

Alumno
Ramón Mansergas Cortés

Tutor
Juan José Tuset Davó

ARQUITECTURA DE SUPERVIVENCIA

PROYECTAR EN LA NATURALEZA. SENSIBILIDAD Y MATERIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Trabajo Fin de Grado
Curso 2018-2019

Palabras clave

Desierto, Arquitectura vernácula, adaptación al clima, arquitectura extraterrestre, Marte

Key words

Desert, Vernacular architecture, climate adaptation, extraterrestrial architecture, Mars

RESUMEN

En la actualidad, el planeta Tierra se enfrenta a múltiples amenazas como la sobrepoblación mundial, unos recursos finitos y el posible devastador impacto de un asteroide. Con este panorama y el desarrollo tecnológico de últimos años, el hecho de colonizar otro planeta para garantizar la supervivencia de la raza humana se ve cada vez más como una necesidad. Por proximidad, Marte supone el entorno habitable con más posibilidades. Teniendo este planeta un clima que bien podría asemejarse a un desierto terrestre, aunque con ciertas particularidades.

En el presente trabajo, se propone un análisis de la arquitectura vernácula en las zonas más áridas de nuestro planeta, con el fin de situar a esta como una referencia para los moradores de las primeras colonias marcianas. Entendiendo estas construcciones primitivas como una arquitectura de supervivencia, cuyas principales características son: la funcionalidad, la escasez de medios de producción y unos recursos limitados. Tomando como punto de partida el estudio de los distintos mecanismos proyectuales de adaptación al entorno llevados a cabo por los primeros habitantes del desierto, y el conocimiento sobre estos inhóspitos climas. El trabajo se ha centrado en cuatro casos de estudio que atienden a diferentes formas de afrontar las adversidades climatológicas del entorno. Del análisis de estos casos de estudio se destilan unas pautas proyectuales que permiten imaginar cómo esta adaptación al entorno podría llevarse a cabo por parte de los futuros terrícolas migrantes a otros planetas.

RESUM

En l'actualitat, el planeta Terra s'enfronta a múltiples amenaces com la sobrepoblació mundial, uns recursos finits i el possible devastador impacte d'un asteroide. Amb aquest panorama i el desenrotllament tecnològic dels últims anys, el fet de colonitzar un altre planeta per a garantir la supervivència de la raça humana es veu cada vegada més com una necessitat. Per proximitat, Mart suposa l'entorn habitable amb més possibilitats. Tenint aquest planeta un clima que bé podria assemblar-se a un desert terrestre, encara que amb certes particularitats.

En el present treball, es proposa una anàlisi de l'arquitectura vernacla en les zones més àrides del nostre planeta, a fi de situar aquesta com una referència per als habitants de les primeres colònies marcianes. Entenent estes construccions primitives com una arquitectura de supervivència, les principals característiques de la qual són: la funcionalitat, l'escassetat de mitjans de producció i uns recursos limitats. S'han pres com a punt de partida l'estudi dels distints mecanismes projectius d'adaptació a l'entorn duts a terme pels primers habitants del desert i el coneixement sobre estos inhòspits climes. El treball s'ha centrat en quatre casos d'estudi que atenen a diferents formes d'afrontar les adversitats climatològiques de l'entorn. De l'anàlisi d'estos casos d'estudi es destil·len unes pautes projectives que permeten imaginar com esta adaptació a l'entorn podria dur-se a terme per part dels futurs terrícoles emigrants a altres planetes.

Nowadays, planet Earth faces several menaces such as global overpopulation, finite resources and the possible devastating impact of an asteroid. With this scenario and the technological development of the last years, the idea of colonising another planet in order to ensure the survival of human kind is seen as an increasing necessity. Mars seems to be the habitable environment with the most possibilities due to its proximity. The climate in this planet resembles to the climate conditions of an earthly desert although it has some peculiarities.

This project proposes an analysis of a vernacular architecture in the aridest areas of our planet with the aim of placing it as a model for the inhabitants of the first Martian colonies. These primitive constructions are understood as an architecture of survival, whose main characteristics are: usefulness, the shortage of means of production and limited resources. In this research work, both the study of the different mechanisms of adaptation to the environment carried out by the first desert inhabitants and the knowledge regarding these inhospitable climates have been taken as a starting point. Focus has been placed on four case studies that pay attention to different ways of facing the climate adversities of the surroundings. From the analysis of these case studies we can extract a series of patterns that allow us to imagine how this adaptation to the environment could be carried out by future earthlings if they were to migrate to other planets.

ABSTRACT

ÍNDICE

	Págs.
Objetivo y metodología	9
Introducción: A la conquista del entorno	13
De la cueva a la cabaña	14
Arquitectura vernácula	15
El próximo gran salto	16
Marte	16
Aproximación al clima desértico	17
Concepto	18
Extensión	19
Tipologías	20
Oasis	23
Desertificación	24
La arquitectura como refugio: bioclimatismo	25
Principios y origen	26
Concepto de microclima	27
Parámetros de confort ambiental	28
Mecanismos bioclimáticos	29
Casos de estudio: Estrategias de adaptación al entorno	31
El refugio transportable: La jaima	33
La materia del lugar: Las casas Obus	43
La agrupación como estrategia: Shibam	53
El hábitat subterráneo: Casas enterradas en Shaanxi (China)	63
Tabla resumen de las estrategias estudiadas	73

Marte: un desierto extraterrestre	75
Introducción: la vida interplanetaria	76
El viaje	77
Clima y condiciones particulares	79
Un pequeño ecosistema	83
Algo más que lo físico, lo psicológico	85
Nueva sociedad, nuevas jerarquías, nueva arquitectura	86
Proyectos extraterrestres: Una mirada crítica	87
Conceptos constructivos previos: cúpulas y hormigón marciano	89
Mars City: La gran colonia humana	95
Mars Hábitat: crecimiento modular	101
Khan-Yates Hábitat: Una célula autosuficiente	107
Tabla resumen de las estrategias extraterrestres	113
Conclusión	115
Bibliografía	119
Bibliografía fotográfica	123
Anexos	129

OBJETIVO

La primera forma de habitar la Tierra y hacer frente a las inclemencias de la naturaleza por parte del ser humano fue claramente, la cueva. Esta se entiende como una arquitectura que el entorno nos proporciona y que solo hubo que habitar y acondicionar. Pero ya sea por necesidad o curiosidad, llega un momento en el que el ser humano se lanza a explorar y sale de esa arquitectura, ese soporte del habitar ya dado, y surge el agente creador, constructor del propio espacio que va a habitar. Es en este momento, cuando se habita un entorno desconocido por primera vez, cuando surgen las respuestas más primitivas frente al clima y basadas estrictamente en la funcionalidad y el confort.

El presente Trabajo Final de Grado tiene como propósito analizar las estrategias proyectuales que permitieron la supervivencia de los primeros moradores de los distintos climas desérticos en nuestro planeta, al mismo tiempo que conocer mejor estos entornos extremadamente áridos. Apoyándose en este estudio, en última instancia se pretende imaginar cómo debería ser la próxima colonización de un entorno extremo como es el planeta Marte. Puesto que el tema a abordar es extenso, se ha optado por concentrar el estudio en cuatro mecanismos distintos de adaptación en los cuales se analiza el contexto cultural, la materialidad, la estructura, la forma de agrupación, y la respuesta de la arquitectura con respecto al entorno. El objetivo de estas premisas es garantizar una cierta homogeneidad en el desarrollo del trabajo, a la vez que con los distintos ejemplos lo que se pretende es ofrecer un abanico amplio de distintas respuestas, que nos permita entender mejor la adaptación al

clima en entornos con distintos factores culturales y ciertas variaciones de las condiciones climáticas. Por último, y con una curiosidad parecida a la de los primeros habitantes del desierto, se estudia la posibilidad de colonizar el planeta rojo, y se revisa algunas obras de aquellos que en los últimos años han sido capaces de imaginar el habitar entornos extremos parecidos al desierto, pero en otros planetas.

METODOLOGÍA

El procedimiento que se ha llevado a cabo para la realización del trabajo ha sido:

- Introducción teórica a las primeras formas de habitar y su relación inequívoca con la naturaleza. La arquitectura vernácula como concepto. Planteamiento de la necesidad de habitar otros entornos como Marte.

- Estudio del clima desértico y las condiciones climáticas como preámbulo a la complejidad de proyectar en este medio.

- El bioclimatismo como concepto. Introducción a la adopción de distintas soluciones proyectuales como forma de repeler las condiciones extremas del clima, permitiendo así el desarrollo de la vida.

- Exposición de los casos de estudio seleccionados. Empezando por forma más liviana y efímera de implantación en el lugar que supone la jaima. Siendo esta la primera forma de habitar el desierto y elemento fundamental de las tribus nómadas en estos climas. Asimismo, se realiza una agrupación de los casos de estudio en base a su interés con respecto a: La relación individual con el entorno y los mecanismos de adaptación, la materialidad y la estructura, y la agregación como estrategia.

Los proyectos elegidos representan un punto de inflexión en su contexto, en cuanto a la reflexión sobre los mecanismos de adaptación al clima y la relación con el entorno. En definitiva, el método consiste en aportar una visión global de los factores que influyen en la dotación de habitabilidad a un espacio de vivienda, en un clima que no se presta a ello. Como conclusión, este trabajo busca poner en valor la arquitectura vernácula

como aquella que aporta las claves para la supervivencia y adaptación de la raza humana a entornos hostiles. Poniendo de manifiesto la importancia de conocer adecuadamente los retos a los que se enfrentaron y que decisiones tomaron los primeros moradores del desierto, para poder extrapolarlos a la posible colonización de nuevos planetas para instaurar allí la vida humana.

En la última parte del trabajo se presentan los retos a los que habrá que enfrentarse para la conquista de Marte, entre ellos: el viaje, las condiciones particulares de aquel entorno y el aspecto psicológico que entraña para el ser humano habitar un entorno desconocido. Basándose en toda la información recopilada a lo largo del trabajo, se termina revisando con una mirada crítica tres proyectos con distintas claves ideados para el planeta Marte.

INTRODUCCIÓN

La conquista del entorno

DE LA CUEVA A LA CABAÑA

La construcción del espacio es algo que ha estado ligado al ser humano, desde el momento en el que este decide abandonar la cueva para construir su propio hábitat. Esto surge del sentimiento de que era posible construir un espacio más agradable y funcional del que ofrecía la naturaleza como manera de refugio. Fuera del abrigo de estas estructuras sólidas e impuestas que suponían las cavidades en macizos y rocas, había que imaginar cómo y con qué estructuras se podría alcanzar el confort deseado, buscando una necesaria adaptación al medio y la viabilidad de ser construida con los materiales que la naturaleza podía ofrecer.

Heidegger en su texto *“Construir, habitar, pensar”*¹ habla del habitar como rasgo fundamental del ser humano y explica cómo esta esencia le lleva a construir lugares por medio del ensamblamiento de sus espacios. Es decir, entiende el habitar como algo inherente al ser humano, que le lleva a perfeccionar este espacio cotidiano, mediante la construcción y adaptación al entorno. El grabado de Abate Laugier² que se muestra a la derecha supone una interpretación de ese salto de la arquitectura dada por la naturaleza a la arquitectura construida por el hombre. En este se evidencia como la cabaña primitiva guarda esa relación con el lugar tanto por la forma en la que se implanta como por los materiales que emplea.

¹ HEIDEGGER, Martin. *Construir, habitar, pensar*. Revista académica *Teoría*, Universidad de Chile, Núm. 5-6, 1975, Pp. 150-162.

² LAUGIER, Marc-Antoine. Grabado alegórico de la cabaña primitiva. aparición en el libro *Essai sur l'architecture* 2.ª ed. París, 1975



Fig. 1, La cabaña primitiva

Por otra parte este surgir de la cueva, no es algo que sucedió de manera aislada ni en un momento preciso de la historia, sino que aconteció de manera más o menos errática en distintas partes del mundo, con diferentes climas y bajo diversas culturas. El producto de todos estos factores comentados, dio como resultado multitud de respuestas y mecanismos de adaptación, que posteriormente se perfeccionarían generación tras generación con la adquisición de nuevos conocimientos. De esta manera, cada civilización emprende su propia construcción del espacio, con distintos materiales y distintas formas de ejecución en función de la disponibilidad de materiales y de la tecnología que poseían. Esto produce multitud de estrategias constructivas, que Alberto Campo Baeza en su libro “De la cueva a la cabaña”³ y a través de la destilación de las ideas de Gottfried Semper⁴ y Kenneth Frampton⁵, distingue entre la arquitectura que evoca a la cueva y la que se asemeja a la cabaña.

