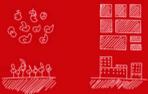
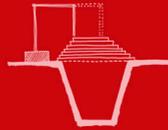
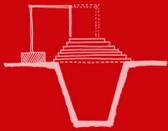


PARA UNA CORRECTA VISUALIZACIÓN DEL TRABAJO SE
RECOMIENDA HACERLO CON UN LECTOR PDF QUE
PERMITA ACTIVAR LA VISTA A DOS PÁGINAS.



MARTE 2025

TERRITORIO DE OPORTUNIDAD

ALFONSO PINTO PÉREZ
(TFG-G. TOMÁS GARCÍA GARCÍA)





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
GRADO EN FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA

MARTE 2025. TERRITORIO DE OPORTUNIDAD
VIABILIDAD DE ASENTAMIENTOS HUMANOS EN MARTE EN UN FUTURO

Trabajo Fin de Grado presentado por ALFONSO PINTO PÉREZ, con DNI 29498541-Y, siendo el tutor del mismo el profesor TOMÁS GARCÍA GARCÍA del grupo TFG-G. Curso 2017/2018

ÍNDICE

1. ¿POR QUÉ?	11
2. HITOS HISTÓRICOS EN LA CONQUISTA DEL ESPACIO	15
3. CINCO TEXTOS, CINCO IDEAS	19
3.1. MIL AÑOS DE HISTORIA NO LINEAL	19
3.2. GRUDRISSE	20
3.3. ASÍ HABLÓ ZARATUSTRÁ	21
3.4. LE PARASITE	21
3.5. ORIGEN DE LAS CÉLULAS EUKARIÓTICAS	22
4. IDEAS EXTRAPOLABLES	23
4.1. MESETA DE TAOS – MICHAEL REYNOLDS	23
4.2. ARQUITECTURA DESPLEGABLE – EMILIO PÉREZ PIÑERO	26
4.3. INTERVENCIÓN EN LA MONTAÑA DE TINDAYA – EDUARDO CHILLIDA	27
4.4. VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON IMPRESORAS 3-D	30
4.5. LA ROCCA PAOLINA, CIUDAD SUBTERRÁNEA DE PERUGIA	31
4.6. FUNCIONAMIENTO DE LAS BASES ANTÁRTICAS	32
5. CONDICIONES	33
5.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MARTE Y LA TIERRA	36
5.2. GESTIÓN DE RECURSOS EN MARTE	37
5.3. DÓNDE VIVIREMOS EN MARTE	39
6. PROPUESTAS DE PROYECTOS EN MARTE	43
6.1. BUBBLE BASE – TRINDOM (2015)	43
6.2. DONUT HOUSE – A.R.C.H. (2015)	45
6.3. FALLAMARS – GAREID (2015)	46
6.4. LAVAHIVE – LAVAHIVE TEAM (2015)	48
6.5. MARS COLONIZATION - ZA ARCHITECTS (2013)	52
6.6. MARS HABITAT – FOSTER + PARTNERS (2015)	54
6.7. MARS ICE HOUSE – CLOUDS AO (2015)	58
6.8. MARS SCIENCE CITY – BIG (2014)	60
6.9. NEW SHANGHAI – STEFANO BOERI (2017)	62
6.10. OUTPOST OLYMPUS – RED HOUSE (2015)	63
6.11. REDWOOD FOREST – VALENTINA SUMINI + MIT (2017)	64
6.12. REDWORKS HABITAT – REDWORKS (2015)	65
6.13. SFERO HOUSE – FABULOUS (2015)	66
7. PAUTAS Y CONCLUSIONES	69
7.1. PROYECTOS SUBTERRÁNEOS	69
7.2. ESTRUCTURAS PLEGABLES/USO DE IMPRESORAS 3-D	70
7.3. ESTRUCTURAS Y MATERIALES LIVIANOS	72
7.4. UN FUTURO PROMETEDOR	73
8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	74
8.1. BIBLIOGRAFÍA	74
8.2. REFERENCIAS EN LA WEB	75
8.3. FILMOGRAFÍA	75

“El ingenio arquitectónico no está limitado a este mundo”

Mark Kushner

1. ¿POR QUÉ?

“Marte es solo un punto en el cielo, a más de 64 millones de kilómetros. Allí no hay vida, allí nunca ha muerto nada. Nosotros vamos a darle vida.”

(Rumbo a lo desconocido. Mark Elijah Rosenberg; 2016)

“Solo empujando a la humanidad hasta sus límites, hasta el fondo del océano y hacia el espacio, haremos descubrimientos en ciencia y tecnología que puedan adaptarse para mejorar la vida en la Tierra.”

Alexander Kumar

Comenzar un trabajo adaptando una frase de una película no es, quizás, la mejor forma de hacerlo. Sin embargo, por ahora, esto no deja de ser ciencia ficción. *Marte* durante años ha sido objeto de misterio, intriga y fantasía. Pero ahora es más, es el siguiente objetivo en la exploración humana del espacio.

Vamos a *Marte*. Y no solo unos pocos de astronautas; miles de personas colonizarán el planeta. Seguro que suena a locura; y sin embargo, el deseo que siente la humanidad de explorar ubicaciones extremas y construir en ellas es muy potente. La exploración forma parte de nuestro ADN y algunos de los mayores avances de la civilización y la tecnología surgieron porque exploramos. Todo esto suena muy bien, pero, no obstante, se plantea una pregunta crucial: ¿cómo hacerlo?

El primer problema con *Marte* es que la historia está en nuestra contra. Llevamos enviando robots muchos años y con resultados muy inciertos. Por otro lado, los humanos llevamos miles de años habitando la *Tierra*. En este siglo, por primera vez, la idea de ir al planeta rojo es una posibilidad creíble.

Parafraseando a *Stephen Hawking* (1942–2018) *“la Tierra se está volviendo demasiado pequeña para nosotros, nuestros recursos están siendo drenados a un ritmo alarmante”*. Según la NASA seremos capaces de llegar a *Marte* en la década de 2040. Para *Elon Musk*¹ (n. 1971) esa fecha incluso es muy tardía; afirma que se conseguirá antes de 2025². La única realidad es que, a día de hoy, el planeta está *“habitado”* por numerosos robots, y que colonizarlo no resultará una tarea fácil.

En unos años se espera que algo que hasta ahora solo hemos podido imaginar o ver en películas de ciencia ficción sea una realidad. Ya se han dado los primeros pasos para ello. El mayor reto de la humanidad seguramente requerirá de la inversión de grandes cantidades de dinero y de la participación, durante años, de numerosos científicos especializados. Exigirá asimismo tecnología muy avanzada, metodologías nunca antes vistas y una investigación considerable.

Y cuando, a pesar de todo, los humanos podamos llegar a nuestro objetivo, nuestras posibilidades de éxito dependerán del uso de materiales y técnicas lo más simples posibles. Esto es lo que brindará a los astronautas la posibilidad de reaccionar rápidamente ante cualquier

1 CEO de *SpaceX* y *Tesla Motors*, entre otros.

2 Sobre esta fecha existen discrepancias aludiéndose, en algunos casos, a 2022 o a 2024.

problema que pudiera presentarse una vez se encuentren fuera de la *Tierra*.

Marte es solo el inicio; el logro supondrá un enorme avance para la ciencia, haciendo que la exploración de otros planetas más lejanos sea posible. Para bien o para mal, nacerá una generación de exploradores espaciales que nos ofrecerán una nueva visión, más allá de los límites terrestres. Sin duda alguna, **el momento en el que la especie humana sea capaz de poner un pie en *Marte* supondrá un antes y un después.**

Como ocurre con todos los objetivos ambiciosos o sugestivos, la búsqueda de una nueva forma de vida en *Marte* cuenta con detractores y gente no tan convencida de la moralidad de la idea. Y es que colonizar el planeta supondría “*apropiárnoslo*”, ocuparlo sin permiso alguno y, tal vez, destrozarlo, al igual que ya estamos haciendo con la *Tierra*.

Muchos comparan este objetivo con la propagación de una enfermedad capaz de dañar cualquier forma de vida indígena que pudiera existir en *Marte*. Por supuesto, a pesar de los estudios que investigan la posibilidad de que hubiera vida, aún no se ha encontrado nada que pueda corroborarlo. Sin embargo, ¿qué pasaría con las formas de vida indígena que aún no han tenido lugar?; ¿qué ocurriría si la llegada del ser humano supusiera interrumpir un proceso evolutivo futuro en el planeta rojo?; ¿tenemos obligaciones éticas con formas de vida potenciales?

Por otro lado, en interés de la biodiversidad galáctica, ¿tendríamos la obligación moral de no dañar nada que pudiera estar vivo? ¿Hasta dónde se extiende nuestra idea de “*vida*”?

Incluso si *Marte* fuera un planeta sin posibilidad de vida futura, las dudas sobre su colonización seguirían surgiendo: ¿qué consecuencias tendría la colonización aquí, en la *Tierra*? El problema no solo estaría en la magnitud de costos en relación a los posibles beneficios que obtendríamos, sino en cómo se repartirían éstos.

De hecho, los problemas de colonizar *Marte* podrían llegar a más si ello trajera consigo un nuevo comienzo. Un escape de todo lo malo que tenemos en nuestra *Tierra* vendría acom-

Puesta de Sol observada desde la superficie de Marte por el Mars Exploration Rover: Spirit en el cráter Gusev (19 de mayo de 2005). ▼

pañado de las siguientes preguntas: ¿quién se va, y quién se queda para intentar salvar este planeta?

Llegar hasta el cuarto planeta del sistema solar no solo sería una demostración de la capacidad humana o una muestra de su poder, sino que supondría una vía de escape para la humanidad. Un seguro de cara a cualquier amenaza que ponga en peligro la continuidad de la humanidad en la *Tierra*, incluido nuestro fracaso en el intento, por ejemplo, de salvar al planeta de la destrucción medioambiental, de hacerlo ante las posibles consecuencias de una hipotética guerra nuclear o, por fin, del posible impacto de un asteroide.

Es cierto que podríamos hacer mucho con el dinero que se necesita para establecer una colonia en *Marte*. Y deberíamos hacer mucho más por cuidar de la *Tierra*. Sin embargo, tal y como dijo *Stephen Petranek* (n. 1950) en su conferencia "*Sus hijos podrán vivir en Marte. He aquí cómo sobrevivirán*", en 2015, llegar a *Marte* supondría, no solo un avance, sino que haría posible que cuando miráramos a la *Tierra* fuéramos capaces de entenderla y admirarla como nunca antes hemos hecho.

Con todo esto, a pesar de los problemas y debates ideológicos que pueda traer consigo la idea, la ocupación de *Marte* es, y debe ser, el primer paso para convertirnos en una especie atemporal, capaz de vivir en otro planeta e intentando no repetir los errores que nos pudieran haber obligado a tomar medidas tan extremas como ésta. Sin embargo, no deberíamos olvidar que una vez allí, nos encontraríamos en territorio desconocido, en un lugar con su propia historia que deberíamos respetar como tal.

2. HITOS HISTÓRICOS EN LA CONQUISTA DEL ESPACIO

Previo al estudio de *Marte*, sus condiciones y los proyectos propuestos sobre el planeta, conviene realizar un repaso cronológico en la historia de la conquista del espacio por la humanidad.

Esta aventura espacial se inicia en 1957 con el lanzamiento del primer satélite artificial de la historia, el *Sputnik I*, y culmina (hasta ahora) con la propuesta de *Elon Musk* para la construcción de la primera colonia humana en *Marte* en 2025.

El *Sputnik I* fue el primer hito en la exploración del espacio, situando a la entonces *Unión Soviética* a la cabeza de esta empresa. El satélite orbitó la *Tierra* durante 92 días (realizando aproximadamente 1.440 órbitas) hasta que en enero de 1958 se incineró en su reentrada a nuestro planeta. Fue el primero de una serie de cuatro que se lanzaron hasta diciembre de 1960. El *Sputnik II*, puesto en órbita en noviembre de 1957, llevó consigo al primer ser vivo terrestre en el espacio, la perra *Laika*³.

Con la *Unión Soviética* en pleno avance, *Estados Unidos* no quiso quedarse atrás, y en enero de 1958 lanzó su primer satélite artificial, el *Explorer I*. Ese mismo año, en julio, los norteamericanos fundaron la *NASA*⁴ para dar un definitivo impulso a su empresa.

A pesar de la aparición norteamericana en la denominada *carrera espacial*, sería la *URSS* quien continuaría liderándola. Así, en abril de 1961, el cosmonauta *Yuri Gagarin*, a bordo del *Vostok I* se convertiría en el primer ser humano en navegar por el espacio y el primero en orbitar la Tierra en un viaje que duró 108 minutos⁵.

Un año después, en julio de 1962, los estadounidenses lanzaron al espacio el satélite *Telstar I*, el primero transmitir con éxito desde imágenes de televisión. Sin embargo, la *Unión Soviética* no se quedaría atrás, y en agosto de 1962, *German Titov* se convirtió en el primer ser humano en pasar más de un día en el espacio; su vuelo duró poco más de 25 horas.

Dos años más tarde, el cosmonauta soviético *Alexei Leonov* realizó el primer paseo espacial. Sus palabras invitaban a seguir con la exploración, a seguir descubriendo lo que el espacio nos podía ofrecer: *“Al abrir la escotilla vi un cielo lleno de estrellas brillantes. La Tierra completamente redonda. Toda Europa estaba debajo de mí. Había mucho silencio, un silencio absoluto, todo estaba muy quieto. Tenía una sensación muy rara, imposible de imaginar”*.

Tras pruebas, éxitos y fracasos por parte de ambas potencias, en julio de 1969 *Estados Unidos* ganaría la *carrera espacial*. Los astronautas *Neil A. Armstrong*, *Edwin E. Aldrin Jr.* y *Michael Collins*, a bordo del *Apolo XI*, se convertirían en los primeros seres humanos en pisar la *Luna*⁶.

3 A pesar del “éxito” que los soviéticos se atribuyeron, *Laika* murió horas después del lanzamiento por sobrecalentamiento.

4 “Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio”.

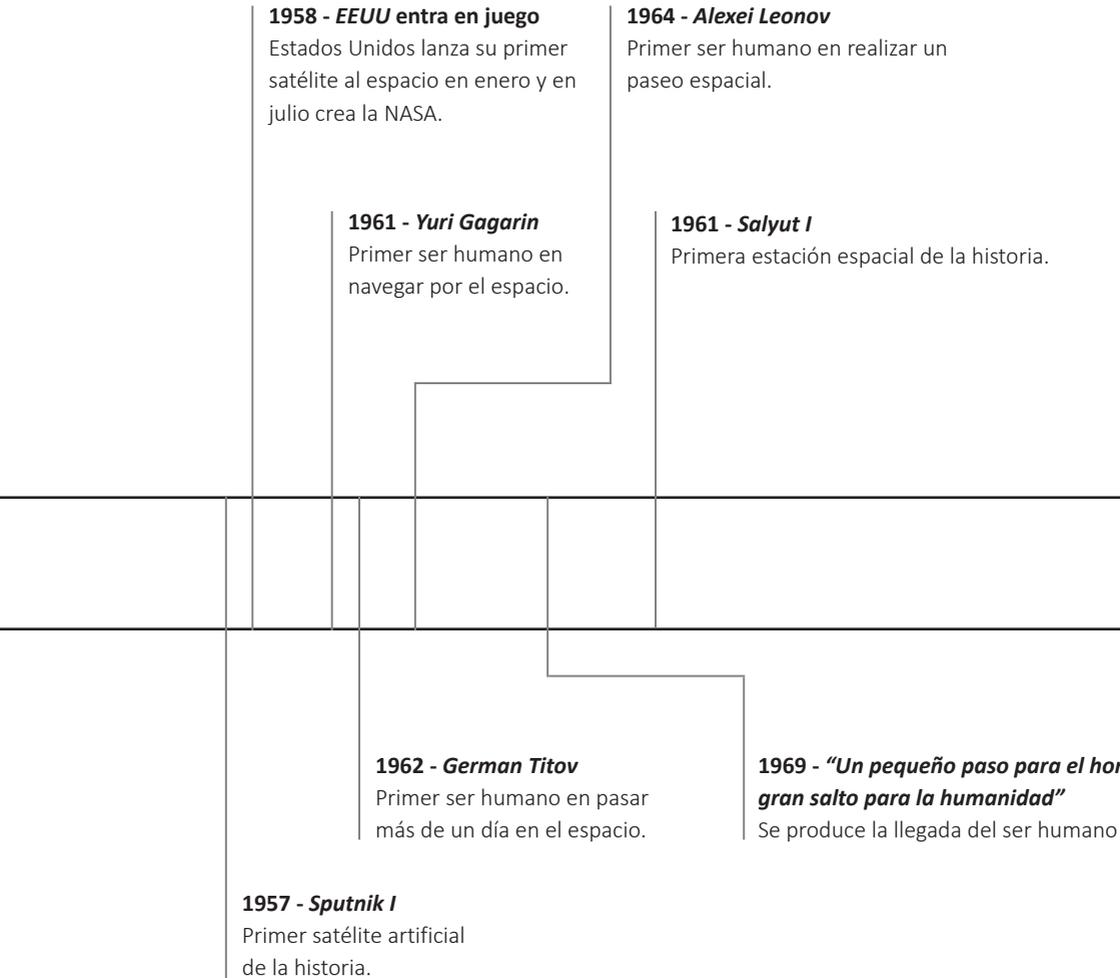
5 En 1963 *Valentina Tereshkova* fue la primera mujer en llegar al espacio. Lo hizo a bordo del *Vostok IV*, en un vuelo de tres días de duración.

6 “Es un pequeño paso para un hombre, pero un gran salto para la humanidad”, dijo, en frase célebre, *Armstrong*.

El siguiente acontecimiento a remarcar llegaría en 1973, cuando la estación soviética *Salyut I* se convirtió en la primera estación espacial de la historia.

Mucho se avanzó desde entonces. Sin embargo, nuestra línea temporal nos lleva hasta abril de 2001 cuando *Dennis Tito* se convirtió en el primer "turista espacial". A sus 60 años este americano pagó veinte millones de dólares por pasar una semana en la *Estación Espacial*.

El último salto cronológico nos lleva al futuro, cuando en 2005 *Elon Musk* proyecta construir la primera colonia humana en *Marte*. A lo largo de este trabajo intentaremos dilucidar si esta ambiciosa idea es o no es posible.



2001- *Dennis Tito*

Primer turista espacial de la historia.

2008 - *Falcon I*

SpaceX pone en orbita el primer cohete de financiación privada de la historia.

2018

mbre, pero un

a la Luna.

2025 - ¿Colonización de *Marte*?

Elon Musk pretende fundar la primera colonia humana en el planeta rojo.

2002 - *SpaceX*

Elon Musk funda la compañía.

