Orbital Platform-Gateway’ de la NASA.

Otros proyectos espaciales de Lockheed Martin

→ *InSight Mars Lander*. Diseñado para la NASA, su objetivo es estudiar el interior del planeta Marte o “tomarle el pulso”. Aterrizó de forma exitosa el 26 de noviembre de 2018. El ‘Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat

Transport (InSight)’ será la primera misión en investigar y dar un vistazo por debajo de la superficie marciana. Se realizará un mapa del interior del planeta a través de las ondas generadas por terremotos e impactos de meteorito. También,

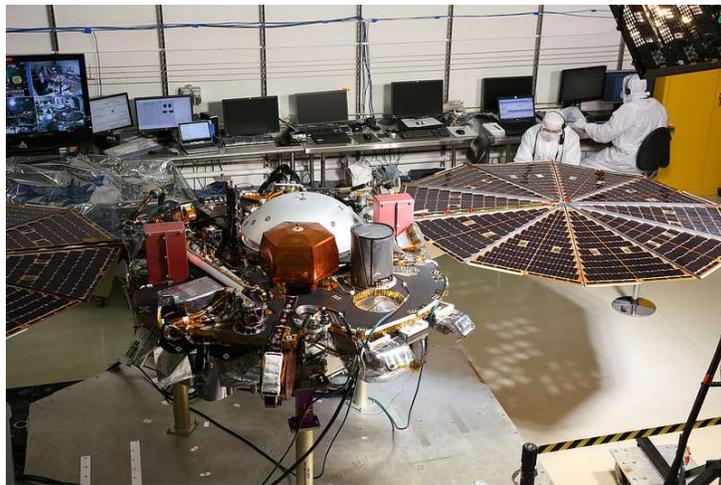


Figura 37 Pruebas del despliegue de los paneles solares (Crédito: Lockheed Martin)

se medirá la cantidad emitida de calor y se observarán las variaciones rotacionales. Con esto se realizarán avances para comprender mejor la evolución de los planetas rocosos del Sistema Solar. El tiempo de la misión primaria es de 1 año y 40 días marcianos. Este será la doceava misión del programa ‘Discovery’ de la NASA para la investigación del Sistema Solar. Previamente, Lockheed Martin había construido el primer Lander, ‘Viking’ en 1976, además de 4 landers y 6 orbiters para Marte.⁴⁴

→ *Juno*. Inserción a la órbita de Júpiter.⁴⁵

→ *Osiris-REx*. Descubrimiento de los orígenes del Sistema Solar. Esta nave espacial hará una misión de 7 años de ida y vuelta de la Tierra al asteroide Bennu, hará un mapeo de su superficie y traerá de regreso regolito de la superficie del mismo.⁴⁶

→ *Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN)*⁴⁷. Es la primera misión de una nave espacial dedicada a analizar la atmósfera superior de Marte. Es un trabajo para la NASA. Parte esencial de la misión es entender cuál es el rol de la pérdida del gas atmosférico en el cambio climático de Marte. En septiembre de 2014 MAVEN entró a la órbita aerocéntrica elíptica de Marte.⁴⁸

Además, la empresa cuenta con una propuesta para el ‘Lunar Platform Orbiting-Gateway’ de la NASA junto con una misión tripulada en un lander a la Luna desde esa plataforma.

‘Gateway’ permitirá a los astronautas realizar operaciones más allá de LEO durante meses. El diseño se rige bajo los principios de la NASA, es decir, es flexible, modular y evoluciona y es parte vital en el camino a Marte. Las operaciones serán construidas con base a la última tecnología y serán enfocadas principalmente a la investigación científica.

Hábitat

Antecedentes

Estación Espacial Internacional

La Estación Espacial Internacional (EEI) es un objeto artificial colocado en el espacio en 1998, en órbita baja (LEO) con esfuerzos de cooperación internacional. Su relevancia habla por sí misma porque gracias a ella, en los últimos 21 años se ha tenido una presencia permanente del ser humano en el espacio. El aporte a la investigación y a la exploración espacial de la EEI es invaluable. A pesar de esto, antes de la EEI ya se habían colocado varias estaciones espaciales, como la Mir de Rusia y el 'Skylab' de Estados Unidos. China también ha tenido estaciones como parte del programa 'Tiangong'.

La Estación Espacial se puede ver como ejemplo de un sistema de ciudad muy pequeño y primitivo. Se basa en los principios de crecimiento modular y tiene su ECLSS (Environmental Control and Life Supporting System), concepto que se explicará más adelante.

El costo total ha sido aproximadamente de \$150,000,000,000 USD. Tiene un peso de **417,289**



Figura 38 La Estación Espacial Rusa Mir
(Crédito: NASA)

kg. Mide aproximadamente **72.8 m × 108.5 m¹**, que es más o menos el tamaño de un campo de fútbol americano. En total tiene **931** metros cúbicos de volumen habitable. Requiere **7,000 kg** de propelente anualmente para mantenerse en órbita. Para enero del 2018, **230** personas habían desfilado por la EEI y, en general, hay un promedio de **3 a 6** personas al mismo tiempo con un record máximo de **13** personas.²

Existe la intención de liberar pronto, alrededor de 2024, la EEI al sector privado para que las agencias gubernamentales tengan la libertad de comenzar a explorar otras partes del espacio y darle prioridad a otros programas, por ejemplo, la plataforma 'Lunar Gateway' de la NASA en los umbrales del espacio profundo. Esto responde a la nueva concepción del espacio NewSpace y la comercialización del mismo con varias compañías que tienen planes para plataformas en órbita terrestre (e.g. la empresa Axiom)³.

Propuestas de hábitat⁴

NextSTEP⁵

Es un programa de la NASA para asociarse con seis empresas norteamericanas, en su segunda fase, para desarrollar un prototipo de escala real y diseñar conceptos para hábitats en espacio profundo. Solo estas seis empresas quedaron en la segunda parte de concurso que es NextStep2.

Bigelow Aerospace

Es una compañía estadounidense que se dedica a diseñar módulos de hábitat inflables que pueden ser utilizados en el espacio individualmente o interconectados, por ejemplo, se puede conectar a la Estación Espacial Internacional. La compañía obtuvo los derechos de TransHab, la patente de la NASA para hábitats espaciales inflables y comenzó a desarrollar los conceptos en varios prototipos. Bigelow tiene como objetivo la construcción de hábitats para el espacio ligeros e inflables para uso comercial.

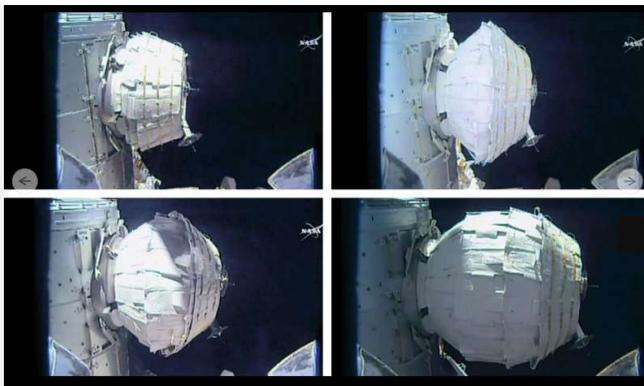


Figura 39 Proceso de expansión de BEAM (Crédito: NASA)

Inicialmente comenzaron con dos prototipos, Genesis I y Genesis II, colocados exitosamente en órbita como prueba para su tecnología.

Posteriormente, desarrollaron BEAM (Bigelow Expandable Activity Module), un módulo expandible de 16 metros cúbicos, en su forma más grande, que lanzaron a la EEI en 2016

de forma exitosa. Actualmente está en funcionamiento en la EEI debido a que a la NASA le gustó el prototipo.⁶

Utilizando sus dos prototipos principales, tienen varias propuestas para estaciones espaciales, una de ellas es 'Hercules' que combina dichos prototipos y cuyo costo estimado es de 5,325 millones de dólares de construcción, tiene 501 toneladas métricas de peso, 8,280 metros cúbicos de espacio y capacidad para 84 tripulantes.

B330

El diseño actual es un módulo de hábitat inflable de 330 metros cúbicos y 23 toneladas (como mínimo) que puede estar en el espacio de forma completamente independiente y que puede albergar de 4 a 6 astronautas, es decir, cada astronauta tendrá **55 metros cúbicos** de espacio. La vida útil es de 20 años. El peso total del hábitat es de **23,000 kg**.

El módulo está diseñado con protección de radiación similar al de los módulos de la EEI. Las paredes están hechas de 24 a 36 capas de protección balística, termal (provee de aislamiento desde +121° hasta - 128° grados centígrados) y de radiación. Esta capa tiene la fuerza como si fuera de concreto cuando está completamente expandida y tiene un grosor de 46 centímetros.⁷

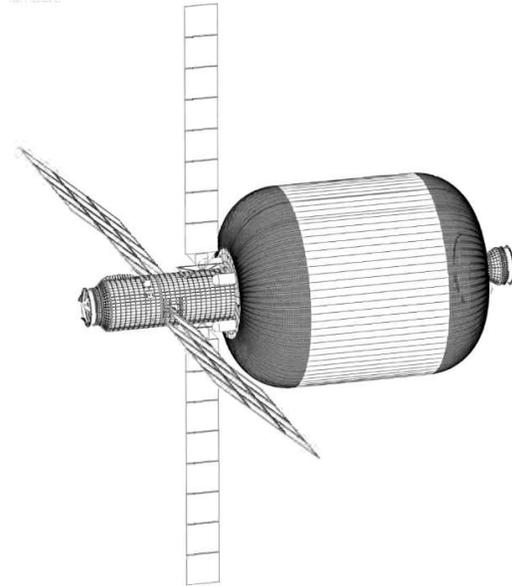


Figura 40 B330 (Crédito: Biegelow Aerospace)

También contará con un sistema de soporte vital para 6 astronautas, es decir, baños para gravedad cero, compartimientos semiprivados para cada miembro de la tripulación, equipo para ejercicio, una estación para preparación de alimentos y su almacenamiento, iluminación y una estación individual para higiene.⁸

Tiene un sistema de propulsión dual y redundante con fines de control orbital. En el final de un lado, tiene un túnel y un sistema de anclaje. El túnel es para traslado entre hábitats y el sistema de anclaje es para anclarse a otro hábitat B330 o a la EEI. Del otro lado, tiene un sistema más elaborado ya que contiene los paneles solares que generan energía, sistema de expulsión de calor, un espacio para ascenso y descenso de EVA (actividad extra vehicular por sus siglas en inglés) y la zona de anclaje para vehículos de visita.⁹

Existen dos versiones del B330:

- *B330-DS*. Para misiones en espacio profundo a los puntos de Lagrange de la Tierra o Luna, o para órbita Lunar

- *B330-MDS*. Para uso en superficie de algún cuerpo en el Sistema Solar.

En 2016, Bigelow negoció con la NASA el desarrollo de un prototipo basado en B330, como parte de la segunda fase de nextSTEP bajo el nombre ‘Expandable Bigelow Advanced Station Enhancement (XBASE)’. Bigelow espera probar este prototipo en la EES.¹⁰ Eventualmente, XBASE se convertirá en una estación espacial independiente de la EEI, pero con fines comerciales. Esto permitirá la transición entre la EEI a plataformas operadas comercialmente (la NASA en su manifiesto busca incentivar el comercio en LEO para dejar ese nivel orbital a la iniciativa privada).¹¹ Existen bosquejos de un ‘hospital’ espacial armado con nueve B330 que proporcionan un espacio de 2,831 metros cúbicos. Además, están propuestas otras configuraciones, por ejemplo, una estación en órbita de Marte para exploración con cuatro B330 interconectados.¹²

B330 está planeado para ser lanzado en el cohete ‘Vulcan’ en 2020. El plan consiste en estar en órbita un año en LEO, como prueba, siendo abastecido y con cambio de tripulación cada tres o cuatro meses y luego ser llevado a órbita lunar baja por ‘ACES’ y comenzar ahí sus actividades.^{13 14}

BA 2100 (Olympus)

Es un módulo de hábitat inflable, como un B330 pero en una mayor escala, que tiene un espacio de

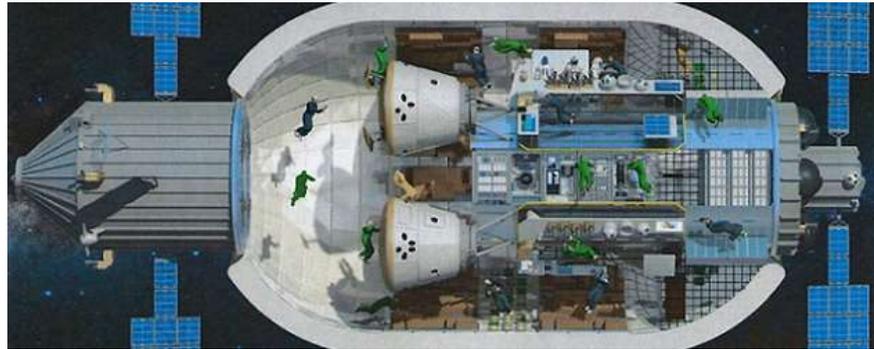


Figura 41 Olympus, BA 2100 (Crédito: Bigelow Aerospace)

2,100 metros cúbicos

(configurables para uso personalizado) y con capacidad para 24 o hasta 30 astronautas. Aún está en etapa conceptual. Estaba propuesto para el ‘SLS’ (Space Launch System’ de la NASA), pero también podría ser lanzado por un cohete como ‘Falcon Heavy. Además, se busca que tenga la capacidad de anclar una nave espacial dentro del módulo con el fin de poder transportarla.¹⁵

Boeing

Están desarrollando un sistema de hábitat modular que mejore la experiencia adquirida con la Estación Espacial Internacional. Esto incluye la producción de un módulo tamaño real que demuestre las capacidades para simular como los humanos pueden trabajar en el espacio profundo. El hábitat será motorizado por el sistema SEP (propulsión eléctrica solar).¹⁶

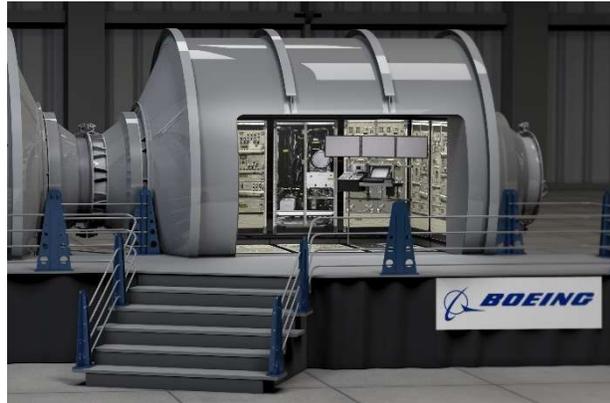


Figura 42 Hábitat Boeing (Crédito: NASA)

Orbital ATK

Mejoraran el concepto que tenían para espacio cislunar basado en la nave espacial ‘Cygnus’, que actualmente provee de servicios a la EEI, y lo habilitarán para operaciones largas en espacio profundo y que sirva también para las misiones de exploración a Marte. El prototipo será creado para que empate con la cápsula ‘Orion’ y otros sistemas.

Lockheed Martin

Van a reutilizar un modelo multi-usos para reacondicionarlo como un prototipo para el espacio profundo que tendrá incluido aviónica y sistema ECLSS. Tienen la esperanza que el módulo de alta fidelidad sea seguro porque ya lo han probado en el espacio. La parte de la aviónica proveerá de los datos de comunicación con la cápsula ‘Orion’.

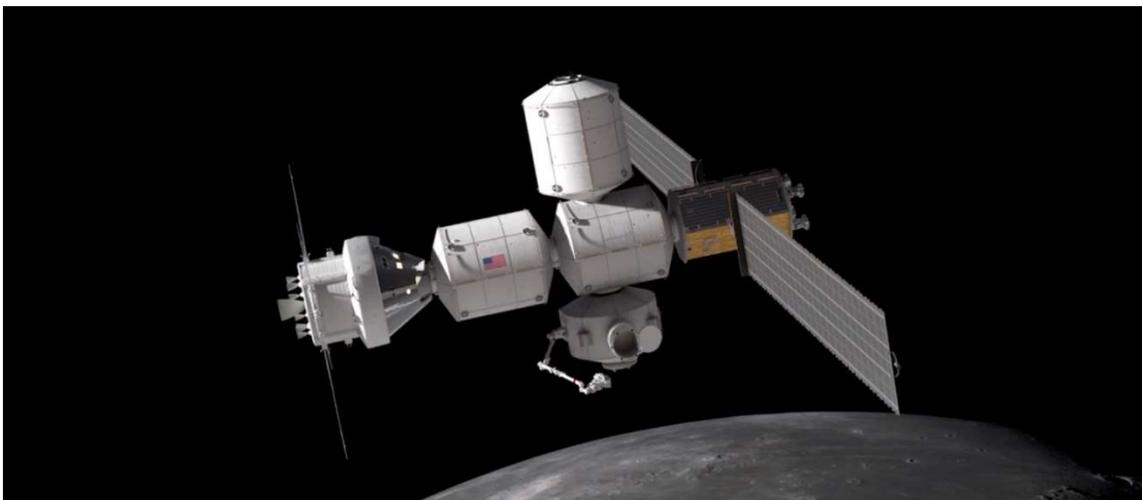


Figura 43 Propuesta para el ‘Gateway’ de la NASA con hábitats para astronautas que hagan misiones de 30 días (Crédito: Lockheed Martin)

Sierra Nevada Corporation

Su propuesta es utilizar como base el módulo de carga, en este momento en proceso de diseño, que es parte del 'Dream Chaser Cargo System'. Están buscando una arquitectura flexible para que en tres o cuatro lanzamientos ya tengan armada un sistema de hábitat modular pequeño y de larga duración. También, están trabajando en un sistema de propulsión eléctrica solar (SEP).

Elementos:

- Volumen presurizado para actividad humana de larga duración
- Capacidades de anclaje con la cápsula 'Orion' y otros sistemas
- Sistema de Soporte Vital y Control de Ambiente (ECLSS)
- Monitoreo de salud de la tripulación y sistemas de soporte
- Sistemas de propulsión

NanoRacks

Es parte de un equipo de varias compañías llamado 'Ixion Initiative Team' que incluye a NanoRacks, Space Systems Loral y United Alliance Launch. El objetivo es desarrollar un hábitat que sea la fase superior de un cohete, en específico del cohete 'Centaur', lo cual permitiría que fuera más barato y menos riesgoso.

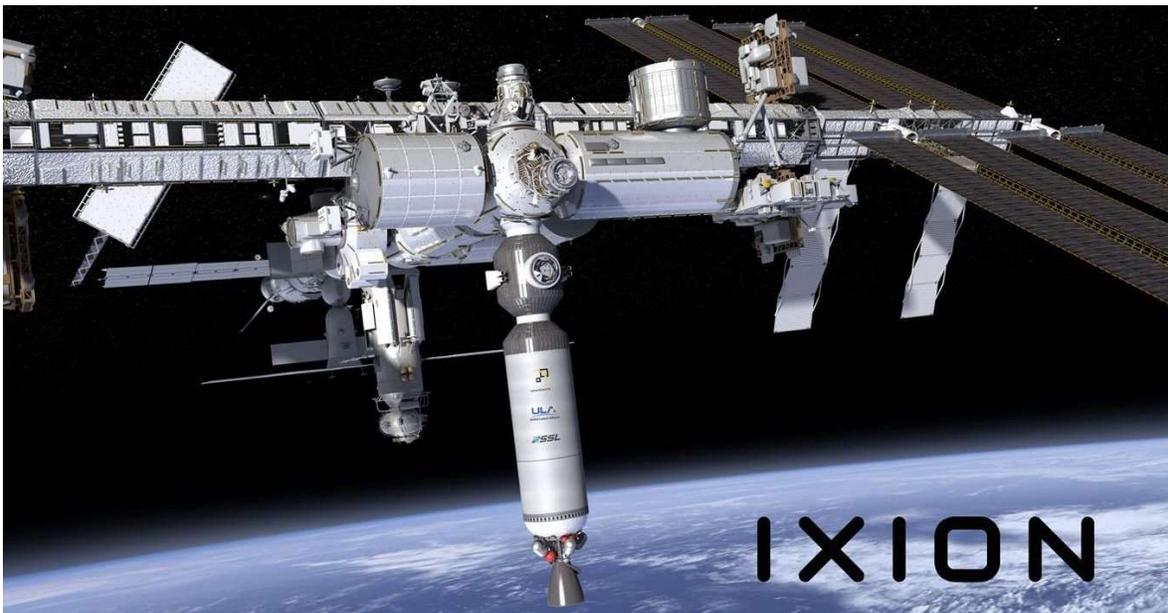


Figura 44 Hábitat 'Ixion Initiative Team' (Crédito: NanoRacks)

Deep Space Gateway (DSG)

Como contexto, la estación espacial está a 402 kilómetros de la tierra. La nueva propuesta, 'Deep Space Gateway' o 'Lunar Orbital Platform-Gateway' abreviada a veces 'Lunar Gateway', estará a 384,000 Km de distancia a la tierra, y será, como su nombre lo indica, un puerto al espacio profundo cuya función será para que las naves pueden hacer una escala para mantenimiento, reparaciones y

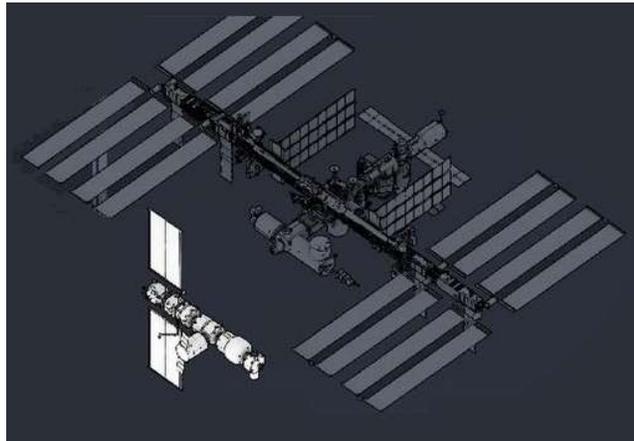


Figura 45 Comparación EEI y DSG, DSG en blanco. (Crédito: NASA)

abastecimiento.¹⁷ También, funcionará como espacio de experimentación científica y tecnológica para probar todo lo relacionado a la exploración y vida en espacio profundo. Otra de las ventajas fundamentales es que permitirá la exploración de la Luna y sus recursos naturales. Además, será un centro de logísticas (Hub) y plataforma para misiones lunares.¹⁸



Figura 46 Render de una propuesta del DSG (Crédito: NASA)

El sistema SLS y la nave espacial 'Orion' son esenciales en el desarrollo del proyecto, aunque no se descarta la posibilidad de que también se ocupen cohetes comerciales que estén a la altura. 'Orion' será la cápsula principal dónde los astronautas harán su viaje al DSG.

Las especificaciones son inicialmente 4 tripulantes, misiones entre 30 a 90 días, módulos presurizados de 125 metros cúbicos expandibles y 75 toneladas métricas con 'Orion' anclado.

La propulsión es química y de iones (en desarrollo). La propulsión de iones tiene un 95% de eficiencia y con este tipo de propulsión en el espacio sin fricciones se pueden alcanzar hasta los 321,868.8 km por hora.¹⁹ Eso sí, se tarda mucho en acelerar porque tiene poco empuje. El X3 es un propulsor iónico que alcanza un empuje de 5.5 N ó .5 kg.²⁰ Como parte del programa NextSTEP, existen cinco compañías desarrollando tecnologías para propulsión y energía.

DSG será armado con varios módulos. El primero es un módulo de propulsión que le permitirá viajar a diferentes órbitas dependiendo de las necesidades de las misiones y contará 40 kilowatts de energía. Este módulo tendrá equipo de comunicación para la Tierra y la Luna que mandará paquetes de información con láser, porque es más eficiente que las ondas de radio. Además, tendrá un módulo de capacidades operacionales que contará con un volumen para utilización extra, este será controlado por Estados Unidos. También Europa tendrá su módulo ESPIRIT, con capacidad para telecomunicaciones, esclusa de aire para paquetes científicos y capacidad para recargar combustibles.

Los módulos habitacionales se implementarán en el 2024. Un módulo será de un asociado internacional de la NASA y el otro de la empresa seleccionada con el modelo más adecuado. Los módulos ofrecen puntos para robóticos, carga tecnológica, actividad externa y sensores de anclaje. Además de proveer acomodo para la tripulación, almacenaje y para actividades científicas.²¹

Los módulos de ciencias y operaciones se encargarán de abastecer a la tripulación y el módulo de logística podrá aumentar la capacidad habitacional, proveer espacio para actividades comerciales y la demostración de tecnologías de exploración. El brazo robótico es para atracar e inspeccionar vehículos y colocar carga científica, estará hecho en Canadá.