Esta distinción lleva a clasificar lo construido diferenciando entre lo estereotómico y lo tectónico. Entendiendo por estereotómico, la arquitectura que evoca a la cueva, con un sistema estructural continuo, una arquitectura masiva, pétreo, que se asienta sobre la tierra como si de ella surgiera. Por el contrario, lo tectónico es la arquitectura de la cabaña, aquella con un sistema estructural de nudos y juntas, donde la

construcción es articulada y la fuerza de la gravedad se transmite de forma sincopada, es una arquitectura ligera, que se posa sobre la tierra sin apenas tocarla. (Campo Baeza, 2003)

ARQUITECTURA VERNÁCULA

El presente trabajo fin de grado pretende incidir en el análisis de estas estrategias proyectuales llevadas a cabo en el salto de la cueva a la cabaña en climas desérticos. Una mutación de proporciones bíblicas, que coloniza un ambiente arduo, irracional y cruel con las formas de vida. Es en este crisol con las condiciones más desfavorables a la existencia, donde la adaptación a la naturaleza y el clima se vuelven imprescindibles para la subsistencia. Donde lo construido, el hábitat, se vuelve una piel que da refugio a la vida frente a las condiciones externas. El empeño por la supervivencia en estos climas desérticos se vuelve un enigma, y los mecanismos de adaptación una genialidad fruto, no se sabe si de un acto reflejo del ser humano o de la reflexión más profunda. Estas estrategias proyectuales se van transmitiendo y perfeccionando con el paso del tiempo, dando lugar a lo que se conoce como arquitectura vernácula.

“La arquitectura vernácula no sigue los ciclos de la moda. Es casi inmutable, inmejorable, dado que sirve su propósito a la perfección”

*Bernard Rudofsky*⁶

³ CAMPO BAEZA, Alberto. *Sustancia y circunstancia: memoria del curso 2002-2003. De la cueva a la cabaña*. Maira Libros, Madrid, 2003.

⁴ SEMPER, Gottfried. *The Four Elements of Architecture: And Other Writings*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1989.

⁵ FRAMPTON, Kenneth. *Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance*. Postmodern Culture, London, 1983.

⁶ RUDOFISKY, Bernard. *Arquitectura sin arquitectos*. Editorial universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1973. p. 5

Rudofsky habla de la arquitectura vernácula como una arquitectura de sublimación, resultado de una evolución pero conservando su carácter esencial, la funcionalidad. Pudiendo entonces asumir lo vernáculo, como único u originario de una región o cultura, producido sin la necesidad de importar objetos o procesos de otro lugar, y normalmente producido por los individuos que lo habitan. La arquitectura vernácula es sostenible en sí, no solo por el hecho de construir con materiales y técnicas locales, ésta también contribuye a la sostenibilidad de las culturas e identidades propias, así como a la abundante cantidad de respuestas para cada clima.

EL PRÓXIMO GRAN SALTO DE LA HUMANIDAD

Por otra parte, es este carácter de la arquitectura vernácula de acumulación de conocimiento y experiencia a largo de las generaciones, lo que la convierte en una valiosa lección de cara a afrontar nuevos retos en entornos inexplorados. Tal y como muestra la cita del director científico de la NASA John Grunsfeld, cada vez se ve más próxima la posibilidad de tener que habitar otros planetas. Este gran paso para la humanidad debe entenderse como la colonización de un entorno arduo, que no puede realizarse sin prestar atención a la experiencia y el espíritu de supervivencia que encierra la arquitectura vernácula. Es por ello que el presente trabajo toma conciencia del enorme reto que se plantea a la hora de instaurar la vida humana en un entorno hostil como es el de Marte, y antes de dar el gran salto a lo desconocido, se decide buscar las claves que permitieron la supervivencia de la raza humana en los entornos más duros de nuestro propio planeta.

“Si queremos asegurar la futura supervivencia de la Humanidad, antes o después tendremos que dejar la Tierra. Es prácticamente seguro que en algún momento nuestro planeta sufrirá el impacto de un asteroide devastador. También es casi una certeza que el clima cambiará hasta el punto de convertir la Tierra en un lugar inhabitable, ya sea por causas naturales o provocadas por nosotros mismos. Por lo tanto, creo que no sólo tendremos que viajar a Marte, el siguiente planeta más lógico en el que podríamos establecernos, sino mucho más lejos, a otros sistemas planetarios.”

John Grunsfeld⁷

MARTE

En la búsqueda del origen del universo para explicar nuestra propia existencia, se ha descubierto que este es mucho más grande de lo que se podía imaginar. Aunque por limitaciones tecnológicas y debido a las enormes distancias que separan los planetas, Marte, el planeta más cercano al nuestro, ha sido visitado varias veces con curiosidad y estudiado con más detenimiento que otros. Tal vez este carácter del “habitar” inherente al ser humano del que hablaba Heidegger es lo que ha llevado a diversos escritores, arquitectos y científicos a imaginar la posibilidad de habitar el planeta rojo. Siendo este el leitmotiv del trabajo, imaginar una arquitectura marciana.

⁷ Entrevista a John Grunsfeld, astronauta y director científico de la NASA. *La Humanidad tendrá que conquistar otros planetas para sobrevivir*. Diario El Mundo, Madrid, 16/06/2014. Periodista Pablo Jáuregui.

APROXIMACIONES AL CLIMA DESÉRTICO

CONCEPTO

Los desiertos son un entorno emocional, en los que se pone de relieve la fragilidad de la existencia frente a la fuerza de la naturaleza humana por la supervivencia. Para comprender los mecanismos proyectuales que se llevan a cabo en los climas áridos, es fundamental conocer las características climáticas de estos y sus particularidades, ya que serán estas las que determinaran la respuesta que ofrece la arquitectura.

Es a principios del siglo XX, con la existencia de instrumentos de medición que permitían parametrizar y dar valor a los fenómenos ambientales, cuando se empiezan a almacenar estos datos, que más tarde permitirá analizarlos con una visión de conjunto y clasificarlos. Es entonces, cuando el climatólogo Wladimir Köppen⁸ a principios del siglo pasado clasifica y da nombre a los distintos comportamientos climatológicos. Estableciendo de forma general cinco categorías, siendo estas: tropical, templado, seco, frío y polar. Estas categorías a su vez se subdividían con mayor precisión, de manera que se pudiese describir cualquier clima terrestre con bastante exactitud. Para describir el clima era necesario como mínimo datos de los últimos treinta años en lo relativo a la temperatura en la superficie, el viento, cuantía de precipitaciones y variabilidad. (Aronson, 2008)⁹. En términos científicos los desiertos o zonas áridas son el resultado de un déficit de agua debido a un ciclo hidrológico en el que la tierra pierde más agua que la que capta. Aunque puede haber precipitaciones estas son escasas y

se distribuyen de manera irregular a lo largo del año o incluso de los años. Las zonas áridas se definen como aquellas que tienen menos de 250 mm de precipitaciones al año. Debido a que son zonas donde se produce una alta evaporación y hay muy escasas precipitaciones, en general carecen de ríos permanentes. Podemos encontrar distintos tipos de desiertos como El Gobi a gran altitud, el desierto del Sahara de baja altitud; También pueden ser fríos como el desierto de la Patagonia o calientes como el de Arabia; también encontramos otros desiertos húmedos como el de Atacama. (Aronson, 2008)¹⁰. Las zonas semiáridas también conocidas como estepas, tienen un déficit de agua menos extremo que los desiertos y a menudo se encuentran en los márgenes de estos como una transición entre climas secos y otros más templados. Estos reciben unas precipitaciones contenidas entre 250 y 500 mm al año. En estos climas encontramos calurosos veranos y fríos inviernos. Su composición más habitual es la de llanuras con vegetación de tipo arbustiva, pudiendo disponer de ríos estacionales o en algunos casos incluso permanentes.

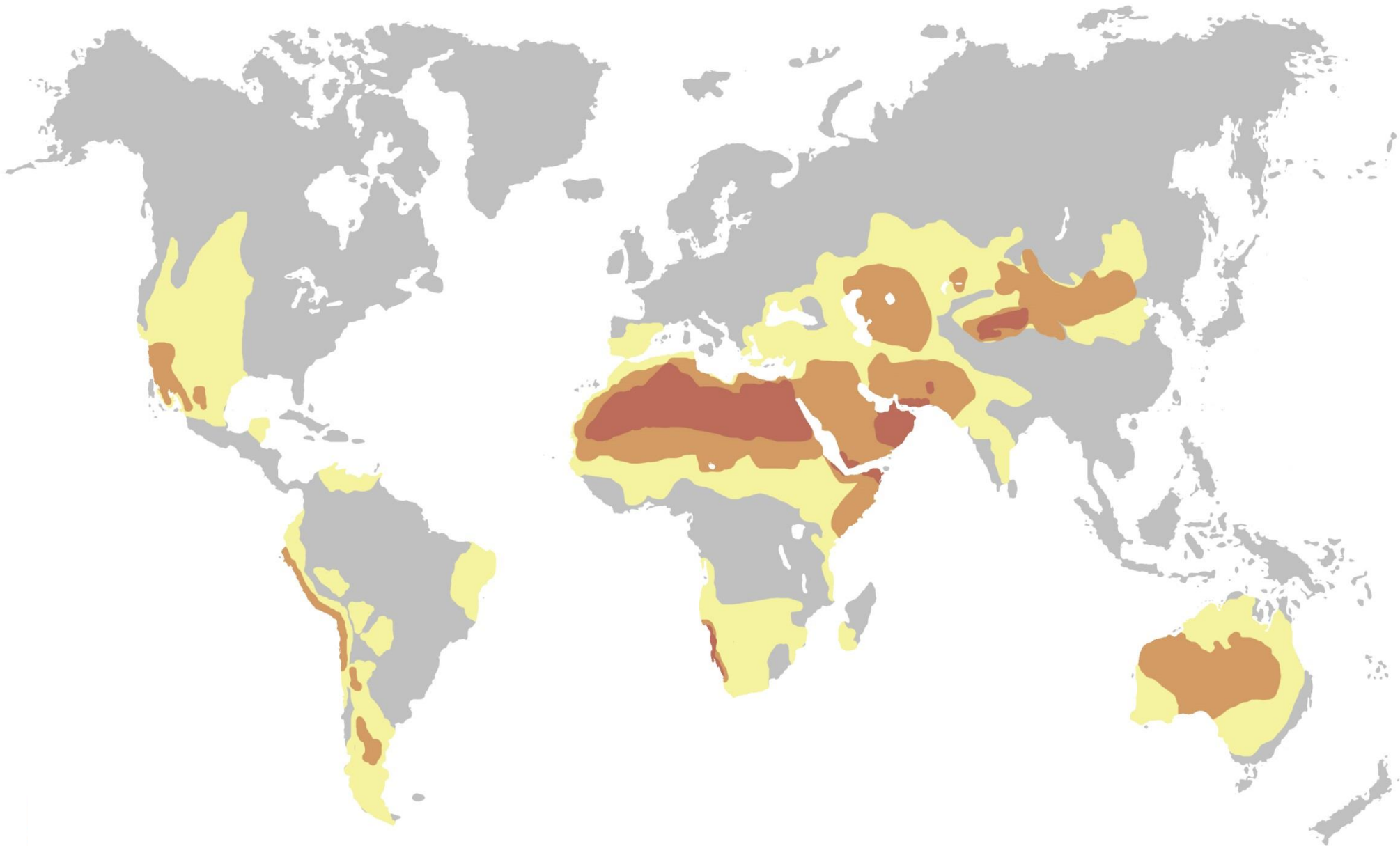
EXTENSIÓN

Según la clasificación de Köppen los climas secos incluyen zonas áridas y semiáridas. Las zonas áridas que engloban desde desiertos extremos a otros menos severos y cubren de manera aproximada el 14% de la superficie terrestre; y las zonas semiáridas compuestas por márgenes de desiertos y estepas suman otro 14%. De manera que casi el 30% de la superficie terrestre está compuesta por este tipo de climas áridos.

⁸ KÖPPEN, Wladimir Peter. *Manual de climatología*. Universidad de Graz, Austria, 1919.