3. CINCO TEXTOS, CINCO IDEAS

Antes de comenzar a estudiar las condiciones del planeta y los posibles proyectos que habría plantear en *Marte* de cara a convertirlo en un espacio habitable para la humanidad, sería aconsejable introducir un pequeño comentario sobre la **ciudad del futuro**, pues al fin y al cabo esa idea constituye un tema directamente relacionado con la posible existencia de una colonia marciana. Para ello podemos comenzar acudiendo a textos de *Rem Koolhaas* (n. 1944), *Konstantinos A. Doxiadis* (1913–1975) o *Le Corbusier* (1887-1965), entre otros.

Nadie sabe realmente qué nos deparará el futuro, pero la realidad es que hoy los espacios urbanos están en general excesivamente concurridos y contaminados. Casi la mitad de la población mundial vive en ciudades, y para 2050 se estima que ese número ascenderá hasta el 75% de su total. ¿En qué tipo de ciudades viviremos para entonces? Según los expertos, ha llegado la hora de empezar a diseñar espacios urbanos más inteligentes, pero, ello conllevaría preguntarse por las consecuencias que esto puede tener.

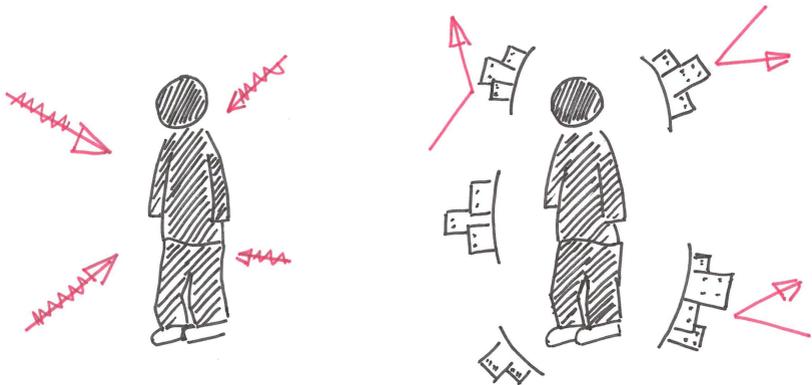
Tras el estudio de varios textos, principalmente del denominado “*Canibalismo Urbano*”, se llega a una serie de conclusiones que nos pueden orientar en la tarea de esbozar la idea sobre la **ciudad del futuro**.

3.1. MIL AÑOS DE HISTORIA NO LINEAL: LA CIUDAD COMO EXOESQUELETO HUMANO

Hablando del término “*ciudad*”, tal y como comenta *Manuel de Landa* (n. 1952) en su libro “*Mil años de historia no lineal*” (1997), ésta nació como un **exoesqueleto del ser humano**: una prolongación externa de nuestra estructura ontológica, creada para protegernos.

Tal y como comenta *Konstantinos A. Doxiadis* en su texto “*ECUMENOPOLIS: Tomorrow’s City*”, la palabra “*ciudad*” es muy complicada de describir. Probablemente su definición como “**protección del ser humano**” se acerca bastante a la realidad.

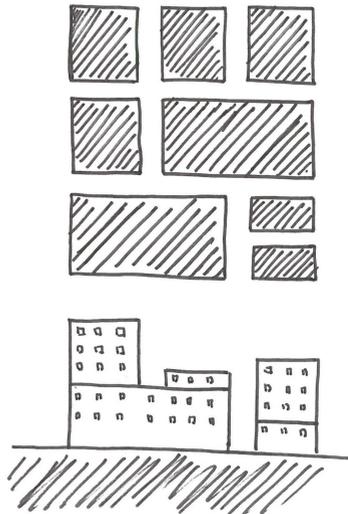
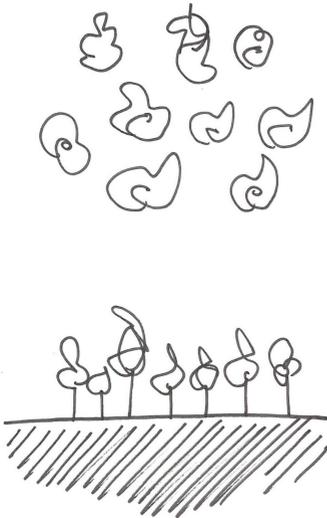
Esquema. La ciudad como exoesqueleto de lo humano.



3.2. GRUDRISSE: CONSECUENCIAS DE LA PARTICIPACIÓN HUMANA EN LA NATURALEZA

En 1858 el filósofo *Karl Marx* (1818-1883) comentaba en “*Grundrisse*” su idea sobre las ciudades; a su juicio, éstas conformaban ecosistemas surgidos como consecuencia de la participación humana en la naturaleza. Respecto a esta idea se pueden extraer algunas consideraciones:

- “*La Naturaleza*” siempre ha sido definida en torno al ser humano. Como consecuencia de ello, podemos decir que la Naturaleza a la que nos referimos es “*nuestra Naturaleza*”.
- Este concepto de “*Naturaleza*” siempre ha sido respetado; siempre hemos buscado protección frente a ella. Podemos afirmar que la ciudad surge a causa de ello.
- “*Naturaleza*” puede estar asociada a “*agricultura*”. Después de todo, una cosa no podría existir sin la otra. *Gilles Deleuze* (1925–1995) y *Félix Guattari* (1930–1992) se refieren a este concepto en “*Mille Plateaux*” (1980). Desde la antigüedad la agricultura nació en los alrededores de las ciudades. Llegados a este punto, pasamos a la siguiente línea argumental: **la ciudad nace como protección frente a la Naturaleza y, a partir de ésta, un nuevo tipo de Naturaleza es creado.**

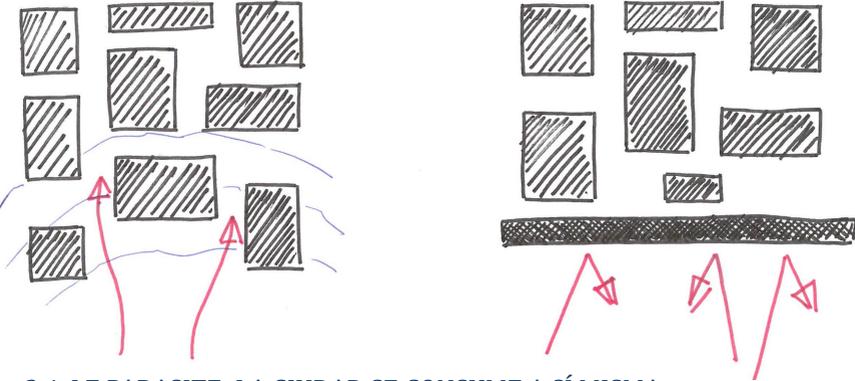


Esquema. La ciudad es una consecuencia de la participación humana en la naturaleza.

3.3. ASÍ HABLÓ ZARATUSTRRA: LA CIUDAD EVOLUCIONA EN FUNCIÓN DE LOS DESASTRES

La ciudad no ha evolucionado a partir únicamente de las necesidades humanas, sino que también lo ha hecho en función de los desastres ocurridos a su alrededor o sobre ella misma. Éstos han ido rediseñando las calles, las viviendas y hasta la posición de algunos edificios clave, como pueden serlo los hospitales o las prisiones. Es interesante indicar cómo *Friedrich Nietzsche* (1844–1900) nos hablaba de la **regeneración de la ciudad** en su texto “*Así habló Zaratustra*” (1891); esta premisa está muy relacionada con lo comentado en estas líneas.

Esquema. La ciudad evoluciona
▼ en función de los desastres.

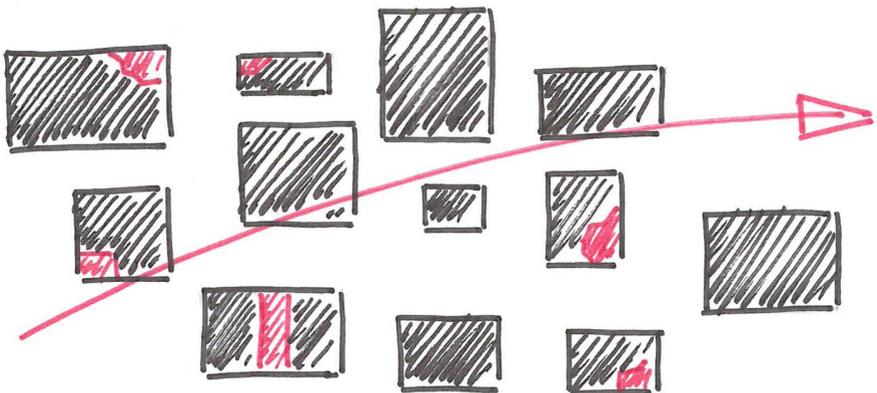


3.4. LE PARASITE: LA CIUDAD SE CONSUME A SÍ MISMA

Como *Michel Serres* (n. 1930) comenta en “*Le Parasite*” (1980), vivimos en un mundo en el que todo cambia: la fruta se pudre, la leche se agria, el vino se avinagra, las verduras se alteran y las reservas de trigo se llenan de ratas. Todo fermenta, todo se pudre.

Esto nos lleva a pensar que **la ciudad se consume a sí misma**. De hecho, en 1924, *Le Corbusier*, en su ensayo “*La ville du future*”, hace alusión al crecimiento descontrolado de las ciudades cuando prevé el futuro de éstas.

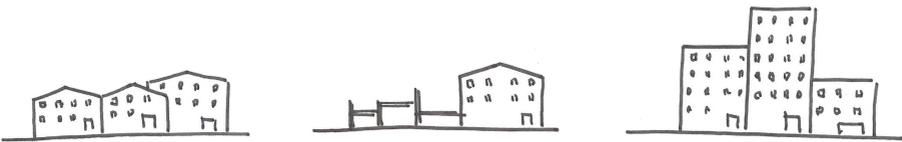
Esquema. La ciudad se
▼ consume a sí misma.



3.5. ORIGEN DE LAS CÉLULAS EUCARIONTES: PARA CREAR, PRIMERO HAY QUE DESTRUIR

En 1970 Lynn Margulis (1938–2011) en su libro “*Origin of Eukaryotic Cells: Evidence and Research Implications for a Theory of the Origin and Evolution of Microbial, Plant, and Animal Cells on the Precambrian Earth*” ahonda en el tema del *canibalismo*, concluyendo que **la evolución misma comienza con un acto de canibalismo**. A partir de esta idea, podemos llegar a otra conclusión: **para crear, antes debemos destruir**. Esta premisa se puede extrapolar de alguna manera al campo del urbanismo: **antes de seguir adelante sería necesario colapsar**.

En los últimos años ha aparecido un nuevo movimiento que intenta “*recuperar*” la ciudad desde dentro: el **urbanismo unitario**. Esta idea puede considerarse opuesta a la del “*canibalismo urbano*”. Con los años, han ido apareciendo otros movimientos que tratan de explicar el desarrollo de la ciudad desde dentro. Así el denominado “**desarrollo sostenible**” que tiene en los huertos urbanos uno de sus puntos fuertes. Esta es una idea reciclada; en la *Edad Media* esta práctica se llevó a cabo para continuar cultivando alimentos durante los asedios. Ello nos llevaría a la idea de que tendríamos que mirar al pasado para desarrollar el futuro.



▲ Esquema. Para crear, primero hay que destruir.

4. IDEAS EXTRAPOLABLES

Aunque parezca mentira, la respuesta a la cuestión sobre cómo vamos a poder vivir en *Marte* puede encontrarse en la *Tierra*. Es por ello que, antes de comenzar a estudiar las condiciones y proyectos que se han propuesto para el planeta rojo, han de buscarse una serie de referencias aquí, en nuestro planeta, desde las cuales poder extraer conclusiones que luego puedan aprovecharse en *Marte*.

4.1. MESETA DE TAOS – MICHAEL REYNOLDS

Michael Reynolds (n. 1945), el conocido como “*guerrero de la basura*”, es un arquitecto norteamericano que ha dedicado su carrera a estudiar nuevos materiales y nuevas formas de hacer arquitectura. Entre sus proyectos se encuentra el denominado “*Nave Tierra*”: colonia desarrollada en la meseta desértica de *Taos*. Sobre ésta destaca su parecido con la superficie del planeta marciano:

“Me siento como en una manada de búfalos. Todos forman parte de una estampida que va hacia un precipicio, y caen uno tras otro. Yo estoy en esa manada, y pienso: ‘No quiero ir hacia allá, yo no voy a caer...’ Así que, de alguna manera, debo convencer a toda la manada para que giren a tiempo y no caigan a ese precipicio. Porque si la humanidad tira al planeta por las cloacas, también muero. Por lo tanto, sólo estoy tratando de salvar mi culo. Y eso es una fuerza muy poderosa.”

Reynolds vive en una gran meseta desértica en el Estado de *Nuevo México*. Lleva 35 años rompiendo con las normas de la arquitectura y de la sociedad convencionales. A partir de los años setenta del pasado siglo comenzó a construir un asentamiento experimental en el desierto de *Nuevo México*, utilizando para ello todo tipo de materiales no convencionales. Pero su sistema se encontró con la oposición de políticos, abogados e incluso colegas de profesión.

Dejando las cuestiones éticas a un lado, es evidente que esta propuesta no podría funcionar directamente trasladando sin más desde esa ubicación la *Tierra* a la superficie de *Marte* o de cualquier otro planeta. Sin embargo, sus comunidades de viviendas autosuficientes y el uso de nuevos materiales sí que podrían constituir un buen punto de partida para el estudio del desarrollo y la práctica de la arquitectura fuera de los límites terrestres.

Una de las viviendas que se pueden encontrar en el lugar.







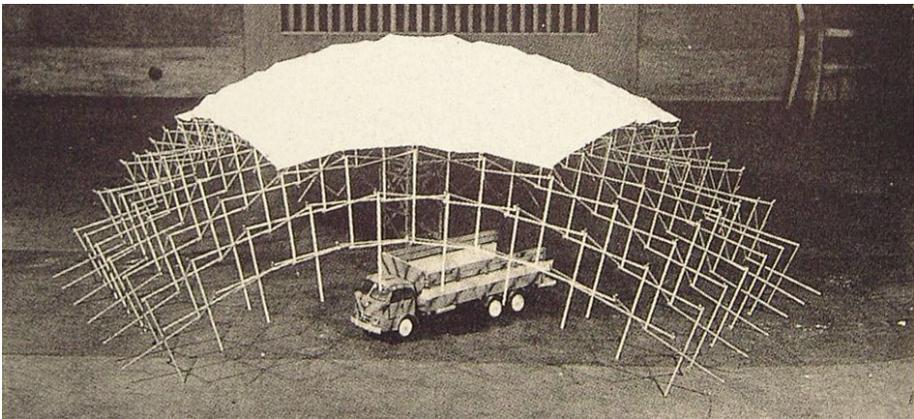
4.2. ARQUITECTURA DESPLEGABLE – EMILIO PÉREZ PIÑERO

Emilio Pérez Piñero (1935-1972), diseñador de estructuras plegables y cúpulas geodésicas, destacó en su día en el ambiente de una *España* empobrecida tecnológicamente. A pesar de morir a los pocos años de comenzar su carrera, su investigación sobre el desarrollo de estructuras plegables sentó las bases sobre una posible aplicación extraterrestre de sus soluciones, llegando incluso a llamar la atención de la NASA.

Pérez Piñero, aconsejado por su padre, comenzó sus estudios de arquitectura en *Madrid*. Cuando estudiaba cuarto curso, uno de sus profesores le animó a participar en un concurso de proyectos convocado en *Londres* en 1961. Se planteaba el diseño de un teatro ambulante. El todavía estudiante construyó un prototipo de estructura espacial, usando barras que se unían mediante nudos articulados. *Piñero* ni se molestó en dibujar esta estructura, al igual que haría durante casi toda su carrera, pues entendía que con la maqueta era suficiente para entender el proyecto. El teatro se abría, materializando una bóveda vaída triangular; bastaba cubrirla con una lona para completar el espacio pedido.

En un artículo publicado en 1968, *Pérez Piñero* nos hablaba de los distintos sistemas de montaje de estructuras reticuladas de nudos rígidos. A la hora de montar este tipo de estructuras aparecían numerosos problemas, entre ellos, la exigencia de precisión milimétrica, de manera que cualquier irregularidad generaba importantes desajustes a la hora de cerrar el entramado.

Pero, por otra parte, el carácter desplegable de la solución propuesta por el arquitecto español simplificaba mucho los problemas. Así, las estructuras podían ser transportadas en una sola pieza, reduciendo al mínimo las necesidades de vehículos y eliminando el problema de la unión entre unas secciones y otras.



▲ Maqueta de una estructura desplegable de Pérez Piñero.

Más allá de las ventajas técnicas derivadas de esta forma de construcción, *Pérez Piñero* hizo posible la materialización de la idea derivada del concepto de **arquitectura ambulante**. Ésta sería desarrollada en años posteriores, siendo una de las ideas más destacadas en esta línea la denominada *Plug-in city*⁷, propuesta por *Peter Cook* (1937-1995), en 1964. Más conocido aún es la conocida como *Walking City*⁸, ideada por *Ron Herron* (1930-1994).

A pesar de que la vida y la obra de *Pérez Piñero* serían merecedoras de mayor atención⁹, lo que motiva su mención en este trabajo es precisamente su idea de **arquitectura ambulante** ya comentada. Y es que, como tendremos ocasión de ver en las conclusiones, esta propuesta podría funcionar perfectamente en lugares en los que la labor constructiva constituya una tarea especialmente complicada, como lo sería sin duda en *Marte*.

Teatro ambulante. De
▼ Pérez Piñero.



4.3. INTERVENCIÓN EN LA MONTAÑA DE TINDAYA – EDUARDO CHILLIDA

A lo largo de su carrera, *Eduardo Chillida* (1924–2002) nos legó numerosos proyectos de este tipo. Sin embargo, hay uno que destaca sobre el resto por numerosas razones: se trata del proyecto que tiene por emplazamiento la montaña sagrada del *Tindaya*, en la isla canaria de Fuerteventura. Al respecto, el escultor vasco, declaró:

7 Proyecto hipotético; sugiere una ciudad que contiene unidades residenciales modulares que se “conectan” a una máquina central.

8 *Michel Serres*, quien antes de dedicarse a la filosofía fue marinero, escribió que “*los marinos no viajan realmente pues su ciudad va con ellos*”. En 1964, *Ron Herron* propuso “*The Walking City*”, una ciudad que se desplazaba.

9 Una de sus pocas obras construidas que se conservan es el *Teatro-Museo Dalí*, en *Figueras*.

“Tengo intención de crear un gran espacio vacío dentro de una montaña, y que sea para todos los hombres. Vaciar la montaña y crear tres comunicaciones con el exterior: con la luna, con el sol y con el mar, con ese horizonte inalcanzable.”