Por último, la esclusa de aire añadida al último módulo permitirá actividad EVA y misiones tripuladas a la Luna. También, potencialmente, DSG tiene la posibilidad de anclar más módulos

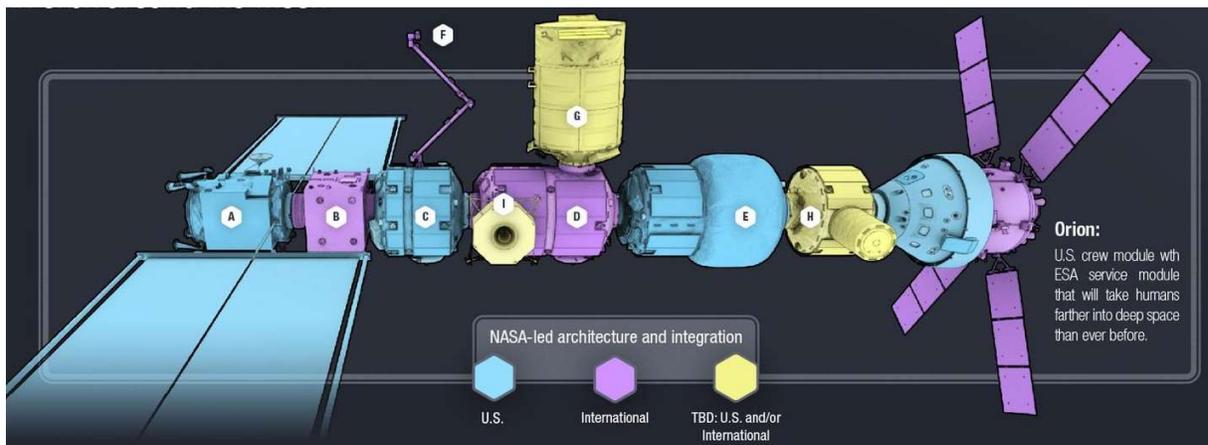


Figura 47 Módulos interconectados del DSG (Crédito: NASA)

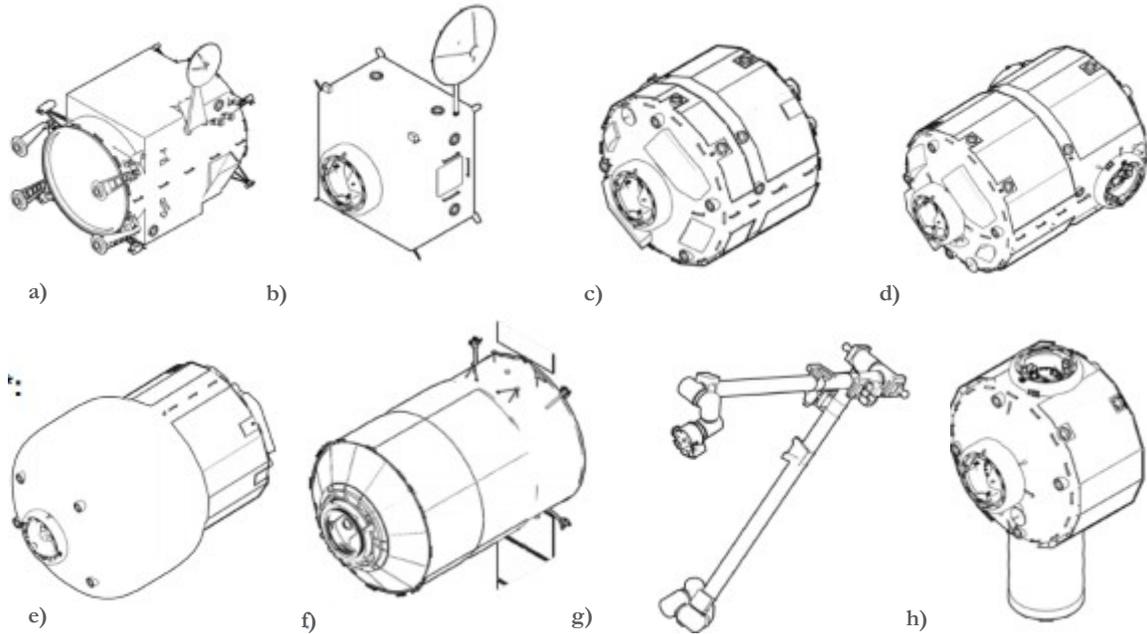


Figura 48 a) Módulo de propulsión b) ESPIRIT (Internacional) c) módulo de EUA para logística operacional inicial d) módulo habitacional internacional e) módulo habitacional americano (en competencia) f) módulo de logística g) brazo de armado h) esclusa de aire (C)

Componentes

1. Elemento de energía y propulsión (power and propulsion element/bus)
2. Módulos de capacidades operacionales iniciales
 - a. Espirit
 - b. Módulo Estadounidens
3. Módulos de hábtat lunar (cislunar habitation)(4 tripulantes)
 - a. Internacional
 - b. Estadounidense
4. Módulos de ciencias y operaciones
 - a. Módulo de logística
 - b. Brazo robótico
5. Módulo para la esclusa de aire

El siguiente cronograma está en constante cambio, pero en este momento son los planes. Los vehículos encargados de llevar cada módulo será una combinación entre cohetes comerciales y el SLS. La construcción comenzará en el 2022 con el primer módulo, el elemento de energía y propulsión. Luego, los módulos de capacidades operacionales iniciales serán lanzados en 2023. El módulo habitacional internacional será lanzado en 2024, seguido en 2025 por el módulo habitacional estadounidense. En 2024, la primera entrega del módulo de logística será lanzado junto con el brazo robótico.

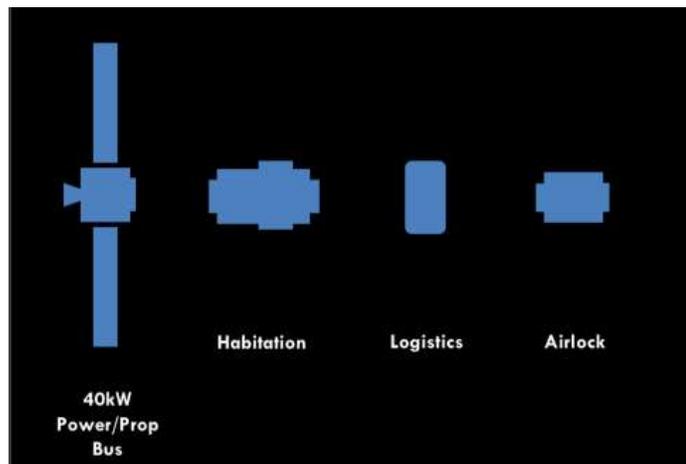


Figura 49 Armado del DSG por orden, comienza en la izquierda en el 2022, con el módulo de 40 kW de poder, luego con la habitación, posteriormente logística y termina con la esclusa de aire. (Crédito: NASA)

Al final de todo, llegará el módulo de la esclusa de aire.²²

A través de NextSTEP la NASA está otorgando contratos a diferentes empresas para la construcción de hábitat para espacio profundo. Estos servirán para llegar a Marte, pero también formarán parte del ‘Deep Space Gateway’ donde serán validados los sistemas. En 2019 se busca que la NASA pruebe estos hábitats.²³

La ESA también está interesada en contribuir a la ‘Deep Space Gateway’ y tener sus propias misiones y un módulo abastecido por el sistema de transportación espacial europeo.²⁴



Figura 50 Los diferentes conceptos propuestos para DSG como parte del concurso nextSTEP (Crédito: NASA)

NASA's 3D-Printed Habitat Challenge²⁵

Es un concurso planteado por la NASA para diseñar hábitat para ambientes extremos, principalmente en Marte, a través de la impresión tridimensional utilizando materiales locales y reciclables tanto en la Tierra como el espacio. El hábitat diseñado servirá para llevar vivienda a partes de la Tierra dónde los materiales convencionales son limitados y también para crear vivienda en la Luna, Marte o más allá. Es parte del programa 'Journey to Mars'.

Los requerimientos para el hábitat son que debe abarcar 93 metros cuadrados y debe tener la capacidad de albergar a **cuatro** personas por un año. Deben tener planeado sistemas de soporte vital, de traje espacial, de escotillas, de rovers, y drenaje. Se tienen \$3.1 millones de dólares como incentivos para el concurso.

El concurso cuenta con tres fases. En la fase 1 se buscaron diseños virtuales. La segunda fase se enfoca en los materiales, para la fabricación de la estructura, que sean endémicos y de origen. En la tercera fase, que consta de cinco niveles²⁶, se busca la implementación y construcción del hábitat. Los resultados son sorprendentes y bastante buenos, con muchos detalles involucrados. Varios diseños son modulares y con tecnología robótica (Team Zopherus).

Son diez equipos que han logrado posicionarse y continuar en la tercera fase²⁷, de los cuales solo cinco lograron ganar el primer nivel, que implica un modelo virtual de la implementación física²⁸. Se presentan los equipos en el orden de posición en el concurso:

Team Zopherus

Es el equipo que ganó el primer lugar en el primer nivel de la fase 3.

Su modelo se construye utilizando tecnología de impresión 3D vanguardista y robótica autónoma avanzada. Es hábitat modular y se crea sin intervención humana. Se utiliza concreto marciano como material base para la impresión 3D.

Con la tierra de Marte se imprime la



Figura 51 Módulos impresos en 3D (Crédito: Team Zopherus)

estructura que da soporte y filtra la radiación. Afuera del concreto marciano se imprime una delgada capa de polietileno de alta densidad que provee de aislamiento de la atmosfera externa. Los componentes más específicos como las esclusas de aire, baños y control atmosférico si son construidos previamente en la Tierra. Existen diversos tipos de módulos planeados para que se desarrollen las actividades de los habitantes de forma cómoda y replicando de la mejor manera posible el estilo de vida en la Tierra.²⁹.

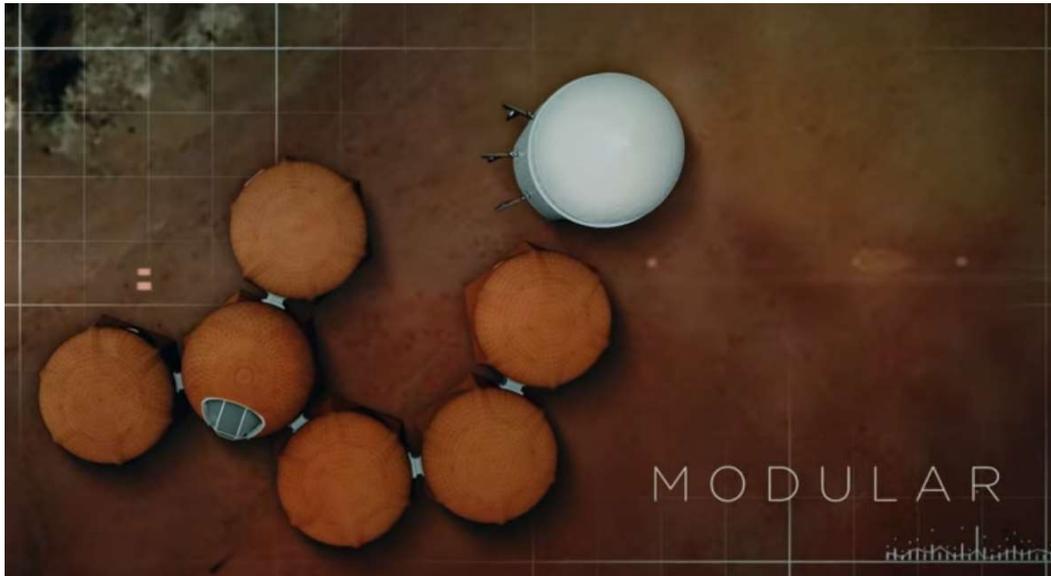


Figura 52 Vista aérea de módulos interconectados de la propuesta de 'Team Zopherus' (Crédito: Team Zopherus)

Proceso:

Semana 1-2

1. Aterrizaje
2. Escaneo para encontrar el lugar óptimo para imprimir
3. Robots rover se despliegan para recolectar materiales
4. El lande se coloca sobre el suelo y provee un ambiente protegido para la impresión

Semana 3-4

5. Se mezclan los materiales recolectados
6. Comienza la impresión

Semana 3-4

7. Se colocan las esclusas de aire

Semana 4-10

8. Se realiza la impresión
9. Se repite el proceso las veces que sean necesarias

AI. SpaceFactory



Figura 53 Cilindros propuestos por el equipo 'AI. SpaceFactory' (Crédito: NASA)

Es una propuesta cilíndrica con un techo plano para que, según los cálculos del equipo, se logre el máximo aprovechamiento del espacio. El cilindro se divide en cuatro pisos, lo que separa las actividades dependiendo su vocación. No se menciona la construcción modular.

Kahn-Yates y SEArch+/Apis Cor

Estos equipos ofrecen diseños de fachada más elaborados y con mayor diseño arquitectónico, pero no proponen en sentido de un crecimiento modular.



Figura 54 Diseño equipo 'Kahn-Yates' derecha y equipo 'SEArch+/Apis Cor' izquierda (Crédito: NASA)

Northwestern University of Evanston

La forma del hábitat es semiesférica y es el último lugar de la fase tres, nivel 1. Su aporte es que son los que proponen un crecimiento de una comunidad trabajando en la conectividad desde el diseño interior al hacer un conector que atravesase todo el hábitat para que cada espacio esté pueda ser interconectado.

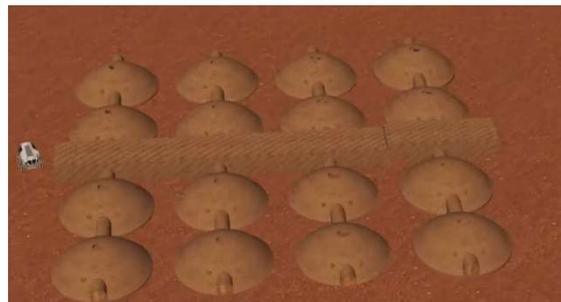


Figura 55 Conexión entre los diferentes hábitats propuesto por el equipo de universidad de Evanston (Crédito: Northwestern University of Evanston)

Diseño del hábitat

Clasificación

A continuación, se presenta una clasificación de las formas de hábitat, el nivel de tecnología crece mientras más alta la clase, por lo que el periodo durante el que se puede aplicar dicha tecnología también es mayor. De esta manera, la clase III es el paso más refinado y el último paso en el desarrollo de tecnología de hábitat, es por eso que los diseños aún están en conceptos, aunque la NASA últimamente ha realizado concursos para acelerar su desarrollo (e.g. 3D Printing Challenge).

Clases de hábitat

Clase I.

- Pre-integrado
- Pre-armado
- Verificado funcionalmente
- Ej. Tecnología primitiva como la del Módulo Lunar Apolo



Figura 56 Módulo lunar Apolo, ejemplo clase I (Crédito: NASA)

Clase II.

- Pre-fabricado
- Requiere ensamblado In situ
- Permite futura expansión
- Actualmente es el que se utiliza



Figura 57 Estación Espacial Internacional (Crédito: NASA)

Clase III.

- Producido en el sitio con recursos In situ (In-situ resource utilization ISRU)



Figura 58 Hábitat propuesto por el equipo Zopherus impreso con tecnología 3D y con materiales endémicos de Marte (Crédito: NASA)

Tipos de hábitats

Hábitats inflables

Al momento del lanzamiento desde la Tierra ocupan menos espacio y se expanden al llegar a su destino, maximizando el espacio.

Un ejemplo de esto es el concepto de la NASA TransHab, recuperado y mejorado por la empresa Bieglow Aerospace. Técnicamente, desde el punto de vista de la empresa Bigelow, el hábitat inflable puede ser también modular.

Hábitats desplegados



Figura 59 Rover presurizado (Crédito: MOBITAT2)

Se puede utilizar también como tecnología modular, es decir, existe un traslape entre el concepto módulo y desplegable. El método consiste en optimizar la transportación al desplegar

formas básicas que ensambladas en un hábitat modular, pero los hábitat en sí, son piezas para dar forma a diferentes rovers y otras más, como Es de los conceptos

Uno de los mayores TRIGON³⁰

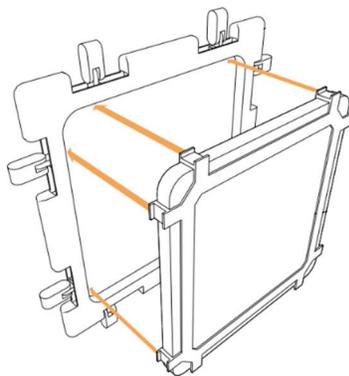


Figura 60 Panel de uno de los módulos básicos TRIGON (Crédito: MOBITAT2)

posteriormente pueden ser Es como un concepto módulos, en vez de ser el básicas que se ensamblan cosas, por ejemplo, hábitats, una especie de bloques lego. menos desarrollados.

exponentes es el sistema (Transformable Robotic

Infrastructure-Generating Object Network), que es un kit de partes que utiliza elementos básicos automatizados que se despliegan en hábitats o rovers.



Figura 61 Hábitat-rover de seis ruedas (Crédito: MOBITAT2)

Originalmente, existía el concepto de ‘Habot’ (habitat-robot) donde se fusionaban los conceptos de robot y hábitat. Habot tenía un sistema autónomo de movilidad robótica que se desplaza sobre la superficie. Los Habot tenían la capacidad encontrar autónomamente otros Habots y anclarse para formar una base o sistema más grande de Clase II. Con esto, los astronautas no tendrían la necesidad de cambiar de hábitat a un vehículo de

exploración. El problema de este diseño es que se desplazaban con un sistema similar a unas piernas robóticas, lo que volvía lento el desplazamiento. Por esto se diseñó el MOBITAT, que agregó el desplazamiento con ruedas y que posteriormente derivó en una versión más refinada, MOBITAT2.

MOBITAT2³¹, un hábitat basado en TRIGON que puede ser transformado en rovers y otras formas. La idea es que esta forma de hábitat pueda ser movable, similar a algunas³² de las propuestas de Archigarm^h, y se pueda relocalizar o reconfigurar en otra forma. Éste combina un interior inflable para la presión de cabina y la tecnología TRIGON en el exterior para protección contra radiación.



Figura 62 Escenario donde se utilizan los conceptos de hábitat Mobita2 (Crédito: Chris Howe Design)

^h Una revista de 1961 con ideas futuristas

Hábitats de impresión 3D

Se utiliza tecnología de impresión 3D para crear hábitats tanto en el espacio vacío, como sobre una superficie de algún objeto espacial, por ejemplo, la Luna o Marte. En el espacio y en órbita se busca que se puedan imprimir estructuras con el tamaño que se requiera. En un planeta, se plantea que se utilice el material encontrado en el lugar en combinación con algún aditivo, puede ser un polímero.

El mayor exponente es Made in space³³. Actualmente la empresa imprimió por primera vez en 3D una herramienta que necesitaba un astronauta en el espacio.

Esta empresa, que cuenta con apoyo de la NASA, también está desarrollando sistemas capaces de imprimir grandes estructuras en órbita como satélites, paneles solares gigantes, e incluso eventualmente, colonias espaciales en la superficie de la luna o grandes naves espaciales donde la gente pueda vivir. Si la industria espacial se desarrolla de la manera planeada, el fin último es la construcción de ciudades con impresión 3D. Están desarrollando ladrillos de “regol”, una combinación entre polímero y regolito, para cuando se llegue a la Luna o Marte.

Para la construcción de estructuras en el espacio están desarrollando ‘Archinaut’, una fábrica operada de forma robótica para impresión 3D que se colocaría en órbita. Una gran ventaja es que no tendrán que llevar la estructura completa al espacio desde la Tierra, lo que expande las posibilidades de lo que se puede construir en el espacio de forma exponencial.

Para la empresa, en 10 años el espacio se convertirá en una zona industrial con fábricas no contaminantes en órbita. Para ello la relación entre las fábricas espaciales y las compañías con cohetes de lanzamiento será fundamental. Las manufactureras comenzarán a poblar la órbita terrestre y luego seguirán en anillos concéntricos hasta llegar a la Luna. “Hay un límite en los recursos en la Tierra, expandirse al espacio liberaría presión de los recursos que se consumen y permitiría que todos eleven su nivel de vida”³⁴

La ventaja de imprimir hábitat con tecnología 3D es que, si es posible lograrlo en el espacio por la eficiencia requerida, entonces sin ningún problema podría ser también aplicado a cualquier parte de la tierra. Con esto se podría construir hábitat en los lugares más extremos e inalcanzables. Por lo que desarrollar esta tecnología con un enfoque sustentable podría beneficiar también nuestro entorno en la Tierra.

Hábitats modulares

Integran todas las tecnologías anteriores. Permiten flexibilidad en el diseño. Consiste en bloques prefabricados llevados al espacio o planetas y anclados en el lugar para expandir el centro de operaciones. Es la forma más práctica de iniciar nuevos asentamientos. La NASA tiene como parte fundamental el diseño modular de sus hábitats espaciales, como la Estación Espacial Internacional. La ventaja de este tipo de hábitat es que tiene la posibilidad de controlar el crecimiento de un sistema de hábitats dependiendo de las necesidades del momento. Otra ventaja, es que en caso de emergencia se pueda aislar la parte problemática.

En realidad, todos los hábitats propuestos pueden integrarse y a través de conexiones ampliar la red interconectada.

Diseño

Para diseñar hábitats para el espacio exterior es necesario una serie de requisitos que se deben de considerar para soportar la vida humana. Entre ellos está un sistema de soporte vital y control de ambiente que permita que se repliquen las condiciones de vida de la Tierra en el hábitat. También, es importante replicar estas condiciones afuera del hábitat, por lo que existe el concepto de EVA (ver sección de movilidad), que abarca las actividades extra vehiculares y que básicamente son los sistemas de soporte vital y control de ambiente en miniatura.

En el espacio profundo los sistemas de soporte vital tendrán que reciclar más del 98% del agua y el 75% del oxígeno que viene del dióxido de carbono que exhala la tripulación.

También, se deben de satisfacer las necesidades básicas del ser humano:

- Agua
- Energía
- Comida
- Aire
- Residuos
- Higiene

Actualmente, existen múltiples académicos y empresas³⁵ investigando como cubrir dichas necesidades en diferentes condiciones en el espacio.

Además de eso, el hábitat debe de proveer un aislamiento del ambiente que lo rodea debido a los efectos nocivos que puedan afectar al ser humano, por ejemplo, la radiación.

Por otro lado, se debe de considerar el factor humano, sus actividades y su relación psicológica con el ambiente que lo rodea. Por último, es de mucha importancia el comportamiento social de la tripulación, lo que ha sido estudiado ampliamente en casos análogos de aislamiento y confinamiento en la Tierra y en el espacio. Algunos ejemplos de análogos son estaciones aisladas en la Antártida, domos artificiales y la EEI.

Sistemas de soporte vital

El fin último de un sistema de soporte vital es crear un sistema cerrado, que es cuando se puede soportar la vida sin intervención externa al sistema, a excepción de una fuente de energía. La Tierra es un ejemplo de un sistema cerrado. El otro tipo de sistema es uno controlado, que son sistemas que logran cierta independencia, pero siguen necesitando de interacciones externas, como mantenimiento o provisiones.

Los sistemas de soporte vital son:

- **CELSS (Controlled ecological life-support system):** Es un Sistema de soporte vital ecológica controlada, generalmente son sistemas que buscan ser cerrados, pero con un ambiente bioregenerativo ecológico que puede ayudarse de organismos naturales. Este tipo de sistema busca aportar las funciones básicas de vida “como el control de la presión, la temperatura y la humedad; suministro de agua utilizable y aire respirable; gestión de los residuos y el suministro de alimentos”. Además, este tipo de sistema busca influenciar en la psicología de los tripulantes de manera positiva con el carácter lúdico de cuidado de las plantas.³⁶
- **BLSS (Bioregenerative life support system):** Es un sistema de soporte vital bioregenerativo utiliza las relaciones simbióticas complejas entre plantas, animales y microorganismos para crear, en sus fases tecnológicas más avanzadas, condiciones similares a la Tierra en misiones en el espacio exterior.
- **ECLSS (Environmental Control and Life Supporting System):** Es el sistema que se utiliza actualmente en la Estación Espacial Internacional Es un grupo de artefactos que permiten al hombre sobrevivir en el espacio. Para la NASA, se refiere a la descripción de los sistemas requeridos para los viajes tripulados espaciales. El sistema

de soporte vital debe de proveer de agua, aire y comida. Además de mantener una temperatura y presión adecuada para el ser humano, manejar los desperdicios y proveer de protección contra la radiación y meteoritos.³⁷ Por ejemplo, la Estación Espacial Internacional realiza las siguientes funciones:

- Provee de oxígeno para consumo metabólico.
- Provee de agua potable para consumo, preparación de comida e higiene.
- Remueve dióxido de carbono del ambiente.
- Filtra partículas y microorganismos del aire de la cabina.
- Remueve trazas de gases orgánicos del ambiente.
- Monitorea y controla las presiones parciales del aire de la cabina de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono.
- Mantiene la presión total de la cabina.
- Mantiene los niveles de temperatura y humedad.
- Distribuye el aire de la cabina entre los módulos conectados.