⁹ ARONSON, Shlomo. *Aridscapes: Proyectar en tierras áspersas y frágiles*. Editorial Gustavo Gili, Colección Land & ScapeSeries, Barcelona, 2008. p.27

¹⁰ ARONSON. Op. cit., p.29



- Muy árido
- Árido
- Semi-árido

Fig. 2, Regiones áridas del planeta. Elaboración propia, basado en el documento fotográfico nº 8106 de la UNESCO

Según el programa medioambiental de las Naciones Unidas, la población en climas desérticos ha aumentado gradualmente en el siglo XX, y puede estimarse que en torno a 900 millones de personas viven en zonas áridas. En el caso de África es mucho mayor el número de personas que viven en este tipo de climas, llegando a representar el 49% de la población del continente. En el plano que aparece a la izquierda se puede observar la superficie de la tierra colonizada por este tipo de climas, distinguiendo entre zonas más áridas y menos áridas. (UNESCO, 2006)¹¹

TIPOLOGÍAS

Aunque normalmente para evocar los desiertos, la imagen que se muestra es de un paisaje de dunas de arena, lo cierto es que este tipo de paisaje solo representa el 20% de la superficie de zonas áridas y semiáridas (Laity, 2008)¹². Estos mares de dunas solo son el producto final de todo un proceso de desgaste en severas condiciones. La progresiva erosión, transporte y sedimentación deja a su paso distintos tipos de paisajes desérticos con sus propias particularidades pudiendo agruparlos con carácter general en: Desierto rocoso, desierto pedregoso o hamada (REG), desierto arenoso (ERG).¹³ Muchas veces estos se sobrepone y conviven como en la imagen que se muestra a la derecha, puesto que están íntimamente relacionados, llegando a confundirse las fronteras entre ellos.

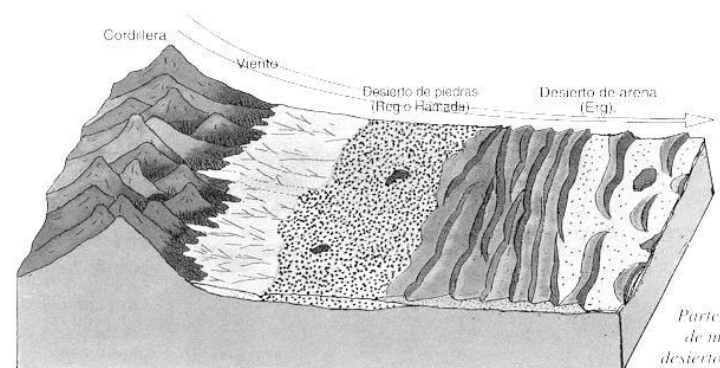


Fig 3, Erosión y formación de distintos paisajes desérticos a causa de agentes naturales.

¹¹ UNESCO. *Desertificación*. revista digital *El correo de la UNESCO*, Junio de 2006, ISSN 1993-8616. p.13

¹² LAITY, Julie. *Deserts and desert environments*. New York, Wiley-Blackwell Publications, 2008. p. 8

¹³ Artículo online: *Africa Physical Geography*, National Geographic Education, 2013

El desierto rocoso es el primitivo, aquel que está formado por macizos montañosos, normalmente de materiales fácilmente erosionables y porosos, que con el paso del tiempo van dando forma a montañas redondeadas. Como se puede observar en la imagen de la derecha, frontera entre los distintos tipos de paisajes desérticos, donde la vegetación es nula y el relieve escarpado de la montaña deja paso a una gran planicie.

Por otra parte, esta transición de paisajes suele dar paso a un desierto pedregoso, producto de dos factores, por una parte está el fenómeno de la termoclasia en las rocas, que provoca que las se disgreguen y fracturen formándose otras más pequeñas. Esto se da al someterlas constantemente a contracciones y dilataciones debido a la acusada variación temperatura entre el día y la noche en estos climas. Por otra parte está el fenómeno de los diluvios, aunque poco frecuentes, en el desierto las precipitaciones se producen en forma de lluvias torrenciales que arrastran estas pequeñas piedras y las conducen creando valles rocosos resultado de la acumulación de estas rocas transportadas. En este también se pueden encontrar a veces vestigios de grandes rocas que han resistido a la erosión. Este último tipo de desierto compuesto de un lecho de pequeñas rocas con aristas de canto vivo también se le conoce como hamada en árabe. La mayor hamada del mundo es el desierto pedregoso del Draa, en el noroeste del desierto del Sáhara, ubicada entre Marruecos, Argelia y el Sáhara Occidental. (National Geographic, 2013)¹⁴



Fig. 4, Desierto rocoso del Gobi



Fig. 5, Desierto pedregoso próximo al Atlas marroquí

¹⁴ Artículo online: *Africa Physical Geography*, National Geographic Education, 2013

En lo que respecta al desierto arenoso o ERG, es un paisaje esculpido por el viento, en constante cambio debido al movimiento de las dunas. Siendo las dunas, acumulaciones de pequeñas partículas de origen mineral, que debido al viento pueden desplazarse con el paso del tiempo. En estas encontramos la parte de barlovento que es la que queda expuesta al viento y tiene una pendiente de entre 10-15°, por otra parte está la parte de sotavento, oculta al viento y la cual tiene una pendiente mucho más pronunciada (30-35°), esta es la cara de deslizamiento la cual sufre desplomes periódicos. (Lancaster, 1995)¹⁵

En la imagen de la derecha se puede ver cómo afecta la incidencia del viento a las dunas y las fases del desplazamiento de estas. En una primera fase, la arena sube por la joroba de la duna y se va acumulando en la parte superior, transcurrido el tiempo, se logra una gran concentración de arena en la parte superior y la pendiente de sotavento aumenta de manera considerable. Cuando está pendiente supera los 35° aproximadamente, esta ladera de la duna colapsa y se produce un deslizamiento del talud. Una vez esto sucede, se reinicia el proceso, desplazándose lateralmente las dunas. Aunque esto no siempre es así, existen dos tipos distintos de dunas. Por un lado están, las dunas activas, las cuales cambian de forma por acción del viento y no poseen vegetación. Mientras que también existen las dunas inactivas, siendo aquellas que tienen una cobertura vegetal que impide el desplazamiento de las mismas, y por lo tanto no cambian de forma.

¹⁵ LANCASTER, Nicholas. *Geomorphology of desert dunes*. Chapter Sand transport by the win. Routledge, Londres, 1995. p.17

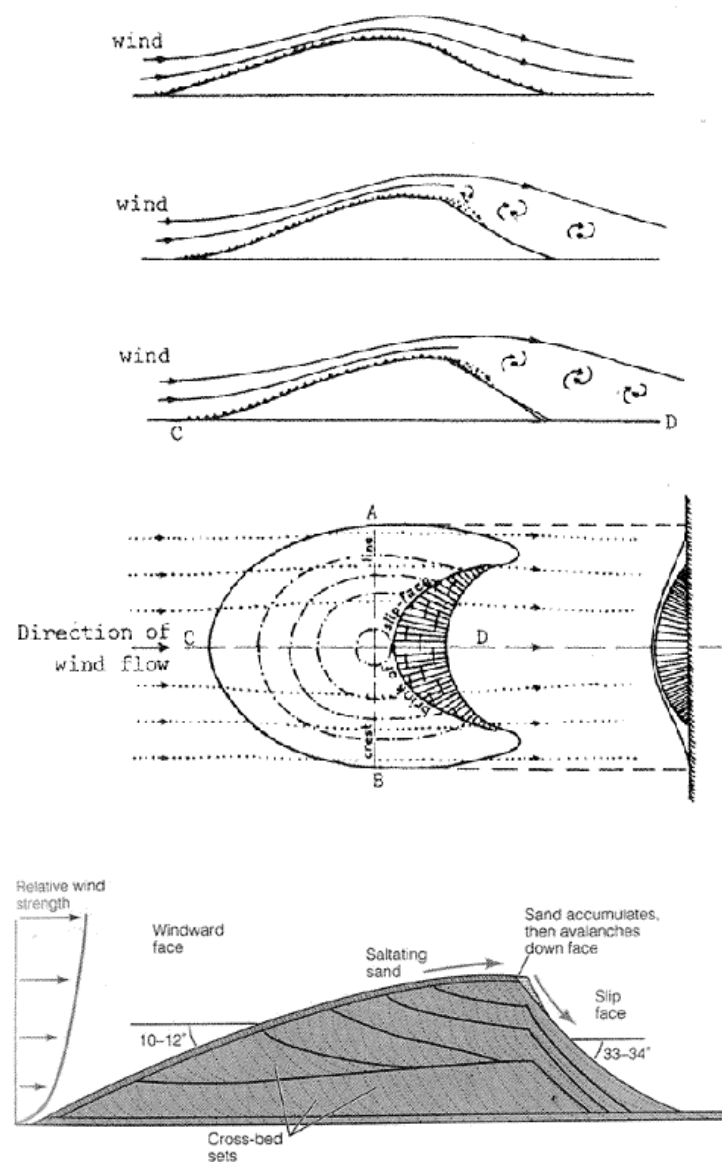


Fig. 6, Formación de las dunas barchan.

OASIS

Como ya se ha visto existen muchos tipos distintos de desierto, con condiciones climatológicas y paisajes muy distintos, aunque si algo guardan en común estos entornos es la inmensidad de su extensión y la falta de agua. Esta vasta percepción del espacio, a veces se ve interrumpida por los oasis, fuentes de agua que surgen de manera puntual y que riegan su entorno con abundancia y exuberancia. El agua es un componente necesario para la vida, por ello en zonas desérticas donde esta es escasa, se debe entender la existencia de vida como resultado de la adaptación de las especies, siendo también necesaria la adaptación del ser humano a estas condiciones de escasez de agua. (Aronson, 2008)¹⁶.

La importancia del agua en el desierto viene reflejada en los oasis, pequeños puntos de agua en medio de interminables paisajes aparentemente inertes, que permiten introducir vida en estos climas extremadamente áridos. Estos aparecen como acumulaciones de agua, cuando el nivel freático queda expuesto gracias a la erosión, una falla o la combinación de ambos factores, esto provoca que el agua proveniente de acuíferos subterráneos emerja a la superficie y que a su alrededor se desarrolle un microclima, pudiendo dar como resultado un ecosistema muy distinto del entorno desértico. La mayoría de las ciudades y asentamientos del desierto surgen a partir de estos oasis, en los cuales se apoyan y se sirven para desarrollar la vida, ejemplo de ello es la ciudad de Gadamés en Libia, la cual crece entorno al agua del oasis.

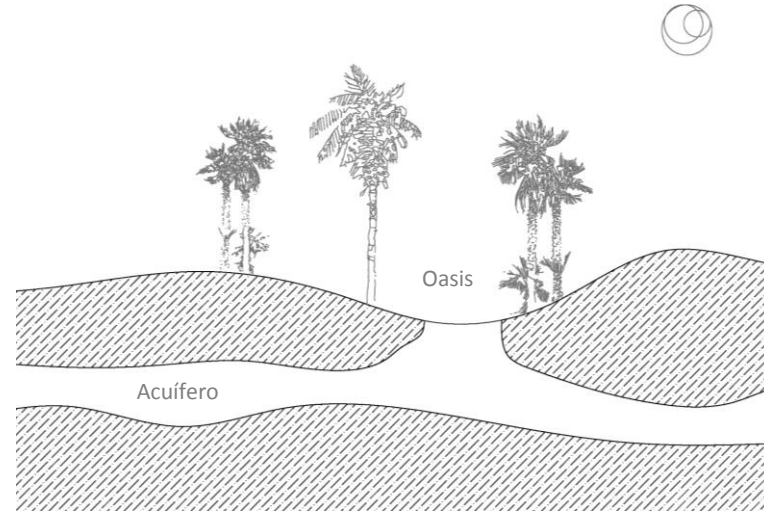


Fig. 7, Elaboración propia. Origen del oasis.



Fig. 8, Oasis de la ciudad de Gadamés

¹⁶ ARONSON, Op. cit., Pp.62-63.