Su ambicioso proyecto prevé la disposición de un enorme espacio cúbico, de 50,00 m de lado, tallado en el interior de la montaña. Los estudios realizados en 2006, tras numerosos años e inversiones realizados tras el planteamiento inicial, e incluso después de la muerte del escultor (2002), llegaron a la conclusión de que la montaña sería capaz de soportar el espacio sin demasiados soportes ni espacios abovedados, sin excesivo esfuerzo; tan solo se precisaría incorporar una pequeña estructura metálica interior para lograr la sustentación. Sin embargo, en ese estudio también se reconoce cierta incertidumbre *“propia de toda gran intervención subterránea, que no podrá resolverse hasta la realización de la obra”*. Es decir, si al final la construcción colapsara, ello sería indicativo de que la idea era irrealizable.

Evidentemente un proyecto en *Marte* de este tipo o escala sería imposible, además de partir de unas condiciones totalmente distintas a las existentes en la *Tierra*. Dejando a un lado formalidades y debate arquitectónico, la razón de aludir a este proyecto no es más que la de buscar un precedente sobre arquitectura subterránea, una de las posibilidades más estudiadas para la construcción en *Marte*, debido a sus numerosas ventajas.



Vista interior de una
maqueta del proyecto.



4.4. VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON IMPRESORAS 3-D

Para construir fuera de los límites terrestres se han llegado a plantear numerosas posibilidades. Una de las opciones más interesantes y lógicas propugna el uso de máquinas automatizadas o controlables a distancia para llevar a cabo los proyectos. Entre esas máquinas, la posibilidad que más llama la atención es el uso de impresoras 3-D, ya que se trata de un sistema que no es en absoluto novedoso y que ya ha sido probado en algunos cometidos.

La compañía china *WinSun* es de las que más ha apostado por este sistema, logrando construir diez viviendas en solo un día utilizando un sistema de construcción capa a capa, denominado “*Creación de curvas de nivel*”¹⁰.

En casi la totalidad de los proyectos propuestos para la colonización de *Marte* se propone el uso de esta tecnología, pues además de simplificar los procesos, con ella se podrían emplear materiales encontrados en la capa superficial marciana, ahorrando de esta forma costes de adquisición y, fundamentalmente, transporte.

▼ Vivienda construida utilizando los métodos comentados.



¹⁰ Traducción del término inglés “*Contour Crafting*”.

4.5. LA ROCCA PAOLINA, CIUDAD SUBTERRÁNEA DE PERUGIA

Construida entre 1540 y 1543 esta ciudad subterránea en *Perugia* es un buen ejemplo a estudiar de cara a una posible intervención en *Marte*. Como ya se verá a lo largo de este trabajo, construir bajo la superficie del planeta rojo no solo es una posibilidad, **sino que es casi una obligación**. Las adversas condiciones que allí nos encontraremos hacen necesaria la obtención de la máxima protección posible, y esta es, evidentemente, una de las formas más intuitivas y sencillas de lograrlo.

Otros tiempos y, claramente, otras motivaciones llevaron al *Papa Paulo III* (1468-1549) a ordenar a los arquitectos *Alessandro da Terni* (1508-1555) y *Antonio da Sangallo, "el Joven"* (1484-1546) a proyectar esta fortaleza como afirmación del poder pontificio en pleno centro de la ciudad italiana.

La fortaleza, que contaba, entre sus muros de ladrillo, casas, calles, callejones y comercios, fue abierta al público en 1965 y utilizada como zona peatonal en 1983; se trata de un antiguo precedente que podemos tener en cuenta a la hora de plantear el asentamiento de nuestra vida en *Marte* y constituye sin duda una forma de aprender cómo conectar las diferentes estructuras que se construyan.

Calle interior
del lugar.



4.6. FUNCIONAMIENTO DE LAS BASES ANTÁRTICAS

Otra referencia que debe ser estudiada la encontramos en las bases antárticas de la *Tierra*, construcciones ubicadas en uno de los entornos más hostiles que conocemos. Éstas son un claro ejemplo de lo que algún día podríamos tener en *Marte*. Ahora mismo existen más de setenta bases en la zona, administradas por distintos países. La mayoría de éstas operan durante todo el año; sin embargo, solo son accesibles durante tres meses, debido a las adversas condiciones climáticas allí existentes.

Se puede afirmar que “una estación de investigación antártica es como una remota ciudad minera, aislada del resto y con escasas conexiones con el exterior”¹¹. Debido a la duración del día y de la noche en la *Antártida*, la creación y gestión de energías renovables es muy complicada. Durante los meses de sol es relativamente fácil de conseguir, mediante la colocación de placas solares. Para la generación de energía durante la otra mitad del año se puede plantear la colocación de turbinas eólicas diseñadas para resistir las tormentas más fuertes que tienen lugar en la *Tierra*.

Otro problema que aparece en este tipo de asentamientos es el de la gestión de recursos necesarios para la supervivencia, como, es evidentemente, el de la comida. Actualmente existen repartos periódicos que abastecen a las bases, además de disponerse de varios invernaderos donde poder cultivar.

En el caso de *Marte* también podría funcionar este sistema de reparto periódico. Sin embargo, hay que tener en cuenta la dificultad para llevarlos a cabo y los problemas que surgirían en el caso de que algunos envíos se perdieran. Por ello, esta solución habría que acompañarla con la de creación de invernaderos en el planeta rojo, de manera que fueran capaces, andando el tiempo, de suprimir la necesidad de envíos y permitir el abastecimiento independiente de la *Tierra*.

▼ Vista aérea de una base en la Antártida. Imagen parecida a lo que queremos ver en unos años en Marte.



11 Afirmación de la Dra. *Jenny Baeseman*, investigadora norteamericana que estudió la supervivencia de distintos tipos de bacterias en entornos fríos.

5. CONDICIONES

Marte rota sobre sí mismo una vez cada 24 horas; tiene, como la *Tierra*, estaciones; posee capas de hielo en sus casquetes polares, ... Por tanto, los datos de su superficie arrojan un panorama parecido al de la *Tierra*. Pero, si miramos con mayor profundidad, nos encontramos con sus bajísimas temperaturas y su extrema aridez. No se puede respirar su aire. **Es un medio más hostil a la vida que cualquier lugar de la *Tierra*.**

Marte es el cuarto planeta de los que orbitan alrededor del *Sol*. Es uno de los cinco planetas de superficie sólida que orbitan en nuestro sistema solar. No es el planeta más cercano a la *Tierra*, pero sí el que mejores condiciones posee para su colonización. En comparación con la *Tierra*, *Marte* es muchísimo más pequeño (cabría seis veces dentro de nuestro planeta); y, sin embargo, ambos tienen casi la misma superficie habitable, debido a las grandes masas de agua que cubren nuestro planeta y se encuentran ausentes allí.

Muchos de estos factores adversos serán todo un desafío a la hora de comenzar la exploración del planeta y estudiar sus posibilidades de colonización. Un año en *Marte* es mucho más largo que uno en la *Tierra*, concretamente 687 días; esto hace que las estaciones sean bastante más largas. Además, la órbita del planeta es más ovalada, lo que significa que los inviernos son más fríos y los veranos más cálidos. Ante esto, aflora como primera idea la conveniencia de estudiar la posibilidad de **establecer dos bases, una en cada hemisferio**. Para llegar a *Marte* hacen falta en la actualidad 240 días de viaje; pero eso ocurre sólo si despegamos un día concreto, que se repite solamente una vez cada dos años, cuando ambos planetas están alineados.

En *Marte*, sus futuros habitantes tendrán que recurrir al entorno local para conseguir materiales y elementos necesarios para la supervivencia. Una de las personas involucradas en esta investigación espacial es *Keegan Kirkpatrick*, fundador de *RedWorks*, (estudio que aparecerá más veces en este TFG). *Kirkpatrick* defiende la idea de que, una vez colonizado el planeta, *Marte* deberá operar independiente de la *Tierra*. Y es que, a día de hoy, 225 millones de kilómetros no es una buena distancia para instaurar una ruta habitual.

Una de las ideas sobre las que *RedWorks* comenzó a profundizar fue la de realizar una investigación en el pasado que pudiera ofrecernos una fuente de inspiración.

Por otro lado, el uso de la fina atmósfera marciana de cara a obtener agua y oxígeno podría ser más sencillo que buscar estos elementos en el suelo, idea que defiende *Jeffrey Hoffman* (n. 1944), ex astronauta de la *NASA*, director del laboratorio *Man Vehicle* del *MIT* e investigador principal del proyecto *Mars Oxygen*¹² planeado para la misión *Mars 2020 Rover*¹³.

12 Experimento que investiga la producción de oxígeno a través del dióxido de carbono que podemos encontrar en la atmósfera marciana.

13 Misión con el objetivo de investigar el entorno biológico del planeta rojo.





5.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MARTE Y LA TIERRA

Como se ha visto, a grandes rasgos los dos planetas tienen numerosas similitudes y diferencias. Hablando en términos más técnicos podemos observar cómo las diferencias se hacen mayores. Por ejemplo, la presión atmosférica en Marte es muchísimo más baja que la de la *Tierra* (7,5 milibares del planeta rojo, frente a un poco más de 1000 milibares aquí).

Una gran diferencia que existe cuando comparamos ambos planetas es el valor de la gravedad. En la superficie de *Marte* es mucho más baja que en la Tierra, concretamente un 62% menos. Esta diferencia se debe, principalmente, a tres factores: masa, densidad y radio del planeta. A pesar de que *Marte* tiene casi la misma superficie de terreno, sólo posee la mitad del diámetro y una menor densidad: aproximadamente el 15% del volumen de la Tierra y el 11% de su masa.

Con estos datos los científicos han calculado la gravedad de *Marte* en base a la teoría de la gravedad de *Newton*¹⁴. Con ello la gravedad se puede expresar mediante la fórmula

$$g = Gm/r^2$$

Donde g es la gravedad en la superficie de Marte, m es su masa, y r su radio.

En el caso de la Tierra, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; $m = 5,976 \times 10^{24} \text{ kg}$ y $r = 6.371 \text{ km}$

Marte, en cambio, tiene una masa de $6,4185 \times 10^{23} \text{ kg}$ (unas 0,107 veces la masa terrestre) y un radio medio de 3.390 km (0,532 radios terrestres). Por ello, la gravedad en la superficie de Marte se puede expresar matemáticamente con la siguiente fórmula:

$$g = 0,107/0,532^2$$

De donde obtenemos el valor redondeado de 0,38. Es decir, se obtendría una aceleración de 3,724 metros por segundo².

El entendimiento de estos números y su significado es muy importante a la hora de planificar misiones, o colonias en el planeta rojo. La exposición a largo plazo a esta gravedad será, sin duda, un factor determinante.

Podemos encontrar un ejemplo de este efecto estudiando a los astronautas de la Estación *Espacial Internacional (ISS)*, que pueden llegar a perder hasta un 15 % de su masa muscular en misiones de una duración de entre cuatro y seis meses, lo que conlleva una pérdida del rendimiento muscular del 30 %. Para paliar estos efectos se está investigando sobre las posibles medidas que pueden tomar los astronautas para evitar ese deterioro. Aprender más acerca de la gravedad marciana y de cómo se adaptan los organismos terrestres a ella podría ser clave en la futura exploración espacial.

La práctica ausencia de atmósfera y clima en *Marte* tiene algunas ventajas, al igual que el hecho de que la gravedad sea muy reducida en comparación con la de la *Tierra*. Las estructuras que sustenten las construcciones proyectadas no tendrán que soportar una fuerte presión gravitacional, lo que **umentará su longevidad y las harán más livianas**.

¹⁴ Teoría que establece que la fuerza gravitatoria ejercida por un objeto es directamente proporcional a su masa.

5.2. GESTIÓN DE RECURSOS EN MARTE

A modo de resumen, lo que necesitamos para vivir en la *Tierra* es, esencialmente, lo siguiente: **comida, agua, refugio, energía y ropa**. Para vivir en *Marte* necesitamos todo lo anterior más **oxígeno**. Evidentemente, lo que mayores problemas plantea es la generación de **energía** y de **oxígeno**.

Para lograr estas necesidades, podemos hacerlo mediante dos vías diferentes: la primera, y más inmediata, acudir al uso de la **energía solar**. Actualmente se pueden fabricar paneles solares muy delgados y ligeros, fácilmente transportables. Sin embargo, esta solución conlleva varios problemas: la energía solar en *Marte* es inferior a la que recibimos en la *Tierra*, pues la radiación solar en el planeta vecino es aproximadamente la mitad que la recibida en la *Tierra*. De esta forma, en un día de soleado de verano en el ecuador de *Marte* solo obtendríamos un 60% de energía solar que seríamos capaces de generar en nuestro planeta.

Más preocupante que esto es el hecho de que podríamos perder la visión hacia el *Sol*, a causa de las frecuentes tormentas de polvo que tienen lugar. La energía solar solo funcionaría durante un tiempo, hasta que el polvo se volviera a depositar sobre la superficie del planeta. Por ello esta solución es relativamente ineficiente en *Marte*. Sin embargo, es simple y fácil de usar; por ello, cuando nos asentáramos en el planeta rojo, una de las primeras acciones sería colocar los paneles.

Otro de los recursos más importantes es el agua; la podemos encontrar en todas partes. La razón por la cual este recurso es necesario no deriva únicamente de la necesidad de cepillarnos los dientes, sino también porque el agua está compuesta de hidrógeno y oxígeno, dos de los componentes que componen el combustible utilizado por los cohetes. Si conseguimos separar hidrógeno y oxígeno, tendremos una fuente de combustible que nos ayudará a asentarnos en el planeta.

Otra forma de crear la energía es mediante reacciones nucleares. Al usar plutonio con pequeños reactores podemos generar energía de la misma forma a como lo hacemos en la *Tierra*. Actualmente el *Curiosity* es impulsado con plutonio-238¹⁵. Si disponemos de un reactor atómico capaz de alimentar a una ciudad entera podemos pensar que también resultaría posible viajar al espacio y asentarnos en otro planeta. Este sistema no solo nos valdría para *Marte*, sino para en un futuro avanzar hacia otros planetas o asteroides. Una de las ventajas que este tipo de energía comporta es que la instalación en sí no tiene por qué alcanzar un tamaño desmesurado.

Actualmente la *NASA* está probando la que podría ser la solución. *Kilopower*, nacido a partir de una idea surgida en la década de 1950, es un reactor nuclear que cuenta con todas las características necesarias para acompañarnos en nuestra aventura marciana. El reactor, que mide tan solo dos metros, es capaz de generar entre 1,00 y 10,00 kw de energía de forma constante. Debido a su reducido tamaño se podrían enviar varios de éstos al mismo tiempo.

Según los cálculos de la *NASA*, tan solo harían falta cinco para abastecer de energía a un posible asentamiento marciano. Con ello se resolverían varios problemas de un golpe: la

15 Isótopo de plutonio que ha llevado a la *NASA* a explorar *Marte*, *Venus*, o incluso salir del *Sistema Solar*. Cuenta con 88 años de vida media.

purificación de agua, la creación de oxígeno e incluso la generación de combustible para poder volver.

Por otro lado, en una de las escenas más memorables de la película *Marte* (*The Martian*, 2015), dirigida por *Ridley Scott*, el astronauta interpretado por *Matt Damon* consigue que su cosecha de patatas salga adelante. Esto, a pesar de que pueda parecer ficción, tiene una base científica que lo respalda. Experimentos realizados hace meses por expertos del *Centro Internacional de la Papa*¹⁶ (CIP) de Perú respaldan esta idea. Además, según investigaciones realizadas por el *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)* estos tubérculos se adaptarían a las condiciones extremas marcianas¹⁷.



▲ Escena comentada.



▲ "He colonizado Marte"

16 Sic.

17 <https://www.nature.com/articles/s41526-018-0041-4>

5.3. DÓNDE VIVIREMOS EN MARTE

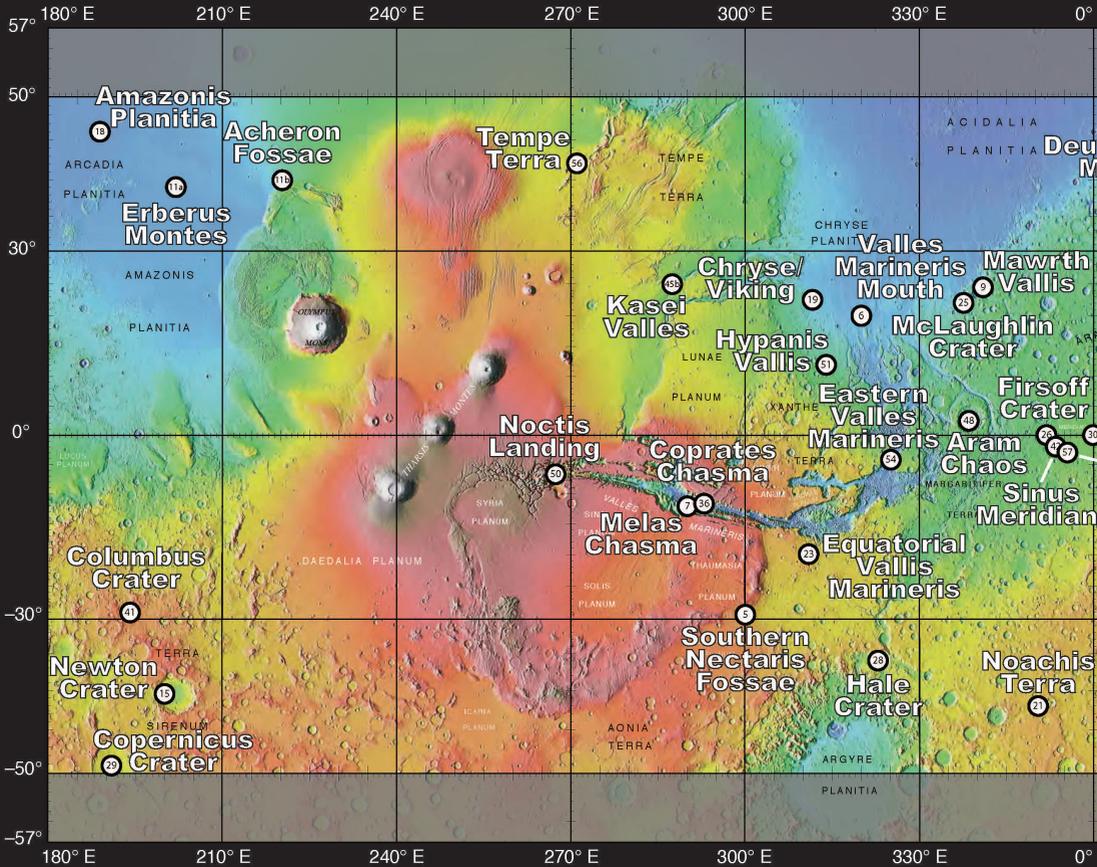
Marte es un gran desierto. Su monótono paisaje, sin océanos ni montañas cubiertas de nieve, no ayuda precisamente a encontrar la mejor localización para asentarnos. La *NASA*, en octubre de 2015, organizó una conferencia para recopilar propuestas sobre lugares posibles de cara a comenzar una investigación.