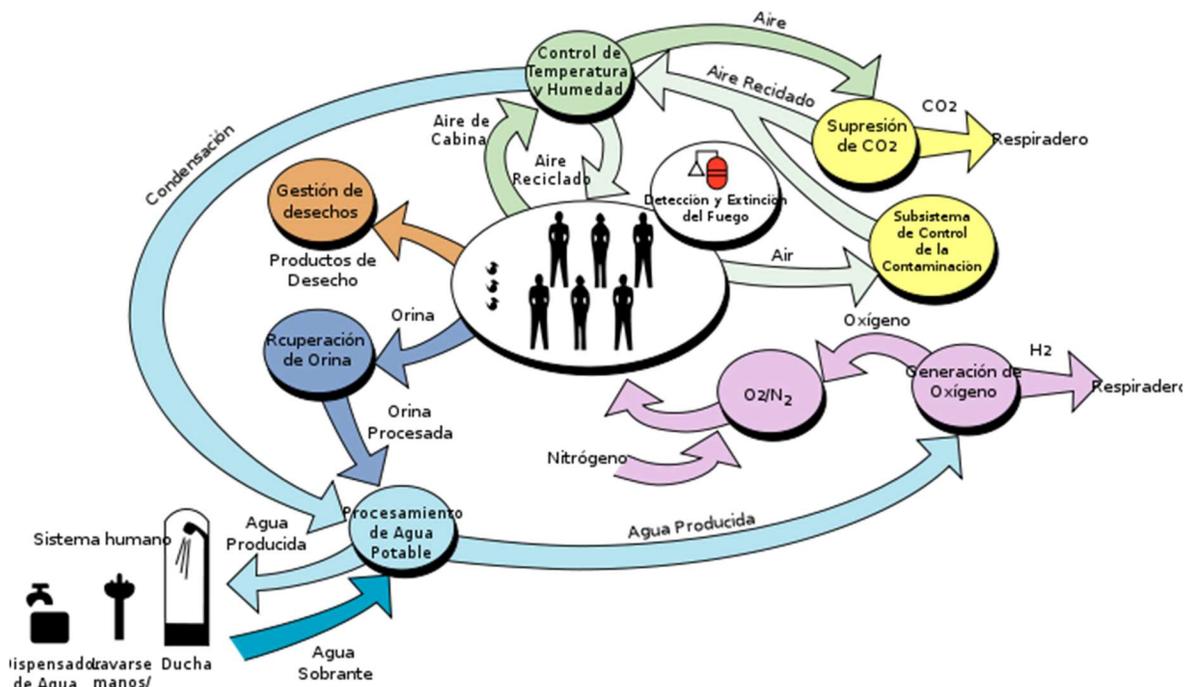


Figura 63 Interacción entre los componentes del Sistema de Soporte Vital y Control del Ambiente (Crédito: NASA)

Psicosociología

Actividades

Las funciones de habitabilidad son las actividades que desempeña una persona a diario³⁸.

Tomar en cuenta las actividades que realiza el ser humano es parte importante del diseño del hábitat y de una ciudad.

- Comida y nutrición
- Higiene personal
- Administración de residuos corporales
- Ejercicio (contramedidas a las afectaciones del espacio a los músculos)
- Médica
- Almacenamiento
- Administración de inventario
- Dormir
- Ropa
- Mantenimiento del hogar-hábitat
- Recreación

Psicología y sociología

El aspecto psicológico es una parte fundamental para diseñar los ambientes y la forma que tendrá el hábitat en el espacio exterior y también para planear las misiones. De los aciertos en esta fase del diseño dependerá en parte el éxito de la o las misiones en diversas zonas del espacio exterior. Aspectos clave como el tamaño del hábitat, la duración de la estancia, la selección de colores, la configuración del espacio interno, deben de ser considerados para lograr que sea más sencilla la estancia, que aumente el bienestar de los usuarios y reducir el estrés.

Actualmente se desconoce el impacto psicológico que puede tener sobre una persona estar tan lejos de la Tierra que ni si quiera se alcance a divisarla, como en una misión a Marte o al espacio profundo, cuya duración sería mucho mayor a cualquier misión realizada (mínimo 380 días). Se han realizado múltiples misiones análogas que repliquen las condiciones de una misión de larga duración para conocer el impacto psicológico del confinamiento y asilamiento, obviamente sin poder replicar todas las dimensiones de una misión de esa escala. Dicha

información se ha ido recopilando a lo largo de muchos años con estudios de análogos en hábitats bajo el mar, en los polos, en el desierto y hasta en el mismo espacio en LEO.

Los problemas psicológicos en el espacio se pueden dividir en tres categorías³⁹:

- Problemas individuales: Confinamiento, peligro, falta de privacidad, salidas infrecuentes al ambiente exterior.
- Problemas interpersonales, debido a las interacciones entre miembros de la tripulación: Formación de subgrupos, conflictos interpersonales, problemas de liderazgo.
- Problemas organizacionales: La influencia psicológica resultante de la organización, la interacción con el personal en la base y la planeación de las operaciones en las misiones.

Los factores que pueden influir en un problema psicológico en el espacio son:

- Micro gravedad: El hecho de perder masa muscular, densidad de hueso o la transformación de la cara puede tener un impacto psicológico fuerte.
- Ausencia del ciclo día-noche de 24: Las misiones en cada parte del espacio exterior tienen ciclos diferentes, por ejemplo, en LEO el ciclo día-noche es de 90 minutos.
- Peligro: En el espacio la sensación de peligro es constante. En misiones orbitales y a la Luna todavía existe la posibilidad de rescate, lo que mitiga un poco esa sensación, pero en las misiones más lejanas la posibilidad disminuye.
- Tamaño del grupo: Grupos más grandes proveen de mayor estímulo social, lo cual ayuda a los miembros a desempeñar varios roles. Hay varios estudios que indican que los problemas emocionales e interpersonales son menos severos en grupos grandes en aislamiento, pero se convierten en un problema en grupos más pequeños.⁴⁰
- Sexualidad: El aspecto sexual es un tema debido a los problemas de celos a nivel psicológico o falta de privacidad. También está el tema ético de una posible concepción en el espacio. Por otro lado, están los aspectos positivos de una relación sexual con consentimiento que puede ayudar a liberar el estrés y prevenir que se desarrolle tensión sexual y frustración. También se debe de contemplar los aspectos físicos de una relación sexual en gravedad cero. Hasta la fecha las agencias espaciales han negado que se hayan llevado a cabo relaciones sexuales en el espacio.

- Composición de la tripulación: Los grupos ahora son multiculturales, de diversos géneros, cultura, experiencias previas y profesiones. Lo que significa un reto extra. La tripulación puede ver esto como algo negativo, agregando complejidad innecesaria, o como algo positivo. Actualmente las tripulaciones mixtas son la norma y las mujeres han demostrado reaccionar igual o hasta mejor a condiciones de aislamiento.

Los efectos que pueden resultar de problemas psicológicos no resueltos son:

- Depresión
- Falta de motivación y rendimiento
- Problemas psiquiátricos
- Problemas post vuelo
- Irritabilidad
- Moral baja
- Problemas psicológicos de bienestar individual
- Insomnio
- Hostilidad
- Aislamiento
- Objetivos incoherentes
- Discriminación de un miembro

Contramedidas ⁴¹

- Adaptar las condiciones de vida y el trabajo en el espacio a la psicología humana. Es decir, la habitabilidad, ergonomía y los factores de organización con un esquema trabajo-descanso adecuado
- Seleccionar astronautas con las personalidades más adecuadas para las misiones espaciales
- Crear una tripulación de individuos compatibles entre ellos
- Dar entrenamiento psicológico e interpersonal pre-misión
- Psicología ambiental
- Proveer de soporte psicológico durante toda la misión

Alimentación

La comida es un tema muy importante y que tiene cabida a mucha innovación y soluciones creativas para resolverlo. Además, junto con el agua, es fundamental para el desarrollo de cualquier asentamiento humano. De los recursos fundamentales (agua, aire, energía, y comida) que el ser humano requiere para sobrevivir en un planeta como Marte, cuatro son abundantes, solo la comida es el que escasea.

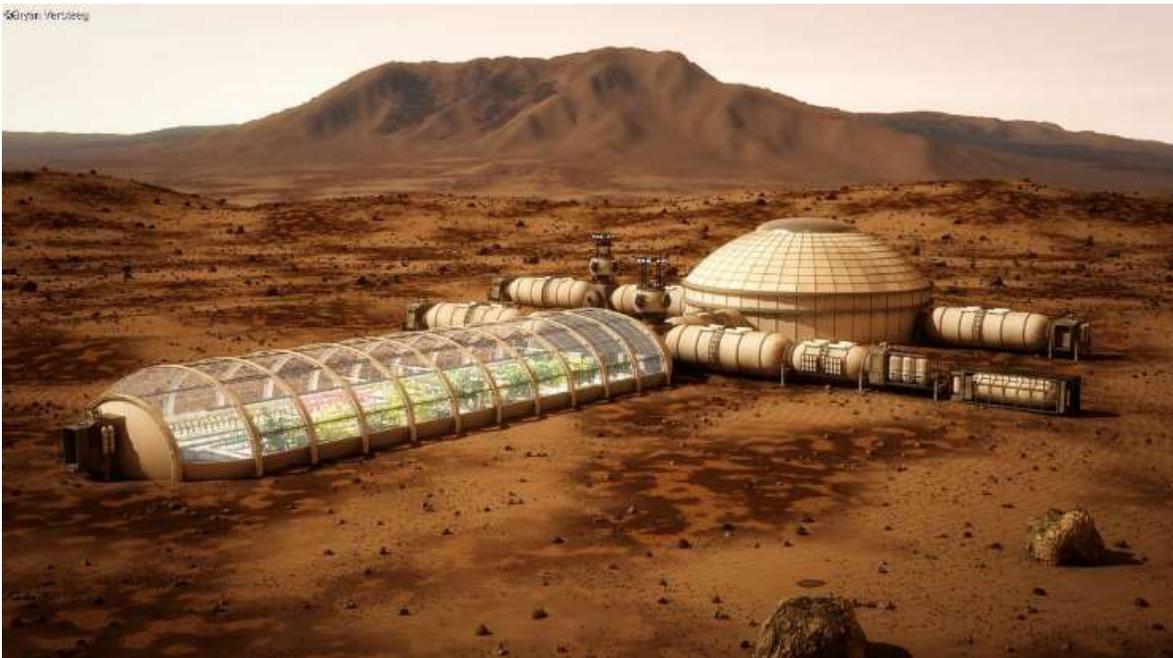


Figura 64 Concepto de un artista sobre cómo se vería un invernadero en Marte (Crédito: Brian Versteeg, SPACEHABS)

¿Cómo alimentar de forma eficiente a grandes cantidades de población en lugares donde la comida no se da de forma natural como en la Tierra? Existen muchos experimentos alrededor de este tema, algunos llevados a cabo en la Estación Espacial Internacional.

Un nuevo estudio¹, modelado para una hipotética colonia de un millón de personas en Marte, sugiere que una solución son formas alternativas de producir alimentos. El estudio propone como solución carne desarrollada en laboratorio, cosechas crecidas en túneles y granjas de insecto, en específico grillos, porque los insectos son de los que aportan más calorías por unidad de tierra.

Otra opción es la agricultura celular, donde se puede hacer crecer en un laboratorio desde algas hasta diversos tipos de carne. Los avances tecnológicos han logrado que la comida creada de

esta manera baje de costo, por ejemplo, hacer una hamburguesa de esta forma tenía un costo de \$325,000 dólares, ahora cuesta \$11 dólares.



Figura 65 Lechuga mizuna creciendo en la EEI (Crédito: NASA)

También es una opción la agricultura de plantas, donde el enfoque tradicional de grandes invernaderos no es tan eficiente debido a que los rayos solares no llegan igual a todo el sistema solar y el cristal absorbe gran cantidad de ellos. Es por eso que la propuesta consiste en túneles iluminados con luz LED potente y, cuando es posible, cables de fibra óptica que lleven

la luz al túnel. Además, es más efectivo usar tierra que un cultivo hidropónico.

En conclusión, las limitantes impuestas por ambientes extremos, obligarían a producir los alimentos de una forma más sustentable y creativa que lo que se hace en la Tierra.



Figura 66 La NASA está creciendo plantas en la EEI (Crédito: NASA)

Movilidad

El concepto de movilidad dentro de la ciudad es diferente al de transportación interplanetaria o transespacialⁱ. Mientras que la transportación transespacial es para lograr transportar bienes y pasajeros a través del espacio y conectar ciudades, el concepto de movilidad dentro de los asentamientos humanos tienen objetivo el desplazamiento de las personas para que realicen sus actividades.

Caminabilidad

El concepto de caminabilidad^j en las ciudades exoterrestres evoluciona respecto a la Tierra debido a las diferencias de gravedad en cada planeta y la carencia de gravedad en el espacio vacío. Gracias a esto, va a cambiar la forma en la que el ser humano se desplaza. Por ejemplo, en el espacio vacío dónde no existe gravedad, se elimina la fricción en la superficie, por lo que las personas se mueven sin necesidad de caminar, simplemente levitan de un lado al otro¹. Esto evidentemente cambia las reglas del juego en cuanto a desplazarse en las ciudades afuera de la tierra y el diseño de ellas debe contemplar estos detalles.

Existen dos ambientes principales en los que se desplazarían los seres humanos, el primero es dentro de hábitats artificiales creados con las condiciones adecuadas para la supervivencia humana, que ha sido mencionados previamente. El segundo, es cuando las personas salgan al exterior de los hábitats a realizar el tipo de actividades requeridas, es decir, cuando tengan contacto directo con la atmosfera planetaria o el espacio vacío. Para el segundo, se requieren trajes especiales que generen un mini ambiente artificial para la supervivencia del individuo ya se a través de trajes espaciales o en vehículos equipados. Técnicamente se le conoce a este tipo actividad como EVA (Extra Vehicular Activity).

EVA es la actividad que llevan a cabo los astronautas o la tripulación afuera del vehículo o hábitat espacial en ambientes que no pueden soportar la vida humana con equipo y trajes



Figura 67 Análogo en la Tierra de EVA (Crédito: Project Moonwalk)

ⁱEl prefijo trans- significa “a través”. Por lo que transespacial significaría a través del espacio.

^jTraducción al concepto de *walkability* del inglés.

presurizados. Estas actividades pueden ser en el espacio mismo, por ejemplo, en la EEI, o en un cuerpo espacial, como una caminata lunar.

Los mismos requerimientos que tienen en un hábitat se tienen para EVA, es decir, debe de proveer de protección contra la radiación, temperaturas que van desde -150° a 120° centígrados, luz solar deslumbrante y partículas microscópicas que pueden viajar hasta 7,500 metros por segundo.²

Vehículos

La movilidad vehicular también puede ser parte de las actividades dentro de una colonia humana, sobre todo en planetas. Para esto existen tres tipos de vehículos, conocidos como rovers (ver glosario). Estos también deben estar equipados con algún sistema de soporte de vida, al igual que los trajes espaciales y el hábitat.

Análisis sociocinético

Es una herramienta con la que se mide actualmente a través de cámaras (o sensores), la utilización del espacio en un hábitat y el desplazamiento de los usuarios a través del espacio físico. Por ejemplo, en un estudio³ se demostró que la tripulación no utiliza del 35%-40% del espacio en el hábitat. Esto es un problema en ambientes en los que todo el espacio que se tiene ha sido meticulosamente planeado. El método incluye la captura de datos duros del uso de los volúmenes en el hábitat y la aplicación de análisis estadístico para el uso de volúmenes.

Por otro lado, la eficiencia de utilización a un nivel de sistemas de módulos interconectados debe ser maximizado. Esto se puede lograr con un análisis sociocinético de los movimientos de los habitantes para retroalimentar los diseños consecutivos. Para esto, es más conveniente instalación estratégica de sensores, y no de cámaras, en los diferentes espacios del sistema de hábitats.

Gobernanza

Inicialmente, tendrá dependencia de la tierra, pero eventualmente, al igual que la auto sustentabilidad de la ciudad de la Tierra, podrá ser gobernado por sus propios habitantes utilizando tecnología digital, de telecomunicaciones y de información, es decir, ser auto gobernado, eliminando la burocracia ineficiente de instituciones puramente gubernamentales y centralizadas. Es decir, a través de la tecnología, como la tecnología viviente, los habitantes de cada colonia humana puedan ayudar a construir su ambiente, organizarse, gobernar y participar en el desarrollo de su sociedad.

Actualmente, somos considerados parte de una ciudad, un estado, de un país y hasta de un continente, pero, cuando existan colonias en otros planetas, el panorama político cambiará, y será importante para los que vivan en la Tierra ser considerados dentro del geografía terrestre. Las reglas de juego de la política serán diferentes y se expedirán nuevas leyes (si es que sigue siendo esta la forma de organizar a las personas) que tendrán que regular una economía interplanetaria.

El concepto de comunidad deberá ser retomado como núcleo en la creación y el diseño de una ciudad espacial. La tecnología, cómo la inteligencia artificial, puede ayudar a crear comunidades, aunque en la actualidad está en una etapa experimental¹. El sentido comunitario, potencializado por la tecnología, es importante para el correcto funcionamiento de un sistema de ciudad fuera de la Tierra, debido a que los miembros de dicha comunidad enfrentan constantemente condiciones adversas.

Asgardia²

Un ejemplo curioso de política espacial, es el autonombrodo nuevo país de Asgardia o ‘Space Kingdom of Asgardia’, que busca ser la primera nación en el espacio.

Los Asgardianos han adoptado una constitución³ en



Figura 68 Símbolos nacionales de Asgardia (Crédito: asgardia.space)

la que se busca democratizar el acceso al espacio⁴. Están en proceso de constituir un parlamento de 150 miembros y en la búsqueda de ser reconocidos como estado-nación

La nave espacial 'Cygnus' de Orbital ATK, lanzó en diciembre de 2017 un pequeño satélite Asgardia-1, con

nación no

Asgardia

espacio de su

su territorio y

convierte a

primera nación

territorio fuera

cual está

por diferentes

que



Figura 69 Concepto artístico de una estación espacial Asgardiana (Crédito: Asgardia/James Vaughan)

lo que la

constituida

proclamó el

satélite como

lo que

Asgardia en la

en tener su

del espacio, lo

puesto en duda

académicos ya

técnicamente

pertenece a Estados Unidos al ser lanzado por su infraestructura. El centro administrativo se encuentra en Vienna, Austria.

Debido a que Asgardia no tiene un territorio en el espacio auto gobernado con ciudadanos, para Sa'id Mosteshar del 'London Institute of Space Policy and Law', es muy poco probable que algún país reconozca a Asgardia como una entidad espacial soberana.⁵

Conclusiones capítulo II

La muestra anterior es un ejemplo significativo de lo que están haciendo diversas instituciones para poder crear una economía espacial y transportar al ser humano al espacio exterior.

Esta economía espacial tendrá varias dimensiones, al igual que una economía terrestre, que irán desde empresas tratando de explotar los recursos en el espacio exterior hasta las empresas que busquen proveer servicios de vivienda y transportación a las anteriores.

Además, son muchos los beneficios que podrían tener los seres humanos en la Tierra, al liberar a la misma de las presiones industriales a al que actualmente es sometida si la industria es llevada al espacio exterior. Por otro lado, a nivel energético, se podrían amasar grandes cantidades de energía limpia fuera de la Tierra para que sirva a las personas que la habitan.

Es importante que todos estos retos se logren con una perspectiva sustentable. Es decir, que eventualmente la economía espacial se vuelva auto sustentable y que no requiera de la Tierra para continuar, y, también, que toda la actividad espacial se lleve a cabo causando el menor impacto posible en el espacio vacío y los ecosistemas de los cuerpos celestes.



Capítulo III

{Metodologías}

8. Christaller
 - a. Tamaño óptimo de la población
 - i. Factor social
 - ii. Factor genético
 - b. Teoría de Christaller
 - c. Propuesta 150
 - i. Base
 - ii. Metodología
 - iii. Costos
9. Complejidad

En primer lugar, es importante hacer la distinción entre marco teórico y marco conceptual. El marco teórico es el estudio basado en teorías existentes. El marco conceptual es algo que el autor desarrolla por su cuenta basado en estas teorías, es decir, que a la investigación se le agregan variables, conceptos o construcciones propias al autor de la investigación.¹

Ambos conceptos, en ocasiones, son utilizados indistintamente. En esta tesina se optó por llamar marco conceptual a las teorías que se van a utilizar y desarrollar, debido a que se proponen conceptos y definiciones que buscan asentar, con sus debidas limitaciones, un antecedente en el estudio de una colonia humana en el espacio.

En términos generales se analizan dos teorías. La primera tiene un enfoque espacial (en el sentido estricto de espacio físico), mientras que, la segunda, tiene como objetivo el diseño sistémico.

La forma de analizar los datos es a través del modelo espacial, y se utilizan con dimensiones cúbicas (contrario al método tradicional de análisis de dos dimensiones). Con esto, se plantea la hipótesis de que es posible desarrollar una metodología para acomodar todas las actividades y necesidades básicas de una forma eficiente.

Por su parte, las ideas de complejidad se mencionan como un método que puede servir no solo para el diseño de un sistema de una ciudad extremófila, sino que también puede aportar al diseño actual de ciudades en la Tierra. Esta metodología no se desarrolla debido a que los alcances de la tesina no lo permiten.

En resumen, la primera parte, es un análisis de espacio físico con las teorías geográficas de Christaller. La segunda parte, se presenta una metodología para diseñar sistemas autoorganizados con relaciones complejas y que se pueden adaptar a los ambientes en los que sean implantados.

Christaller

¿Cómo construir ciudades en el espacio? La idea propuesta es un sistema de hábitats, basado en módulos, con herramientas y metodologías para volver más eficiente el sistema, las conexiones y optimizar el tiempo de traslado entre las actividades llevadas a cabo a un nivel de espacio físico. Es decir, buscar los niveles óptimos para que este sistema sea lo más eficiente posible, y en caso de continuar escalando, al pasar de 7 u 8 personas a miles o millones, pueda seguir siendo eficaz.

Se propone el concepto de sistema de hábitat para denominar a los asentamientos humanos en el espacio que son mayores a un solo elemento de vivienda. Actualmente, el crecimiento modular, es la única forma propuesta para escalar el hábitat de un asentamiento humano espacial.

Tamaño óptimo de población

Para comenzar, es importante saber la capacidad de la unidad básica de población de la colonia humana que se va a diseñar. A partir de eso, necesitamos encontrar un número adecuado del tamaño de una población. Cabe mencionar que a una unidad básica se le puede unir otra u otras unidades básicas para poder crear una estructura más grande.

¿Cuál es el tamaño ideal para una población como unidad básica? Existen múltiples teorías al respecto. Ya que en la práctica también los seres humanos se han aglomerado en divisiones sociales, por ejemplo, los calpulli (aztecas) y los kibutz (israelís)². Para obtener este número se considerarán varios factores, entre ellos los sociales y genéticos.

Se seleccionaron algunas de las teorías más populares al respecto a lo social y lo genético, debido a que no es el objetivo de la investigación profundizar en discusiones sobre el óptimo de una comunidad

Factor social

“... existe un límite cognitivo del número de individuos que cualquier persona puede mantener relaciones estables, este límite es una función directa del tamaño relativo de la corteza cerebral, y que a su vez limita el tamaño del grupo.... el límite impuesto por la capacidad de

procesamiento de la corteza cerebral es simplemente el número de individuos con quienes una relación estable interpersonal puede ser mantenida.”

El primer factor es el *número de Dunbar*³, este número se refiere a la cantidad de personas que, según el antropólogo Robin Dunbar, pueden organizarse relacionarse de forma efectiva en una comunidad. Este número ronda entre 100 y 250, pero generalmente es de 150. Para Yuval Noah Harari, historiador israelita, el ser humano no puede tener relaciones significativas más allá de este número, a menos que se utilicen mitos (intersubjetivos) que conecten a grandes poblaciones, por ejemplos, las naciones, leyes, dinero o derechos humanos⁴.