DESERTIFICACIÓN

En la actualidad, nos enfrentamos al aumento de la superficie de estos paisajes áridos. Este fenómeno se conoce con el nombre de desertificación. Según Greenpeace esta es una de las mayores amenazas medioambientales a escala mundial, la desertificación acecha las zonas áridas de los cinco continentes. Estando íntimamente relacionada con la pérdida de biodiversidad y con el cambio climático, hechos que se potencian mutuamente. (Greenpeace, 2007)¹⁷

La definición internacional del fenómeno de la desertificación establecida por la Convención de las Naciones Unidas entiende esta como la degradación de la tierra en regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, incluso variaciones climáticas y actividades humanas.¹⁸ Siendo las condiciones climáticas un factor muy importante de la desertización natural. Los ciclos naturales de sequías y lluvias torrenciales que arrastran la capa orgánica del suelo, desde siempre han acechado amplias zonas en las proximidades a regiones áridas, deteriorando el estado del suelo y la biodiversidad. Los recursos hídricos disponibles para las poblaciones provienen de un desequilibrio, entre el agua de precipitación y la que se evapora, permitiendo la presencia de excedentes de agua. Si este equilibrio se invierte por la explotación excesiva de los recursos naturales, lo que se produce es una desecación del entorno a causa de la actividad

humana. La expansión de estos climas extremos y su dureza son un hecho real y no solo hay que tomar medidas para detenerla, sino para evitarla y utilizar de manera adecuada y sostenible los recursos que nos proporciona la tierra. Mientras que antes la arquitectura vernácula, así como la forma de vida eran sostenibles por necesidad y tradición. En los últimos años hemos visto ejemplos como el crecimiento de la ciudad de Las Vegas en el desierto del Mojave o Abu Dabi en el desierto de Rab al Khali, a base de transvases de agua como en las vegas con el río Colorado que permite aumentar la población aunque sea a costa de sufrir un estrés los recursos hídricos.

¹⁷ Artículo online: *Desertificación y sequía*. Greenpeace. Junio de 2007. p.1

¹⁸ Término aprobado en París por la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación, el 17 de Junio de 1994; fecha conmemorada desde entonces como día internacional de lucha contra la desertificación.

BIOCLIMATISMO

La arquitectura como refugio

PRINCIPIOS Y ORIGEN

El término bioclimatismo es una palabra relativamente nueva, pese a que la esencia de este podría situarse en los inicios de la arquitectura. Es a mediados de los años setenta del siglo pasado, cuando desde la arquitectura se empieza a aceptar cierta responsabilidad en el excesivo uso de materias primas, tanto por el proceso constructivo como por las necesidades de energía para el mantenimiento de un confort interior en los edificios. Con el movimiento moderno y la internacionalización de un estilo arquitectónico, podemos ver como se plantean edificios con grandes superficies de vidrio expuestas al sol para climas diversos y en distintas partes del mundo, confiando así a los equipos técnicos de acondicionamiento el confort térmico interior. No solo el funcionamiento del edificio muta, sino también el proceso constructivo, con la industrialización se emplea material que se fabrica en un sitio y después se transporta miles de kilómetros para ser implementado en otro. Estos dos factores rompen la cadena evolutiva natural de la arquitectura vernácula, que era de por sí sostenible por la adaptación al clima y el empleo de los materiales que la naturaleza del entorno podía proporcionar.

En 1963 con la publicación del libro *“Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism”*¹⁹, Victor Olgyay²⁰ recoge a modo de tratado, estrategias proyectuales y respuestas arquitectónicas a los distintos climas. Este libro supone una base científica basada en la experimentación y el

análisis de diversos factores ambientales, como cartas solares con la trayectoria del sol, análisis del movimiento del viento y la importancia de la vegetación y la presencia de agua en el entorno de la arquitectura entre otros muchos factores. Con esto la palabra bioclimatismo surge para reivindicar el papel fundamental de la arquitectura como filtro natural frente a las condiciones climáticas externas. Esta debe entenderse como un elemento regulador y que permite atenuar las condiciones externas, tal y como recoge la cita de Rafael Serra. Además el término bioclimatismo defiende una mirada atenta a la arquitectura vernácula, la cual representa una relación armónica entre la arquitectura y la naturaleza. Para ello, lo construido debe adaptarse al entorno teniendo en cuenta que los cuatro principales factores de los que depende el clima son: La temperatura, el movimiento del aire, la radiación solar y la humedad. (Serra, 1999)²¹

“Los edificios son barreras a la lluvia, al viento y, a veces, filtros sutiles a la luz y el calor. Rodeados de entornos variables, donde cambian el día y la noche, el calor y el frío, el viento y la clama, la lluvia y el sol; se convierten en refugios de artificiales condiciones, como islas de tranquilidad en un mundo incómodo”

*Rafael Serra*²²

¹⁹ OLGAY, Víctor. *Design with Climate. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton, Princeton University Paperback, 1963.

²⁰ Arquitecto y profesor de la escuela de arquitectura de Princeton

²¹ SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1999. p.8.

²² SERRA. Op. cit., p.7.

Los casos de estudio de este trabajo, se clasifican dentro de las regiones áridas y semiáridas, en estos las temperaturas son muy altas durante el día y bajan de manera drástica durante las horas nocturnas. Se produce un intenso asoleo, escasas precipitaciones y poca nebulosidad, esto hace que domine la radiación solar directa, lo que provoca una gran diferencia entre el sol y la sombra. Debido a lo árido de estos climas existe poca vegetación que pueda crear un filtro natural frente a lo construido, lo que lleva en estos climas a que la arquitectura popular tienda a ser: compacta, con escasas aberturas, de gruesas paredes o excavadas. Lo que recuerda a la arquitectura estereotómica, de la cueva. (Serra, 1999)²³

Frente a las acusadas variaciones del clima exterior, lo que se busca es la inercia térmica máxima de los cerramientos. En la mayoría de casos en el clima desértico la mejor solución es el cerramiento opaco que protege tanto de la radiación visible (la luz) y el viento el cual es un factor negativo en los cálido-secos. Entendiendo la luz como radiación, Serra habla de la luz como fuente de calor. Esta incide sobre los cerramientos y la energía se acumula en estos, de manera que acaba penetrando al interior con un retardo y una amortiguación que depende de la inercia térmica del cerramiento. La penetración de la radiación en el cerramiento puede ser o bien directa mediante aberturas en este, o bien indirecta en las partes opacas del muro. Para proteger adecuadamente el espacio interior, hay que evitar al máximo la incidencia de la radiación solar directa sobre el edificio y la entrada de esta en los espacios interiores.

CONCEPTO DE MICROCLIMA

Para evitar el impacto de la radiación indirecta sobre el edificio, la arquitectura tradicional juega con el clima implantando árboles en el entorno, mediante la disposición de las calles, o mediante la forma de agrupación como posteriormente se observa en el caso de la ciudad de Shibam. Siendo muy importante el concepto bioclimático del “microclima del lugar”, tal y como lo llama Rafael Serra en su libro. En este remarca la importancia de lo que se encuentra alrededor de la arquitectura, en lo que se refiere a barreras o filtros frente al clima como son: la proximidad de lagos o de vegetación o simplemente la disposición de lo construido frente al sol, teniendo que tener en cuenta las orientaciones para proyectar el cerramiento opaco o las aberturas. A escala de microclima son las condiciones geográficas y topográficas las que determinan el viento presente.

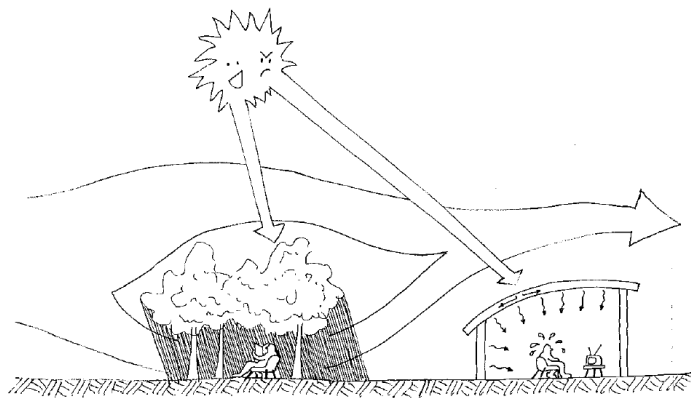


Fig. 9, Microclima del lugar.

²³ SERRA. Op. cit., p.8.

PARÁMETROS DE CONFORT AMBIENTAL

Por otra parte, el confort del ser humano depende fundamentalmente de los parámetros ambientales y de los factores de confort. En el presente trabajo se trabaja principalmente sobre los parámetros ambientales, debido a que son características objetivables del espacio, que permiten valorarse en términos energéticos y que resumen las acciones que en dicho espacio, reciben las personas que lo ocupan.

Estos parámetros pueden analizarse independientemente de los usuarios y son el objetivo directo del diseño ambiental en la arquitectura. En lo que se refiere a parámetros objetivables de confort interior el rango de confort se extiende en lo que a la temperatura de bulbo seco se refiere, alrededor de 20°C en invierno y en torno a 25°C en verano. En cuanto a la humedad relativa son valores aceptables los comprendidos entre el 40 y 60%, una humedad demasiado baja como es habitual en los climas cálido-secos, puede producir desecación de las mucosas e irritación. (RITE, 2007)²⁴

MECANISMOS BIOCLIMÁTICOS

El uso de muros pesados y gruesos es un recurso muy habitual en climas extremos para conseguir el confort interior, herencia de la cueva primitiva, esto permite que sean capaces de acumular energía térmica. A este efecto se le conoce como inercia térmica, esta consigue amortiguar en el tiempo los efectos producidos por los cambios de temperatura, dando

lugar a flujos de energía más regulares de lo que se produciría en un cerramiento sin inercia, a la vez que reduce la oscilación de temperaturas de la cara interior respecto a la exterior. La inercia térmica es decisiva en el ciclo día-noche en los climas desérticos, donde la construcción pesada consigue amortiguar las grandes variaciones climáticas exteriores. Además de la inercia térmica otro recurso muy utilizado en climas extremadamente secos es el patio humedecido y refrigerado por agua. Esto tiene como explicación el alto calor específico del agua, causante del efecto de moderación de la temperatura. Se entiende como inercia térmica del agua, esa tendencia a permanecer más tiempo caliente durante los periodos de enfriamiento (nocturnos o estacionales), y más tiempo fresca durante el calentamiento (diurno o estacional), porque en cada caso debe perder o ganar una caloría por cada gramo, lo cual es mucho si se lo compara con lo que requieren los otros elementos del paisaje. Es por ello que en muchos de los mecanismos bioclimáticos que posteriormente se citan interviene el agua. (Serra, 1999)²⁵

Otro factor a tener en cuenta en la adaptación al clima es el movimiento del aire. A escala de microclima, son las condiciones geográficas y topográficas las que determinan el viento presente. Siendo posible modificar las cualidades del viento para que este sea un factor positivo, actuando en los elementos que rodean la arquitectura, implantando por ejemplo una lámina de agua que humedezca el aire o una masa arbórea cerca para enfriar la temperatura de este.

²⁴ El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por Real Decreto 1027/2007 en el BOE Sec. I. Pág. 104926, sirve de referencia para establecer la temperatura y humedad relativa que suponen un ambiente interior confortable para el usuario.

²⁵ SERRA. Op. cit., p.39.

Existen multitud de estrategias bioclimáticas basadas en: la ventilación, la forma de lo construido, la inercia térmica de los muros o la permeabilidad a la luz de los cerramientos. En muchos casos lo que se observa en la arquitectura vernácula es la combinación de varios de estos mecanismos como atenuación de las condiciones climáticas. El sistema más sencillo de movimiento de aire interior es la ventilación cruzada, que combinado con el uso del agua da múltiples sistemas de gran eficacia. A continuación encontramos una serie de esquemas representados en sección que permiten explicar el movimiento del aire a través del espacio.

En el primer esquema que aparece a la derecha, se observa las ventajas emplear una cúpula frente a una cubierta plana en estos climas. Como anteriormente se explica el asoleo en las regiones áridas es muy intenso y hay que evitar la radiación solar directa. La cúpula debido a su geometría ofrece la ventaja de que la mayor parte del tiempo haya una parte de esta en sombra y por tanto en esta la parte las ganancias de calor por radiación son mucho más reducidas. Además si esta cúpula se perfora, permite expulsar el aire caliente que se acumula en la estancia, debido a que este tiende a concentrarse en la parte superior por la diferencia de presión entre las masas de aire. En cambio la cubierta plana recibe radiación solar directa la mayor parte del día.

Por otra parte existe el recurso más que conocido de los patios, estos consisten en introducir vegetación dentro de la vivienda y esto junto con una ventilación cruzada efectiva, consigue crear un ambiente fresco en toda ella.