Para escoger zona donde habitar hemos de tener en cuenta distintos factores. Todo lo que hemos aprendido sobre la vida requiere agua líquida. Por eso el objetivo prioritario de la exploración de *Marte* ha sido, de momento, buscar el agua. Además, también hay que tener en cuenta los niveles de radiación, el clima, el relieve del terreno y el tipo de suelo. Por otro lado, las zonas elegidas también deberán ser capaces de ofrecer la posibilidad de comenzar una investigación científica con los recursos que seamos capaces de recoger en el emplazamiento elegido. Con todo ello, la *NASA* elaboró un mapa donde se localizaron distintas posibilidades.

Una de las posibilidades que se han barajado prevé la utilización de tubos de lava. En *Marte* existen volcanes desde hace cientos de millones de años y, según se fueron volviendo inactivos, los tubos que transportaban la lava se solidificaron, convirtiéndose en inmensos pasillos. No obstante, representar planimétricamente la localización de estos tubos de lava no resulta tarea fácil.

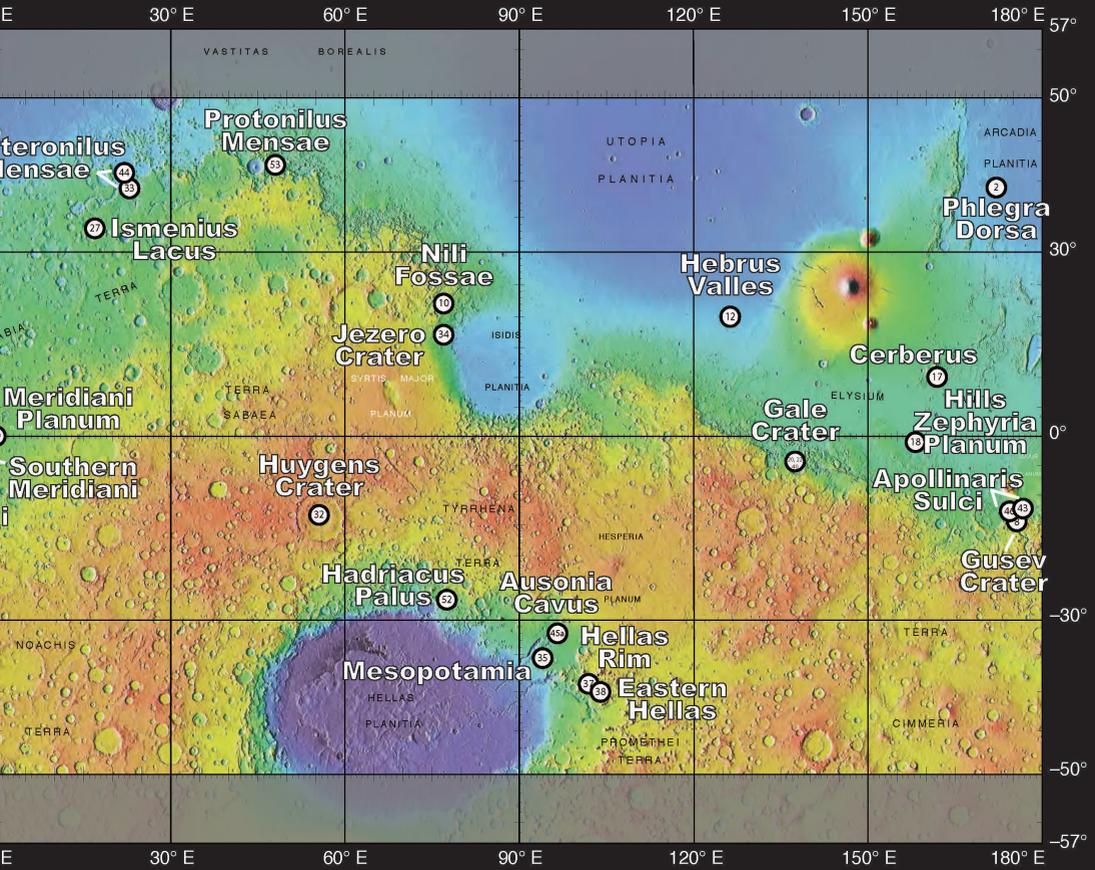
Teniendo en cuenta todo lo señalado, existen numerosos planos de *Marte* donde se recogen posibles localizaciones para asentamientos, siendo una de las más interesantes el **cráter Gale**¹⁸, una zona ya estudiada por el *Curiosity*. La razón de ello estriba en el hecho de que el lugar ofrece muchas posibilidades de encontrar sustancias orgánicas. Por otro lado, el cráter cuenta con una montaña de materiales estratificados en su centro, y cerca del fondo del montículo se pueden encontrar asimismo minerales de arcilla y, sobre éstos, capas con azufre y minerales portadores de oxígeno.

Posibles zonas de exploración para misi



Exploration Zones proposed for humans to Mars.
 Numbers correspond to the abstract submission #
 At the equator, circles are ~100km radius

Locaciones humanas en la superficie de Marte



6. PROPUESTAS DE PROYECTOS EN MARTE

Tras haber examinado distintas referencias en la *Tierra* de donde poder extraer ideas, y describir las condiciones que encontraremos en *Marte*, podemos pasar a exponer los diferentes proyectos que se han llegado a proponer en el planeta.

A lo largo de los últimos años muchos han sido los estudios que han decidido proponer distintas soluciones para colonizar el planeta, ya sea motivados por varios concursos convocados por la *NASA* o financiados por diferentes entidades públicas y, fundamentalmente, privadas. A continuación, se exponen los que consideramos más interesantes.

6.1. BUBBLE BASE – TRINDOM (2015)

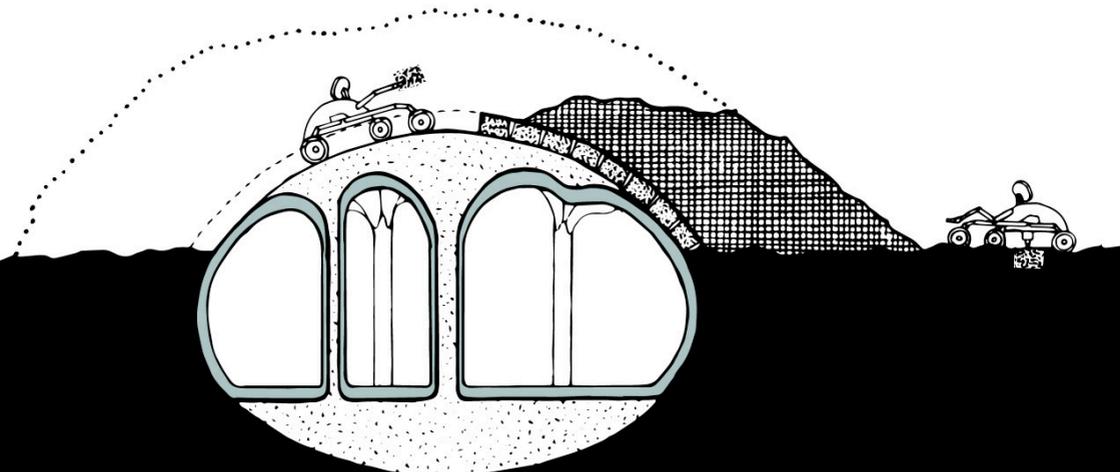
El equipo israelí *Trindom* se presentó en 2015 al concurso de la *NASA* con una idea que combina la construcción y el desarrollo de la propuesta en la *Tierra* con la producción in situ en *Marte*.

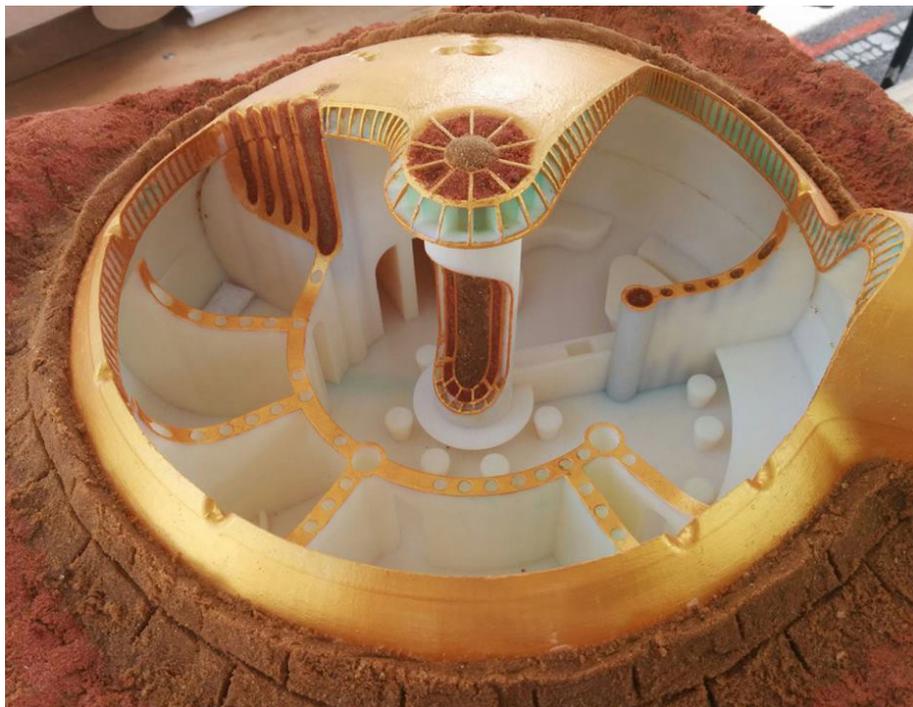
El estudio presentó el diseño de una estructura hinchable que se asentaría en el planeta con la ayuda de una pequeña cantidad de gas natural:

- En primer lugar, se creaba un pequeño cráter en el planeta, mediante una explosión controlada en la zona denominada Valles Marineris, un sistema de cañones que recorre el ecuador del planeta.
- El soporte principal del proyecto se asienta en el lugar de la detonación, para comenzar a hinchar la estructura principal que protege al resto del proyecto.
- Una serie de drones sinterizarían arena marciana, rica en cuarzo, en bloques y los fijaría en su ubicación designada dentro de la estructura del domo.

Bubble Base hace uso de múltiples microconstructores que contribuyen a la construcción trabajando al unísono. El proyecto explota la disponibilidad de materiales marcianos y se aprovecha del clima del planeta, mientras que emplea el método de **fabricación aditiva**.

▼ Bubble Base. Sección esquemática.





▲ Bubble Base. Maqueta de la propuesta, vista superior.



▲ Bubble Base. Maqueta de la propuesta con la estructura semienterrada.

6.2. DONUT HOUSE – A.R.C.H. (2015)

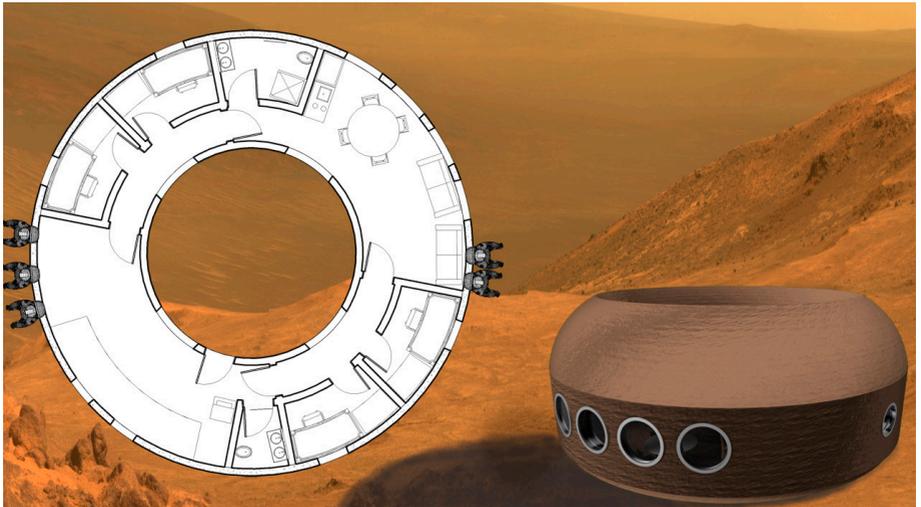
La propuesta del equipo *A.R.C.H* utiliza una metodología de diseño y construcción basados en **estructuras de arcilla con fibra de basalto** para la construcción in situ de la base.

La arcilla reforzada con fibra de basalto se produce a partir de suelos y rocas que se encuentran en la superficie del planeta. Este material proporciona una solución económica para la construcción extraterrestre, así como viviendas ecológicas y de bajo costo en la *Tierra*. Una de las mayores ventajas de este material es que es resistente al fuego, a la degradación química y a la radiación. Para lograr un cerramiento efectivo el equipo propone cerrar los huecos plantea-dos con **vidrio sintetizado** también in situ.

Lo más llamativo de este proyecto es su forma de **anillo**. Además, se trata de una distribución interior **modular**, de forma que podría cerrarse una parte del mismo en el caso de que recibiese algún daño serio. El techo posee forma curvada, a fin de minimizar los salientes y de permitir que la estructura pueda fabricarse de una sola vez, incluyendo todas las instalaciones posibles.

En definitiva, el equipo encargado de este proyecto propone llevar la construcción *in situ*, solución ya comentada en otros ejemplos, a otro nivel, proponiendo la obra completa del mismo en el propio planeta.

Donut House. Planta y
maqueta virtual.



6.3. FALLAMARS – GAREID (2015)

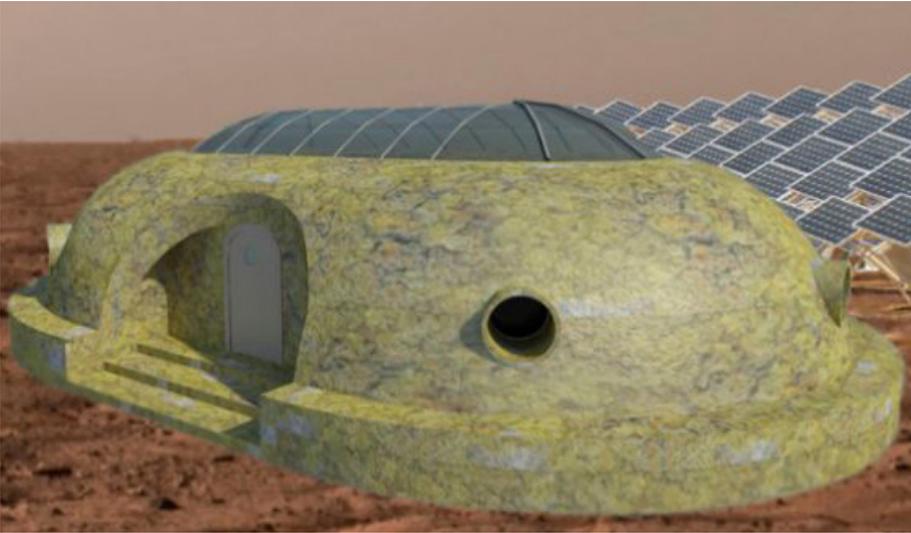
ALBA (2017) y Planetary Human Habitat in Lava Tube (2017)

Gareid es de los pocos estudios españoles que apuesta en estos momentos por la construcción fuera de los límites terrestres. En su haber cuentan con tres proyectos: “*Fallamars*” (2015), “*ALBA*” (2017) y “*PHHLT (Planetary Human Habitat in a Lava Tube)*” (2017); estos dos últimos nacieron a partir de distintas colaboraciones.

“*FallaMars*” es su ejercicio más conocido y a su vez, el más útil para este estudio. El mismo plantea la construcción del proyecto a partir de un hormigón elaborado con regolito basáltico, yeso y agua, elementos que están presentes en *Marte*. La mezcla se enriquece y refuerza con fibras de polipropileno y fibras *Kevlar 49*.

El equipo se alejó en este proyecto de los diseños utópicos propios de la arquitectura futurista para plantear un diseño de su base parecido al de una vivienda situada en la Tierra en el cual “*los astronautas se sentirán como en casa*”. El equipo también dio importancia a la obtención de alimentos frescos, y por ello decidió incluir un invernadero que permitiría cultivar plantas y hortalizas.

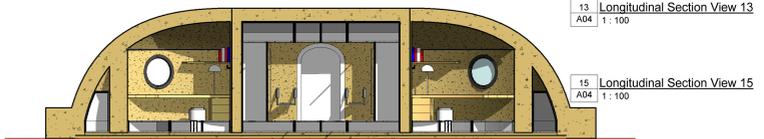
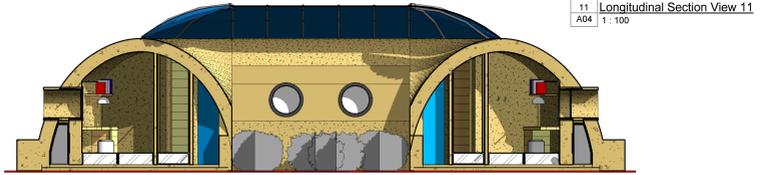
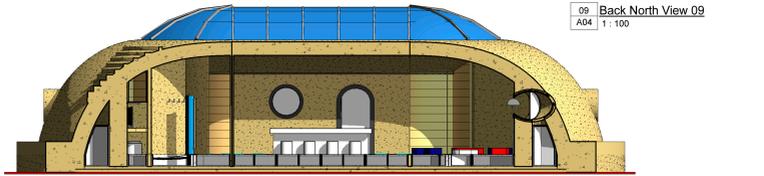
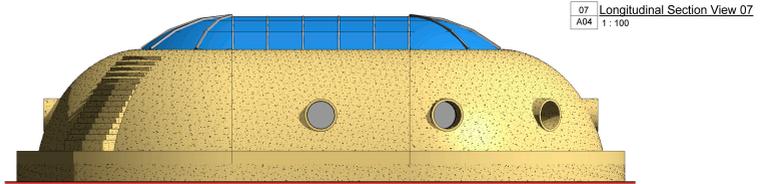
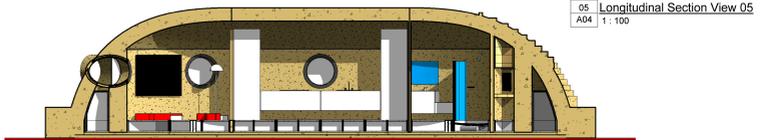
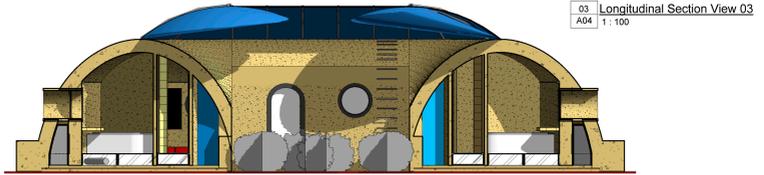
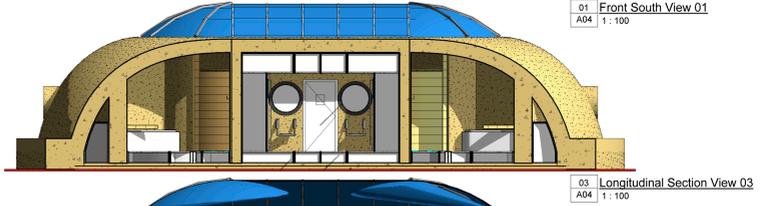
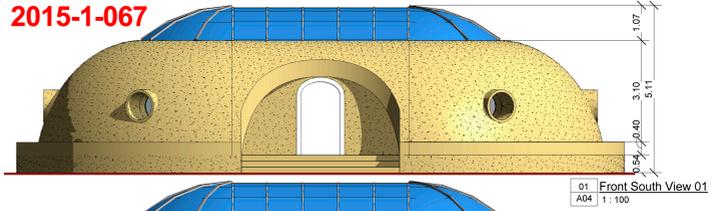
Los otros dos proyectos mencionados son en realidad ejercicios de investigación sobre hábitats extraterrestres. El segundo, el más interesante, recuerda (a una escala menor) al proyecto de *Chillida* en el *Tindaya* que propone *perforar* la montaña. El estudio valenciano propone asimismo crear ambientes bajo tierra.