El número Dunbar se debe analizar más como un límite que como un número exacto. Además, el número no será el promedio para una comunidad a menos de que exista un incentivo fuerte que la cohesione. Este incentivo en el espacio exterior es la cooperación para lograr los objetivos planteados.⁵ De hecho, en el experimento que se llevó a cabo en Biósfera 2, las relaciones entre los habitantes mejoraban cuando existía la idea del trabajo con objetivos para un bien mayor.⁶

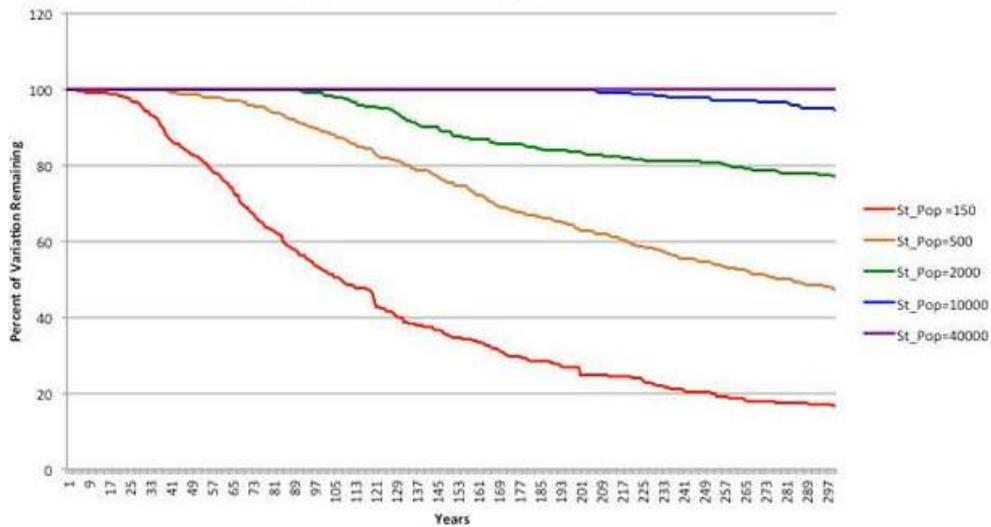
En resumen, por cuestión de eficiencia, se seleccionó el número Dunbar (**150**) como base de un sistema de hábitat básico.

Factor genético

A continuación, se presentan varios estudios que buscan el número mínimo de personas que se requieren para mantener un acervo genético sano. Estos estudios generalmente están encaminados a los viajes interestelares. Se va a utilizar este criterio debido a que, en hábitats alejados de la Tierra, donde no es posible que se reabastezca la tripulación, es necesario que se mantengan genes fuertes.

La mayoría de los estudios contempla la ingeniería genética y las variables de situaciones que se puedan generar.

- *Población mínima viable (Minimum viable population MVP)*⁷. Población mínima para mantener la población. Puede ser tan bajo como 80, aunque la recomendación es de **160**.



Gráfica 1 Variación de un gen hipotético por años y cantidad de población (Crédito: <https://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a10369/how-many-people-does-it-take-to-colonize-another-star-system-16654747/>)

- *Tripulación mínima para un viaje multi-generacional en el espacio*⁸. Esta computación de la población mínima se realizó tomando en cuenta los parámetros de un viaje a Proxima Centauri b, un exoplaneta^k en el sistema de la estrella Proxima Centauri. A una velocidad hipotética de 724,205 km/hr⁹, que es 0.067% de la velocidad de la luz, tomaría 6,300 años llegar a Proxima Centauri b. El modelo contempla variables y decisiones que pueden influir en el desempeño de la población como la muerte. La simulación está basada en el código HERITAGE que utiliza el método Monte-Carlo. La ventaja de este estudio es que se hicieron varias iteraciones y se promediaron. El resultado es que el mínimo de tripulación es de **98**.
- *Número mágico*¹⁰. Para un viaje de 200 años, el antropólogo John Moore de la Universidad de Florida propuso en el 2002 a un número de **160** personas.
- *Población ideal para iniciar nueva civilización*¹¹. Para Cameron Smith y William Gardner-O'Kearney, de la Universidad de Portland State, el mínimo para empezar un viaje interestelar es de **10,000** y un número mejor es **40,000** en caso de que existiera alguna catástrofe. Para ello es importante la variación genética en caso de comenzar la vida en

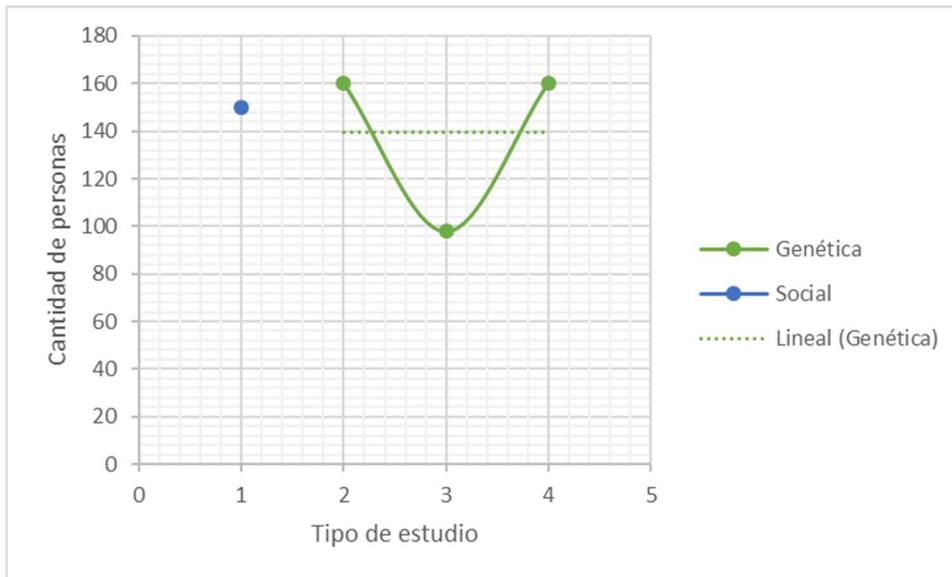
^k Un planeta con características similares a la Tierra.

un nuevo planeta y es por eso el número alto de tripulación mínima. Además, proponen que un viaje hipotético se realice en varias naves por si alguna sufre daños y pérdida de tripulación. Esta variable se descartó para el presente estudio por estar lejos de los demás parámetros propuestos, no obstante, se menciona por el aporte al entendimiento del factor genético.

Conclusión

Combinando todos los factores podemos concluir que un número adecuado para la conformación de un sistema de hábitats es de **150**, como se observa en la gráfica.

1. Número de Dunbar (máximo)
2. MVP (mínimo)
3. Tripulación mínima
4. Número mágico (mínimo)



Gráfica 2 Número óptimo de factores sociales y genéticos (Crédito: Elaboración propia)

Teoría de Christaller (Integración espacial del sistema)

Walter Christaller fue un geógrafo alemán que publicó su teoría de las centralidades¹² en 1933 en un esfuerzo por entender el funcionamiento de las ciudades alemanas. En este trabajo se adoptan las ideas de Christaller para elaborar una propuesta. El modelo ha sido considerado ineficiente para explicar de forma adecuada todos los fenómenos de los mercados y porque las ciudades en la Tierra no responden a las premisas de la teoría. La ventaja es que los problemas que tiene el modelo al adaptarse en ciudades terrestres son eliminados al modelar ciudades espaciales. Es por eso, que este modelo se adecúa a las características que puede llegar a tener una ciudad en el espacio, al eliminar el libre mercado que es imperfecto y dar paso a una economía más controlada. Además, provee de una base para selección de locación y para la creación de **espacios eficientes y funcionales**.

A continuación, se presentan los conceptos básicos.

*Bases:*¹³

- ✓ Hay un plano isotrópico donde los recursos están distribuidos equitativamente.
- ✓ La población se distribuye de forma pareja en el plano
- ✓ Todos los consumidores tienen el mismo poder adquisitivo y la misma demanda por productos
- ✓ No hay exceso de ganancias
- ✓ Hay un mismo costo de transporte y este crece con la distancia (en el caso del espacio puede ser tiempo)
- ✓ Los consumidores van al lugar central más cercano porque esto minimiza la distancia atravesada
- ✓ Los emprendedores buscan maximizar sus ganancias, por lo que buscarán colocarse lo más lejos posible de sus competidores
- ✓ La jerarquía del lugar central actúa como un sistema cerrado

Conceptos

- Aunque tenga la misma población, un pueblo puede ser más funcional que el otro
- La relación entre las funciones de una población y las locaciones espaciales siguen un patrón urbano

- Los centros funcionan como articuladores (Gradman 1916)
- Cuatro principios
 - Centralidad (a parte de los órdenes o magnitudes)
 - Áreas complementarias
 - Umbral (threshold) de bienes y servicios
 - Rango (range) de bienes y servicios

La centralidad se refiere a la extensión que un pueblo (zona/punto). Sirve a sus alrededores y se mide en término de bienes y servicios.

El área complementaria se refiere al área por la que el punto central es el punto focal. Está área será más grande para punto centrales más importantes y más pequeña para puntos centrales menos importantes.

Umbral es el mínimo de población que se requiere para sostener los bienes y servicios establecidos en el lugar central. Algunos bienes y servicios requieren más población que otros. Ej. Tiendas de comida requieren poco mientras que una joyería requiere más población.

Rango es la distancia máxima que un consumidor está dispuesto a recorrer para obtener ciertos bienes y servicios. Los servicios básicos como pan es poca la distancia, mientras una joyería es mayor la distancia. Se mide con tiempo, costo y problemática. Las áreas de mercado serán lo más pequeñas posibles que le permitan el mínimo rango. El rango se representa de forma circular ya que es una distancia uniforme de un punto central.

Por otro lado, los bienes y servicios con un umbral bajo y pequeñas áreas de mercado serán bienes y servicios de magnitud baja y ocuparán centralidades de bajo magnitud. Sucede lo contrario con los bienes y servicios de magnitud alta. Entre los centros de magnitud alta y baja existen los centros de magnitud intermedia de bienes y servicios de magnitud media. Con esto, centralidades de magnitud alta contendrán bienes y servicios de magnitud alta, media y baja,



Figura 70 Distribución equidistante de puntos de asentamientos (izquierda) Con los círculos quedan espacios muertos (derecha) (Crédito: Christaller. *Die zentralen Orte in Süddeutschland* (1933))

mientras que bienes y servicios de magnitud media contendrán las de magnitud media y baja y las de baja solamente bajas.

Christaller utiliza la figura hexagonal porque parte del racionamiento que para que los puntos sean equidistantes la figura por naturaleza ideal es el círculo. Pero los círculos se traslapan o en otras partes se sobreponen, y las únicas figuras geométricas que no se traslapan son el triángulo, el cuadrado y el hexágono. Por esto, para buscar la máxima eficiencia los círculos se convierten en hexágonos, que son los que más nodos tienen de una figura que no se traslape.

Acomodo espacial (predicciones)

$K=3$

Los servicios¹, se dividen en tres niveles, mientras más específica y especializada es la actividad, más jerarquía. Se parte del primer nivel, que es un punto del que se desprende, de forma isotrópica, un hexágono cuyos vértices se convierten a su vez en puntos centrales de otro hexágono. Este mismo proceso se repite para cada uno de los seis puntos en el segundo nivel. Para el tercer nivel, sucede exactamente lo mismo.

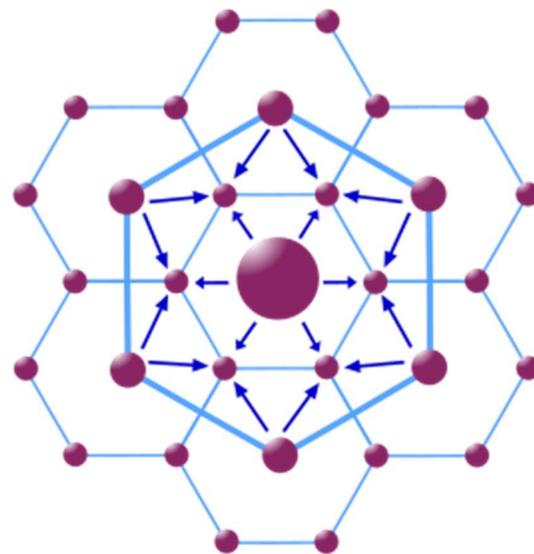


Figura 71 Principio $K=3$ (Crédito: Laotseuphilo. Basado en los esquemas del libro de Christaller. *Die zentralen Orte in Süddeutschland* (1933) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Christaller_model_1.svg)

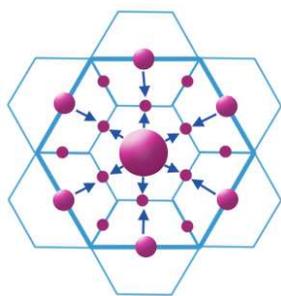


Figura 72 Principio $K=4$ (Crédito: Laotseuphilo. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Christaller_model2.jpg)

$K=4$

Por otro lado, en $K=4$

es el principio de

transportación, es decir, el desplazamiento entre puntos. La

propuesta es que los puntos no estén en los vértices sino a la mitad de las aristas, lo cual da como resultado que para ir del punto de un

nivel 2 a un nivel 1 tienen que pasar por el punto del nivel 3. Los

lugares centrales estarán alineados en rutas de tránsito rectas que

irradian de un lugar.

¹ En el caso de estudio se sustituirá los servicios por zonas donde se desempeñan las actividades de los habitantes de las ciudades espaciales.

Propuesta 150

Con la idea de que cada vez se van a ir agregando más hábitats al espacio exterior, se vuelve necesario que la forma en la que se haga sea de forma planeada. Debido a lo limitado de los recursos, además de que no se puede dar el lujo de colocarlos de forma indiscriminada, es importante que la forma en la que se van agregando los hábitats responda a una lógica de optimización del espacio. Existen planes de establecer asentamientos humanos y hasta ciudades en diferentes partes del espacio exterior a la Tierra, como por ejemplo la ‘Moon Village’ de la ESA en la Luna y una ciudad en Marte por parte de SpaceX. Todo esto requerirá, de una planeación de finanzas, tecnología, transportación, y la planeación del acomodo de toda la infraestructura y las habitaciones de dichas colonias.

Es por tal motivo que a continuación se presenta una adaptación de la Teoría de los Lugares Centrales (TLC) del geógrafo Walter Christaller a las necesidades y condiciones en el espacio exterior. No se busca proponer un diseño fijo de toda una ciudad, más bien, se presentan esquemas generales que pueden ser aplicados y adaptados a una ciudad específicamente en el espacio extraterrestre.

¿Por qué Christaller? A pesar de las limitaciones que tiene el modelo en la Tierra, puede ser útil a la hora de configurar una colonia espacial debido a que dichas limitaciones recaen principalmente en la imperfección de los mercados. En el espacio exterior, debido a que el objetivo no es individual, sino colectivo, no existen dichas imperfecciones y se vuelve en un candidato más puro a la teoría de Christaller.

El núcleo básico es para 150 personas aglomeradas alrededor de un núcleo o ‘cluster’ de trabajo que puede tener o no una especialización. Además, se puede escalar para crear varios grupos de núcleos básicos interconectados para incentivar economías de aglomeración.

Por otra parte, es importante mencionar, que si bien el esquema está diseñado para superficies de objetos celestes (planetas, asteroides, etc.), también se puede utilizar para el espacio vacío. Se realiza una propuesta exclusivamente para dicho supuesto. Es decir, se dividen en dos categorías; Un esquema para superficies planetarias y el otro esquema para espacio vacío (es decir flotando en el espacio).

También los esquemas son flexibles para ser manipulados dependiendo de las necesidades de las misiones o de la colonia. Debido al proceso de diseño, el ajuste para un esquema óptimo es

parecido a los comentarios de Christopher Alexander sobre el diseño interrelacionado, si una variable se altera, se tiene que volver a plantear gran parte del proceso para poder llegar al resultado adecuado.

En otras palabras, se proponen las configuraciones de los hábitats, a través de módulos, aportando mayor eficiencia y mejor utilización del espacio para cuando las poblaciones comiencen a crecer o para la planeación de misiones de 150 personas o más.

Base

La base de las medidas utilizadas que se requieren para un hábitat se encuentran en los siguientes estudios:

- Minimum Acceptable Net Habitable Volume for Long-Duration Exploration Missions¹⁴
- Human Integration Design Handbook¹⁵
- Developing A Habitat For Long Duration, Deep Space Missions¹⁶

Era necesario conocer la cantidad de volumen que requieren 150 personas en un hábitat. Para lograrlo se obtuvo el volumen habitable mínimo aceptable neto (Net Habitable Volume NHV) para misiones de exploración de larga duración. El NHV es un número del espacio que “...queda disponible a la tripulación después de tomar en cuenta la pérdida de volumen por almacenaje, equipo, basura y las ineficiencias que pueda tener el diseño.”

El número está contemplado para los siguientes supuestos:

- 30 meses de misión
- 6 tripulantes multidisciplinarios y genero variable

El número del resultado son **150 m³** para una tripulación de 6, es decir **25 m³** por tripulante^m.

Estas medidas a su vez se subdividen en actividades. Para el espacio individual, dormir y la higiene son **60 m³**, como es un grupo de seis, se obtienen **10 m³** para cada individuo. Para la

^m Las medidas se presentan como volúmenes debido a que en ciertos escenarios en el espacio exterior el desplazamiento puede ser en cualquier dirección. También cabe recalcar que las medias generalmente se presentan redondeadas.

recreación, la comida y el ejercicio son necesarios 68 m^3 , lo que da 11.3 m^3 para cada tripulante. Por último, para el espacio de trabajo se requieren 21 m^3 para todos, lo que da 3.5 m^3 individual. La suma total para cada habitante es de 24.8 m^3 . A lo que le falta un total de 0.2 m^3 para los 25 m^3 propuestos, esto es debido a en el cálculo se contemplan 1.30 m^3 de todo el espacio para mamparas divisoras del espacio.

Posteriormente, se procedió a buscar el espacio destinado al almacenaje y el equipo, los datos limpios como tal no fueron encontrados, pero un artículo⁴² de la NASA sobre el diseño del hábitat para misiones en el espacio profundo divide la cantidad de volumen habitable y de volumen no habitable presurizado, del cual se puede deducir el espacio de almacenaje.

El volumen total para ese hábitat es de 274.9 m^3 , mientras que el volumen destinado a equipaje, almacenaje y errores de diseño e infraestructura es de 142.42 m^3 . Por otro lado, el espacio habitable es de 132.48 m^3 (para cuatro tripulantes). El porcentaje es de 52% de la estructura es espacio para almacenaje, equipo y un margen de error y el 48% es para NHV.

Se decidió tener un 50%-50% de NHV y espacio de almacenaje para esta propuesta. Es por eso que los 150 m^3 es el 50% del total de un hábitat espacial y los otros 150 m^3 son el espacio para equipo, almacenaje y margen de error. El cálculo del volumen está pensado para una tripulación de 6.

Si se compara con el volumen con un hábitat comercial como el *B330* de Bigelow Aerospace, con planes de ser lanzado al espacio comercialmente y que tiene posibilidad de ser el hábitat de la NASA para su proyecto 'Lunar Gateway', se tiene que para una de tripulación de 6 el *B330* tiene 330 m^3 en contraste con los cálculos propuestos de 300 m^3 en total.

Metodología

De la teoría de Christaller se seleccionó el principio $K=4$ ($1/2$ es el área que cubre el hexágono del centro de la siguiente menor jerarquía, es por eso que, $K = 1 + 6 \times 1/2 = 4$), es decir el de la transportación, porque es el que genera una jerarquía de lugares centrales que resulta en una red de traslados más eficiente. Con el acomodo de los hexágonos en este principio, se minimiza la longitud de las redes de transportación conectadas al centro de nivel más alto y se

maximiza la cantidad de centros de menor orden alineados a las conexiones principales al centro principal.

Para los niveles del esquema, se seleccionaron y clasificaron las actividades y los espacios de la siguiente forma:

1 nivel (Trabajo)

- Atención médica*
- Especialización del núcleo
- Actividades de trabajo y laboratorio \oplus

2 nivel (Social)

- Ejercicio (medidas contrarestantes) (zopherus)*
- Almacenamiento* \oplus
- Administración del inventario*
- Recreación (zopherus)*
- Comida y nutrición (zopherus)* \oplus
- Enlace con el exterior, conexión rover, EVA (zopheurs)
- Actividades sociales (zopherus) \oplus
- Administración de basura*

3 nivel (Individual)

- Higiene personal* \oplus
- Administración de residuos corporales*
- Dormir* \oplus
- Ropa*
- Almacenamiento objetos personales

*Las actividades marcadas con el asterisco son funciones de habitabilidad que contempla el manual de la NASA 'Human Integration Design Handbook'

⊕ Las actividades en cruz con círculo son las propuestas por el documento de la NASA 'Minimum Acceptable Net Habitable Volume for Long-Duration Exploration Missions'

(Zopherus) Las actividades con el nombre de 'Zopherus' son algunas de las que contempla el equipo 'Team Zopher' (cuyas propuestas son analizadas en el capítulo de "Hábitat"). Dicho equipo planea también tres tipos de módulos, el 'Crew Shell' para la tripulación, el 'Comunal Shell' para actividades sociales y un módulo para laboratorio.

El núcleo individual se compone por 'camarotes' para dormir con espacio para guardar ropa y objetos personales y llevar la higiene. Cada núcleo, como se verá más adelante, estará diseñado para alojar cinco personas.

Una vez que se tienen planteadas las actividades que se van a llevar a cabo en cada nivel y el volumen que cada una de ellas requiere, es momento de unir la teoría de Christaller con el número Dunbar y los volúmenes de las actividades que se llevarán a cabo.

El principio $K=4$ se organiza de la siguiente forma, se tiene el centro de primer nivel, en donde se llevará a cabo el trabajo, alrededor de este se forma un hexágono en el que a la mitad de las aristas se encuentra el centro de segundo nivel, es decir donde se generarán las actividades sociales. Por último, en las aristas del hexágono que se forma alrededor del centro de segundo nivel se encuentran los centros de tercer nivel, que se compone de los compartimientos individuales.

Este planteamiento tiene un problema, en la distribución espacial en las aristas del hexágono de segundo nivel, los centros del tercer nivel se traslapan. Esta situación puede ser aprovechada para proponer la cantidad de personas que cada núcleo de actividades individuales puede contener. Si se utilizan los 36 núcleos que se generan y cada núcleo tiene a 6 habitantes, el resultado es 216, que está muy lejos del número 150 propuesto ($6 \times 36 = 216$). Ahora bien, si los núcleos que se traslapan se fusionan en uno solo, quedan un total de 30 núcleos, si se propone una tripulación de 5, entonces el resultado es exactamente 150. El hecho de que sean 5 personas por núcleo de hábitat para funciones individuales aporta robustez. En caso de que una sección tenga una contingencia y se requiera evacuar y cerrar esa sección (por sección se entiende un centro de segundo nivel con sus respectivos núcleos de tercer nivel), las personas en esa sección se puedan reacomodar en las cinco secciones sobrantes cómodamente ya que los volúmenes están planeados para seis personas.

Ahora, para adaptar los volúmenes en un esquema de la teoría de Christaller, es necesario calcular cuántos metros cúbicos son necesarios por nivel.

En el tercer nivel (el individual), se requieren 120 m^3 por módulo de 5 tripulantes, 60 m^3 para actividades y 60 m^3 para almacenamiento (hay que recordar que el espacio habitable y el espacio para almacenaje se distribuye 50%-50%). En el segundo nivel, se tienen 136 m^3 de volumen por grupo de 5 individuos, los cuales, si multiplicamos por 6, debido a que cada centro de segundo nivel sirve a 6 diferentes núcleos, el resultado es 816 m^3 de volumen para los centros de segundo nivel. Para el tercer nivel, se multiplica 42 m^3 del espacio habitable asignado al trabajo por 36 núcleos (los 6 núcleos excedentes que no se cuentan sirven como margen), lo cual da como resultado $1,512 \text{ m}^3$ para el centro de nivel 1.

Para adaptar el modelo de Christaller es importante observar que existen dos tipos de lugares en los que se pueden colocar hábitats en el espacio. Como se mencionaba, los lugares son superficies de algún objeto celeste (planetas, astroide, etc.) o en el espacio vacío. En el espacio vacío puede orbitar la Tierra o algún otro cuerpo o puede parecer estacionario respecto a un cuerpo, también como la Tierra, como un punto de Lagrange.

Superficies

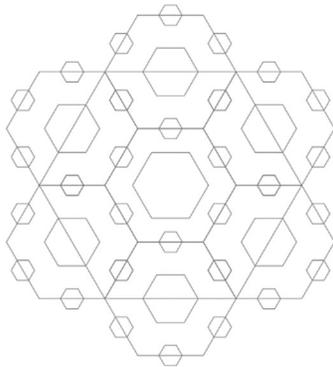


Figura 73 Esquema de la adaptación de la teoría de Christaller con hexágonos. (Crédito: Elaboración propia)

Para lograr entender cómo se va a configurar cada centralidad en cuanto a volumen para el acomodo espacial de una superficie, es importante saber que el centro de cada nivel se calcula como un cilindro. Es decir, se tendrá la base de desplante circular y una altura determinada para los centros en cada nivel. La fórmula del volumen de un cilindro es $v = \pi r^2 h$. Entonces si conocemos el volumen del centro de cada nivel y asignamos una altura determinada, podemos saber el radio para cada centro. Con el radio se puede configurar el

acomodo espacial de los asentamientos.

Se debe de tomar en cuenta que en una superficie planetaria existe gravedad, varía dependiendo del cuerpo, pero se debe pensar en un comportamiento similar a la Tierra. Para el centro de nivel 3 se asignó una altura de 2.5 m que es lo mínimo que una habitación puede tener. Para los centros de nivel 2 y 3 se seleccionó una altura de 3 m ya que se llevarán actividades sociales.