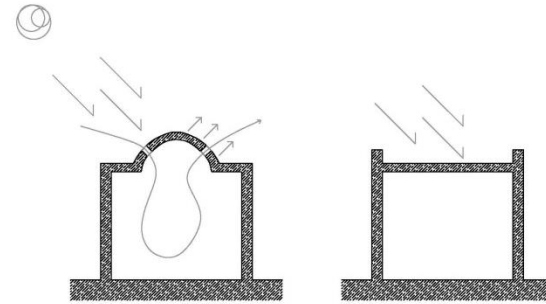


Fig. 10, Elaboración Propia. Funcionamiento cúpula vs cubierta plana

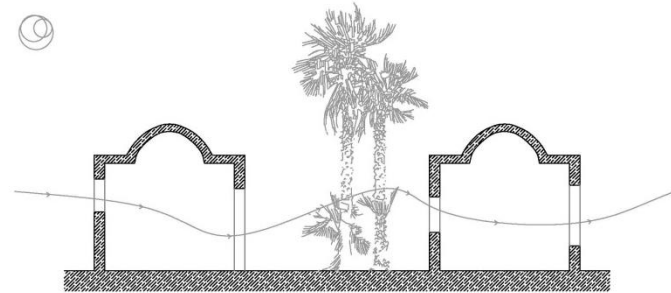


Fig. 11, Elaboración Propia. Funcionamiento ventilación cruzada

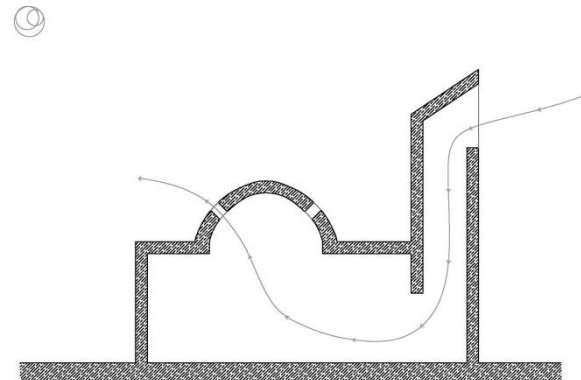


Fig. 12, Elaboración Propia. Funcionamiento malquaf

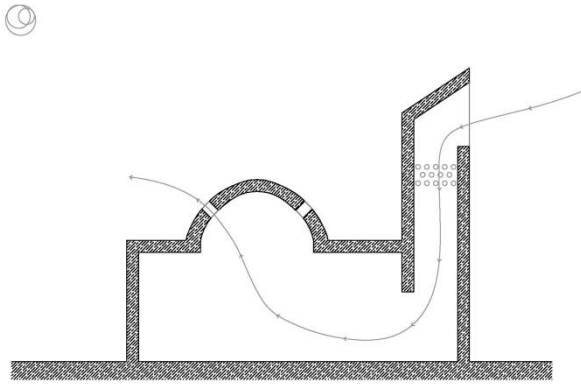


Fig. 13, Elaboración Propia. Funcionamiento del bagdir

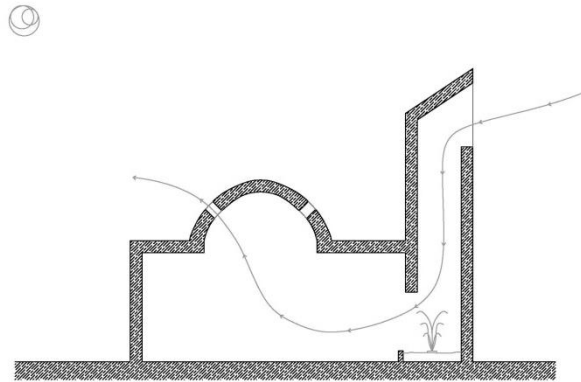


Fig. 14, Elaboración Propia. Funcionamiento malqaf + fuente

Otro recurso menos reconocible en climas templados como el de España, es el malqaf, siendo este un elemento encargado principalmente de solucionar la necesidad de ventilación, su función principal es captar el viento. Éste se eleva por encima del edificio y tiene una abertura en la dirección del viento predominante. Esta abertura atrapa el viento y lo canaliza al interior de la vivienda. Esta torre, se suele combinar con otras soluciones, que de manera natural tratan el viento captado y lo dotan de mayor humedad, dado que nos encontramos en climas secos, donde la humedad relativa no suele alcanzar el 40%. Este tipo de torres que se combinan con el uso de aguas también reciben el nombre de torres evaporativas. El bagdir es un ejemplo de estas, el cual es una versión del malqaf y puede estar abierto tanto por un lado solo como por las 4 direcciones para recibir las brisas de cualquier dirección. Esta torre cuenta con unos elementos de madera en su interior en forma de palos entrecruzados, que se humedecen y se hace pasar el aire a través de ellos antes de llegar a la estancia. De esta manera el aire al entrar en contacto con las superficies humedecidas se enfría y se impulsa hacia el interior de la vivienda. Por último otra solución también muy habitual es el uso de láminas de agua o pequeñas fuentes para refrescar el aire que entra dentro de la vivienda.

CASOS DE ESTUDIO

LA JAIMA

El refugio transportable



Fig. 15, Elaboración propia. Área de influencia del pueblo bereber.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO

La Jaima se extiende principalmente por el desierto del Sahara central y la península arábiga. En este primero, se concentra en lo que se conoce como el gran erg occidental y es utilizada por las tribus nómadas de comerciantes y ganaderos, también llamados tuareg. En la península arábiga su uso se prolonga a lo largo del desierto de Naduf.

Características climáticas del entorno:

Extremadamente árido

Desierto tipo ERG (mar de dunas)

Temperatura máxima: 57°C

Temperatura mínima: 3°C

Precipitaciones anuales: 10,1mm

Humedad relativa: 10-15 %

Viento dominante: Nordeste

Fuente: World Weather Information Service & Weatherbase

INTRODUCCIÓN

La cabaña o tienda entendida como elemento ligero que sirve de refugio al ser humano, es un recurso muy empleado a lo largo de la historia por distintas civilizaciones, ejemplo de ello son la yurta empleada en Mongolia o la tienda tipi de la que se sirven los indios americanos. Debido a la diversidad de formas y materiales empleados en función del entorno y los recursos disponibles, el análisis llevado a cabo en este trabajo decide profundizar en el estudio de la jaima bereber que se implanta en uno de los entornos más áridos del planeta, el Sahara.

CONTEXTO CULTURAL

El nombre "Berber" viene de bárbaros, que es como se les designaba por parte del imperio romano. La cultura bereber, a lo que hace referencia no es a una población concreta, sino a un conjunto de grupos étnicos diverso, que comparten ciertas prácticas culturales y una forma de vida similar. (Ikuska,1997)²⁶ La jaima es la primera forma de invasión del erg, esta nace de la continua necesidad de desplazarse en búsqueda de recursos en un entorno hostil e infértil como es el desierto. Los primeros moradores de este conocían a la perfección cada oasis de su paisaje y trazaban rutas a través de ellos, estableciéndolos como punto de descanso y reabastecimiento de agua. Con el paso del tiempo y un mayor control del entorno, algunos de estos oasis que en un principio servían únicamente como punto de aprovisionamiento de las rutas comerciales, terminaron formalizándose y consolidándose como ciudades del desierto.

²⁶ Artículo online: *El pueblo Bereber*. Ikuska Libros, Copyright 1997-2013. Dirección web <http://www.ikuska.com/Africa/Etnologia/Pueblos/Bereber/index.htm>.

Pese a esta evolución de la vida nómada a un estilo de vida sedentario, las rutas comerciales se mantuvieron como necesarias para el desarrollo de estos núcleos y como forma de vida para una importante parte de la población. Estas rutas tenían una doble función, por una parte conectar estos pequeños núcleos poblacionales y abastecerlos de producto diverso, y por otra parte exportar género del desierto más allá del Sahara. Estos pueblos nómadas tenían una gran influencia en el comercio entre África y Europa. Estableciendo las primeras rutas comerciales entre África occidental y África subsahariana, conectando así las ciudades que se encuentran al pie del mar mediterráneo con aquellas que se encontraban al sur de África. La jaima se mantiene así como elemento fundamental para realizar largas travesías por el desierto, y junto con el camello serán una herramienta básica para desplazarse en este medio. Esta forma de habitar el desierto se mimetiza y copia el carácter efímero del entorno, en concreto el del mar de dunas, el cual cambia de forma constante debido al desplazamiento de las dunas por acción del viento.

MATERIALIDAD

Este espíritu cambiante de la jaima (Haymah en árabe) se lo confiere su ligereza y fácil montaje-desmontaje, lo cual permite instalarla en poco tiempo y poder ser desmontada para continuar la ruta colocándola sobre los camellos. Siendo el peso aproximado de una tienda media plegada en torno a 40kg. Esta forma de habitar el erg destaca por sus reducidas dimensiones que se encuentran aproximadamente en torno a 14-16 m². Espacio suficiente para resguardarse de la intensa radiación solar durante el día, y albergar a sus habitantes

protegiéndolos de las bajas temperaturas nocturnas. Esta capacidad de mantener el espacio interior a una temperatura confortable respecto al exterior, se debe a la composición de su envolvente. La tela de la jaima está formada con pieles de cabras negras, cebú o camellos, aunque estos dos últimos tipos de pieles son menos frecuentes, depende de la capacidad económica de cada familia y los recursos disponibles. Siendo necesarias para la confección de una tienda entre 30 y 40 pieles de cabra negra. La combinación de estas fibras de lana no solo son resistentes a tracción, sino que es este material específico el que permite acondicionar el espacio interior gracias a su comportamiento. Bajo el sol la lana pierde humedad debido al calor y las fibras se contraen abriendo la malla tejida y favoreciendo la ventilación. Mientras que en condiciones de lluvia las fibras con la humedad se hinchan y se vuelve impermeable, impidiendo de esta manera la entrada al interior de la tienda cuando se producen, aunque poco frecuentes, las lluvias torrenciales. (Páginas Árabes, 2016)²⁷

En lo que se refiere a la construcción, aunque eran muchos los que tejían y diseñaban su propio hábitat, también existía el oficio del Hayyam, que en árabe significa “fabricante de tiendas”, siendo este el encargado de la confección de las telas y la selección y tratamiento de los palos que servían de soporte. Pese a esto, la construcción y deconstrucción del espacio se llevaba a cabo durante las travesías de manera individual por los propios habitantes de las jaimas.

²⁷ Artículo online: *A la sombra de la jaima*. Portal de cultura árabe, Páginas Árabes, 18 de enero de 2016.

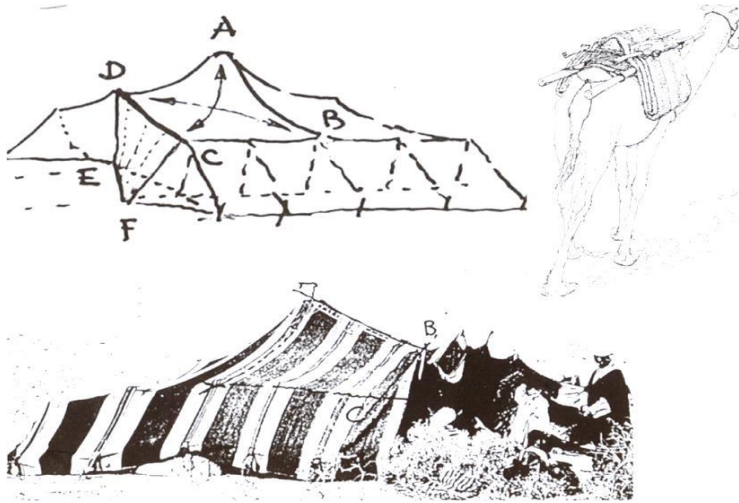


Fig. 16, Esquema estructural de una jaima

“Entiendo por arquitectura tectónica aquella en que la fuerza de la gravedad se transmite de una manera sincopada, en un sistema estructural con nudos, con juntas, y donde la construcción es articulada... Es la arquitectura o sea, leñosa, ligera. La que se posa sobre la tierra como alzándose de puntillas. Es la arquitectura que se defiende de la luz, que tiene que ir velando sus huecos para poder controlar la luz que la inunda. Es la arquitectura de la cáscara. La del ábaco. Es, para resumirlo, la arquitectura de la cabaña.”