▲ FallaMars. Render de la intervención.

@GareidProyectos

2015-1-067



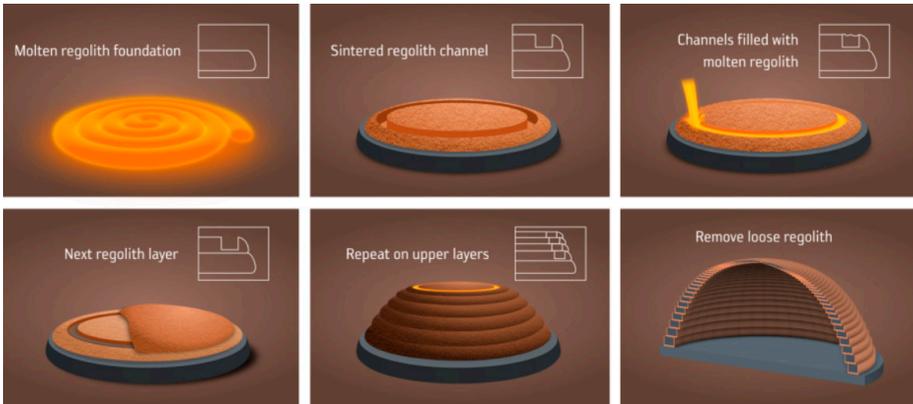
6.4. LAVAHITE – LAVAHITE TEAM (2015)

LavaHive es un diseño de base modular. Básicamente la idea es muy parecida a la del resto de propuestas. Sin embargo, introduce como novedad el **uso de materiales y estructuras de naves espaciales recicladas** como elementos clave del complejo. Por otro lado, usando el regolito marciano, propone asimismo la creación de una “*fundición de lava*” para la construcción del resto de los espacios del proyecto alrededor de la sección principal. Este proceso de construcción con “*fundición de lava*” sigue los siguientes pasos:

- Se crea una base de regolito.
- En esta base se realiza una zanja circular.
- El hueco es cubierto con regolito fundido, esperándose a que enfríe.
- Se repite el proceso en los niveles superiores, haciendo cada vez una circunferencia de menor radio hasta llegar a cerrar la base.
- Se retira el regolito sobrante.

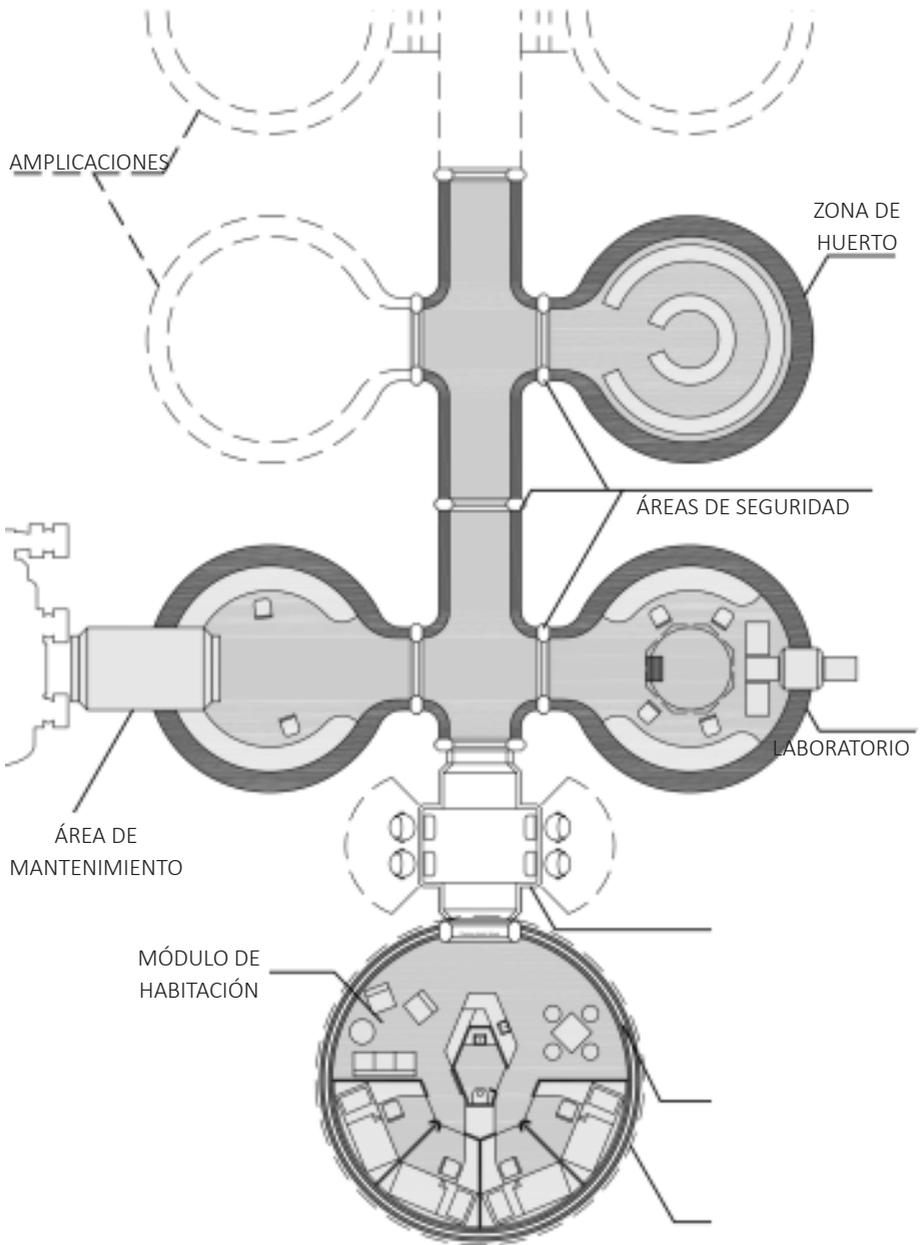
Usando el concepto de “*fundición de lava*” se logran una serie de ventajas que facilitan la implementación del proyecto. En primer lugar, como material de construcción es muy resistente desde el punto de vista estructural. En segundo lugar, el material, una vez enfriado, posee una densidad bastante alta, proporcionando así protección contra la radiación en el entorno de la superficie.

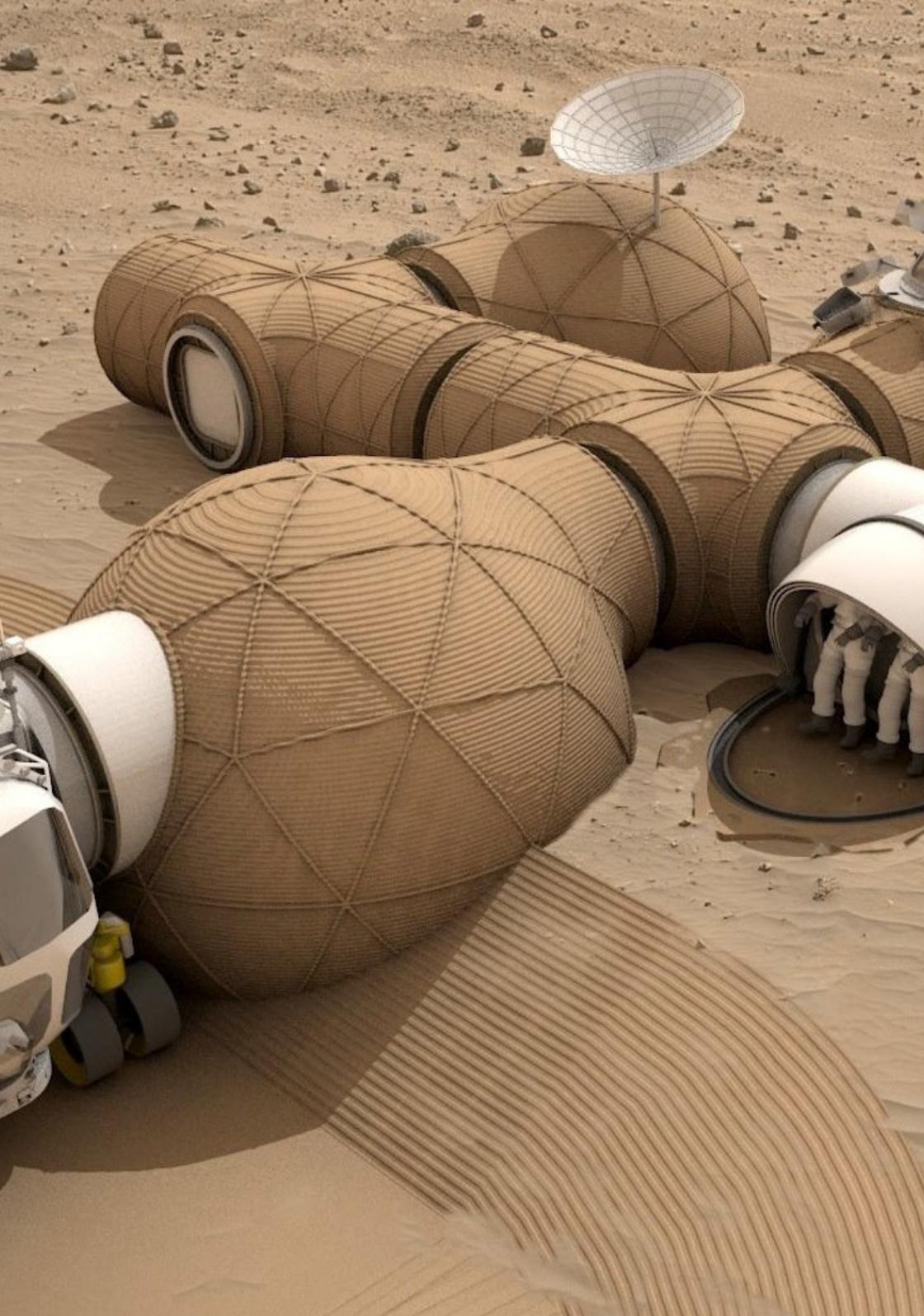
Este proyecto vuelve a aprovecharse del concepto del uso de impresoras 3-D para la creación de la base *in situ*, además de introducir la novedad del reciclaje de componentes de naves espaciales.

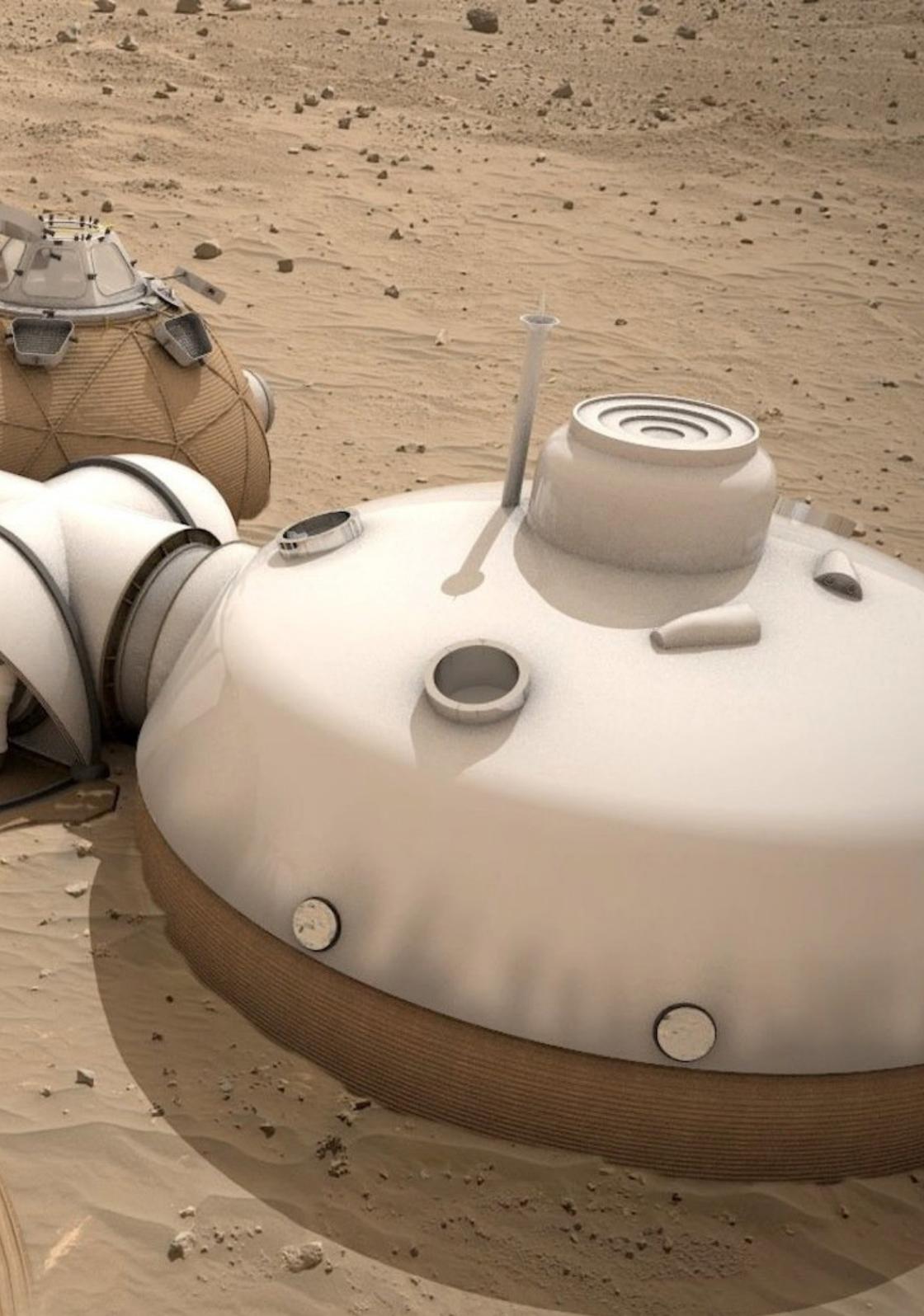


▲ Aplicación del concepto “fundición de lava”.

Levante. Esquema
▼ de planta.





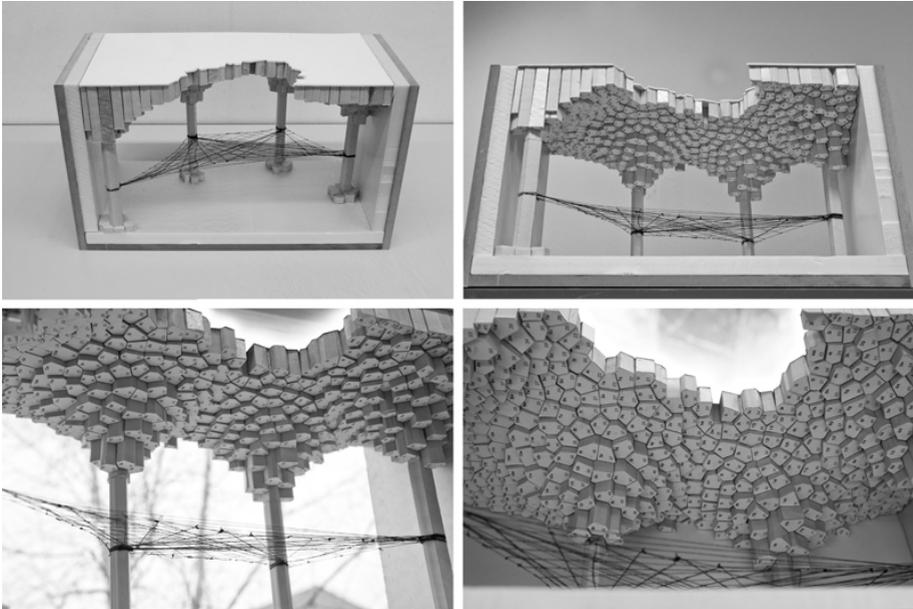


6.5. MARS COLONIZATION - ZA ARCHITECTS (2013)

El proyecto de ZA Architects plantea una fase inicial llevada a cabo por robots impulsados por energía solar. El trabajo de éstos sería el de crear espacios subterráneos. Como afirma Arina Ageeva (ZA Architects), *“la curiosidad llevará, tarde o temprano, a los humanos a Marte y sería bueno tener una estación permanente en el planeta para poder explorarlo”*.

Los robots enviados a Marte crearían grandes espacios vacíos en el lecho rocoso del planeta, formando grandes habitaciones que se mantendrían en pie gracias a una serie de columnas hexagonales repartidas por las distintas zonas, como si de una catedral gótica se tratase. Sugieren que estas columnas pudieran estar conformadas con lava basáltica enfriada, extraída del propio planeta.

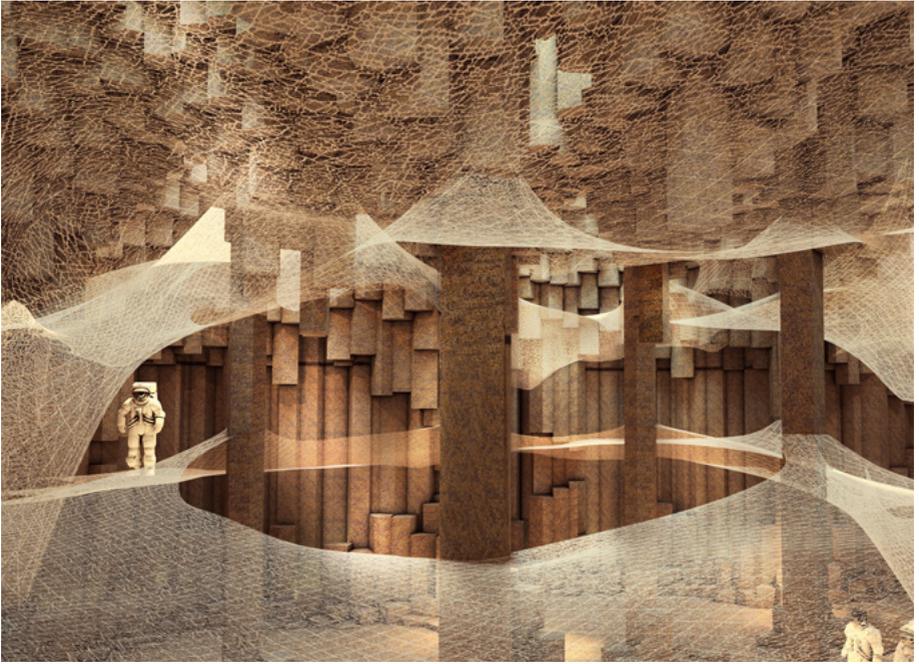
En una segunda fase, los robots crearían estructuras empleando como material la fibra de basalto, creando pisos dentro de las cuevas. Según podemos observar en las imágenes del proyecto, éstas tendrían una forma similar a la de telas de araña. La fibra de basalto, hecha por extrusión del material fundido, es más baratas y versátil que la fibra de carbono y, según Ageeva, podría reemplazar en Marte a los materiales tradicionales. Al mismo tiempo que esta fase concluye se produciría la llegada de los primeros astronautas que se emplearían terminando la construcción y disponiendo las diferentes instalaciones.