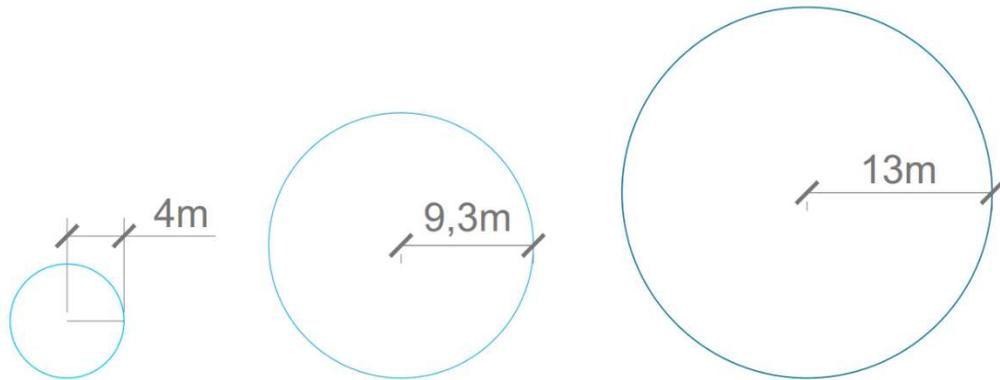


Figura 74 Tamaños del radio por nivel, del 3 al primero de izquierda a derecha (Crédito: Elaboración propia)

Con estos datos se tiene que (los datos están redondeados):

- Nivel 1: **$r=13m$** , $h=3m$, $v=1,593m^3$
- Nivel 2: **$r=9.3m$** , $h=3m$, $v=815m^3$
- Nivel 3: **$r=4m$** , $h=2.5m$, $v=126m^3$

h =altura, r =radio y v =volumen

Si en vez de que las centralidades sean circulares se busca que sean hexagonales los datos son:

- Nivel 1: **$a=4.3m$** , $h=2.5m$, $v=120m^3$
- Nivel 2: **$a=10.2m$** , $h=3m$, $v=810m^3$
- Nivel 3: **$a=14m$** , $h=3m$, $v=1,527m^3$

h =altura, a =arista de la base (esquina) y v =volumen

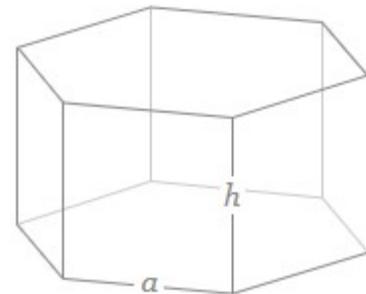


Figura 75 Prisma hexagonal (Crédito: Google)

El esquema que resulta es una propuesta espacial (de espacio físico) para el acomodo ordenado de un asentamiento basado en el acomodo de módulos de hábitat. El centro de nivel 1 se puede ver como una plataforma configurable a las necesidades de las actividades que se llevarán a cabo por este grupo de personas. Puede ser que sea una sola infraestructura o varios módulos interconectados o una mezcla de ambos. Puede también, contener una plataforma de minería o de aterrizaje. Los módulos de nivel 3 son hábitats modulares (hechos en impresión 3D, desplegados o módulos completos lanzados desde la Tierra) interconectados con el centro

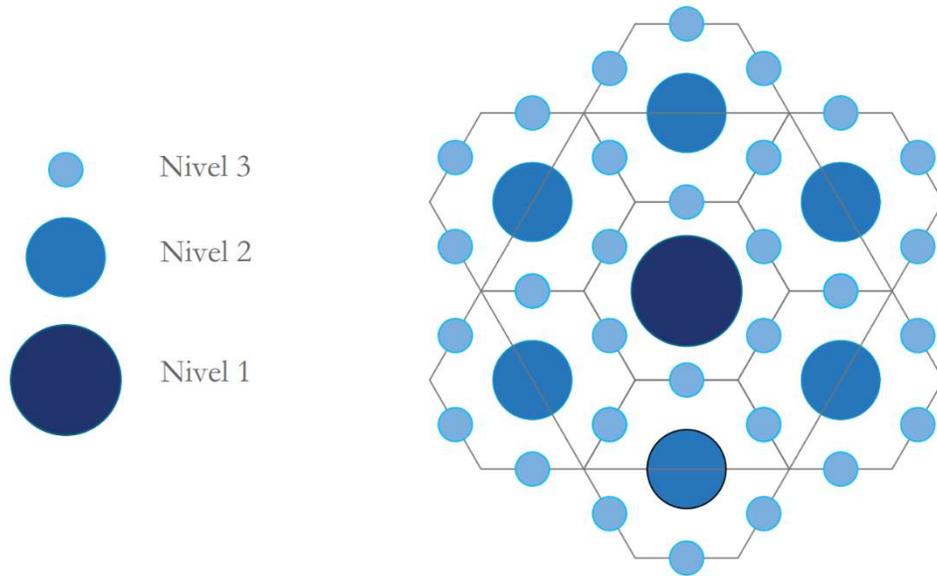


Figura 76 Esquema con los centros de cada nivel. (Crédito: Elaboración propia)

de nivel 2 que igual puede ser un único módulo, varios

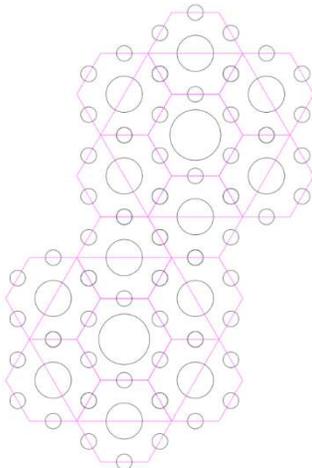


Figura 78 Crecimiento de una colonia mayor a 150 habitantes. (Crédito: Elaboración propia)

módulos interconectados o ambos. Las interconexiones miden entre 4m y 7.4m.

Las interconexiones se pueden dar con túneles que conectan o, también, pueden ser una sola pieza donde todo se desarrolla bajo el mismo techo

o que la conexión sea directa. Por otro lado, el crecimiento puede ser progresivo y se puede ir construyendo por fases de acuerdo con las necesidades. En resumen, es una plantilla para

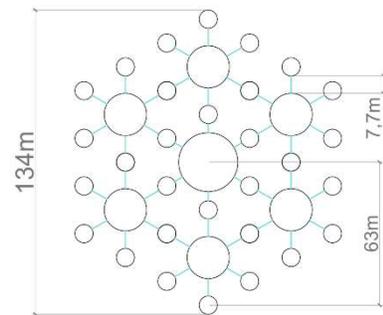


Figura 77 Medidas del modelo. De un lado al otro son 134 metros (Crédito: Elaboración propia)

la configuración del espacio, en una superficie planetaria o en el espacio vacío, con los principios de la NASA de flexibilidad y modular.

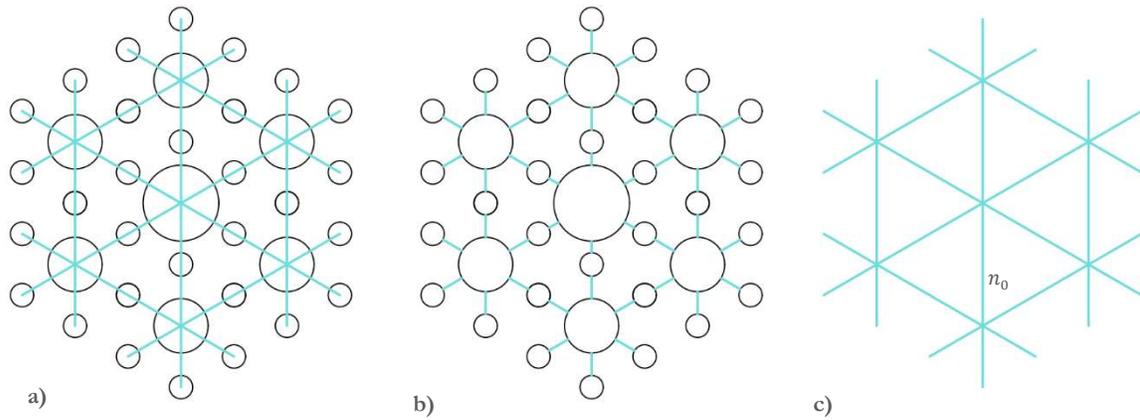


Figura 79 a) y b). Desarrollo del esquema con sus interconexiones. c) Teoría de grafos ‘Shortest Route Tree SRT’ (Crédito: Elaboración propia)

Espacio vacío

Cuando se trata de propuestas de ciudades en espacio vacío, la forma que más resalta es un toroideⁿ, esto debido a que al momento de girar genera gravedad, lo que puede ayudar a replicar las condiciones en la Tierra. Es por eso, que para el espacio vacío se propone la adaptación del esquema propuesta basado en la teoría de Christaller. En este caso los módulos para habitación contemplan 6 tripulantes por cada uno.

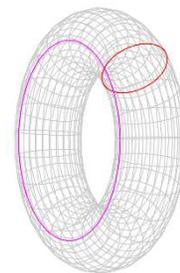


Figura 80 Toroide (Crédito: Internet)

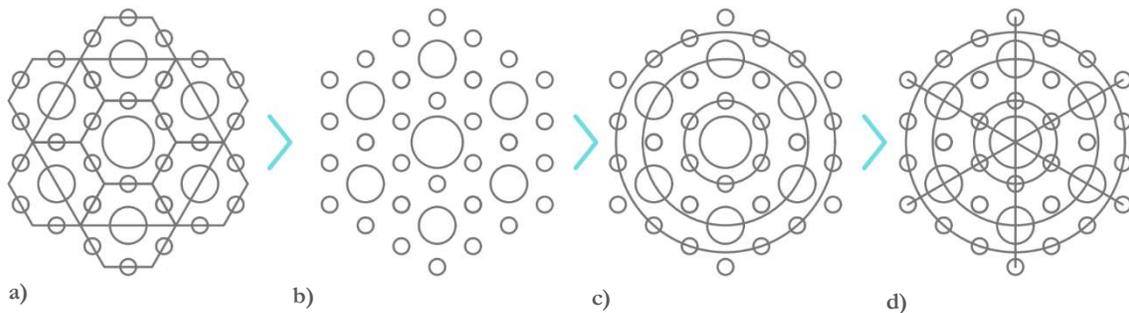


Figura 81 a) Esquema de Christaller inicial b) esquema sin líneas c) esquema con los círculos d) esquema con círculos y enlaces. (Crédito: Elaboración propia)

ⁿ Figura geométrica tridimensional que resulta de hacer girar un círculo sobre un eje

El acomodo de las centralidades de diferentes niveles también se puede ver como círculos concéntricos que pasan por el centro de los centros de nivel 2 y 3, abarcando la mayor cantidad de centros posibles. Con esto surgen dos problemas, el primero es que un círculo puede abarcar dos tipos de centralidades, como es el caso del círculo que se forma con los centros de segundo nivel. Además, lo que sucede es que el círculo de afuera está formado por centros de nivel 3, el siguiente círculo hacia adentro por centros de nivel 2 y 3, el siguiente círculo por centros de nivel 3 otra vez y posteriormente el círculo central del centro de nivel 1. Eso también causa la problemática de que son varios círculos los necesarios y algunos círculos comparten dos tipos de centros. Esto se resuelve asignando un círculo a cada tipo de nivel de jerarquía basado en que círculo contienen más elementos de un tipo de centro. Con lo que

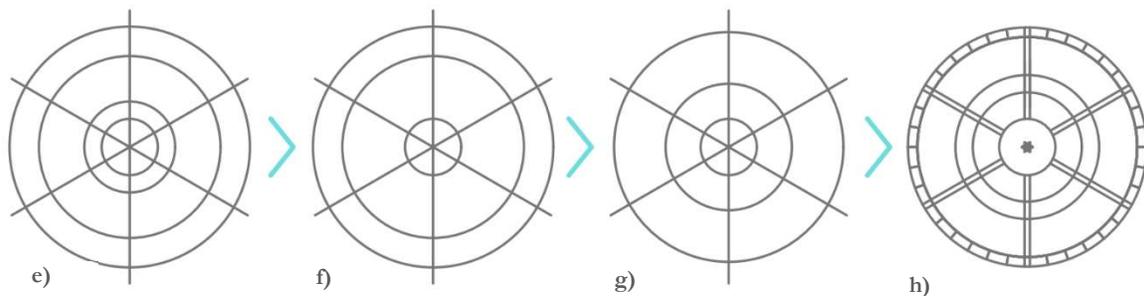


Figura 82 e) Eliminación de las centralidades f) reacomodar cada nivel en su círculo, solución del problema de varias centralidades g) ajuste del tamaño para colocar el volumen h) forma final en dos dimensiones. (Crédito: Elaboración propia)

quedaría de la siguiente forma, al círculo externo le corresponde las centralidades de tipo nivel 3, al círculo intermedio le corresponden las centralidades de nivel 2 y toda el área del círculo central es para el centro de nivel 1.

El segundo problema fundamental son las medidas. La fórmula de un toroide es $v = (\pi r^2)(2\pi R)$ donde v = volumen, r = radio menor y R = radio mayor. En este caso se vuelven a utilizar las medidas del volumen de metros cúbicos que requiere cada nivel por actividad. Es decir:

- Nivel 3: $120 \text{ m}^3 \times 36 \text{ módulos} = 4,320 \text{ m}^3$
- Nivel 2: $816 \text{ m}^3 \times 6 \text{ módulos} = 4,896 \text{ m}^3$
- Nivel 1: $1,512 \text{ m}^3$ (porque es una sola sección)

El nivel 1 no tiene problema porque no tiene la forma de torus, puede ser una plataforma cilíndrica, esférica o varios módulos interconectados en el centro. Los niveles 2 y 3 si tienen problema porque son los que tienen la forma de toroide. El problema radica en que mientras más alejado este el círculo de su origen, más grande va a ser el radio mayor y más delgado va a ser el radio menor. Un radio menor implica menor

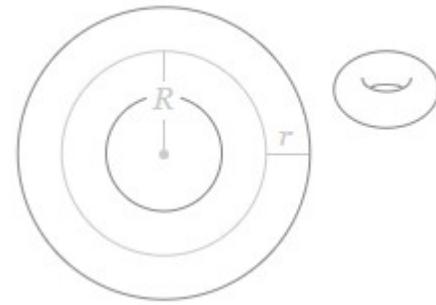


Figura 84 Datos de toroide (Crédito: Google)

circunferencia en el interior del toroide. Es por eso que el radio mayor se necesita ajustar para que resulte el volumen necesario con un radio menor adecuado para desempeñar las funciones.

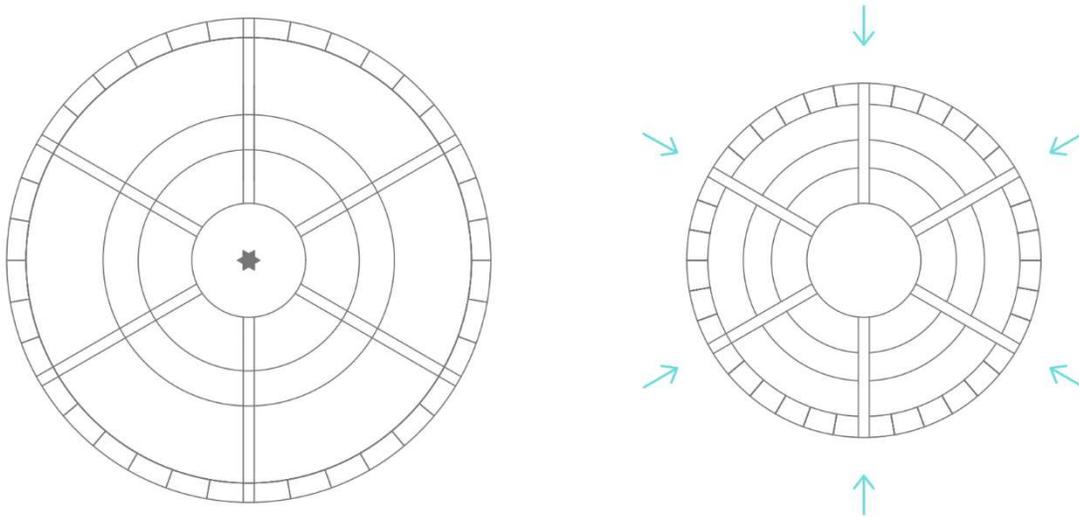


Figura 83 Ajuste a la circunferencia para máxima eficiencia. (Crédito: Elaboración propia)

Para desarrollar las actividades individuales de forma cómoda (por ejemplo, dormir) de una

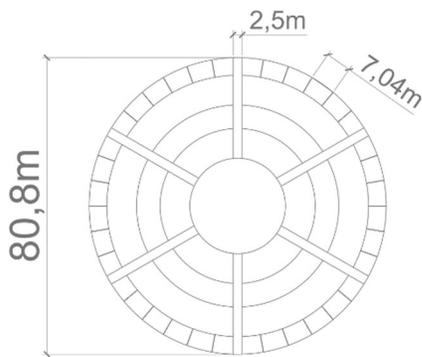


Figura 85 Medidas de la propuesta del Toroide. (Crédito: Elaboración propia)

tripulación de 6 por sección necesita un radio de 2.4 m (como se observa en la **Figura.**). Esto conlleva un ajuste de 55m a 38m para el radio mayor en el caso del tercer nivel. En el caso del segundo nivel el ajuste es más fuerte, como son actividades sociales, se propone un radio menor más grande, es decir de 3.2m, con lo que el radio mayor disminuye de 42m a 24.3m.

Los datos quedan de la siguiente forma:

- Nivel 3: Toroide. $R=38m$, $r=2.4$, $\varnothing=4.8$, $v=4,320$
- Nivel 2: Toroide. $R=24.3$, $r=3.2$, $\varnothing=6.4$, $v=4,911$

R =radio mayor, r =radio menor, \varnothing =diámetro del círculo interior del toroide, v =volumen

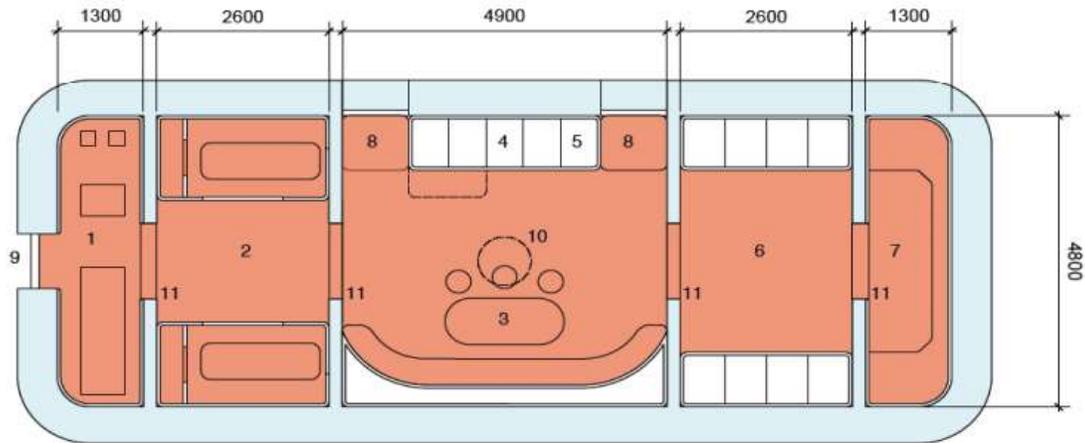


Figura 87 Planta de Prototipo del mínimo NHV. De izquierda a derecha: Ejercicio; Dormitorios; Comedor; Trabajo; Almacenamiento. (Crédito: NASA)

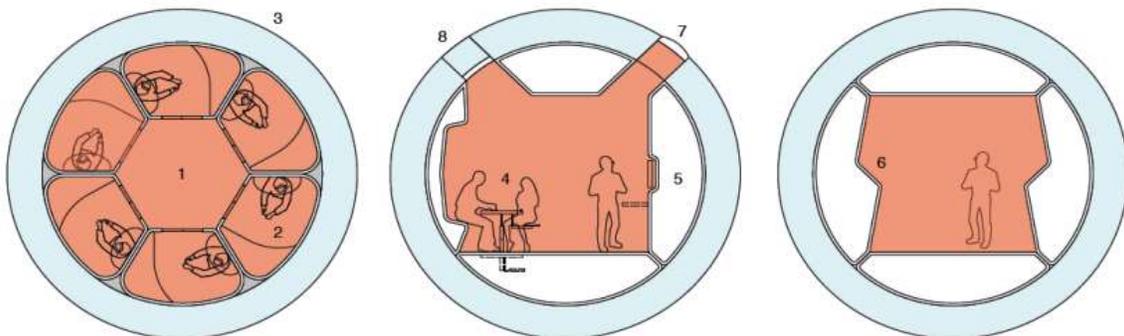


Figura 86 Cortes. De izquierda a derecha: sección individual para dormir; sección de comida; sección de trabajo (Crédito: NASA)

Las aristas que conectan el centro con el resto de los círculos son tubos de traslados entre niveles, tendrán un diámetro de 2.5m. Cabe recalcar que la construcción del toroide puede ser a través de ensamble de módulos a por impresión 3D.^o

^o Un ejercicio muy general de los costos se puede ver el apéndice B

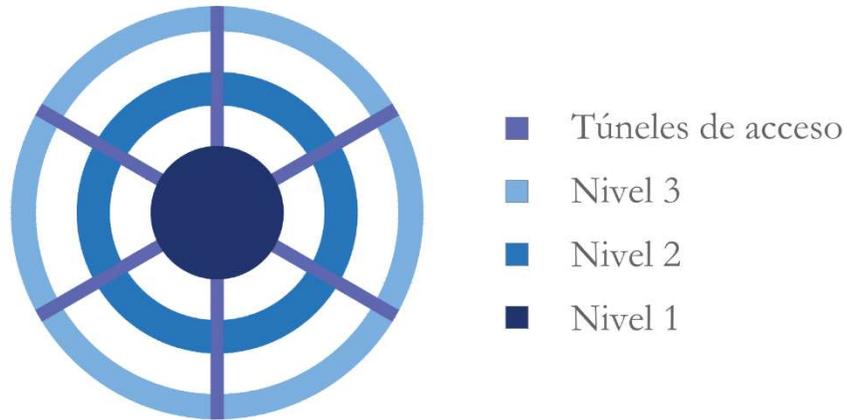


Figura 88 Resultado del cálculo del toroide. (Crédito: Elaboración propia)

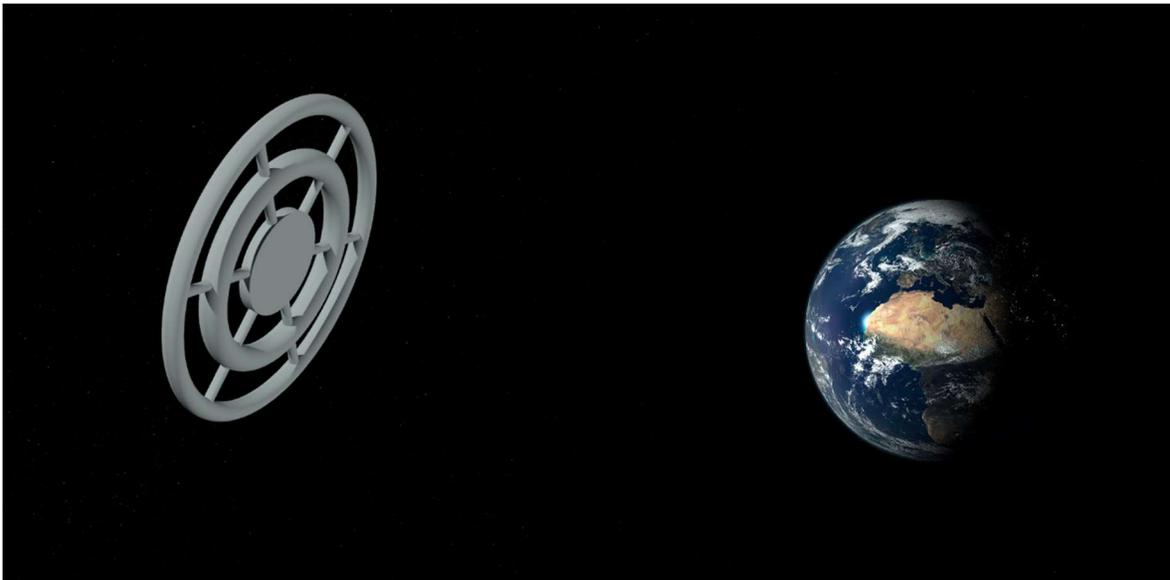


Figura 89 Render de un asentamiento humano en el espacio vacío con las características propuestas (Crédito: Elaboración propia)

Con esto termina la propuesta para la configuración de un sistema de ciudad en el espacio exterior adaptado al ambiente en el que esté contemplado construir la ciudad. Cómo se pudo observar, el espacio físico en el espacio exterior también es un recurso limitado y debe ser estudiado de forma cuidadosa para maximizar su utilidad.

Complejidad

Palabras clave: Caos; sistemas dinámicos; no linealidad; autoorganización, tecnología viviente

El segundo marco teórico que se presenta es el de las ciencias de la complejidad, cuyo objetivo es estudiar desde un nuevo paradigma los fenómenos complejos.