Alberto Campo Baeza²⁸

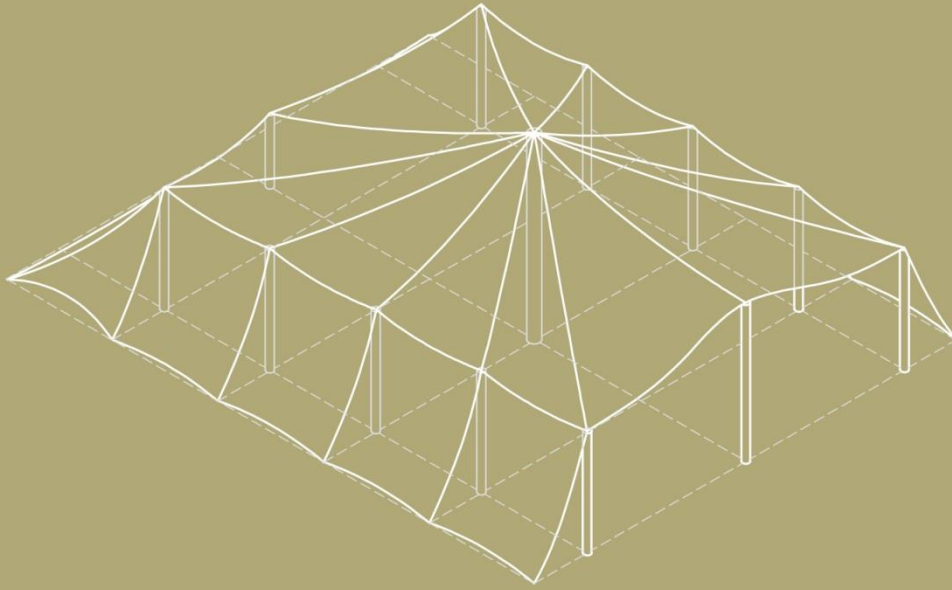
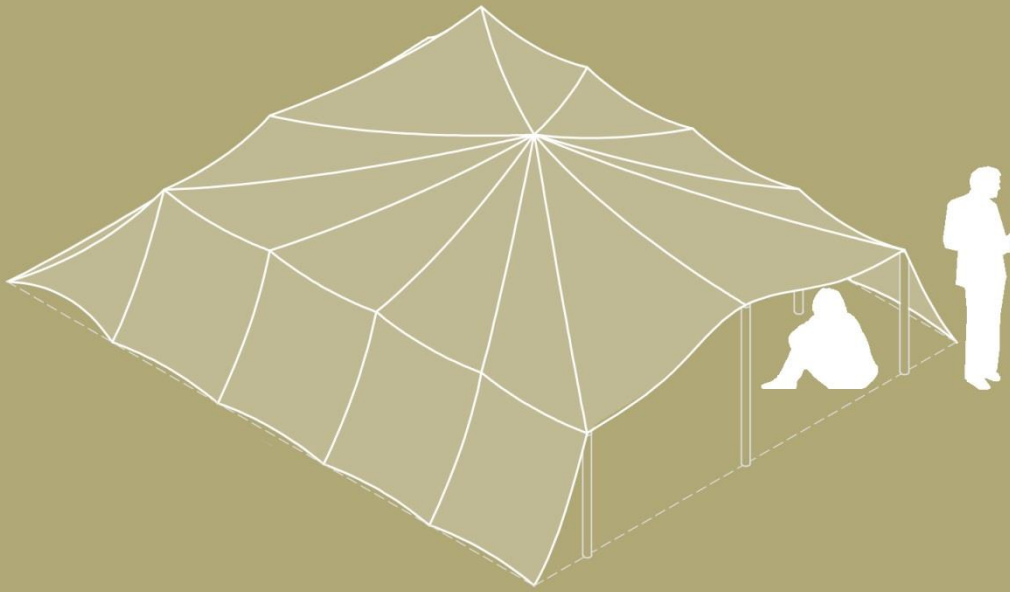
²⁸ CAMPO BAEZA. Op. cit., p.5.

ESTRUCTURA

La jaima por su estructura y su forma evoca a la arquitectura de la cabaña primitiva, a una arquitectura tectónica. En la cual podemos diferenciar dos partes claramente, por un lado la estructura compuesta de palos y tirantes, y por otro lado, lo que es la envolvente. La estructura se basa en un mástil central más alto y en su perímetro pequeños postes homogéneos, tal y como es apreciable en la imagen de la izquierda. La entrada está formada generalmente por tres postes en disposición de viga-dintel, aunque en esta cuestión hay diversas variantes. La cubierta de forma trapezoidal, con superficies alabadas, se comporta como una estructura atirantada de manera que sometida a tracción es capaz de aguantar los fuertes vientos producidos en las tormentas de arena. Con la función de contener el viento, es frecuente ver como en el exterior en algunos casos se realiza un cerco enclavando hojas de palmera frente a la tienda en la dirección de la que proviene el viento. (Soldevila, 2012)²⁹

Con respecto a la configuración del espacio interior, este se entiende como un volumen único y polivalente, donde se hace vida y también se duerme, relegando el espacio de cocina al exterior. Unas alfombras o esterillas separan al morador de la arena, manteniendo el espacio interior limpio y cálido durante la noche. En la parte central más alta debido a la forma de paraboloides hiperbólicos de la envoltura, es donde se desarrolla la actividad, mientras que las partes más bajas de la tienda sirven de almacenamiento.

²⁹ SOLDEVILA, Alfons. Conferencia Taller de línea. La Salle, Investigació arquitectura mediterrànea IAM, artículo online, 2012.



ESTRUCTURA Y ENVOLVENTE DE LA JAIMA

AGRUPACIÓN

En la imagen que se muestra abajo puede verse la jaima como elemento único, que con forma de joroba se camufla con la silueta de fondo de las dunas, aunque lo cierto es que esta imagen es muy poco frecuente. Esto se debe al carácter gregario del pueblo bereber, lo cual les lleva a realizar las rutas bien en grupos de comerciantes o bien en grupos familiares. Siendo poco frecuente la imagen de una jaima aislada en el Sahara.

Un campamento suele estar compuesto por varias tiendas que pertenecen a diferentes miembros de la familia, la implantación se realiza diferenciando por sexos. Esta disposición grupal de las tiendas se realiza en forma de rectángulo, como se puede ver en la imagen de la página siguiente. Esta ordenación entorno a un patio central al que abren todas las tiendas, les permite protegerse de la entrada de animales, a la vez que les confiere de un espacio común de reunión donde desarrollar diversas actividades cotidianas.



Fig. 19, jaima individual en el desierto



Fig. 20, Agrupación de jaimas en el desierto



Fig. 21, Jaima atirantada

Arquitectónicamente esta vivienda del desierto responde a través de su diseño, de manera formal y funcionalmente coherente en relación con su entorno. Esta nace de la geometría del lugar donde se emplaza, condicionada por la incidencia del viento, constituyéndose como un elemento aerodinámico que se camufla en el entorno y se implanta de manera que evita el impacto de este permitiendo que deslice por su superficie. Para protegerse de este, además se sitúa la apertura de la tienda en el lado opuesto a la dirección del viento, evitando así la entrada de arena. (Soldevila, 2012)³⁰

Por otra parte, aunque las tiendas pueden montarse en cualquier lugar, cabe destacar que generalmente lo hacen en los mismos sitios cada año en función de las lluvias y los pastos. Durante la estación húmeda buscan lugares altos y arenosos para protegerse de la entrada de agua en el interior, y durante la estación seca buscan lugares con vegetación y arboleda que les ofrezca sombra y protección contra los rayos del sol, véase entornos más relacionados con la sabana que con el mar de dunas visto anteriormente. Cuando la familia pretende quedarse más tiempo en un emplazamiento que ofrece buenas condiciones de pastos y agua como un oasis, la jaima se ve sustituida por una especie de pequeñas chozas construidas con ramas y palos. (Muñoz, 2018)³¹

³⁰ SOLDEVILA. Op. cit.

³¹ MUÑOZ, Juan Antonio. *La ruta de las caravanas y la vida en la jaima*. Artículo online, 11/02/2018. Escritor y fotógrafo, premiado con el Trofeo Maroc 2015 de la ONMT (oficina nacional de turismo marroquí). Además, es editor del libro de la UNESCO “Marruecos, Patrimonio cultural y natural”

SÍNTESIS DE ESTRATEGIAS PROYECTUALES

El principal mecanismo de adaptación al entorno de la jaima, es la versatilidad, además de la ligereza y el empleo de materiales que se encuentran su el entorno, en este caso madera de árboles situados en zonas menos áridas como la sabana y lana de los mismos animales que les sirven de alimento. En su conjunto la jaima es un sistema constructivo sencillo que permite desplazarse en busca de recursos sin dejar atrás el refugio. La vida en movimiento de esta tribu nómada del desierto, les lleva a construir y deconstruir el espacio arquitectónico del habitar, de una manera ancestral, fruto de una tradición transmitida de generación en generación. Aunque la jaima, al igual que la vida en el desierto dependerá siempre de la existencia de recursos relativamente próximos.



Fig. 22, Jaima como único refugio del intenso asoleo

VIVIENDAS “TOLEK” DE LA TRIBU MUSGUM

La materia del lugar



Fig. 23, Elaboración propia. Localización tribu Musgum.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO

Los Musgum es una tribu que vive en la frontera entre Chad y Camerún. En el desierto Ouadai, próximo a la sabana de África central. Sus casas fueron bautizadas por los primeros exploradores del siglo XIX como “casas obús” por su peculiar forma de ovalada con un agujero en la parte superior.

Características climáticas del entorno:

Muy árido

Desierto tipo pedregoso y grandes planicies, proximidad a río

Temperatura máxima: 49,1°C

Temperatura mínima: 6,5°C

Precipitaciones anuales: 42,7mm

Humedad relativa: 30,2 %

Viento dominante: Sur

Fuente: World Weather Information Service & Weatherbase

CONTEXTO CULTURAL

Esta tribu de la región subsahariana que se concentra alrededor del río Logone, se conoce en Occidente desde mediados del siglo XIX, cuando el explorador alemán Heinrich Barth emprendió un viaje al norte y centro de África con afán de conocer y documentar otras culturas. (Van Beek, 2012)³².

Es el descubrimiento relativamente reciente de esta civilización, junto con su reducida extensión y la transmisión oral de su cultura, lo que hace que conozcamos prácticamente lo único que quedó en pie de esta tras el colonialismo francés, su curiosa arquitectura, de la que sí que existen diversos textos que hablan de ella desde su descubrimiento.

“La casa de los Musgum no se parece a ninguna otra, es cierto; pero esta no es solamente extraña; es hermosa: no es tanto su rareza como su belleza lo que me enmudece. Una belleza tan perfecta, tan correcta, que parece natural. Ningún ornamento, nada que la sobrecargue. Su pura línea curva que no se interrumpe de la base hasta la parte superior, es como matemáticamente o fatalmente obtenida; Nos imaginamos la resistencia exacta de la materia”³³

André Gide, Traducción propia.

³² VAN BEEK, Walter. *The Dancing Dead: Ritual and Religion among the Higi of North Cameroon and Northeastern Nigeria*. University Oxford books, Oxford, 2012. p.27

³³ Traducción propia del extracto de un viaje a Chad en 1926 que aparece en el libro *Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture*. Belin, Cité des sciences et de l'industrie, París, 2009. p.64.

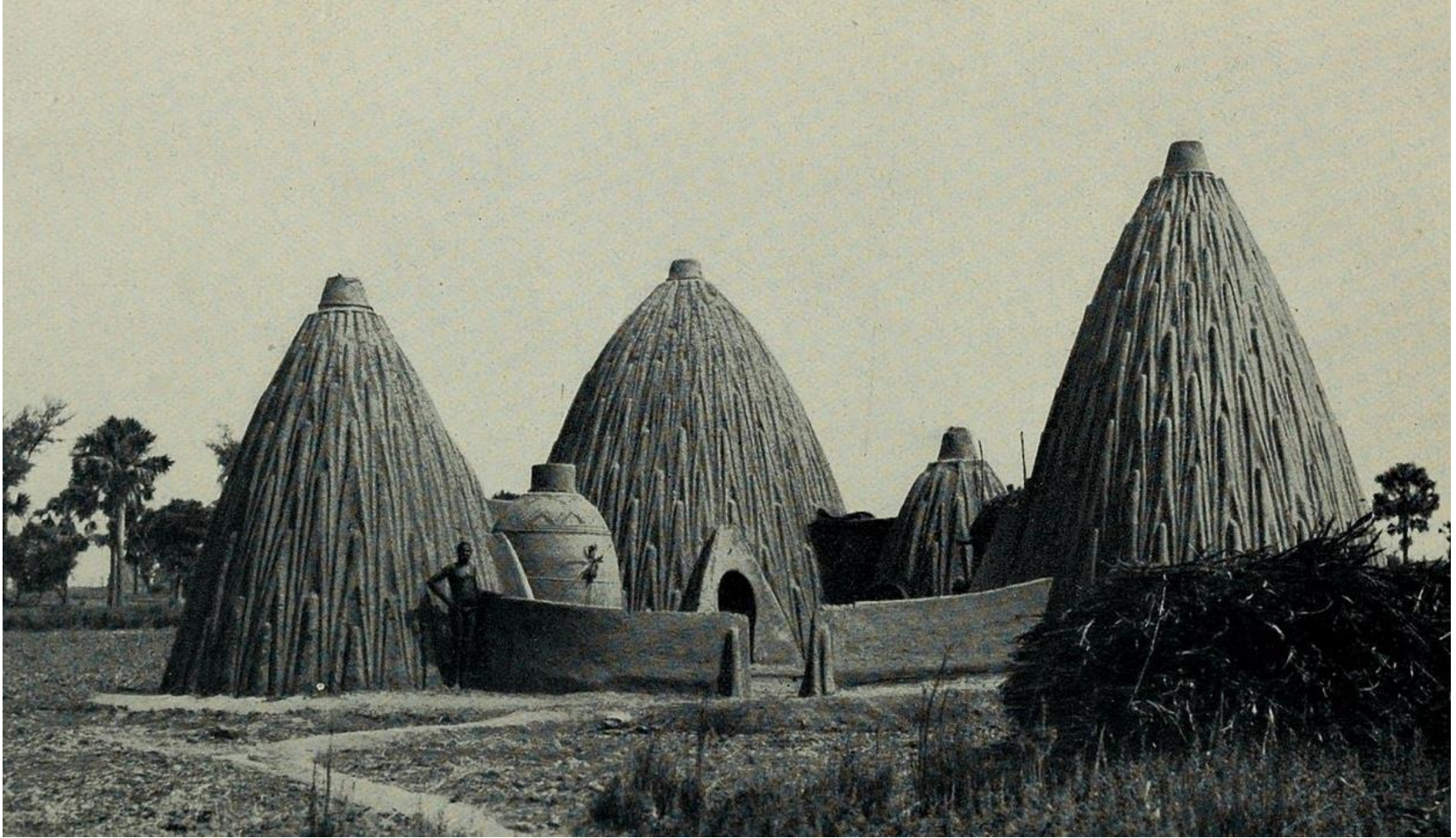


Fig. 24, Fotografía tomada por el explorador alemán Adolf Friedrich en 1923.