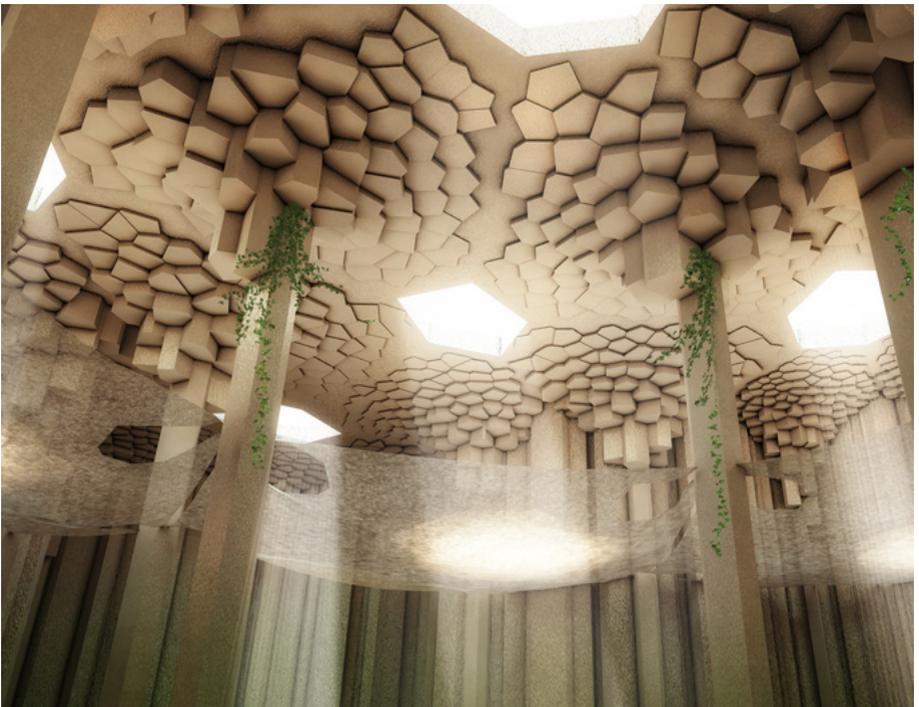
▲ Lavahive. Render de la propuesta.

▲ Mars Colonization. Maqueta.

Mars Colonization.
Render: interior.



Mars Colonization.
Render: interior.



6.6. MARS HABITAT – FOSTER + PARTNERS (2015)

Lunar Habitation (2012)

El estudio del arquitecto británico *Norman Foster* (n. 1935) ha realizado proyectos teóricos tanto en la Luna como en Marte (denominados “*Lunar Habitation*” y “*Mars Habitation*”, respectivamente). Ambos se basan en la misma estructura, pero el proyecto propuesto para el planeta rojo se encuentra más avanzado que el selenita, entre otras razones por haberse desarrollado tras éste.

El proyecto “*Lunar Habitation*” proponía una base capaz de albergar a cuatro personas, que ofrecería protección frente a radiaciones e impactos, a la vez que brindaría suficiente aislamiento frente a los altos cambios de temperatura. El proceso de creación de esta base es muy sencillo y trata de aprovechar los materiales de la superficie lunar:

- Se despliega un módulo tubular que previamente ha sido transportado al satélite.
- Se extiende una cúpula hinchable convirtiéndose en estructura principal de la construcción.
- Se cubre ésta con regolito, mediante el uso de una impresora 3-D robotizada, creando así la protección necesaria para el asentamiento.

Por su parte en “*Mars Habitat*”, *Foster* y su equipo plantean un sistema parecido. Se trata también de crear un refugio para cuatro astronautas. Éste, al igual que en el proyecto planteado para la *Luna*, aprovecha los materiales existentes en la superficie para cubrir la estructura original. De esta forma se ahorra el envío de gran parte de los materiales necesarios desde la *Tierra*, haciendo más sencilla la colonización. Como novedad respecto a “*Lunar Habitation*”, este proyecto plantea la construcción en varias etapas, no precisándose en las primeras de intervención de astronautas-constructores, pudiendo así comenzar antes de la llegada de éstos. La cronología constructiva sería la siguiente:

- Llegada de una serie de robots programados que elegirían el sitio y cavarían un cráter de 1,50 m de profundidad.
- En dicho cráter se produciría el despliegue de la nueva construcción, de una forma parecida a la pensada para el proyecto lunar.
- Con el objetivo de proteger dicha construcción, se cubriría con el material existente en la superficie del planeta.

La gran diferencia entre este proyecto y el propuesto para la *Luna* es la distancia existente entre la *Tierra* y la *Luna* y entre ésta y *Marte* (la segunda mucho mayor que la primera). Con estas condiciones nace la idea de una primera fase en la que **la intervención humana es mínima**.

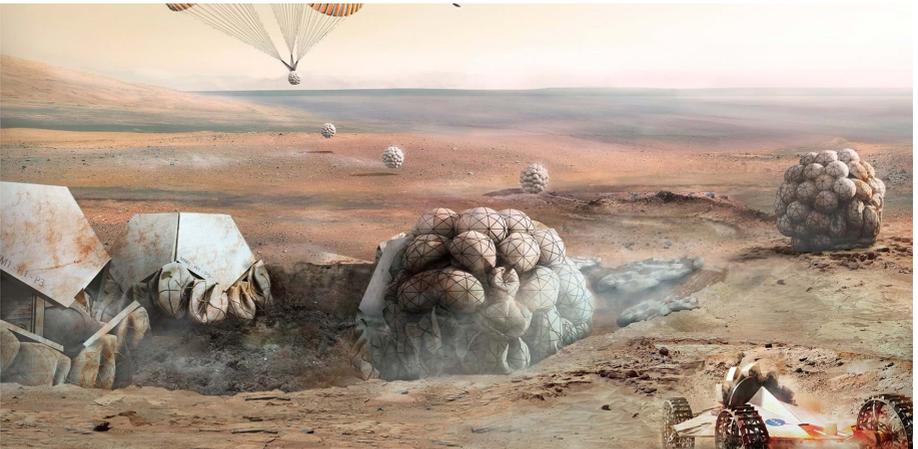
Lunar Habitation.
▼ Render del módulo.



Mars Habitat. Inicio del
▼ proceso de implantación.



Mars Habitat. Implantación de
▼ los distintos módulos.





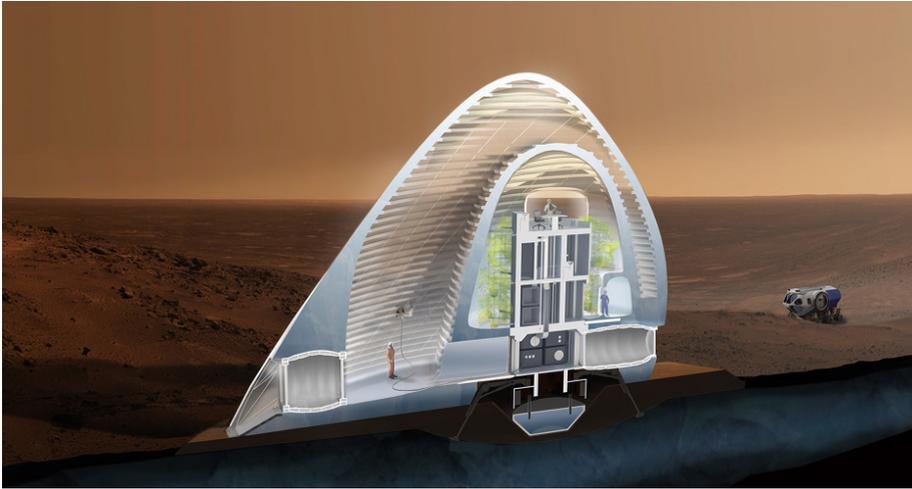


6.7. MARS ICE HOUSE – CLOUDS AO (2015)

En investigaciones llevadas a cabo entre final del siglo XX y principios del XXI se descubrió la presencia de depósitos de agua en forma de hielo en nuestro sistema solar. Algunos de ellos se encuentran en la *Luna* y en *Marte*.

El agua constituye, sin duda, uno de los recursos de referencia para las futuras colonizaciones. Una de las premisas de partida de la NASA es la de “*seguir el agua*” en las exploraciones. El agua, componente esencial de la vida, es el principal recurso utilizado en el diseño de “*Ice House*”. Su presunta abundancia en ciertas áreas de *Marte* determina que este trabajo quiera aprovecharlo como pilar fundamental de su esquema.

El diseño de la “*Ice House*” surgió de la idea de querer crear conexiones visuales con el paisaje desde el interior de la base. De este modo se consigue un mayor bienestar para los habitantes del complejo. Aunque los científicos han experimentado distintas formas de sustituir la luz solar, éstas no logran resultados convincentes.



Uno de los problemas a los que nos podríamos enfrentar en *Marte* respecto a la luz solar es el de la **radiación**. En este sentido, el agua en forma de hielo de las paredes de la base sería capaz de contrarrestar este peligro y de servir como barrera ante dicha radiación. Esta solución cambiaría radicalmente el rumbo de la arquitectura marciana, pues en la mayoría de estudios los resultados arrojan soluciones en forma de un hábitat oscuro y enterrado bajo una superficie regolítica que busca protección ante el cercano *Sol*. Además, esta solución presenta más beneficios para la salud frente a otras descritas, pues se cree que el material que se encontraría en *Marte* y con el que se cubrirían las nuevas estructuras contiene percloratos, yesos y otras sustancias peligrosas para la vida humana.

En este proyecto, el módulo se organiza interiormente **de forma vertical**. Se plantea así por su similitud con la estructura de las cápsulas de viaje empleadas por las tripulaciones que realizarían el trayecto hacia el planeta marciano. Se buscaría así facilitar la gradual adaptación

de la tripulación a su posterior vida en la superficie de *Marte*.

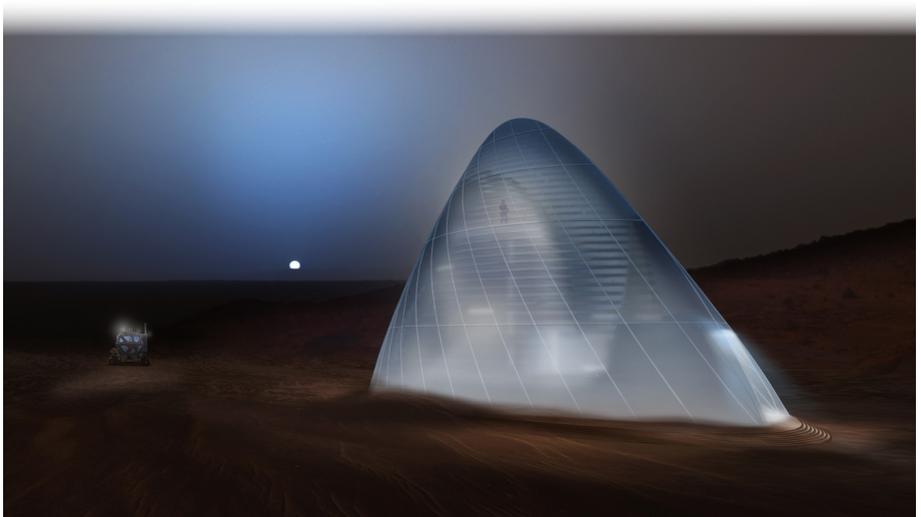
Una vez posado el módulo sobre el planeta rojo, se desplegaría una membrana inflable bajo la cual se organizarían los diferentes espacios. Con esta protección se distribuirían los espacios habitables en función de su actividad, diferenciando entre zonas privadas y zonas comunitarias. Además, se plantearía una zona de almacenamiento de gran tamaño que permitiría albergar tanto a los robots como a los cuatro sistemas necesarios para lograr el control ambiental y de soporte vital. Una escalera de caracol en el centro del módulo de aterrizaje facilitaría la circulación entre los distintos niveles.

Entre las zonas habitables del módulo y el exterior se encontraría una denominada zona “*neutra*”. Este espacio protegido permitiría a los astronautas experimentar el “*exterior*” sin llegar a necesitar un traje especial. Esta idea nos presenta una nueva forma de vida extraterrestre y buscaría hacer más agradable la vida en *Marte*.

En el interior de este espacio se conseguiría concentrar la luz dentro de la superficie de la estructura abovedada gracias a que, con esta forma, se crearía un efecto de “*lente de Fresnel*”. En esta zona, además, se crearía un espacio semiindependiente dotado de unas condiciones de temperatura distintas, que permitiría albergar plantas, consiguiendo un espacio hasta ahora inimaginable en la superficie marciana.

En este espacio la vida vegetal crecería, consiguiendo rodear a los habitantes. Estos jardines verticales servirían como “*parques*” recreativos dentro del hábitat, rompiendo así la monotonía alienígena del paisaje de marciano, al tiempo que serviría para complementar las necesidades de comida y oxígeno necesarias para la vida de los habitantes. Los jardines permitirían el cultivo de productos consumibles y su ubicación ofrecería el contacto del equipo con la vida vegetal y los colores naturales durante el desarrollo de sus tareas diarias. Esta zona ayudaría, en suma, a conseguir el bienestar psicológico y mental de las tripulaciones. El “*patio*” proporcionaría espacio para ventilar el exceso de oxígeno producido.

Mars Ice House. Render general del módulo.



6.8. MARS SCIENCE CITY – BIG (2014)

El proyecto de *BIG* junto con el gobierno de los *Emiratos Árabes Unidos* es uno de los más ambiciosos que se han llegado a proponer para la colonización de *Marte*. Además, plantea la construcción del denominado “*Mars Science City*”, un “*modelo viable y realista*” para la simulación de ocupación en el paisaje marciano.

“*Mars Science City*” albergaría una variedad de piezas de programas para investigadores y visitantes, incluidos laboratorios para el estudio del comportamiento en *Marte* de todos los elementos necesarios para la supervivencia. Por otro lado, se propone la construcción de un museo utilizando una de las técnicas frecuentemente consideradas para la construcción del hábitat marciano: la impresión en 3-D empleando arena del desierto árabe.

En cuanto al proyecto en el ámbito exterior a los límites terrestres, *BIG* estudia tres posibilidades de construcción: **estructuras bajo tierra**, **estructuras creadas con impresoras en 3-D** y **estructuras hinchables**; cada una de ellas presenta distintas ventajas e inconvenientes. Finalmente decide proponer la creación de un proyecto que utilice estas tres técnicas, salvando así los inconvenientes de unas con las ventajas de otras.

El cronograma que propone el estudio es el siguiente:

- Levantamiento de una estructura hinchable, creando así una gran área aprovechable.
- Después de “*asegurar*” la zona, distintos grupos de drones pueden terminar las obras excavando en algunos lugares. De esta forma se conseguirían espacios protegidos de la radiación.
- Creación de espacios con impresoras 3-D, utilizando materiales extraídos del mismo planeta, facilitando así futuras expansiones.

Con esta estrategia se pretende crear distintos espacios protegidos de la radiación. Algunos, los más profundos, estarían más protegidos que el resto. Partiendo de esta idea se comenzaría por la creación de refugios aislados, para más tarde continuar el crecimiento hasta conseguir zonas más amplias. *BIG* resume su proyecto en la secuencia definida por los tres siguientes pasos:

- Lleva tus edificios.
- Lleva las máquinas necesarias para construir los edificios.
- No necesitas llevar nada más.

Mars Science City.
▼ Render general.



Mars Science City.
▼ Render interior.



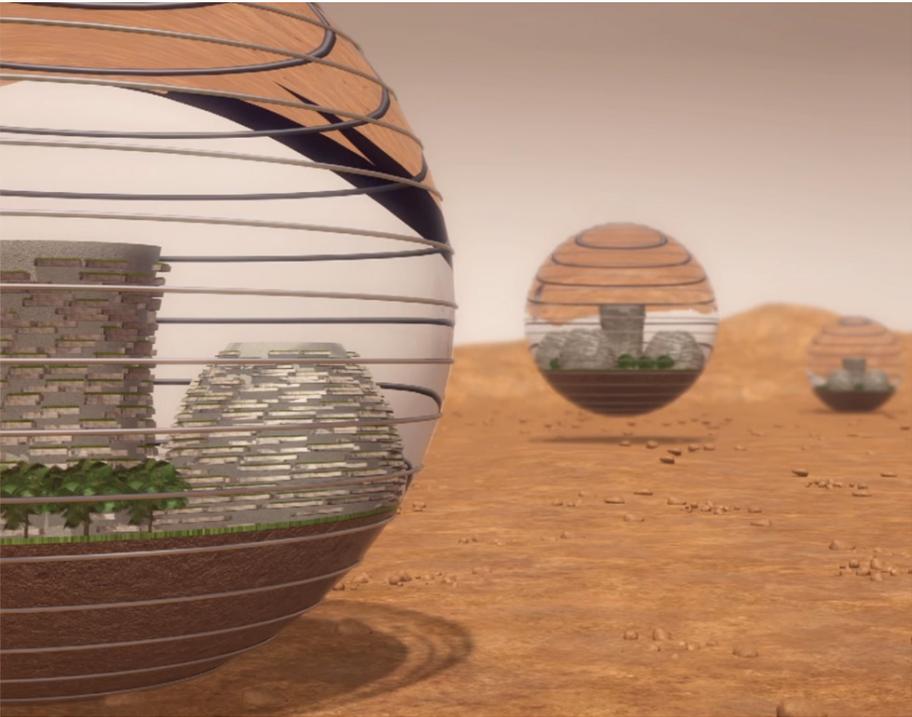
6.9. NEW SHANGHAI – STEFANO BOERI (2017)

Este proyecto, conocido como “*Nuevo Shanghai*”, fue mostrado en la exposición “*Shanghai urban space and art*” del año 2017. La propuesta fue creada por el arquitecto italiano *Stefano Boeri* (n. 1956) junto con el estudio *Future City Lab*.