Actualmente, los problemas cada vez más complejos y diversos que enfrenta el urbanismo requieren de herramientas diversas que abarquen dicho nivel de complejidad. Es por eso que se opta por analizar el método que utilizan las ciencias de la complejidad para estudiar su objeto de estudio.

Las ciencias de la complejidad es una disciplina, con un enfoque multidisciplinario, que aborda los problemas actuales en el mundo desde una nueva perspectiva. Dejando a un lado la rigidez del pensamiento clásico, se propone un acercamiento a través de un pensamiento complejo. Es decir, en la teoría clásica, determinista, o descártica, los problemas se resuelven descomponiéndolos en varias partes para poder entenderlos y analizar los componentes individualmente. Esta forma de trabajar funcionó durante mucho tiempo, pero, las problemáticas actuales, como la ciudad, con sus problemas, requieren de un acercamiento a través de pensar un sistema con todas las partes interrelacionadas y que no pueden ser divididas.

Lo que se propone con la complejidad es que se entienda al sistema como componentes interrelacionados en el que, si un elemento es afectado o tiene un cambio, todos los demás elementos del sistema, incluyendo el elemento mismo, se verán afectados. A esta idea de

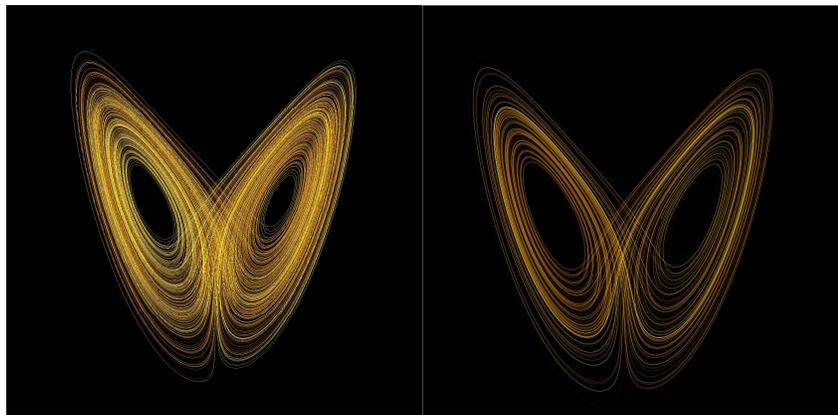


Figura 90 Edward Lorenz es considerado uno de los pioneros de la teoría del caos. A él se debe el descubrimiento del fenómeno conocido como efecto mariposa que se relaciona también con el clima, en el que pequeñas diferencias en los estados iniciales tienen grandes efectos en el sistema en general. Debe de quedar claro que caos no quiere decir necesariamente desorden puro, como se puede apreciar en las imágenes, que representan un mismo sistema, pero dos desenlaces distintos. (Crédito: Dschwen)

que una perturbación al sistema, por más pequeña que sea, desata una reacción en cadena de

grandes magnitudes, se le conoce como *caos*¹, cuyo comportamiento es sensible en buena medida a las condiciones iniciales.

En este tipo de metodología, lejos de concentrarse en una solución, se tienen una lista de herramientas o soluciones, basadas en la probabilidad que tienen de resolver el error. Algunos ejemplos de sistemas complejos pueden ser las ciudades, las sociedades humanas, el clima, o el cerebro.

Un concepto que surge con la complejidad es el de un *sistema autoorganizado*. Generalmente los sistemas artificiales no se pueden adaptar constantemente a su ambiente ya que están diseñados para resolver uno o pocos problemas, lo que ocasiona que, al haber una alteración al entorno, el sistema se vuelve disfuncional. Un sistema autorganizado tiene la capacidad de adaptarse al entorno, un ejemplo de él es una colonia de hormigas². Al diseñar una ciudad, en especial una en el espacio exterior, como un sistema autoorganizado, puede ser de mucha utilidad debido a las condiciones extremas a las que se va a enfrentar la ciudad. Los ambientes en el espacio son diferentes a los de la Tierra y generalmente son hostiles al ser humano, por lo que un sistema de ciudad en un lugar así debe de tener la capacidad de adaptarse a cambios no previstos previamente.

Debe quedar claro que el objetivo de esta tesina, en cuestión a la metodología propuesta de complejidad no es desarrollar el modelo. La idea de esta sección es más presentar algunos conceptos y mostrar que se pueden relacionar con el diseño y construcción de ciudades en el espacio exterior.

¿Por qué la complejidad? El objetivo de las ciudades extremófilas es que se puedan construir en un espectro más amplio de ambientes por más extremos que sean. Los ecosistemas espaciales son muy diversos, y como se expone anteriormente, puede variar desde el espacio vacío, carente de cualquier atmósfera, hasta planetas con atmósferas diferentes. Con la complejidad, la autoorganización y la tecnología viviente, es posible idear ciudades que sean capaces de adaptarse, como un organismo extremófilo a condiciones extremas ambientales. El hábitat, actualmente con múltiples propuestas, es la unidad básica de una ciudad en el espacio exterior.

Con la complejidad como marco teórico se puede pensar en diseñar sistemas de ciudad de una forma que sean capaces de adaptarse a los cambios de ambientes de forma autónoma. En esta

metodología existen conceptos que también se utilizan en urbanismo, pero que utilizan una palabra diferente. Por ejemplo, la resiliencia, un término utilizado en urbanismo, queda englobada por el concepto de robustez en la complejidad.

Analizar a una ciudad en el espacio como un sistema auto organizados es posible debido a que en ambientes extremos la ciudad debe de tener la capacidad de auto regularse y proveer a sus habitantes de un espacio seguro, que pueda adaptarse constantemente al ambiente y proveer de soluciones ante los problemas que se presenten.

Dentro del marco de la complejidad, existen varias metodologías propuestas para el diseño de sistemas complejos, y en particular se seleccionó una³. Pero ¿en qué consiste la metodología seleccionada? La idea de esta metodología^p, es tener una herramienta para el diseño y control de sistemas complejos. Ésta es una propuesta de un marco conceptual, cuya implementación promueve que los elementos encuentren soluciones para interactuar entre ellos. Es decir, reducir la fracción de las interacciones entre los elementos de un sistema que resultará en una mayor satisfacción del mismo, es decir, un mayor rendimiento.

Un modelo, puesto de forma simple, es la representación física, conceptual o matemática de un fenómeno que es difícil de entender directamente para una mejor comprensión del mismo⁴. Es importante hacer la diferencia entre el objeto (o fenómeno) y los modelos que podamos crear sobre el objeto para estudiarlo. Los modelos no son el objeto, solo describen diferentes aspectos, si un modelo describiera al objeto de forma íntegra y completa, entonces sería el mismo objeto. Ningún modelo es mejor que otro, simplemente el investigador escoge el que más se adecúe a sus objetivos.

Además, se debe de saber la cantidad de niveles en las que se va a estudiar el sistema. Mínimo se requieren dos. Por ejemplo, con los dos niveles más básicos, solo se tienen los elementos (nivel bajo) y un sistema (nivel alto). El sistema puede ser a su vez subsistema de otro sistema (nivel más alto), con lo cual este sistema autoorganizado tendría 3 niveles. Un ejemplo concreto a esto con una ciudad en el espacio, podría ser el modelo de Christaller propuesto, con los módulos para el desempeño de actividades como elementos de nivel más bajo, un sistema de nivel más alto sería el conjunto de todos los módulos formando una unidad. Y un

^p Para una mayor profundización del tema se recomienda leer *Design and Control of Self-organizing Systems* de Carlos Gershenson.

nivel, aún más alto sería dos o más de estas unidades o núcleos básicos de 150 personas interrelacionadas. Evidentemente, esta es una forma de ver el sistema de una ciudad, para poderlo observar existen múltiples formas.

Los conceptos para evaluar un sistema exitoso:

Adaptación

Es la habilidad de un sistema a configurarse para resolver los problemas que arroje el ambiente en el que está sumergido el sistema. En el caso del sistema de una ciudad en un ambiente extremo se podría pensar en cambios de niveles de radiación, cambios de temperatura, escasez de recursos, entre otras variables.

Anticipación

Es la capacidad del sistema de predecir los cambios en el ambiente y tomar acciones para responder de forma adecuada.

Robustez

Es uno de los conceptos más interesantes de la presente metodología, debido a la similitud a la llamada resiliencia urbana. La robustez de un sistema se logra reforzando e implementando un conjunto de ideas y conceptos. Un sistema es *robusto* si continúa funcionando a pesar de una perturbación. Lo interesante de los conceptos detrás de la robustez, es que muchos de ellos son propuestos, en algunas ocasiones con otro nombre, en el documento de lineamientos de la NASA⁵. Los conceptos son:

- La modularidad es una de las ideas principales para la robustez y está directamente relacionada a la forma de diseñar de la NASA y es parte fundamental del sistema de hábitat propuesto. Con un diseño modular se logran varios objetivos. El primero es flexibilidad del sistema al tener la capacidad de configurar y reconfigurar el sistema debido a la subdivisión del mismo en unidades más pequeñas e independientes. El segundo objetivo que aporta, es la posibilidad de que el sistema siga funcionando a pesar de los problemas que puedan surgir, debido a que, en caso de emergencia, simplemente se corta del sistema los módulos afectados y el resto del sistema puede seguir funcionando.

- La degeneración es la capacidad de los elementos (módulos) de un sistema que aunque tengan diferente estructura puedan desempeñar la misma función. Es decir, que varios elementos puedan servir para lo mismo. Como ejemplo podría ser que varios módulos sirvan para dormir, aunque su prioridad sea otro tipo de actividad.
- Otro concepto, no mencionado en la metodología, y, que no tiene nombre, lo denominaremos homogeneidad⁶. La *homogeneidad* es cuando un mismo elemento o módulo de un sistema puede ser utilizado para diferentes funciones. Por ejemplo, la NASA puede mejorar su eficiencia, al hacer que un hábitat pueda servir tanto para una superficie planetaria, el tránsito entre planetas o una estación espacial en el espacio vacío. De esta manera, además de ahorrar costos, si un módulo de hábitat en la superficie marciana se encuentra en estado crítico, puede ser sustituido por uno que esté orbitando alrededor de Marte.
- La redundancia consiste en varios módulos que refuercen y cubran el mismo aspecto, aportando también a la capacidad del sistema de seguir funcionando a pesar de una contingencia. Al igual que la modularidad, los módulos del sistema afectados, simplemente se aíslan, permitiendo que el sistema continúe sus funciones
- La robustez distribuida es cuando una función del sistema es realizada por diferentes componentes. Por ejemplo, en vez de poner la planta de generador de oxígeno en un módulo central, que cada módulo habitacional tenga la capacidad de generar oxígeno para sí mismo y un poco más, en caso de emergencia.

Metodología

Pasos para el desarrollo de un sistema auto organizado.

1. *Representación*. El objetivo es la especificación de los componentes del sistema. Se pueden echar mano de vocabulario (que son metáforas), niveles de abstracción, granularidad, variables e interacciones. Para comenzar, se puede dividir el sistema en elementos, identificados como módulos semi-independientes, con una dinámica interna propia. A lo largo de la tesina, se ha desarrollado este paso de la metodología en términos generales. En particular, es aplicado en el modelo de Christaller.

2. *Modelado*. Los modelos matemáticos se pueden utilizar para lograr la optimización en el diseño de ciudades. Debido a la naturaleza de dichos modelos y su implementación, en esta tesina, se deja como capítulo abierto, la posibilidad de profundizar en este tema en una eventual tesis de investigación de maestría.
 - a. Para el modelado es necesario un mecanismo de control, que se puede ver como un mediador. El control no es estricto y busca reducir las interferencias negativas y promover las positivas. Es decir, reducir la fricción y promover la satisfacción global. El mecanismo de control debe ser robusto y adaptativo, no rígido. Además, se debe lograr comunicación entre los elementos.
 - b. El sistema tiene que aprender.
 - c. Los elementos del sistema se deben de poder comunicar
 - d. Es el paso más importante, complicado y extenso
3. *Simulación*. Su objetivo es construir una simulación en la computadora que implemente los modelos desarrollados en la etapa de modelado. La simulación es antes de aplicarse el modelo al mundo real.
4. *Aplicación*. Es literalmente llevar el sistema al mundo real.
5. *Evaluación*. El rendimiento del sistema nuevo debe de medirse respecto a los sistemas anteriores.

Ciudades vivas

Por último, se pueden ver a las ciudades como una tecnología viviente⁷ o compuesta de tecnologías vivientes (información en tiempo real que se transmite entre ciudadanos y sistemas). La tecnología viva o viviente “se utiliza para a la tecnología que se basa en las características nucleares de sistemas vivos” (orgánicos) y es indispensable para que las ciudades en ambientes extremos puedan adaptarse, aprender y evolucionar como asentamiento. La tecnología viviente busca mejorar el rendimiento de las ciudades, lo que permita solucionar autónomamente los problemas, en contraste con las tecnologías tradicionales. La idea es no imponer un control rígido, sino simplemente dejar que el sistema se organice para solucionar sus problemas de forma autónoma. La tecnología viviente es ideal para una ciudad en el espacio debido a la dificultad de la intervención humana.

Los conceptos de la tecnología viviente son similares a las de un sistema autoorganizado:

Adaptación se describe como un cambio útil en un sistema en respuesta a los cambios de su ambiente.

Aprendizaje y evolución es como la adaptación, pero es un cambio permanente en el sistema, debido a cambios permanentes ambientales. La diferencia es la escala de tiempo, el aprendizaje es en el lapso de una vida, la evolución es intergeneracional. El lapso de una vida no necesariamente se refiere a la escala humana, puede ser la vida de una ciudad.

Autonomía es la capacidad de seguir funcionando sin ayuda ni entradas externas de información. Es decir, la independencia del sistema de su ambiente. Adaptación y robustez son requerimientos para la autonomía.

Robustez es un concepto fundamental para los sistemas autoorganizados, se define con más detalle en el capítulo de complejidad. Está relacionado con la resiliencia.

Auto-organización, incluye la auto-reparación y auto-reproducción

Conclusiones capítulo III

Mientras más personas vivan en el espacio, más lugares para desempeñar actividades se van a requerir. Eventualmente, la acumulación de viviendas en el espacio provocará el crecimiento de los asentamientos humanos. Es por eso que será necesario optimizar el acomodo de los hábitats para que sean más eficientes con los recursos limitados con los que se cuentan.

Por su parte, la Agencia Espacial Europea ya propuso que se puede aprovechar las economías de aglomeración (con el concepto de ‘Moon Village’), tal y como sucede en la Tierra, para poder crear colonias más eficientes. Esto implica concentrar los recursos y en un solo lugar para que exista cooperación entre los países, lo que generaría asentamientos humanos en puntos en el espacio exterior que irán escalando con el paso del tiempo.

Con motivo de estas ideas, se propuso el desarrollo de las colonias humanas basado en una planeación adecuada y crecimiento ordenado para un óptimo rendimiento de bloques de 150 personas, utilizando también el concepto de la NASA de diseño modular. Esta propuesta busca iniciar el debate de cuáles son las formas más óptimas de acomodar los módulos básicos de habitabilidad a medida que crezca la economía espacial y con ello las ciudades en el espacio exterior. La propuesta surge del hexágono que es una de las tres figuras geométricas que pueden crear una teselación, es decir, un patrón que cubra todo el espacio y que no se sobreponga.

Además, se realiza un breve recorrido a través de las ciencias de la complejidad en busca de conceptos auxiliares al diseño de sistemas de ciudad en el espacio exterior y en ambientes extremos.

Conclusión

Uno de los problemas principales de la elaboración de la tesina, fue lograr la delimitación de la actuación del urbanista en la configuración de una ciudad. En la carrera de urbanismo impartida en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, la participación de un urbanista en la construcción, diseño y mejoramiento de las ciudades no es tan evidente. ¿Son gestores? ¿Planeadores? ¿Políticos? ¿Diseñadores? ¿Administrativos? ¿Técnicos?... etc.

Cuando los conocimientos no están claramente delimitados, es un reto crear nuevos conceptos del objeto de estudio, como el de ciudades en el espacio, e intentar extrapolar los conocimientos adquiridos a dichas ideas. La ventaja es que, si el estudio de una ciudad es difuso, además de estar en constante evolución, existe un gran nicho para la innovación, nuevas ideas y la utilización de tecnología de punta.

¿Existen metodologías claras que sean modernas y vigentes para resolver los problemas complejos que enfrenta una ciudad en la actualidad? ¿Habría algo más que los lineamientos de los Planes de Desarrollo para planear una ciudad? Las dos habilidades técnicas enseñadas en la carrera, ArcGis y Autocad, ¿son vigentes y suficientes para enfrentar los problemas relacionados a las ciudades? En este sentido es importante que los urbanistas busquen y propongan nuevos métodos y herramientas para solucionar los problemas urbanos. Por ejemplo, a través de la coordinación con facultades dedicadas a las STEMs como la Facultad de Ciencias, de donde se podrían extraer conceptos y metodologías matemáticas y computacionales que aporten al estudio de lo ‘urbano’.

Otro ejemplo es el Instituto de Ciencias de la Complejidad, representantes de las ciencias de la complejidad, que critican el acercamiento tradicional de la investigación académica, en específico la planeación urbana, ya que es demasiado rígida y sin capacidad de visualizar los problemas futuros. En este sentido, proponen estudiar a las ciudades como sistemas vivos capaces de adaptarse. Además de que se propone la tecnología viva para poder mejorar la calidad de vida en las ciudades.

Un caso reciente que muestra la fusión de conocimientos es el Instituto Tecnológico de Massachusetts MIT, donde se juntaron dos carreras, ciencias de la computación y urbanismo,

para crear una nueva carrera llamada “Urban Science and Planning with Computer Science” donde la planeación urbana se complementa con herramientas computacionales como la inteligencia artificial.

En conclusión, se busca repensar todas las ideas de lo que es una ciudad, pero en una nueva forma, con condiciones y reglas de juego diferentes a las que tenemos en la Tierra. Es por ello que se presentó la idea de ciudades en el espacio exterior, sus implicaciones, su viabilidad, su impacto en la cultura popular, la enorme creatividad que las personas tienen cuando se trata de visualizar mundos inexistentes y la construcción de mundos.

Apéndices

Playlist

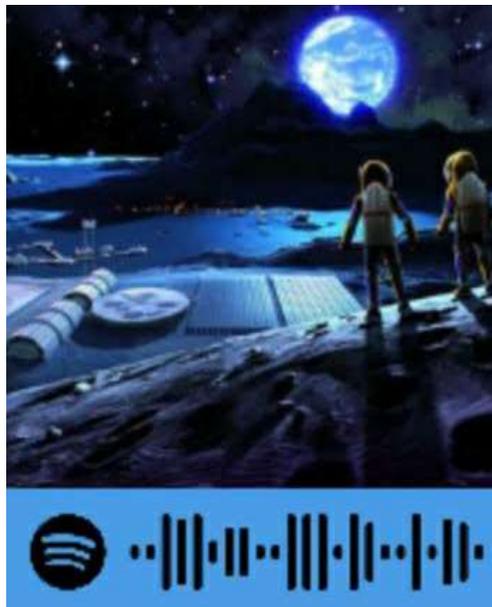
Enlace:

<https://open.spotify.com/playlist/6IEqWznsmaCIpWPpxlmCR?si=foFF7OJlQeKFxrrjO8fWnw>

Url:

spotify:playlist:6IEqWznsmaCIpWPpxlmCR

Código (escanear):



Do not go gentle into that good night,
Old age should burn and rave at close of day;
Rage, rage against the dying of the light.

Though wise men at their end know dark is right,
Because their words had forked no lightning they
Do not go gentle into that good night.

Good men, the last wave by, crying how bright
Their frail deeds might have danced in a green bay,
Rage, rage against the dying of the light.

Wild men who caught and sang the sun in flight,
And learn, too late, they grieved it on its way,
Do not go gentle into that good night.

Grave men, near death, who see with blinding sight
Blind eyes could blaze like meteors and be gay,
Rage, rage against the dying of the light.

And you, my father, there on the sad height,
Curse, bless, me now with your fierce tears, I pray.
Do not go gentle into that good night.
Rage, rage against the dying of the light.¹

Glosario

Cohete espacial

“Un cohete espacial es una máquina que, utilizando un motor de combustión, produce la energía cinética necesaria para la expansión de los gases, que son lanzados a través de un tubo propulsor. Normalmente, su propósito es enviar artefactos, o naves espaciales, carga y hombres al espacio.”

El cohete se divide en varias fases, generalmente son dos o tres fases (aunque pueden ser más). El motivo por el que un cohete se divide en varias fases es porque la gravedad terrestre es muy difícil de superar (9.81 m/s) con una fase

Generalmente, la fase inicial consiste en un el cuerpo principal llamado ‘**booster**’ o **propulsor** y que se compone por el **motor de reacción** y el tanque de **propelente**, esta fase se desprende del cohete al agotar el propelente y regresa a la Tierra. Anteriormente se destruía, pero los cohetes de nueva generación lo que intentan es recuperar esta fase

La fase final de cohete consiste en lo que se llama la **nave espacial**. La nave espacial es la que realizará el recorrido en el espacio vacío para colocar satélites, carga útil o tripulación en el lugar deseado. Una de las ventajas es que, para escapar un cuerpo espacial como la Luna, no es necesario la fase inicial, el ‘booster,’ de un cohete, sino solamente con la nave espacial y con el propelente adecuado.

Cohetes de lanzamiento de elevación pesada

Son cohetes que logran llevar a LEO de 20 a 50 toneladas.

Cohetes de lanzamiento de elevación superpesada

Son cohetes que logran llevar a LEO más de 50 toneladas.

Partes del cohete (fases)

Booster, núcleo o propulsor

Es el cuerpo de la fase inicial que incluye los motores de reacción y el tanque de propelente o combustible. Se utiliza para elevar el cohete completo y lanzarlo fuera de la Tierra. Después de

que termina su función, se desprende del resto del cohete. Esta parte del cohete puede constar de una o más fases, es decir, uno o más propulsores.

Nave espacial

Es la fase final del cohete que se traslada a través del espacio y que transporta carga útil y personas a diferentes destinos espaciales. Está diseñada para funcionar en el espacio exterior. Tiene sus propios propulsores, que pueden ser motores de reacción adecuados para los viajes en el vacío, cuyos propelentes pueden ser derivados de agua, oxígeno e hidrógeno líquido, o en algunos casos, utilizan tecnología basada en la propulsión iónica⁹. Generalmente cuentan con espacio para carga presurizada y despresurizada y, de ser el caso, cabina para la tripulación. Las naves espaciales si son tripuladas deben de tener su propio sistema de soporte vital y funciona como un mini hábitat.

Puede ser desde un simple propulsor con algún objeto en la punta (ej. Satélite) como Centaur, una pequeña cápsula o hasta un vehículo aerodinámico como la 'Starship'.

Otras partes

Motor de reacción

Es lo que genera empuje mediante la expulsión a la atmósfera de gases que provienen de la cámara de combustión. Tienen una tobera por donde son expulsados los gases para generar el empuje.

Propelente

Un propelente es una sustancia química que se utiliza para la producción de energía y que sirve para generar propulsión de un vehículo. Los propelentes funcionan para motores de reacción, también llamados propergol o propulsante, son sustancias muy diversas que se encuentran en estado sólido, líquido, gaseoso o mixto. Estos propelentes reaccionan en la cámara de empuje o cámara de combustión, generando gases a alta presión y gran temperatura. Cuando estos gases salen por la tobera a gran velocidad, generan el empuje



Figura 91 Tobera
(Crédito: Internet)

⁹ Es un tipo de propulsión espacial que utiliza un haz de iones (moléculas o átomos con carga eléctrica) para la propulsión. (Wikipedia)

necesario para elevar y acelerar el cohete. Durante la tesina al propelente se le llamará también combustible.

Ejemplos de propelente

- LOX, Oxígeno líquido
- Gas Natural licuado (GNL) o (LNG)
- CH₂
- Ox-rich
- Criogénicos^r
 - Hidrógeno líquido

Terminología

Aceleración

Es lo que proporciona velocidad al cohete o nave espacial.

Empuje

Es la fuerza con la que un cohete o el motor de reacción aceleran. Se mide en kilonewtons kN

Carga útil

Es capacidad de carga máxima de un vehículo aéreo o espacial, incluyendo todos los eventuales elementos propiamente transportables: combustible, tripulación, pasajeros, mercancías, dispositivos electrónicos como radar, sonar o sensores ópticos, etc.

También se puede referir a la zona de la nave espacial donde se almacena la carga.

La carga útil es protegida por una cofia durante el lanzamiento y el ascenso a órbita contra las presiones dinámicas y las altas temperaturas provocadas por la alta velocidad con que el cohete se desplaza por la atmósfera.

^r Son combustibles utilizados para la maquinaria en el espacio vacío, donde no pueden ser usados combustibles normales por la ausencia de oxígeno que es lo que hace la combustión. Estos combustibles requieren de bajas temperaturas extremas para mantener su estado líquido.