La fotografía de la izquierda está realizada por los primeros exploradores europeos que se adentraron en el corazón de África. Tomada en 1910, esta imagen refleja lo mucho que fascinó la arquitectura Musgum a aquellos extranjeros. La arquitectura de estas casas sorprende por los avanzados conocimientos de la construcción que exponen a través de su forma, más aun teniendo en cuenta la correcta sencillez de su estructura y los escasos recursos de los que disponían. Aunque no se conoce exactamente en el tiempo el origen de esta arquitectura, podría ser coetánea al uso del arco por parte del imperio romano, idea que fascinó a los primeros exploradores del S.XIX, los cuales esperaban encontrar culturas mucho más primitivas y menos desarrolladas intelectualmente.

MATERIALIDAD

Esta arquitectura totalmente integrada en la naturaleza a través de la materialidad, crece verticalmente con la tierra del lugar donde se encuentra, como si de un termitero se tratara. Pudiendo considerarse esta, una arquitectura estereotómica, que surge de la tierra como una prolongación propia. Esta tribu de la región subsahariana, es por tanto capaz de utilizar los pocos recursos que le ofrece el lugar donde se implanta. En un entorno donde la piedra y la madera son un bien escaso, se asienta en los alrededores de un río permanente, y aprovecha el agua y las arcillas limosas del terreno para crear una masa que al solidificar se vuelve consistente. Se trata de una arquitectura de adaptación al entorno, que necesita únicamente la tierra que se encuentra bajo ella y la habilidad e ingenio del que la construye, sin necesidad de emplear otros utensilios que no sean las manos para dar forma al barro.

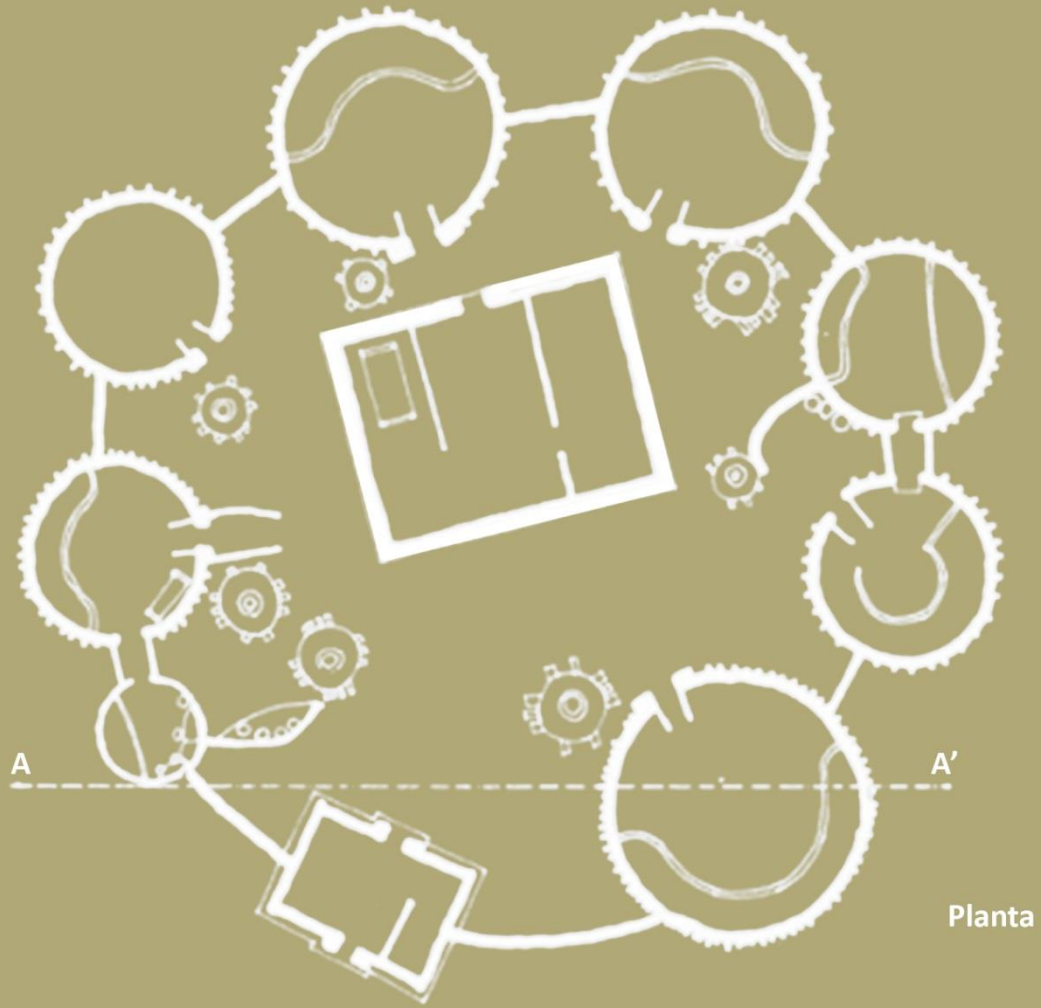


Fig. 25, Termitero.

“Entiendo por arquitectura estereotómica aquella en que la fuerza de la gravedad se transmite de una manera continua, en un sistema estructural continuo y donde la continuidad constructiva es completa. Es la arquitectura masiva, pétreo, pesante. La que se asienta sobre la tierra como si de ella naciera. Es la arquitectura que busca la luz, que perfora sus muros para que la luz entre en ella. Es la arquitectura del podio, del basamento, del estilóbato. Es para resumirlo, la arquitectura de la cueva.”

Alberto Campo Baeza³⁴

³⁴ CAMPO BAEZA. Op. cit., p.5.



Planta



0 1 2 3 4 5 m

Escala 1:150

Sección A-A'

Fig. 26, Esquema de elaboración propia. Planta y sección de casas obús

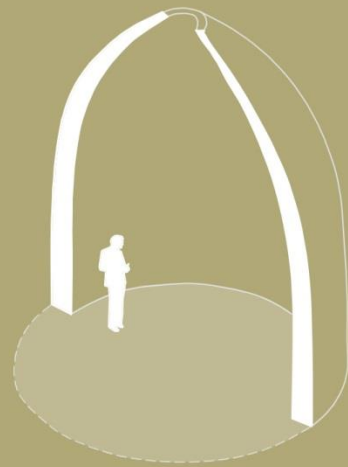
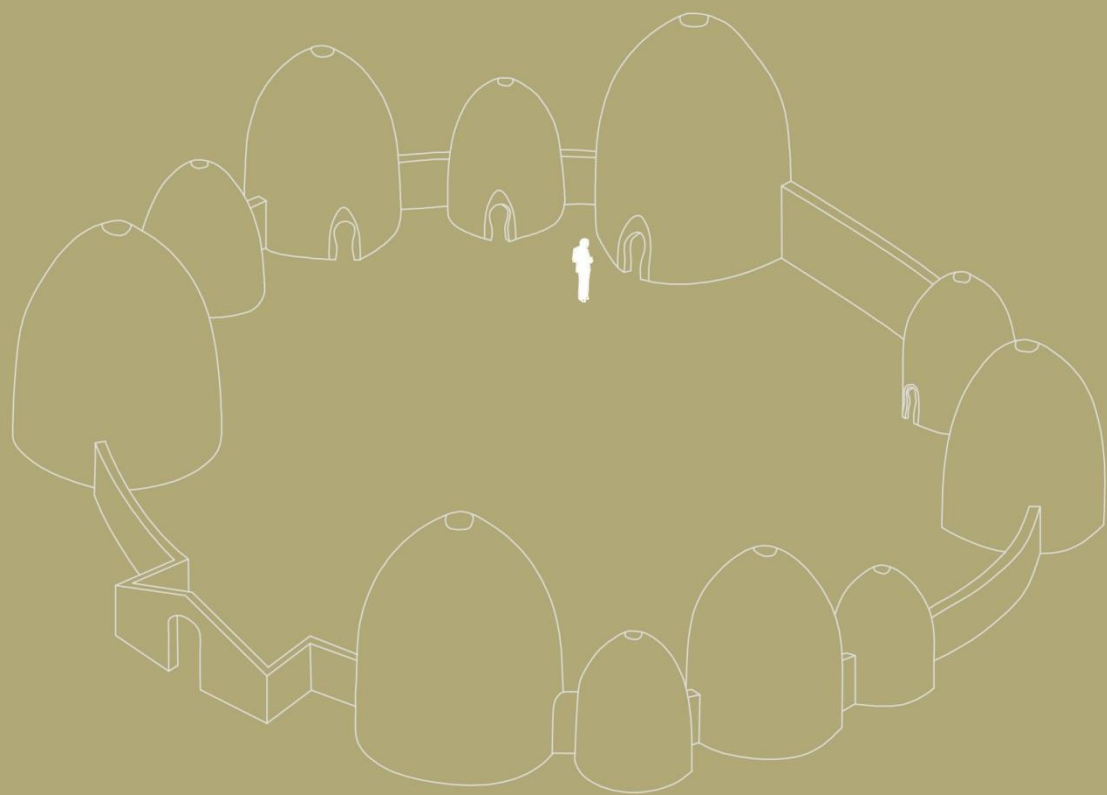


Fig. 27, Esquema de elaboración propia, axonometría de agrupación musgum

ESTRUCTURA

Esta se trata de una arquitectura capsular autoportante, que trabaja como un arco, transmitiendo a compresión los empujes de su peso propio, y descargando estos directamente sobre el terreno. Su forma parecida a la de una cúpula es estructuralmente estable, debido a que el espesor de sus muros es mucho mayor en la base que en la parte superior, llegando a alcanzar únicamente un espesor de 7cm en la parte alta. Estas casas podían medir hasta 9 metros de altura, y en planta entre 5 y 7 metros de diámetro. Debido a la gran estabilidad de su construcción, que concentra el peso en la parte inferior, los musgum no necesitaron construir cimentaciones. El caparazón se construye mediante paja y barro, secada y solidificada al sol. La técnica de construcción empleada es la de la cerámica del modelado por rollos de barro, en la cual las capas se colocan en espiral con alturas de hasta 0,5m y en cada levantamiento disminuye de espesor en la parte superior, estas capas deben secarse antes de añadir la siguiente. (Seignobos, 2003)³⁵

Una lectura más atenta permite percibir las funciones que se inscriben tras su forma. Las acanaladuras de la superficie exterior, que en un principio podrían entenderse como de origen decorativo, realmente sirven para trepar durante la construcción y futuras reparaciones del muro, a la vez que dotan de mayor rigidez a este. Además en teoría estas nervaduras contribuyen a disminuir el efecto de las gotas del agua de lluvia, ayudando así a proteger la construcción.