Este es, sin duda, el proyecto más utópico motivado por las ideas del arquitecto italiano. Boeri cree que si los humanos no cuidan el medio ambiente ciudades como Shanghai desaparecerán de aquí a cien años, debido al calentamiento global. Por tanto, quiso proponer la idea de una colonia en *Marte* de cara a inspirar futuros proyectos.

La propuesta contempla el transporte de esferas desde la *Tierra* a *Marte* a través de una estación espacial interplanetaria. Estas esferas contendrían edificios de gran altura y juntos formarían una “*ciudad bosque*” en el planeta rojo.

Por último, una gran cúpula cubriría todo el complejo. Solucionando de esta forma los problemas derivados de la generación de oxígeno, radiación y ambiente en *Marte*.



▲ New Shanghai. Transporte de las ciudades hacia Marte.

6.10. OUTPOST OLYMPUS – RED HOUSE (2015)

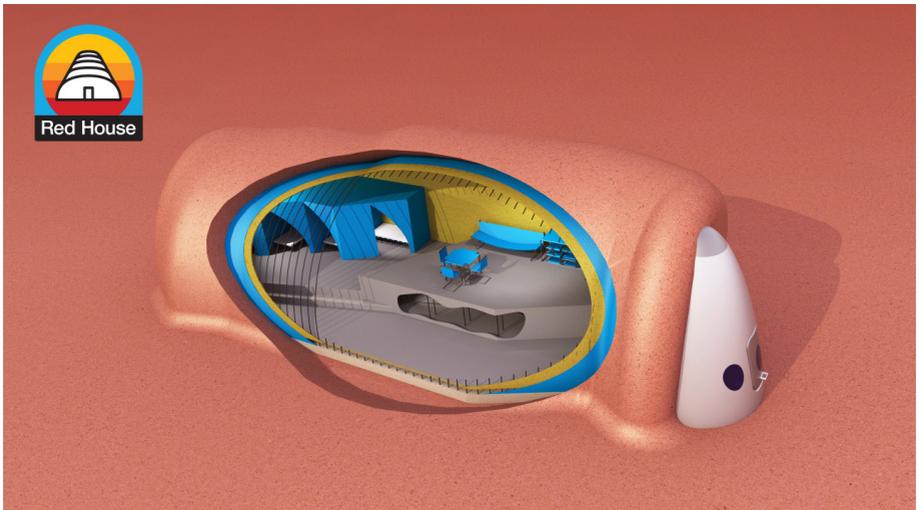
El equipo “Red House”, formado por un grupo de estudiantes de Arquitectura, Diseño Gráfico, Física y Diseño Industrial, presentó su idea de proyecto con un enfoque novedoso del refugio marciano.

El grupo se centró en dos problemas principales: el enorme costo de la exploración humana en *Marte* y lo complicado que sería el traslado de materiales. Para resolver el primero de los impedimentos, “Red House” propone llevar a cabo el proyecto haciendo uso de la fabricación autónoma a través, de nuevo, de la impresión en 3-D. Por otro lado, una vía para compensar el costo de los recursos necesarios sería buscar formas de incorporar la utilización de los que pudieran encontrarse en la superficie marciana.

Buscando la viabilidad del proyecto, el equipo basa su diseño en la fabricación de varillas compuestas de basalto para imprimir en 3-D un marco estructural que sirva como núcleo del hábitat. Primeramente, el basalto se recogería directamente de la superficie. A continuación, el marco estructural se imprimiría en su lugar de ubicación, como una serie de nervios en espiral y de entrelazado de una varilla continua, ahorrando el uso de ensamblaje.

Una vez el marco colocado, el módulo de aterrizaje de la tripulación se integraría como cámara estanca del hábitat. El conjunto resultante se cubriría con los materiales de los paracaídas usados durante el aterrizaje. La tela de nylon apretada sobre las costillas del marco soportaría el regolito crudo que se aplicaría en la parte superior del proyecto. Esa tela actuaría también como respaldo de una serie de capas que se aplicarían en busca de protección.

Así pues, el proyecto tan solo requeriría de la fabricación in situ del marco estructural. Además, los materiales que se usan de la Tierra serían reciclados de las cápsulas que utilizarían los astronautas para viajar hasta el planeta vecino. Este sistema está pensado para una construcción **rápida, liviana y práctica**.

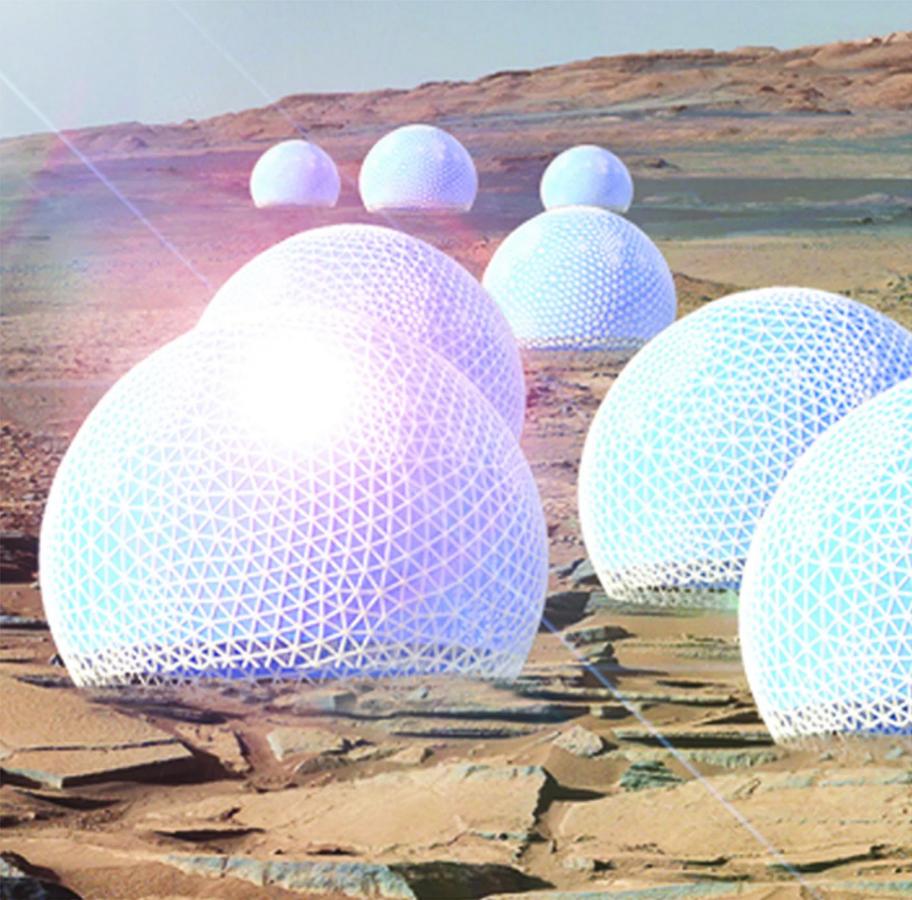


6.11. REDWOOD FOREST – VALENTINA SUMINI + MIT (2017)

La arquitecta italiana *Valentina Sumini* junto con un equipo de ingenieros del MIT fueron los ganadores del concurso “*Mars City Design*” del año 2017 con una propuesta que plantea la colocación de una serie de módulos con forma esférica a lo largo de la superficie marciana. Éstos, a su vez, están conectados entre ellos a través de una serie de túneles, apodados “*raíces*” en el proyecto.

Las raíces proporcionan acceso seguro acceso seguro a los diferentes hábitats al mismo tiempo que sirven como protección ante la radiación cósmica, impactos de micro meteoritos o cambios bruscos de temperatura.

Cada hábitat estaría diseñado para hospedar a unas cincuenta personas; el equipo propone la implantación de doscientas. Las estructuras incluirían espacios privados y públicos, así como plantas y agua recolectada de las llanuras del norte de Marte, según la memoria del proyecto.



▲ Redwood Forest.
Render: general.

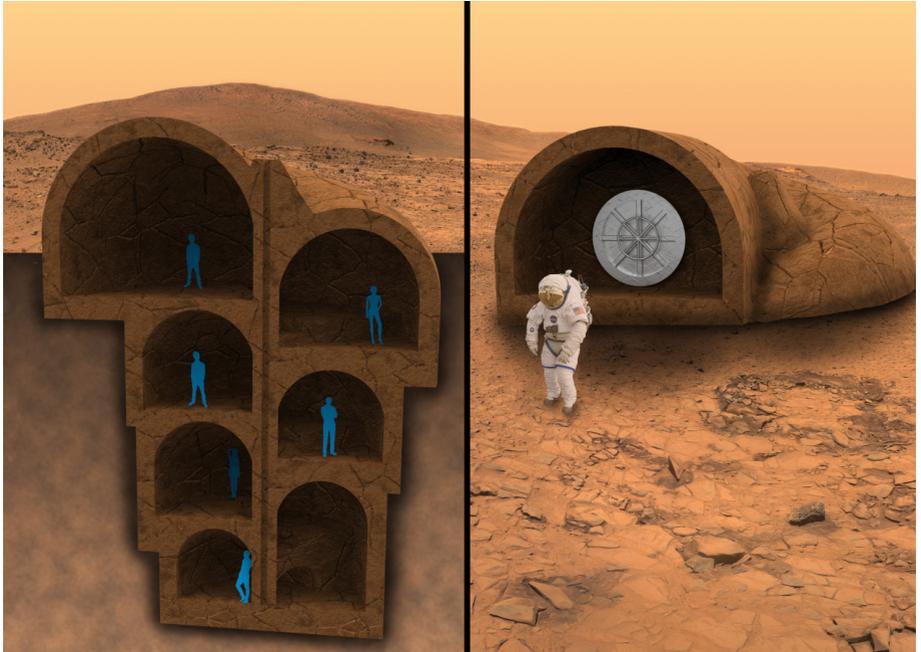
6.12. REDWORKS HABITAT – REDWORKS (2015)

RedWorks es una empresa especializada en el desarrollo de la construcción aprovechándose del uso de la tecnología. Por ello, no es de extrañar que su propuesta se centre más en esta parte que en la arquitectónica.

Al igual que se ha visto en propuestas anteriores, los autores plantean el uso del **regolito** encontrado en *Marte* como material de construcción. Según sus estudios, este material conformaría una buena barrera protectora contra numerosos agentes. Por otro lado, *RedWorks* basa su diseño en la naturaleza, asemejándose su refugio al caparazón del *Nautilus*.

En el proyecto se propone imprimir en 3-D desde un punto fijo que serviría como eje. La base, dividida en tres niveles, se organizaría alrededor de éste. Una escalera central conectaría los distintos módulos entre sí. Este diseño básico del refugio podría sufrir pequeñas modificaciones para adaptarse a las construcciones geológicas existentes.

RedWorks Habitat. Sección y render general.



6.13. SFERO HOUSE – FABULOUS (2015)

A pesar de no ser americana, la compañía francesa *Fabulous*, especializada en impresión 3-D, reunió a un equipo de arquitectos y científicos para realizar un proyecto “*burbuja*” en Marte. La única condición que se impusieron fue que pudiera construirse en su totalidad mediante el empleo de impresoras en 3-D.

“*Sphero House*” propone la construcción de un refugio bajo dos cúpulas protectoras. Entre éstas se plantea una capa de agua para aumentar la defensa ante la radiación en el planeta. Según se puede deducir de las imágenes presentadas, los distintos módulos estarían enterrados casi en su totalidad, dejando a la vista tan solo las cúpulas y el acceso al interior.

El espacio interior se encontraría dividido en zonas que se diferenciarían en función de sus usos. En los pisos superiores se encontrarían las estaciones de trabajo, mientras que en los inferiores se localizarían las habitaciones.

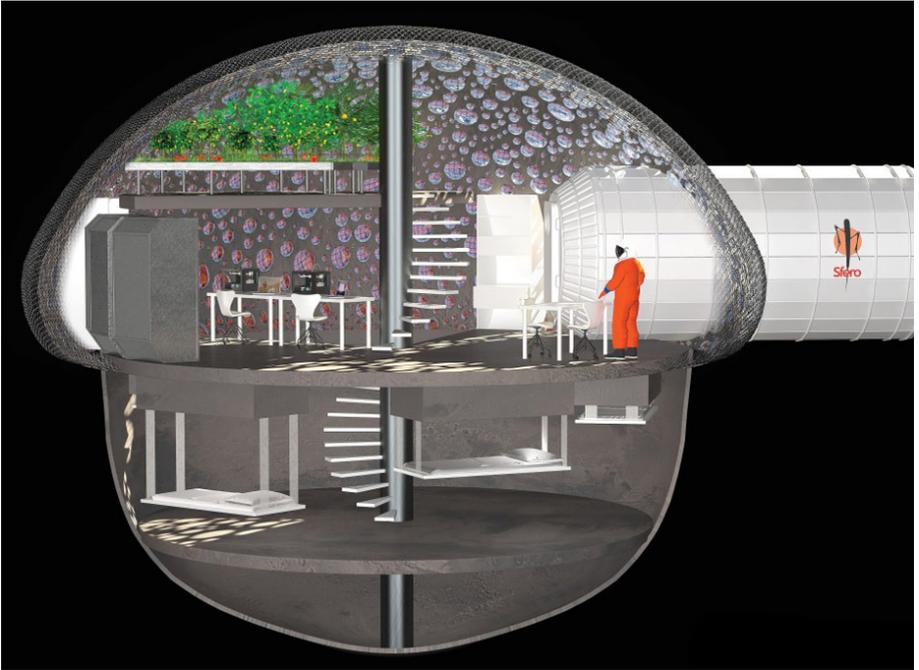
La construcción comenzaría a realizarse introduciendo un soporte central que se adentraría varios metros bajo el suelo, para luego proceder a la extensión de dos brazos robóticos capaces de recoger todo el material a utilizar en la impresión de las carcasas del hábitat.

La forma esférica responde así al objetivo de ofrecer una alta resistencia a la baja densidad atmosférica existente en el planeta rojo. El diseño busca aprovechar la abundancia de óxido de hierro existente en *Marte* (descubierto en muestras de polvo y rocas recogidas en varias exploraciones de la *NASA*) para reutilizarlo y convertirlo en el material constructivo principal.

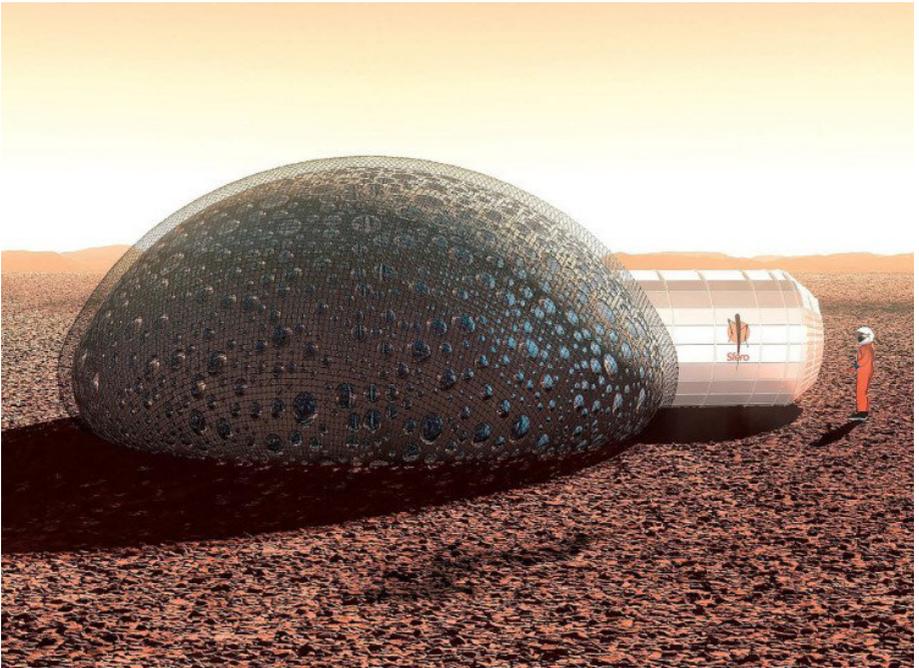
En esta primera excavación también se buscaría hielo en niveles subterráneos para poder utilizarlos en la capa de agua de 30,00 cm mencionada anteriormente. Según *Arnault Coulet*, fundador de *Fabulous*, esta capa de agua podría ser “*un recordatorio psicológico permanente del elemento principal de la Tierra: el agua. Ésta sería una especie de líquido protector para la tripulación*”.

El equipo propone el cráter “*Gale*” como lugar para asentar el proyecto, debido a la abundancia de óxido de hierro en su entorno y a la alta posibilidad de encontrar agua líquida en niveles subterráneos.

Sphero House.
▼ Sección.



Sphero House.
▼ Render.



7. PAUTAS Y CONCLUSIONES

Tras haber realizado la exposición y estudio de las líneas fundamentales contenidas en las diferentes propuestas llega la hora de sacar conclusiones. Todos los proyectos, a pesar de presentar diferencias entre sí, comparten una serie de características comunes que podrían servir de base a la hora de abogar por una propuesta de intervención en Marte.

Las diferentes propuestas son, en definitiva, una **consecuencia de la intervención humana en la naturaleza**. Y es que, terrestre o marciana, no debemos olvidar que estamos alterando el entorno y que, como condición indispensable, **tenemos que adaptarnos a éste**.

Como ya se ha expuesto, el asentamiento de la vida humana en *Marte*, a día de hoy, presenta una serie de problemas que necesariamente hay que tener en cuenta. Los obstáculos fundamentales con los cuales nos enfrentamos pueden resumirse en los que siguen:

- Está lejos.
- En su superficie se producen grandes cambios de temperatura.
- Su atmósfera es más fina que la de la Tierra; no es posible para los humanos vivir en ella.
- En su superficie existe una gran radiación.
- Durante un par de meses la presencia de fuertes tormentas de arena en la superficie del planeta se acentúa.

Mediante el planteamiento de las siguientes conclusiones se espera solucionar estos cinco grandes impedimentos.

7.1. PROYECTOS SUBTERRÁNEOS

Una característica muy repetida en los diferentes estudios es la propuesta de **enterrar** casi en su totalidad las construcciones proyectadas. Esto se debe a varias razones. A pesar de haberse asentado hace 4.000 millones de años, la vida en la *Tierra* comenzó a despegar hace “sólo” unos 1.500 millones de años, como consecuencia de que las cianobacterias comenzaran a desarrollar la fotosíntesis generadora de oxígeno.

El oxígeno producido por estos microbios condujo a la formación de una capa de ozono en la atmósfera que protegió la vida en la superficie frente a la radiación ultravioleta. Es por ello que hasta que no se desarrollen las instalaciones necesarias para “*terraformar*” la atmósfera marciana, nuestras propuestas deberían partir necesariamente del soterramiento.