Espacio cislunar

Es todo el espacio comprendido entre la Luna y la Tierra. Abarca 386,242 kilómetros. Este espacio es actualmente un objetivo para la explotación de recursos naturales por diversas empresas.

Espacio profundo²

Es la parte del universo que se encuentra más allá del sistema Tierra-Luna.

Esclusa de aire y escotillas (airlocks and hatches)

Es la interface entre el hábitat y el ambiente que lo rodea. En pocas palabras, su función es mantener las condiciones de vida del hábitat mientras los astronautas salen al exterior. Existen tres tipos de esclusas de aire:

- Para rovers
- Para hábitats
- Para muestras de laboratorio

Inyección translunar (Trans-Lunar Injection TLI)

Es una maniobra de propulsión utilizada para colocar una nave espacial en una trayectoria que la conducirá a la Luna.

Línea Karman

Es una línea imaginaria que por convención generalmente representa la frontera entre la atmósfera terrestre y el espacio exterior. Está a 100 km arriba del nivel del mar.

Newton

Es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades. Proviene de la segunda ley de Newton que matemáticamente se expresa como $F = ma$, donde F es la fuerza, m es la masa y a es la aceleración. Debido a eso, un *newton* (N) puede ser definido en términos de kilogramos (kg), metros (m) y segundos (s) por $1\text{N} = 1 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}$.

En la Tierra, cuya gravedad se puede representar de la siguiente forma $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$, un kilogramo de masa ejerce aproximadamente 9.81 newtons (N).

Con esto tenemos que $1\text{N} = 0.10197 \text{ kg} \times 9.80665 \text{ m/s}^2$. Si tomamos en cuenta que mientras estemos en la Tierra la gravedad será constante, entonces $1\text{N} = 0.10196 \text{ kg} \text{ ó } 1$

kilonewton (kN) = 101.96 kg. Se debe de tomar en cuenta que saliendo de la Tierra 1N no necesariamente es igual a 0.10196 kg.³

Órbitas terrestres

LEO

Una órbita terrestre baja (LEO, por Low Earth Orbit, en inglés) es una órbita alrededor de la tierra entre la atmósfera y el cinturón de radiación de Van Allen. Ésta se encuentra típicamente entre 200 y 2,000 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Esto es generalmente menos que la órbita circular intermedia y lejos de la órbita geoestacionaria.

GEO

Es un tipo particular de órbita geosincrónica u órbita geostacionaria. Es una órbita circular a 35,786 kilómetros de distancia de la Tierra sobre el ecuador, orbitando en el mismo sentido que la rotación de la Tierra.

Desde tierra, un objeto geoestacionario parece inmóvil en el cielo y, por tanto, es la órbita de mayor interés para los operadores de satélites artificiales de comunicación y de televisión.

GTO

Una órbita de transferencia geoestacionaria (GTO por sus siglas en inglés ‘geostationary transfer orbit’) es una órbita de transferencia, es decir que transfiere de una órbita a otra, alrededor de la Tierra en órbita baja terrestre (LEO) y órbita geoestacionaria (GEO).

En otras palabras, es una órbita de transferencia geoestacionaria es una órbita intermedia entre una LEO y una órbita geosíncrona, GEO.

La diferencia entre GTO y GEO es que GTO es una órbita elíptica que coincide en algún punto con GEO que es completamente circular a la Tierra, un cohete puede llevar más carga a GTO que a GEO directamente, aunque de GTO a GEO se puede maniobrar, lo que exige recursos.

HCO

Es una órbita heliocéntrica y son las órbitas de los objetos que gravitan alrededor del sol. Todos los planetas del sistema solar tienen una órbita heliocéntrica.

Puntos de Lagrange

Los puntos de Lagrange son las cinco posiciones en un sistema orbital donde un objeto pequeño, solo afectado por la gravedad, puede estar teóricamente

estacionario respecto a dos objetos más grandes, por ejemplo, el Sol y la Tierra o el sistema de Tierra-Luna.

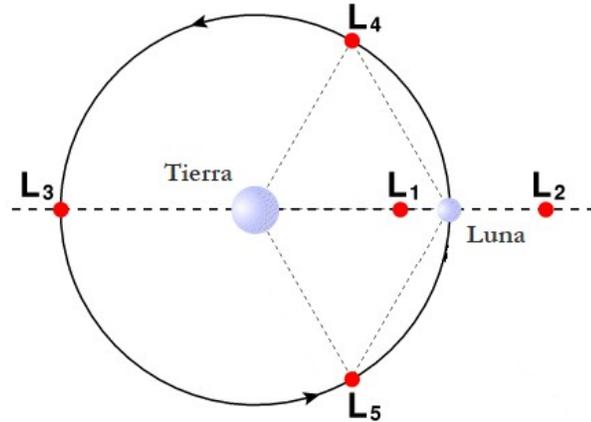


Figura 92 Puntos de Lagrange en el sistema Tierra-Luna
(Crédito:<https://www.ottisoft.com/Activities/Lagrange%20point%20L1.htm>)

Regolito

Regolito es el término general usado para designar la capa de materiales no consolidados, alterados, como fragmentos de roca, granos minerales y todos los otros depósitos superficiales, que descansa sobre roca sólida inalterada.

Pero cuando se refieren a objetos del espacio profundo generalmente se refieren a los objetos (ej. estrellas) que están más allá del sistema solar.

Terratransformación

Es el concepto de transformar el ambiente de un planeta inhóspito a uno similar al de la Tierra para que el hombre pueda habitarlo.

Vehículos espaciales

Rover

Es un vehículo diseñado para desplazarse sobre alguna superficie planetaria o de algún objeto celeste.

Lander

Es un vehículo diseñado para aterrizar sobre la superficie de algún objeto espacial, por ejemplo, un planeta, y colocar una carga.

Orbiter

Es un vehículo diseñado para orbitar un planeta, asteroide o cualquier otro objeto en el espacio exterior.

Términos urbanos

Durante la tesina se utilizarán en principio indistintamente, aunque si es posible buscando el más adecuado, las siguientes palabras:

- Ciudad
- Asentamiento
- Colonia
- Sistema urbano
- Sistema de ciudad
- Sistema de hábitat
- Núcleo urbano

Sinónimos de espacio exterior

- Espacio vacío
- Espacio profundo
- Espacio
- Exoterrestre^s

*Nota: La palabra espacio puede referirse al espacio físico que habitamos o al espacio exterior. El contexto es lo que dotará de significado a la palabra.

^s Se propone esta palabra como sinónimo de extraterrestre. Exo- es un prefijo griego que significa fuera de. exoterrestre sería fuera de los dominios terrestres

Apendice A

Lista de videojuegos relacionados al tema de la tesina:

- EVE online
- Cities: Skylines / Surviving Mars
- Astroneer
- No Man's sky
- Kerbal Space Program
- Minecraft (world building)
- Outer Worlds

EVE online

EVE online es un videojuego de rol multijugador masivo en línea o MMORPG (por sus siglas en inglés *multiplayer online role-playing game*) cuyo escenario es el espacio exterior y contiene 7,800 sistemas estelares. EVE online tiene su propia economía interna, cuya moneda puede ser intercambiada con el mundo real, y que está basada en diversas actividades económicas como el comercio, la minería, piratería y la guerra. Esta dinámica permite que los jugadores formen alianzas y corporaciones, algunas con más de 5,000 miembros⁴. Con dichas alianzas se busca obtener más poder y controlar territorios.

Lo interesante del juego es que, en una expansión, se introdujeron estructuras parecidas a una estación espacial pero que, por sus dimensiones, son consideradas por los desarrolladores como ciudades en el espacio. Estas ciudadelas sirven como un lugar para la concentración de recursos, defensa de ciudadanos, puertos para naves espaciales, un HUB comercial, entre otros. La adaptación de dichas ciudadelas a las necesidades y servicios es modular, como los principios de diseño de la NASA. Estas estructuras no se compran, sino se van construyendo

por los jugadores para adaptarse a sus necesidades. Las estructura más pequeña abarca un supuesto de 45 kilómetros de largo por 23 kilómetros de altura⁵



Figura 93 Una ciudadela (Crédito: EVE online)

Surviving Mars

Paradox Interactive es una compañía sueca que se dedica a publicar videojuegos, uno de ellos es ‘Cities: Skylines’ (2015), un juego cuyo objetivo es la creación y administración de ciudades, es decir es un simulador urbano, pero con un enfoque más moderno. El juego involucra factores como crecimiento de población, usos de suelo, políticas públicas, control de presupuesto, entre otros. Además, otro aspecto importante es la planeación de los sistemas de movilidad como calles, autobuses, metro, aeropuertos y hasta puertos. Se busca ser lo más realista posible sin dejar a un lado el dinamismo que induce a mayor diversión.

⁶‘Cities: Skylines’ ha sido usado por planeadores urbanos para ‘modelar’ de forma general nuevas áreas urbanas y que el modelo sirva como una herramienta para poder visualizar nuevos asentamientos y se puede utilizar como una herramienta para trabajar con la comunidad y

generar nuevas ideas. Posteriormente, Paradox Interactive lanzó en 2018 un videojuego de simulación urbana, pero en Marte, 'Surviving Mars'.



Figura 94 Cities: Skylines (Crédito: https://www.reddit.com/r/CitiesSkylines/comments/dcocka/glasgow_downtown_at_dusk/)



Figura 95 Surviving Mars (Crédito: https://store.steampowered.com/app/801650/Surviving_Mars_Stellaris_Dome_Set/)

Apéndice B

Costos

Datos

EEI

- **Peso:** 420,000 kg
- **Abastecimiento anual:** 32,000 kg⁷⁸
 - 7,000 kg de combustible
 - 9,000 kg de otros
 - 16,000 kg de comida para 6 tripulantes⁹
- **Tripulantes promedio:** 5-6¹⁰

Falcon Heavy

Costo por lanzamiento: \$90 millones de dólares¹¹

Carga útil:¹²

- **A LEO:** 54,400 kg
- **A L1 del Sistema Tierra-Luna (cálculo amateur):** 16,200 kg¹³
- **A Luna:** 16,000 kg
- **A Marte:** 13,800 kg

B330

Dimensiones

- **Largo:** 15.88 metros
- **Diámetro:** 6.7 metros

Peso

- 23,000 kg

Espacio presurizado

- 330 metros cúbicos

Capacidad

- Tripulación: 4-6

Metodología

Se dividió el costo de lanzamiento del cohete ‘Falcon Heavy’ entre su capacidad de carga de diferentes destinos espaciales. Eso arroja como resultado un costo por kilogramo a LEO, la Luna y Marte. Posteriormente, se procedió a revisar el peso de las provisiones anuales a la EEI cuyo promedio de personas es de 6. Este peso se dividió entre el combustible para mantener órbita, la comida y otros. Con esto se conoce el costo de mantenimiento anual de una colonia de 150 personas. Este se divide entre los asentamientos que requieren de combustible para mantenerse en órbita y los que no. El único que requiere de combustible es el de LEO. Marte, la Luna y los puntos de Lagrange (punto fijo en el espacio vacío respecto a la Tierra, en el sistema Tierra-Luna) no requieren.

También se utilizaron los datos del peso de los B330 de la compañía Bigelow Aerospace, cuya capacidad es para 4-6 personas, tiene 330 metros cúbicos y pesa 23,000 kg. Se contemplaron, para que empatara con la propuesta geográfica, hipotéticamente 30 unidades para 5 tripulantes para las colonias en la Luna y en Marte, y, 25 unidades para 6 personas para la colonia en el espacio vacío, es decir LEO y un punto de Lagrange (L1 de Tierra-Luna). Con esto se puede saber el peso total de todas las unidades para una colonia y el costo total de fabricación. Con esto se puede saber cuánto costará la fabricación y el traslado a su ubicación final.

Resultados

Para poder comparar los costos de la Estación Espacial Internacional son:

- **Construcción:** 150 mil millones de dólares
- **Mantenimiento anual:** 1.4 mil millones de dólares

LEO

- **Construcción:** 4 mil millones de dólares
- **Mantenimiento anual:** 58 mil millones de dólares (por el combustible para mantener en órbita).

L1 (Tierra-Luna)

[†] El procedimiento exacto está en una tabla de Excel

- **Construcción:** 6 mil millones de dólares
- **Mantenimiento anual (sin combustible):** 3.5 mil millones de dólares (El costo se reduce drásticamente si no se utiliza combustible para mantener en órbita)

Inyección translunar (TLI)

- **Construcción:** 7.5 mil millones de dólares
- **Mantenimiento anual:** 3.5 mil millones de dólares

Marte

- **Construcción:** 8 mil millones de dólares
- **Mantenimiento anual:** 4 mil millones de dólares

Referencias

Nota: ***En referencias** significa que el material citado se encuentra en una carpeta de PDF's que puedes solicitar al autor a través de un correo electrónico.

1 Espacio

¹ OCED (2011). *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*.

² Existe un estimado de 2 trillones de kilogramos en esta zona espacial de metales industriales, como aluminio, titanio, hierro, cobalto, oro, níquel y plata, entre otros. Además de grandes cantidades de agua en espacio Cislunar.

Bank of America Merrill Lynch (30 de octubre de 2017). *To Infinity and Beyond – Global Space Primer*

<https://go.guidants.com/q/db/a2/1e1ffc185c1d44bd.pdf>

***En referencias**

³ YT – ULA (26 de marzo de 2018). *CisLunar: A Vision for a Self-Sustaining Space Economy*.

<https://www.youtube.com/watch?v=BXHQn82TLKQ>

Consultado: 6 de noviembre de 2018

⁴ Bergin, Chris (22 de marzo de 2018). *ULA laying the foundations for an Ecosphere in CisLunar space*

<https://www.nasaspaceflight.com/2018/03/ula-laying-foundations-econosphere-cislunar-space/>

Consultado: 22 de diciembre de 2018

⁵ David, Leonard (29 de junio de 2016). *Inside ULA's Plan to Have 1,000 People Working in Space by 2045*

<https://www.nasaspaceflight.com/2018/03/ula-laying-foundations-econosphere-cislunar-space/>

Consultado: 22 de diciembre de 2018

⁶ YT – ULA (11 de enero de 2016). *ULA Innovation: CisLunar-1000*.

<https://www.youtube.com/watch?v=uxftPmpt7aA>

Consultado: 2 de febrero de 2020

⁷ *Check out the United Arab Emirates' plans for building a Martian city—right here on Earth*

<https://www.popsci.com/united-arab-emirates-mars-city-pictures>

Consultado: 19 de octubre de 2018 ***En referencias**

También:

<https://www.sciencealert.com/to-prepare-for-mars-the-uae-is-building-a-simulated-martian-city-on-earth>

⁸ El concepto de 'village', tal vez traducido como pueblo, no se refiere en este caso a varias casas juntas con servicios, sino a que varias personas con diferentes habilidades y capacidades se van a reunir para comenzar a construir una comunidad.

<https://moonvillageassociation.org>

⁹ SOM (19 de julio). *The Next Giant Leap: A Moon Village*

<https://medium.com/@SOM/the-next-giant-leap-a-moon-village-bbd280c38009>

Consultado: 30 de diciembre de 2018

¹⁰ Woerner, Jan (S/D). *Moon Village: A vision for global cooperation and Space 4.0*

https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2016/Moon_Village

Consultado 17 de diciembre de 2018

¹¹ Soderman/NLSI staff (S/D). *Building a Lunar Base with 3D Printing*

<https://sservi.nasa.gov/articles/building-a-lunar-base-with-3d-printing/>

Consultado: 17 de diciembre de 2018

¹² Universe Today (30 de abril de 2017). *China and Europe May Build A "Moon Village" in the 2020s*

<https://futurism.com/china-and-europe-may-build-a-moon-village-in-the-2020s/>

Consultado: 17 de diciembre de 2018

¹³ David, Leonard (26 de abril de 2016). *Europe Aiming for International 'Moon Village'*

<https://www.space.com/32695-moon-colony-european-space-agency.html>

Consultado: 17 de diciembre de 2018

¹⁴ S/D (28 de septiembre de 2017). *Moon village the first stop to Mars: ESA*

<https://phys.org/news/2017-09-moon-village-mars-esa.html>

Consultado: 18 de diciembre de 2018

¹⁵ YT - NeoScribe (11 de noviembre de 2017). *Moon Village: The European Space Agency's 3D Printed Moon Base*

<https://www.youtube.com/watch?v=EqsJGzdcPP0>

Consultado: 18 de noviembre de 2018

2 Urbanismo

¹ Existe un debate si el estudiar a las ciudades como organismos es productivo. Las siguientes referencias son de algunos exponentes que describen a la ciudad metafóricamente como un organismo (Carlos Gershenson):

Dawson, C. A. (1926) *The city as an organism, with special reference to Montréal*.

McGill university publications

Spilhaus, A. (1969) *Technology, living cities, and human environment*. American Scientist, 57, 24–36

² IVANOV PETROV, GEORGI (2004) A Permanent Settlement on Mars: The First Cut in the Land of a New Frontier

Master of Architecture Thesis. MIT.

³ Weintraub, David. (6 de noviembre de 2018). *Colonizing Mars means contaminating Mars – and never knowing for sure if it had its own native life*.

<https://theconversation.com/colonizing-mars-means-contaminating-mars-and-never-knowing-for-sure-if-it-had-its-own-native-life-103053>

Consultado: 6 de febrero de 2020

⁴ Atkinson, Nancy (11 de abril de 2008). *Space Debris Illustrated: The Problem in Pictures*.

<https://www.universetoday.com/13587/space-debris-illustrated-the-problem-in-pictures/>

Consultado: 6 de febrero de 2020

⁵ Wall, Mike (21 de octubre de 2019). *NASA Needs to Get with the Times When It Comes to Planetary Protection, Report Finds*.

<https://www.space.com/nasa-change-planetary-protection-policies-report.html>

Consultado: 6 de febrero de 2020

⁶ Facultad de Arquitectura - Urbanismo. *Perfil de egreso*.

<https://arquitectura.unam.mx/egresados-urb.html>

Consultado: 6 de febrero de 2020

⁷ Para profundizar en este tema ver el video en youtu.be llamado: #IPFest 2019 Panel: "World Building"

⁸ Más sobre Alex McDowell

<http://worldbuilding.institute/people/alex-mcdowell>

youtu.be: Alex McDowell - World Building (FoST 2016)

⁹ BOEING-LIPTSIN, M. (2017) *AI and Robotics for the City: Imagining and Transforming Social Infrastructure in San Francisco, Yokohama, and Lviv*. Revista: "Field Actions Science Report". Volumen, edición especial, no.

17

¹⁰ Rachel Macrorie, Simon Marvin & Aidan While (2019). *Robotics and automation in the city: a research agenda*. Urban Geography

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02723638.2019.1698868>

3 Transportación

¹ <https://spacex.com/>

Consultado: 16 de septiembre de 2018

² <https://spacex.com/dragon>

Consultado: 31 de septiembre de 2018

³ Guías: https://en.wikipedia.org/wiki/Falcon_9 y

https://en.wikipedia.org/wiki/Falcon_9_Full_Thrust#Block_5 y https://es.wikipedia.org/wiki/Falcon_9

Consultado: 31 de septiembre de 2018

⁴ <https://www.spacex.com/falcon9>

Consultado: 31 de octubre de 2018

⁵ NASA. (Agosto 2018). *NASA Astronauts Flying Aboard Crew Dragon*.

<https://www.spacex.com/news/2018/08/04/nasa-astronauts-flying-aboard-crew-dragon>

Consultado: 31 de octubre de 2018

⁶ <http://www.spacexstats.xyz/>

Consultado: 31 de octubre de 2018

⁷ <https://www.spacex.com/falcon-heavy#payload>

Consultado: 31 de octubre de 2018

⁸ Guías: https://en.wikipedia.org/wiki/Falcon_Heavy y https://es.wikipedia.org/wiki/Falcon_Heavy

Consultado: 31 de octubre de 2018

⁹ SpaceX (2017). *"Making Life Multiplanetary" – Transcript of Elon Musk's presentation of the 68th International Astronautical Congress, Adelaide Australia*.

Consultado: 31 de octubre de 2018

¹⁰ TWITTER: <https://twitter.com/elonmusk/status/1064740713357750272>

Consultado: 4 de diciembre de 2018

¹¹ Originalmente estaban planteadas 150 toneladas a LEO, posteriormente en la conferencia del 17 de septiembre de 2018 se anunció que se reducirían a 100 toneladas.

¹² (2016) *"Making Humans a Multi-Planetary Species" Summary of Elon Musk's presentation at the 67th International Astronautical Congress in Guadalajara, Mexico, September 26–30, 2016*.

¹³ (2016) *"Making Humans a Multi-Planetary Species" Summary of Elon Musk's presentation at the 67th International Astronautical Congress in Guadalajara, Mexico, September 26–30, 2016*.

¹⁴ SpaceX (2017). *"Making Life Multiplanetary" – Transcript of Elon Musk's presentation of the 68th International Astronautical Congress, Adelaide Australia*.

¹⁵ LEONE, DAN (octubre 2013) *SpaceX Could Begin Testing Methane-fueled Engine at Stennis Next Year*

<https://spacenews.com/37859spacex-could-begin-testing-methane-fueled-engine-at-stennis-next-year/>

Consultado: 20 de octubre de 2018

¹⁶ (2016) *"Making Humans a Multi-Planetary Species" Summary of Elon Musk's presentation at the 67th International Astronautical Congress in Guadalajara, Mexico, September 26–30, 2016*.

¹⁷ SpaceX (2017). *"Making Life Multiplanetary" – Transcript of Elon Musk's presentation of the 68th International Astronautical Congress, Adelaide Australia*.

¹⁸ REDDIT:

https://www.reddit.com/r/space/comments/76e79c/i_am_elon_musk_ask_me_anything_about_bfr/

Comentario de la cuenta oficial de Elon Musk (Elon Musk (Official)) a un */thread* sobre el BFR.

Consultado: 16 de septiembre de 2018

¹⁹ (2016) *"Making Humans a Multi-Planetary Species" Summary of Elon Musk's presentation at the 67th International Astronautical Congress in Guadalajara, Mexico, September 26–30, 2016*.

²⁰ (2016) *"Making Humans a Multi-Planetary Species" Summary of Elon Musk's presentation at the 67th International Astronautical Congress in Guadalajara, Mexico, September 26–30, 2016*.

²¹ <https://www.spacex.com>

Webcast: 17 de septiembre de 2018 a las 6:00 PT.

<https://www.theverge.com/2018/9/17/17869990/elon-musk-spacex-lunar-mission-ticket-moon-passenger-bfr-falcon-yusaku-maezawa>

²² WANG, BRIAN (octubre 2018). *US Air Force Talks SpaceX BFR for going anywhere on earth in under an hour.*

<https://www.nextbigfuture.com/2018/10/us-air-force-talks-spacex-bfr-for-going-anywhere-on-earth-in-under-an-hour.html>

Consultado: 27 de octubre de 2018

²³ RALPH, ERIC (octubre 2018) *SpaceX seeks \$500M loan for major one-time Starlink and BFR investments.*

<https://www.teslarati.com/spacex-500m-loan-starlink-bfr-investment-aid/>

Consultado: 27 de octubre de 2018

²⁴ MOSHER, DAVE (noviembre 2018). *Elon Musk says SpaceX is on track to launch people to Mars within 6 years — here's the full timeline of his plans to populate the red planet*

<https://www.businessinsider.com/elon-musk-spacex-mars-plan-timeline-2018-10>

Consultado: 20 de octubre de 2018

²⁵ Blue Origin. <https://www.blueorigin.com/new-glenn>

Consultado: 1 de noviembre de 2018

²⁶ Caleb, Henry (12 de septiembre de 2017). *Blue Origin enlarges New Glenn's payload fairing, preparing to debut upgraded New Shepard.*

<https://spacenews.com/blue-origin-enlarges-new-glenns-payload-fairing-preparing-to-debut-upgraded-new-shepard/>

Consultado: 1 de noviembre de 2018

²⁷ Blue Origin. <https://www.blueorigin.com/new-shepard>

Consultado: 1 de noviembre de 2018

²⁸ Savov, Vlad (18 de julio de 2018). *A ticket on Jeff Bezos' space tourism rocket will cost at least \$200,000.*

<https://www.theverge.com/2018/7/13/17567872/jeff-bezos-blue-origin-space-tourism-price-ticket>

Consultado: 1 de noviembre de 2018

²⁹ Blue Origin. <https://www.blueorigin.com/engines>

Consultado: 1 de noviembre de 2018

³⁰ Berger, Eric (9 de marzo de 2016). *Behind the curtain: Ars goes inside Blue Origin's secretive rocket factory*

<https://arstechnica.com/science/2016/03/behind-the-curtain-ars-goes-inside-blue-origins-secretive-rocket-factory/>

³¹ REDDIT u/Spacexforthewin (mayo de 2018). *New Glenn + Blue moon manned Lunar Architecture*

https://www.reddit.com/r/BlueOrigin/comments/87fw5g/new_glenn_blue_moon_manned_lunar_architecture/

Consultado: 14 de diciembre de 2018

³² Hunter-Hart, Monica (7 de abril de 2017). *Blue Origin is Still Going to the Moon, Even if Mars is Hip*

<https://www.inverse.com/article/30049-blue-origin-moon-lander-nasa>

Consultado: 14 de diciembre de 2018

³³ Martin, Sean (31 de mayo de 2018). *Earth to be purely RESIDENTIAL as companies will move to the MOON — Jeff Bezos*

<https://www.express.co.uk/news/science/967687/jeff-bezos-amazon-blue-origin-moon-base-european-space-agency-nasa>

Consultado: 14 de diciembre de 2018

³⁴ YT – United Launch Alliance (1 de junio de 2015). *Vulcan...in 134 seconds*

<https://www.youtube.com/watch?v=SqCTK7BmLHA>

Consultado: 23 de diciembre de 2018

³⁵ Space Launch Report (Actualizado continuamente). *Vulcan Data Sheet*

<http://www.spacelaunchreport.com/vulcan.html>

Consultado: 23 de diciembre de 2018

³⁶ YT - United Launch Alliance (11 de enero de 2016). *ULA Innovation: CisLunar-1000*

https://www.youtube.com/watch?time_continue=168&v=uxftPmpt7aA

Consultado: 22 de diciembre de 2018)

³⁷ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/space.html>
Consultado: 22 de octubre de 2018

³⁸ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/mars-base-camp.html>
Consultado: 22 de octubre de 2018

³⁹ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/orion.html#exploration-mission-1>
Consultado: 24 de octubre de 2018

⁴⁰ NASA (enero de 2011). *Preliminary Report Regarding NASA's Space Launch System and Multi-Purpose Crew Vehicle*. NASA.