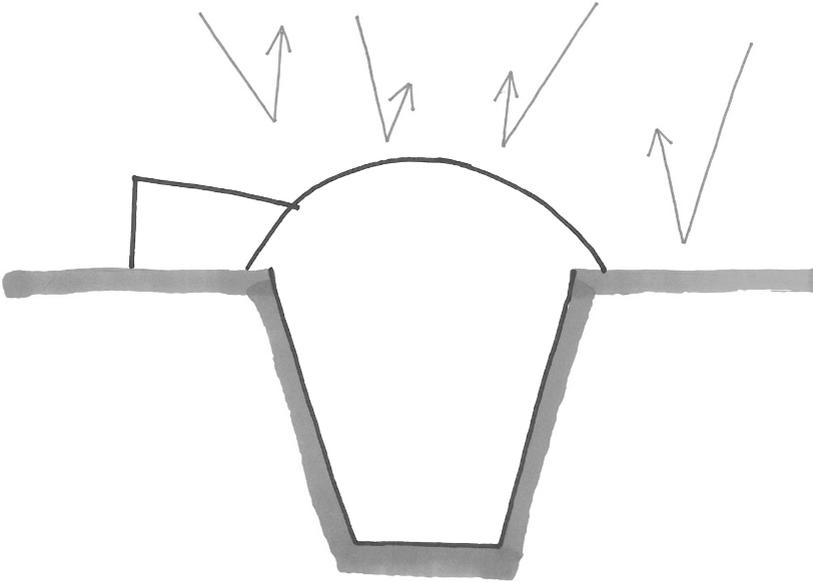
Vivir bajo tierra solucionaría **tres** de los problemas comentados anteriormente. Un proyecto subterráneo traería consigo, evidentemente, numerosas ventajas: a la ya mencionada protección contra la radiación hay que añadir la protección climática que con ello se lograría. Los cambios de temperatura en *Marte* son más bruscos que en la *Tierra*, llegando a producirse intervalos que discurren desde los 20 °C durante el día, hasta los -70 °C nocturnos. Así pues, la tierra funciona muy bien como aislante, logrando estabilizar la temperatura media de los espacios interiores.

En lo que se refiere a las frecuentes tormentas de arena que tienen lugar en el planeta, una base que se situase al completo sobre la superficie marciana sufriría mucho con éstas. Es lógico pues, enterrar parte de los módulos de cara a conseguir esa mayor protección.

En consonancia con algunas de las ideas desplegadas al comienzo de nuestra exposición, un hábitat subterráneo daría respuesta a la idea que defiende que **la ciudad es un exoesqueleto de lo humano**. De hecho, la protección que nos ofrecería la tierra y la ubicación soterrada servirían como defensa frente a los numerosos inconvenientes que hemos expuesto.

Por otro lado, otra de las ideas comentadas sostenía que **la ciudad evoluciona en función de los desastres a los que debe hacer frente**. Si algo nos han enseñado años y años de ocupación en la Tierra es a prever estos desastres, e intentar minimizar los daños que pudieran provocar. De ahí que también hayamos estudiado las condiciones del planeta rojo para anticiparnos a las adversas consecuencias derivadas de las desfavorables condiciones existentes.

Pero aún quedarían problemas por solucionar, entre ellos el de la necesaria generación de oxígeno o el del necesario acondicionamiento de los espacios a crear. Ambos condicionantes nos conducirían indefectiblemente hacia el diseño de espacios cerrados.



▲ Esquema. Construcción subterránea

7.2. ESTRUCTURAS PLEGABLES/USO DE IMPRESORAS 3-D

Después de un viaje de nueve meses, los astronautas que lleguen a *Marte* tendrían que comenzar a construir el refugio, y hasta entonces vivir en la nave que los transportó hasta allí. Pero también cabría preguntarse: **¿y si ese refugio, o gran parte de él, ya estuviera creado?**

En numerosas referencias se ha podido ver cómo los arquitectos proponen la creación de los módulos de habitación utilizando impresoras 3-D. Una de las ventajas de esta solución sería que antes de la primera incursión humana en el planeta rojo ya podríamos comenzar con

la construcción de las bases mediante robots.

Behrokh Khoshnevis, ingeniero de la *NASA*, ha estado trabajando durante años en robots que pueden imprimir edificios en 3-D mediante la extrusión de hormigón, y en esta línea está liderando la investigación para llevar esta tecnología a *Marte*.

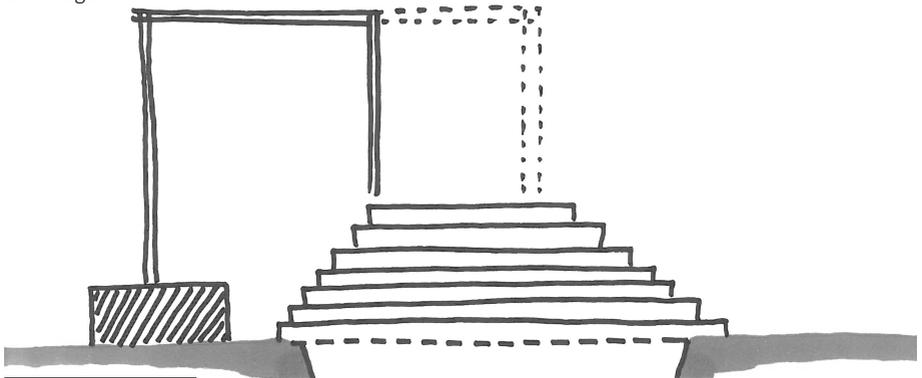
El método de *Khoshnevis* de impresión de edificios se ha denominado “*Creación de curvas de nivel*”¹⁹. Funciona de forma similar a la impresión 3-D tradicional, con la diferencia de que las máquinas son mucho más grandes y, en lugar de extrudir plástico, utilizan hormigón. Es, precisamente, el material de construcción lo que actualmente plantea el mayor desafío. El hormigón no es el único material que se podría utilizar para este fin; de hecho, en Marte sería mucho mejor construir todo lo que necesitamos utilizando los recursos disponibles en el lugar, en lugar de agregar materiales a la carga útil de la nave que nos transportaría hasta allí.

En 2013 la *Agencia Espacial Europea* reveló sus planes para una base lunar. La construcción de ésta se planteaba con una impresora 3-D. Esa idea ha ido evolucionando y, a pesar de no haber construido en la Luna aún, es una de las posibilidades para construir en *Marte*.

Según una investigación publicada por la revista *Scientific Reports*²⁰ ya se han estado realizando pruebas mediante una simulación del polvo que encontraremos en *Marte* mezclado con solventes y biopolímeros, creando una gran variedad de objetos con resultados muy satisfactorios. Estos objetos tienen más del 90% de polvo, pero también son, según el equipo, flexibles, elásticos y resistentes, muy parecidos al caucho. Se pueden cortar, enrollar, doblar y darles forma. El equipo ahora está trabajando en un método para calentarlos en un horno, convirtiéndolos en un material duro y cerámico.

Otra de las opciones, que no ha aparecido en las propuestas estudiadas, resultaría de aplicar la idea propuesta por *Pérez Piñero* y, de alguna forma, transportar antes de la colonización estructuras plegables prefabricadas. Uno de los problemas que presentaría esta solución sería la necesidad de espacio que, a pesar de estar plegada, ocuparía la estructura en el viaje; sin embargo, esta posibilidad podría ofrecer más seguridad y fiabilidad que frente a los riesgos derivados de la creación de módulos conseguidos empleando únicamente materiales recogidos en el lugar.

Esquema. Uso de robots
▼ para la construcción.



19 Vid. nota 10.

20 <https://www.nature.com/articles/srep44931>

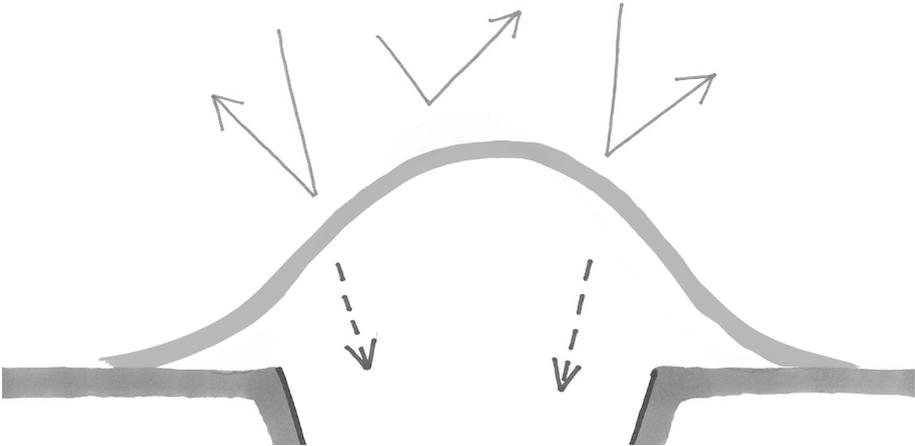
7.3. ESTRUCTURAS Y MATERIALES LIVIANOS

Debido a su gravedad (un tercio de la terrestre) una de las oportunidades que nos ofrece Marte y su entorno es la de poder construir con materiales ligeros o nunca usados con fines estructurales aquí en la Tierra.

En este abanico de posibilidades se encontraría la posibilidad de uso de **hielo**, un material que ya se ha podido apreciar en uno de los proyectos estudiados; para ello habría que buscar localizaciones cuya temperatura permitiese la conservación del agua en este estado sólido. Entre las ventajas que ofrecerían estos “*iglús marcianos*” se encuentra la protección que procurarían frente a la radiación procedente de la superficie del planeta. El agua está compuesta por hidrógeno, un material protector frente a los mencionados rayos.

Por otro lado, otra de las ventajas que nos ofrecen las paredes ejecutadas con bloques de hielo es que permitirían el paso de la luz, lo cual ayudaría a que los astronautas no tuviesen la sensación de estar permanentemente atrapados dentro de una cueva, haciendo más fácil la acomodación a la vida extraterrestre.

“Para crear, primero hay que destruir”: destruir nuestra idea de arquitectura y del uso de los materiales cotidianos para pensar en aprovechar nuevos materiales y aplicar distintos métodos constructivos.



▲ Esquema. Materiales livianos y sus ventajas.

7.4. UN FUTURO PROMETEDOR

A lo largo de nuestra existencia, el único hogar que la humanidad ha conocido es la *Tierra*. Pero la historia nos ha demostrado que ninguna especie sobre el planeta tiene garantizada su supervivencia en un pequeño punto aislado del resto. El ejemplo más claro de ello sería el de los dinosaurios: 165 millones de años habitando en la *Tierra* y lo único que nos queda de ellos son sus restos fosilizados.

Volviendo a lo comentado por *Michel Serres*, **las ciudades se consumen a sí mismas**. La *Tierra* se va consumiendo a sí misma. Colocar a la humanidad en más de un planeta aumentaría nuestra existencia miles o quizás millones de años.

A día de hoy *Marte* es el objetivo más asequible debido a su cercanía respecto a otros planetas y sus condiciones. De hecho, la *Tierra* tiene sus días vinculados a la existencia del *Sol*, que tiene fecha de caducidad más o menos conocida; el traslado a *Marte* sería así el ensayo para preparar el posterior y necesario a un planeta adecuado de otro sistema solar, confiando que, durante nuestra estancia marciana, el progreso de la técnica habrá permitido la realización de esos viajes interestelares.

Estas, y las demás razones comentadas a lo largo de la exposición que precede, nos empujan a alentar a la humanidad a seguir indagando sobre esta aventura que marcaría nuestro inicio como colonizadores espaciales.

Tras analizar las diferentes posibilidades de habitación contenidas en las propuestas analizadas, podemos afirmar que, en rigor, ninguna de ellas resuelve en su totalidad todos los problemas presentes en una aventura tan compleja. La solución definitiva, como casi siempre, debería resultar de una hábil combinación de diferentes aspectos contenidos en las diversas propuestas analizadas. En este sentido, la más plausible a nuestro juicio, debería partir de la idea contenida en la denominada "*Mars Ice House*", donde se recogen dos de las tres ideas fundamentales que debiera contener la mejor solución, según se recoge en este apartado de conclusiones.

Pero, aún lejos de encontrar una solución definitiva, sí podemos afirmar sin ambages que, **lo que hasta hace unos años parecía una locura, hoy está más cerca de convertirse en realidad**, gracias a las bases sentadas por las propuestas que se han ido (y se irán, en el futuro) desarrollando y perfeccionando en torno a una idea que se nos aparece cada vez más real y con ciertas posibilidades de éxito; y en esta línea optimista, preferimos terminar coincidiendo con *Elon Musk*, cuando afirma: **"algunos creen que está bien quedarse en la *Tierra* para siempre. Otros no. Crear una civilización autosuficiente en *Marte* para asegurar la vida humana, un futuro donde seamos una civilización que se expande en el Universo y explora las estrellas, es infinitamente más emocionante que uno en el que no lo hacemos"**.

8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

8.1. BIBLIOGRAFÍA

- APOSTOLOS DOXIADIS, Konstantinos. **“ECUMENOPOLIS: Tomorrow’s City”**. De BRITANNICA Book of the year 1968, Encyclopaedia Britannica.
- De LANDA, Manuel. **“Mil años de historia no lineal”**. GEDISA, 1997.
- GOLFARD, Christophe. **“El universo en tu mano”**. Círculo de Lectores. Barcelona, 2016.
- GUATTARI, Félix y DELEUZE, Gilles. **“A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia”**. Bloomsbury Revelations, 2013 (reedición; edición original 1980).
- JEANNERET-GRIS, Charles-Édouard (Le Corbusier). **“Urbanismo”**. Paris, 1924.
- JEANNERET-GRIS, Charles-Édouard (Le Corbusier). **“La ciudad del futuro”**. Ediciones Infinito, 2001 (cuarta edición).
- KUSHNER, Marc. **“El futuro de la arquitectura en 100 edificios”**. TEDBooks. Nueva York, enero de 2016.
- KOOLHAAS, Rem. **“Five Cities. The Generic City”**. The Monacelly Press. 1995.
- MAAS, Wietske; PASQUINELLI, Matteo. **“Food for the City: A Future for the Metropolis. Manifesto of Urban Cannibalism (Amsterdam declaration)”**. Brigitte van der Sande. Rotterdam, abril de 2012.
- MARGULIS, Lynn. **“Origin of Eukaryotic Cells: Evidence and Research Implications for a Theory of the Origin and Evolution of Microbial, Plant, and Animal Cells on the Precambrian Earth”**. Yale University Press. 1970.
- MARX, Karl. **“Grundrisse”**. Siglo XXI, 1976.
- NIETZSCHE, Friedrich. **“Así habló Zaratustra”**. Ernest Schmeitzner, 1891.
- PASQUINELLI, Matteo. **“Anomaly Detection: The Mathematization of the Abnormal in the Metadata Society”**. Berlin, febrero–abril de 2015.
- PETRANEK, Stephen. **“How We’ll Live on Mars”**. TEDBooks. Nueva York, julio de 2015.
- SERRES, Michel. **“Le Parasite”**. University of Minnesota Press, 2007 (reedición; edición original 1980).
- Von BRAUN, Wernher. **“The Mars Project”**. Fráncfort del Meno. Estados Unidos, 1952.
- WAGNER, Richard; ZUBRIN, Robert. **“Alegato a Marte”** (“The case of Mars”). Free Press. Nueva York, junio de 2011 (reedición; edición original 1996).

- WEIR, Andy. **“El marciano”** (“The Martian”). Ediciones B-Nova. Barcelona, 2014 (traducido de la edición original de 2011).

8.2. REFERENCIAS EN LA WEB

- <https://www.astrofisicayfisica.com/2014/12/como-es-la-gravedad-en-marte.html>
- http://nocamels.com/2015/10/israeli-3dprinted-mars-habitat-nasa/?utm_source=activetrail&utm_medium=email&utm_campaign=nc14%2F10%2F15
- <https://www.tumblr.com/privacy/consent?redirect=http%3A%2F%2F3dp-challenge.tumblr.com%2Fpost%2F128778509398%2Fteam-arch-design-donut-house-mk-i-awarded>
- <http://www.lavahive.com/>
- <https://www.fosterandpartners.com/es/projects/lunar-habitation/>
- <https://www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat/>
- <http://www.marsicehouse.com/>
- <https://www.archdaily.com/880528/uae-announces-140-dollars-million-big-designed-mars-science-city>
- <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2423309/Could-live-underground-caves-Mars-Architects-propose-concept-carve-homes-beneath-red-planets-surface.html>
- <https://www.stefanoberarchitetti.net/en/press-release/human-mars-new-shanghai-2117-vertical-forest-on-mars/>
- <http://3dpchallenge.tumblr.com/post/128778108758/team-red-house-design-outpost-olympus-the-red>
- <http://3dpchallenge.tumblr.com/post/128776130093/team-redworks-design-redworks-habitat-the>
- <https://www.dezeen.com/2015/09/11/fabulous-double-domed-3d-printed-sfero-bubble-house-mars-red-planet/>
- <https://www.marscitydesign.com/>
- <https://futurism.com/mit-radical-design-martian-city/>
- <https://www.nature.com/articles/s41526-018-0041-4>
- <https://www.nature.com/articles/srep44931>

8.3. FILMOGRAFÍA

- BARNETT, Michael (productor y director). 2017. **“La generación de Marte”** [documental]. Estados Unidos, SuperFilms!

- BERMAN, Bruce (productor) y HOFFMAN, Antony (director). 2000. **“Planeta Rojo”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, Warner Bros.
- DEVITO, Danny (productor) y NICCOL, Andrew (director). 1997. **“Gattaca”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, Columbia Pictures.
- ELIJAH ROSENBERG, Mark (productor y director). 2016. **“Rumbo a lo desconocido”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, 3311 Productions.
- FENEGAN, Stuart (productor) y JONES, Duncan (director). 2009. **“Moon”** [cinta cinematográfica]. Reino Unido, Sony Pictures Classics.
- GOUT, Everardo (productor y director). 2016. **“Marte”** [serie documental]. Estados Unidos, Imagine Entertainment.
- HEMINGWAY, Alex (productor y director). 2017. **“Objetivo Marte”** [documental]. Reino Unido.
- HEYMAN, David (productor) y CUARÓN, Alfonso (director). 2013. **“Gravity”** [cinta cinematográfica]. Reino Unido, Esperanto Filmoj.
- HODGE, Oliver (director). 2007. **“Bioconstrucción: el guerrero de la basura”** [documental]. Reino Unido.
- KINBERG, Simon (productor) y SCOTT, Ridley (director). 2015. **“Marte (The Martian)”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, 20th Century Fox.
- KUBRICK, Stanley (productor y director). 1968. **“2001: una odisea del espacio”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, Metro-Goldwyn-Mayer.
- STARKEY, Steve (productor) y ZEMECKIS, Robert (director). 1997. **“Contact”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, Warner Bros.
- THOMAS, Emma (productora) y NOLAN, Christopher (director). 2014. **“Interstellar”** [cinta cinematográfica]. Estados Unidos, Legendary Pictures.