⁴¹ RUCKER, M. A. y THOMPSON, SHELBY (2012) *Developing A Habitat for Long Duration, Deep Space Missions*.
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140012748.pdf>
Consultado: 24 de octubre de 2018

⁴² NASA (mayo de 2017). *NASA Affirms Plan for First Mission of SLS, Orion*
<https://www.nasa.gov/feature/nasa-affirms-plan-for-first-mission-of-sls-orion>
Consultado: 24 de octubre de 2018

⁴³ STEPHEN, CLARK (noviembre 2017). *NASA expects first Space Launch System flight to slip into 2020*
<https://spaceflightnow.com/2017/11/20/nasa-expects-first-space-launch-system-flight-to-slip-into-2020/>
Consultado: 24 de octubre de 2018

⁴⁴ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/insight-mars-lander.html>
Consultado: 27 de octubre de 2018

También:
<https://www.youtube.com/watch?v=YY-BFEpd7VI>

⁴⁵ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/juno.html>
Consultado: 27 de octubre de 2018

⁴⁶ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/osiris-rex.html>
Consultado: 27 de octubre de 2018

⁴⁷ <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/maven.html>
Consultado: 27 de octubre de 2018

⁴⁸ NASA (septiembre 2014). *NASA's Newest Mars Mission Spacecraft Enters Orbit around Red Planet*.
<https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2014-318>
Consultado: 27 de octubre de 2018

4 Hábitat

¹ Howel, Elizabeth (4 de enero de 2018). *International Space Station: Facts, History & Tracking*.
<https://www.space.com/16748-international-space-station.html>
Consultado: 4 de enero de 2018

² Melina, Remy (3 de agosto de 2017). *International Space Station: By the Numbers*.
<https://www.space.com/8876-international-space-station-numbers.html>
Consultado: 4 de enero de 2018

³ La empresa Axiom fue seleccionada por la NASA (como parte del programa NextSTEP-2) para tener acceso al "nodo 2" de la Estación Espacial Internacional para comenzar a desarrollar una estación espacial comercial.
Axiom Space (27 de enero de 2020). *Axiom selected by NASA for access to International Space Station port*.
<https://www.axiomspace.com/post/axiom-selected-by-nasa-for-access-to-international-space-station-port>
Consultado: 4 de febrero de 2020
Una animación interesante de los planes se encuentra en el siguiente video:
<https://www.youtube.com/watch?v=Xx2d0lasBbs>
Consultado: 4 de febrero de 2020

⁴ NASA (18 de abril de 2018). *Deep Space Habitation Overview*.
<https://www.nasa.gov/deep-space-habitation/overview>
Consultado: 9 de diciembre de 2018

-
- ⁵ NASA (28 de julio de 2017). *NextSTEP Partners Develop Ground Prototypes to Expand our Knowledge of Deep Space Habitats*
<https://www.nasa.gov/feature/nextstep-partnerships-develop-ground-prototypes>
Consultado: 19 de noviembre de 2018
- ⁶ Berger, Eric (3 de octubre de 2017). *NASA tries an inflatable room on the space station, likes it.*
<https://arstechnica.com/science/2017/10/nasa-tries-an-inflatable-room-on-the-space-station-likes-it/>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ⁷ NASA. *TransHab Concept.* <https://spaceflight.nasa.gov/history/station/transhab/>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ⁸ Grondin, Yves-A. (17 de febrero de 2014). *Affordable habitats means more Buck Rogers for less money says Bigelow.*
<https://www.nasaspaceflight.com/2014/02/affordable-habitats-more-buck-rogers-less-money-bigelow/>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ⁹ <http://bigelowaerospace.com/pages/b330/>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ¹⁰ NASA (28 de julio de 2017). *NextSTEP Partners Develop Ground Prototypes to Expand our Knowledge of Deep Space Habitats.*
<https://www.nasa.gov/feature/nextstep-partnerships-develop-ground-prototypes>
Consultado: 4 de noviembre de 2018 *En referencias
- ¹¹ YT - Bigelow Aerospace (21 de diciembre de 2017). *Space architecture for the 21st century and beyond.*
https://www.youtube.com/watch?v=H10wHWBu_6M
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ¹² Simberg, Rand (10 de octubre de 2010). *Bigelow Aerospace Shows Off Bigger, Badder Space Real Estate.*
<https://www.popularmechanics.com/space/a6247/bigelow-aerospace-ba2100-hotel/>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ¹³ ULA (17 de octubre de 2017). *Bigelow Aerospace and United Launch Alliance Announce Agreement to Place a B330 Habitat in Low Lunar Orbit.*
<https://www.ulalaunch.com/about/news/2017/10/17/bigelow-aerospace-and-united-launch-alliance-announce-agreement-to-place-a-b330-habitat-in-low-lunar-orbit>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ¹⁴ YT – ULA (17 de octubre de 2017). *Lunar. Sooner.™*
https://www.youtube.com/watch?v=a62_n1zo4I0
Consultado: 6 de noviembre de 2018
- ¹⁵ Grondin, Yves-A. (17 de febrero de 2014). *Affordable habitats means more Buck Rogers for less money says Bigelow.*
<https://www.nasaspaceflight.com/2014/02/affordable-habitats-more-buck-rogers-less-money-bigelow/>
Consultado: 5 de noviembre de 2018
- ¹⁶ Boeing (3 de abril de 2017). *Boeing Unveils Deep Space Concepts for Moon and Mars Exploration*
<https://boeing.mediaroom.com/2017-04-03-Boeing-Unveils-Deep-Space-Concepts-for-Moon-and-Mars-Exploration>
Consultado: 19 de noviembre de 2018
- ¹⁷ YT - NeoScribe (1 de noviembre de 2017). *NASA's Deep Space Gateway, the Spaceport to Mars!*
<https://www.youtube.com/watch?v=nuZodDBeBqW>
Consultado: 4 de enero de 2019
- ¹⁸ NASA (2 de mayo de 2018). *NASA's Lunar Outpost will Extend Human Presence in Deep Space*
<https://www.nasa.gov/feature/nasa-s-lunar-outpost-will-extend-human-presence-in-deep-space>
Consultado: 20 de diciembre de 2018
- ¹⁹ YT – NeoScribe (28 de octubre de 2017). *NASA's X3 Ion Thruster: Will Ion Propulsion get us to Mars faster?*
<https://www.youtube.com/watch?v=DFvRdc0xJvA>
Consultado: 4 de enero de 2019
- ²⁰ Pultarova, Tereza (13 de octubre de 2017). *Ion Thruster Prototype Breaks Records in Tests, Could Send Humans to Mars*
<https://www.space.com/38444-mars-thruster-design-breaks-records.html>

Consultado: 4 de enero de 2019

²¹ Crusan, Jason (27 de marzo de 2018). *Future Human Exploration Planning: Lunar Orbital Platform-Gateway and Science Workshop Findings*

<https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/20180327-crusan-nac-heoc-v8.pdf>

***En referencias**

²² NASA HQ y Gerstenmaier, William (S/D). *Cislunar and Gateway Overview*

<https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/cislunar-update-gerstenmaier-crusan-v5a.pdf>

***En referencias**

²³ Clifford, Catherine (19 de septiembre de 2018). *Look inside a deep space habitat for NASA to take astronauts to Mars*

<https://www.cnbc.com/2018/09/19/nasa-nextstep-photos-inside-deep-space-habitat-to-take-people-to-mars.html>

Consultado: 19 de diciembre de 2018

²⁴ Pultarova, Tereza (26 de octubre de 2017). *European space officials outline desired contribution to Deep Space Gateway*

<https://spacenews.com/european-space-officials-outline-desired-contribution-to-deep-space-gateway/>

Consultado: 19 de diciembre de 2018

²⁵ NASA (24 de octubre de 2018). *3D-Printed Habitat Challenge*

https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/3d-printed.habitat.challenge.fs_10-24-17.pdf

***En referencias**

²⁶ NASA (7 de noviembre de 2017). *NASA Opens \$2 Million Third Phase of 3D-Printed Habitat Competition.*

https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/nasa-opens-2M-third-phase-of-3d-printed-habitat-competition

Consultado: 9 de diciembre de 2018

²⁷ NASA (28 de junio de 2018). *Top 10 Teams Selected in Virtual Model Stage of NASA's 3D-Printed Habitat Challenge.*

https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/top-10-virtual-model-stage

Consultado: 9 de diciembre de 2018

²⁸ NASA (23 de julio de 2018). *Top Five Teams Win a Share of \$100,000 in Virtual Modeling Stage of NASA's 3D-Printed Habitat Competition.*

https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/five-teams-win-a-share-of-100000-in-virtual-modeling-stage

Consultado: 9 de diciembre de 2018

²⁹ YT – NASA (23 de julio de 2018). *Team Zopherus - Phase 3: Level 1 of NASA's 3D-Printed Habitat Challenge.*

https://www.youtube.com/watch?v=CZEUYKePV_0&feature=youtu.be

Consultado: 9 de diciembre de 2018

³⁰ S/D (S/D). *TRIGON Modular Robotic Construction System.*

<http://www.plugin-creations.com/us/ash/design/projects/proj35/summary.pdf>

³¹ Howe, A.S. Gibson, I. (2006). *MOBITAT2: A mobile habitat based on the trigon construction system.*

Collection of Technical Papers - Space 2006 Conference 3: 1643-1665. ScholarBank@NUS Repository.

https://www.researchgate.net/publication/266216267_MOBITAT2_A_Mobile_Habitat_Based_on_the_Trigon_Construction_System

³² Moore, Rowan (12 de diciembre de 2018). Archigram: el grupo de arquitectos británicos que se adelantó al futuro

https://www.clarin.com/arq/arquitectura/archigram-grupo-arquitectos-britanicos-adelanto-futuro_0_m4zix2EHH.html

Consultado: 22 de diciembre de 2018

³³ <http://madeinspace.us/>

³⁴ La frase fue dicha por Jason Dunn, cofundador de Made in Space. Referencia en el artículo de Internet:

Solon, Olivia (21 de abril de 2018). 'It's about expanding Earth': could we build cities in space? *The Guardian.*

<https://www.theguardian.com/science/2018/apr/21/expanding-earth-could-we-build-cities-in-space>

³⁵ Son muchos los estudios y las investigaciones realizadas a cubrir las necesidades básicas del ser humano y la supervivencia de este en el espacio. Algunos pocos ejemplos para consulta son:

-
- NASA. *Closing the Loop: Recycling Water and Air in Space*
https://www.nasa.gov/pdf/146558main_RecyclingEDA%28final%29%204_10_06.pdf
 - Llorente, Briardo (26 de julio de 2018). *How to grow crops on Mars if we are to live on the red planet*
<https://theconversation.com/how-to-grow-crops-on-mars-if-we-are-to-live-on-the-red-planet-99943>
 Consultado: 4 de febrero de 2020
 - Mathewson, Samantha (8 de mayo de 2019). *Algae 'Bioreactor' on Space Station Could Make Oxygen, Food for Astronauts*
<https://www.space.com/space-station-algae-experiment-fresh-air.html>
 Consultado: 4 de febrero de 2020

³⁶ AEM - Alva, Federico (1 de septiembre de 2014). Sistemas de apoyo de vida ecológica controlada (CELSS)
<https://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=159>
 Consultado: 13 de enero de 2019

³⁷ NASA (S/D). *International Space Station, Environmental Control and Life Support System*
https://www.nasa.gov/centers/marshall/pdf/104840main_eclss.pdf

³⁸ NASA (revisión: 5 de junio de 2014) *HUMAN INTEGRATION DESIGN HANDBOOK (HIDH)*
https://ston.jsc.nasa.gov/collections/TRS/_techrep/SP-2010-3407.pdf

³⁹ International Space University (2009). *TP Analogs*. P. 12-26 ***En referencias**

⁴⁰ CONNORS, M., A. HARRISON, and F. AKINS. 1985. *Living Aloft: Human Requirements for Extended Spaceflight*. Washington DC: NASA.

⁴¹ KANAS, N. and D. MANZEY. 2003. *Space Psychology and Psychiatry*. California: Microcosm Press and Kluwer Academic Publishers.

5 Alimentación

¹ El autor plantea un modelo para un asentamiento de un millón de personas, que crecerá por migración desde la Tierra y por nacimientos propios en el planeta Marte. También, expone que, siguiendo este modelo, la colonia humana sería auto-sustentable después de 100 años.

CANNON, K. and BRITT, T. (2019) *Feeding One Million People on Mars*. University of Central Florida.
<https://www.liebertpub.com/doi/pdf/10.1089/space.2019.0018>

Consultado: 30 de octubre de 2019

6 Movilidad

¹ Existen estudios que profundizan más en este tema, en particular al cambio que existe en la forma de caminar con las diferentes gravedades. Se recomienda consultar el ensayo titulado *The role of gravity in human walking: pendular energy exchange, external work and optimal speed* de los autores G A Cavagna, P A Willems, y N C Heglund publicado en el año 2000

² International Space University (2009). *TP Analogs*, pg. 59.

***En referencias**

³ Adams, Constance M. (enero de 2002). *Sociokinetic Analysis as a Tool for Optimization of Environmental Design*. P. 72

***En referencias**

7 Gobernanza

¹ Harari realiza una reflexión en torno al sentido de comunidad, que actualmente se ha ido disipando. El concepto de nación o afiliación política ha intentado sustituir esta carencia de comunidad, sin mucho éxito, y, para Harari nunca lo tendrá. Por otro lado, alaba el manifiesto de Facebook de crear una comunidad global, cuestión debatible por los escándalos de utilización de datos personales.

Harari, Yuval N. (2018) *21 Lessons for the 21st Century*. Spiegel & Grau

² Página web: asgardia.space

³ Asgardia. *Constitution of The Space Kingdom of Asgardia*

<https://asgardia.space/assets/doc/constitution/english.pdf>

Consultado: 5 de febrero de 2020

⁴ Ashurbeyli, Igor. *Decree No. 9. 9 September 2017*.

<https://asgardia.space/storage/page/publication/attach/a0/69/a069a8940b7af40e8bc9b539a408df3307cf925d443d51d5cb2e91542e39190f.pdf>

Consultado: 5 de febrero de 2020

⁵ Mosher, Dave. *The 'space kingdom' Asgardia says it's the first nation with all of its territory in orbit—but legal experts are dubious*. — Business Insider

<https://www.businessinsider.com/asgardia-1-satellite-first-country-exist-space-2017-12>

Consultado: 5 de febrero de 2020

8 Christaller

¹ Ideas discutidas en un foro en la página web de papers académicos ResearchGate:

https://www.researchgate.net/post/What_are_the_differences_between_conceptual_framework_and_the_oretical_framework

² Los calpulli rurales podían consistir de entre 1, hasta 128 casas.

(<https://www.mexicolore.co.uk/aztecs/ask-us/what-exactly-was-a-calpulli>)

Los kibutz tenían un promedio de 450 miembros.

(The Limits of Equality: Insights From the Israeli Kibbutz, Ran Abramitzky * May 19, 2006)

³ Dunbar, R. I. M. (1992). *Neocortex size as a constraint on group size in primates*. Journal of Human Evolution. 22 (6): 469–493.

⁴ Harari, Yuval N., Purcell, J., & Watzman, H. (2015). *Sapiens: A brief history of humankind*.

⁵ Allen, Christopher (10 de marzo de 2004). *The Dunbar Number as a Limit to Group Sizes*.

http://www.lifewithalacrity.com/2004/03/the_dunbar_num.html

Consultado: 13 de enero de 2019 ***En referencias**

⁶ Nelson, M., Gray K. y Allen, J. (3 de julio de 2015). *Group dynamics challenges: Insights from Biosphere 2 experiments*

***En referencias**

⁷ Skovgard, Joachim (31 de enero de 2017). *What is the minimum number of people needed to start an isolated colony?*

<https://www.quora.com/What-is-the-minimum-number-of-people-needed-to-start-an-isolated-colony>

Consultado: 1 de diciembre de 2018

⁸ Marin, Frédéric y Beluffi, Camille (febrero de 2018). *Computing the minimal crew for a multi-generational space travel towards Proxima Centauri b*. JBIS Vol 70 No.2

https://www.researchgate.net/publication/325709269_Computing_the_minimal_crew_for_a_multi-generational_space_travel_towards_Proxima_Centauri_b

⁹ Es la velocidad máxima alcanzada por un vehículo creado por hombres, 'The Parker Solar Probe'. Es una sonda (no tripulada) lanzada al sol para estudiar la estructura y dinámicas de los campos magnéticos y de plasma en los vientos solares.

-
- ¹⁰ Carrington, Damian (15 de febrero de 2002). “*Magic number” for space pioneers calculated.* <https://www.newscientist.com/article/dn1936-magic-number-for-space-pioneers-calculated/> Consultado: 1 de diciembre de 2018
- ¹¹ Fecht, Sarah (2 de abril de 2014). *How Many People Does It Take to Colonize Another Star System?* <https://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a10369/how-many-people-does-it-take-to-colonize-another-star-system-16654747/> Consultado: 1 de diciembre de 2018 *En_referencias
- ¹² Christaller, Walter (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland.* Jena, Alemania. Gustav Fischer.
- ¹³ Ahsan, M., Bajpai, D., y Kamil, A. (S/D). *Central Place Theory - Christaller and Losch.* https://epgp.inflibnet.ac.in/epgpdata/uploads/epgp_content/S000017GE/P001696/M020263/ET/1496059488UrbanGeog-CentralPlaceTheory-Final-Azka.pdf
- ¹⁴ Johnson Space Center NASA, varios autores (abril de 2015). *Minimum Acceptable Net Habitable Volume for Long-Duration Exploration Missions.* https://ston.jsc.nasa.gov/collections/trs/_techrep/TM-2015-218564.pdf *En_referencias
- ¹⁵ NASA (revisión: 5 de junio de 2014) *HUMAN INTEGRATION DESIGN HANDBOOK (HIDH)* https://ston.jsc.nasa.gov/collections/TRS/_techrep/SP-2010-3407.pdf *En_referencias
- ¹⁶ Rucker, Michelle A. y Thompson, Dr. Shelby. (23 de mayo de 2012). *Developing a Habitat for Long Duration, Deep Space Missions.* Lockheed Martin/Johnson Space Center http://csc.caltech.edu/references/RuckerThompson_DeepSpaceHab.pdf *En_referencias

9 Complejidad

- ¹ La teoría del caos es la rama de las matemáticas, la física y otras ciencias que trata ciertos tipos de sistemas complejos y sistemas dinámicos no lineales muy sensibles a las variaciones en las condiciones iniciales. Encyclopædia Britannica - The Editors of Encyclopaedia Britannica. *Chaos theory.* <https://www.britannica.com/science/chaos-theory> Consultado: 2 de febrero de 2020
- ² Una colonia de hormigas es posible verlo como un único súper organismo. La complejidad sirve para estudiar a las hormigas, porque cualquier acción que tome un elemento (hormiga) de la colonia, afecta al resto de las hormigas. Además, tienen mecanismos de un sistema autoorganizado, lo que les ayuda a adaptarse a gran cantidad de ambientes. Además, cuando se crea un sistema artificial, es de utilidad observar a la naturaleza y tratar de emularla. Por ejemplo, en ciencias de la computación existe el algoritmo hormiga, que está basado en el comportamiento de las hormigas. Para una lectura más profunda sobre este tema se recomienda el siguiente libro:
GORDON, D. (2010) *Ant Encounters: Interaction Networks and Colony Behavior (Primers in Complex Systems Book 1.)* Princeton University Press
- ³ La metodología seleccionada es propuesta por Carlos Gershenson, investigador en el C3 de la UNAM. GERSHENSON, C. (2007) *Design and Control of Self-organizing Systems.* CopIt ArXives
- ⁴ Encyclopædia Britannica - Rogers, Kara. *Scientific modeling.* <https://www.britannica.com/science/scientific-modeling> Consultado: 2 de febrero de 2020
- ⁵ NASA - Journey to Mars: Pioneering Next Steps in Space Exploration. Pg. 12 y otras.
- ⁶ “La NASA puede reducir los costos de desarrollo y, incrementar la fiabilidad, y cerciorarse de la seguridad de la tripulación en una serie de misiones al reutilizar y maximizar las intersecciones entre los hábitats (y sus subsistemas) para superficie, tránsito y lunas marcianas.” NASA *Journey to Mars: Pioneering Next Steps in Space Exploration* (2014), pg. 31
- ⁷ En el ensayo se proponen soluciones de problemas urbanos a través del concepto de tecnología viviente y la información en tiempo real. Por ejemplo, existe una propuesta para mejorar el tráfico con semáforos

adaptativos al tráfico en tiempo real. Se discuten varias dimensiones de la ciudad y se bosqueja como podrían ser solucionados a través de tecnología viviente
Gershenson, C. (11 de marzo de 2013) *Living in Living Cities*. UNAM y C3

Apéndices

¹ Dylan Thomas

² Stack Exchange – user: Violette (2 de abril de 2016) **Question:** *What is the definition of “deep space”?*
<https://astronomy.stackexchange.com/questions/14391/what-is-the-definition-of-deep-space>
Consultado: 4 de febrero de 2020

³ Seguridad Industrial, Alturas y Salud Ocupacional. (3 de mayo de 2013) *Que es Kilonewton (kN)*
<http://industrial-alturasysaludocupacinoal.blogspot.com/2013/05/que-es-kilonewton-kn.html>
Consultado: 4 de febrero de 2020

⁴ Estadísticas sobre corporaciones y alianzas.

<https://evewho.com/corp/>
Consultado: 17 de abril de 2019

⁵ Webster, Andrew (14 de mayo de 2016). *Get a close-up look at EVE Online’s massive new space cities*
<https://www.theverge.com/2016/5/4/11591324/eve-online-citadel-expansion-trailer>
Consultado: 29 de abril de 2019

⁶ Donnelly, Joe (23 de agosto de 2016). *Cities: Skylines used by Swedish city planners to design new city district*
<https://www.pcgamer.com/cities-skylines-used-by-swedish-city-planners-to-design-new-city-district/>
Consultado: 29 de abril de 2019

⁷ NASA (S/D). *Shipping Cargo to the International Space Station*.
<https://spacemath.gsfc.nasa.gov/news/10Page127.pdf>
Consultado: 13 de enero de 2019

⁸ Wikipedia. *Unmanned spaceflights to the International Space Station*
https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_spaceflights_to_the_International_Space_Station
Consultado: 13 de enero de 2019

⁹ Melina, Remy (3 de agosto de 2017). *International Space Station: By the Numbers*
<https://www.space.com/8876-international-space-station-numbers.html>
Consultado: 13 de enero de 2019

¹⁰ Quora- Web, Timothy (17 de octubre de 2018). *How many humans are in space at any given time, on average?*
<https://www.quora.com/How-many-humans-are-in-space-at-any-given-time-on-average>
Consultado: 13 de enero de 2018

¹¹ SpaceX. <https://www.spacex.com/about/capabilities>
Consultado. 13 de enero de 2019

¹² Williams, Matt (25 de julio de 2015). *Falcon Heavy Vs. Saturn V*
<https://www.universetoday.com/129989/saturn-v-vs-falcon-heavy/>
Consultado: 13 de enero de 2018

¹³ Reddit – (2016) *Mass to L1 with falcon heavy?*
https://www.reddit.com/r/spacex/comments/3okv5t/mass_to_l1_with_falcon_heavy/
Consultado: 13 de enero de 2019