³⁵ SEIGNOBOS, Christian. *La case obus, histoire et reconstruction*. Collection Architectures traditionnelles, Editions Parenthèses, París, 2003. Pp. 154-157.

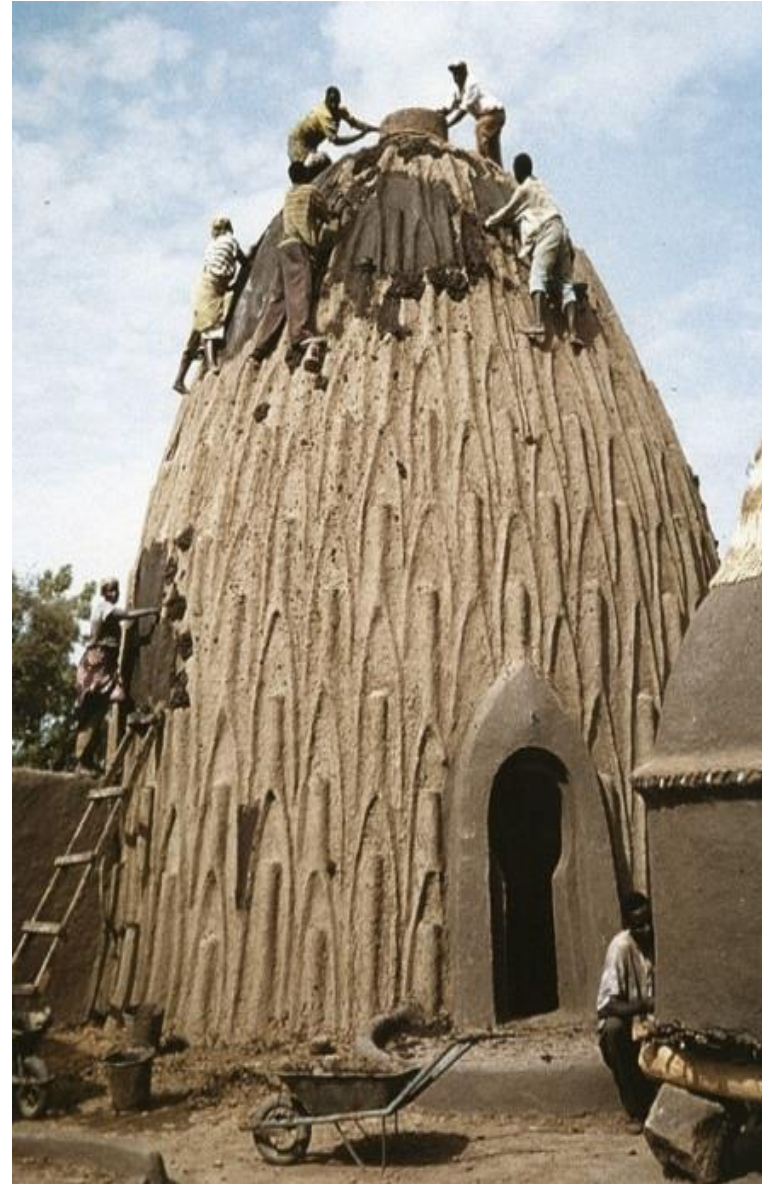


Fig. 28, Reparaciones en un casa obús tradicional

AGRUPACIÓN

Estas cápsulas tan características, capaces de albergar entre 1 y 2 personas en su interior, no deben entenderse por separado, ya que es la agrupación de varias lo que constituye un único núcleo familiar. Los Musgum se concentran en un círculo que consta de varias unidades habitacionales en función del número de miembros de la familia y la riqueza de esta. Esta organización de varias cápsulas unidas por un muro perimetral y una única apertura, es un sistema defensivo muy efectivo frente a animales salvajes u otros invasores no deseados, que recuerda en cierto modo a las murallas de las ciudades medievales europeas.



Fig. 29, Sección agrupación de cabañas

Por otra parte esta forma de agrupación permite a su vez crear un patio en el interior común a todas las capsulas, donde de igual modo que en la organización en torno a un espacio central ya visto en las jaimas, se desarrollan gran parte de las actividades rutinarias de estos habitantes. Este muro de ramas o barro alrededor de las cabañas indica que todas estas casas pertenecen a una sola familia, aunque no todas las cabañas que una tienen el mismo tamaño. Normalmente, en las casas tolek la unidad del padre está situada en el punto más importante y las unidades de los demás miembros de la familia se ubican alrededor. Esta forma arquitectónica es el resultado de los objetivos y el deseo de un grupo unificado. Tradicionalmente, el espacio central como lugar de relación tenía múltiples usos, entre ellos se encontraban: albergar el ganado, el espacio para cocinar, zona de juegos infantiles y una zona destinada a los consejos familiares. En cuanto a las cabañas, además de tener cada una un tamaño distinto en función del rol que el habitante tenía dentro de la familia, también existen algunos casos en los que hay varias unidas por un túnel de tierra llamado dedem, como puede verse en la fig.29. (Nelson, 2007)³⁶

SÍNTESIS DE ESTRATEGIAS PROYECTUALES

En términos bioclimáticos, la altura y espesor de los muros, aporta un gran confort climático al interior, que se ve favorecido por una apertura circular en la parte superior de la casa que garantiza un tiro natural y permite evacuar el aire caliente del interior, el cual es menos denso, y que por tanto se

acumula en la parte superior. En esta construcción podemos apreciar otros conceptos bioclimáticos de los que ya se ha hablado, como la forma de cúpula que posee, lo cual le permite tener siempre una parte en sombra y por lo tanto esta parte no experimenta ganancias de calor. A esto hay que añadirle otra función de las acanaladuras en forma de “V”, las cuales al crear un relieve destacado y resaltar con el sol, generan pequeñas partes sombreadas que ayudan a que el cerramiento se comporte mejor térmicamente al recibir menos cantidad de radiación solar directa.

En las casas tolek es clave la inercia térmica de su cerramiento como elemento másico y por otra parte también se puede hablar de una arquitectura de oscuridad, haciendo alusión a una construcción con pocos orificios, en la que la entrada de luz también lo es de calor como decía Rafael Serra. Pese a la simplicidad orgánica de estas construcciones, debido a la inexistencia de utensilios y un proceso constructivo completamente manual, la finalización de estas casas podía conllevar hasta 6 meses de trabajo. Es por tanto un sistema constructivo muy rígido, que necesita de reparaciones constantes y una protección frente al agua, la cual es capaz de en contacto con la tierra compactada que forma sus paredes, disolver parte de este material y hacer que pierda su capacidad portante, haciendo que colapse en última instancia.

La figura que se muestra a la derecha proporciona una imagen actual de estas agrupaciones, que se ha obtenido mediante la exploración con Google earth a través del río Logone.

³⁶ NELSON, Steven. *From Cameroon to Paris: Mousgoum Architecture In and Out of Africa*. University of Chicago Press, Chicago, 2007. p. 34.



Fig, 30, Imagen aérea tomada con Google Earth. Coordenadas de la imagen: 10°50'21.4"N 15°02'05.2"

SHIBAM

La agrupación como estrategia



Fig. 31, Elaboración propia. Localización Shibam, Hadramaut

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO

Shibam o también llamada “Manhattan del desierto” es una ciudad de Yemen construida en su totalidad en tierra, y está declarada Patrimonio mundial de la UNESCO desde 1982, considerada como una precursora del modelo urbanístico basado en la ciudad vertical. Se encuentra en la árida región de Hadramaut, frontera con el desierto de Rub al-Jali.

Características climáticas del entorno:

Muy árido

Desierto tipo planicie (valle), con montañas próximas

Temperatura máxima: 46°C

Temperatura mínima: 14°C

Precipitaciones anuales: 64mm

Humedad relativa: 17 %

Viento dominante: Norte-Nordeste

Fuente: World Weather Information Service & Weatherbase

CONTEXTO CULTURAL

La ciudad en su origen constituía una importante parada de caravanas en la ruta de las especias y el incienso a través de la meseta del sur de Arabia, lo que contribuyó de manera rápida a que se desarrollara económicamente. Esta cuenta en la actualidad con edificios de hasta 8 plantas y 30 metros de altura, que se desarrollaron urbanísticamente en un plan cuadrículado de calles y plazas, que dio como resultado una ciudad fortificada. Shibam está construida sobre una colina rocosa próxima al lecho del río Wadi Hadramawt, y esta reemplazó a un asentamiento anterior que se originó en el período preislámico y fue parcialmente destruido por una inundación en 1532-3. Conservándose únicamente como sobrevivientes a la riada, la mezquita que data que del siglo X y el castillo del siglo XIII. La ciudad se convirtió en la capital de la región de Hadramaut después de la destrucción en el 300 d. C. de la capital anterior Shabwa, que se encontraba más al oeste a lo largo del río Wadi. A fines del siglo XIX, los comerciantes que regresaban de Asia regeneraron la ciudad amurallada y desde entonces el desarrollo se ha expandido hasta la orilla sur del Wadi formando una extensión de la ciudad fuera de las murallas. (UNESCO, 1982)³⁷

³⁷ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Article: *Old Walled City of Shibam*. World Heritage List. 1982. Reference 192. Acceso online: <http://whc.unesco.org/en/list/192/>.



Fig. 32, Vista aérea de Shibam y los campos de cultivo anegados



Fig. 33, Fachada de la ciudad

Actualmente esta ciudad del desierto cuenta con una población de alrededor de los 7000 habitantes y consta de unos 500 inmuebles, la mayoría de estos datando del S.XVI. Sus edificios están considerados la arquitectura construida en tierra más alta del mundo. Gracias a sus muros fortificados, la ciudad ha sobrevivido casi dos mil años a pesar de su precaria ubicación, adyacente a una llanura inundable por el río permanente Wadi. (Fontaine, 2009)³⁸

Es por otra parte el carácter vulnerable de la ciudad de Shibam, lo que a la vez ha permitido su nacimiento y desarrollo. Aunque esta ha sido dañada en numerosas ocasiones por las crecidas del río Wadi durante las estaciones lluviosas, es a partir de la existencia de este río de la que surge la ciudad. Por una parte, el control de los sistemas de riego mediante conducciones que permitían anegar los campos de cultivo, ha favorecido el auto abastecimiento de la ciudad desde su origen y ha servido de medio de vida para muchos de sus habitantes. Por otra parte, arquitectónicamente la ciudad está también íntimamente relacionada con la presencia del río y la tierra de su entorno. Esto se debe a que todos los edificios que se encuentran dentro de las murallas de la ciudad, han sido construidos en adobe, empleando las arcillas del terreno y el agua del río para crear adobe. La combinación de los dos factores anteriormente citados, crea una imagen bastante insólita, tal y como puede verse en la fig.32, Shibam se muestra como una fortaleza sólida en medio de la llanura, rodeada de verde gracias a los cultivos que se sitúan fuera de sus murallas.

³⁸ FONTAINE. Op. cit., p.17.

MATERIALIDAD

A causa de su materialidad los edificios de Shibam parecen surgir de la tierra como si de un mismo elemento se tratara, qué con el color característico de la tierra del entorno se pierde con la lejanía. Destacando únicamente las características cubiertas blancas de algunos edificios. Este color blanquecino, tiene su razón de ser en la funcionalidad, como no podría ser de otra forma en la arquitectura vernácula. Este se trata de un recubrimiento de cal que se da a la parte superior de las cubiertas de los edificios, y que tenía una doble función. Por una parte, su principal función es la de proteger impermeabilizando las cubiertas, siendo estas las partes más vulnerables frente a las lluvias (principal amenaza de la construcción con tierra). Por otra parte, además al ser el recubrimiento de color claro refleja los rayos de sol incipientes, permitiendo que las cubiertas absorban menos radiación y por tanto menos calor.

ESTRUCTURA

La estructura vertical de los edificios está construida en tierra y a mano, apilando ladrillos de adobe hechos manualmente para formar un sistema de muros portantes. Estos se prolongan hacia la parte superior de manera que los muros cada vez son más delgados y ligeros (como se puede observar en la Fig. 35). Las aberturas en estos siguen la misma dinámica, siendo muy reducidas en la parte inferior, y conforme se aumenta en altura la estructura permite crear un muro más permeable. Por otra parte, los forjados son de madera y se apoyan sobre los muros, aunque en algunos casos, unos pilares también de madera reducen la luz de las vigas entre los muros portantes.



Fig. 34, Reparación de la fachada de un edificio en Shibam

Normalmente cada edificio estaba ocupado por una sola familia. Siendo la organización de usos la siguiente: mientras que el primer y segundo piso eran usados como un establo para animales y almacenamiento de comida. Es a partir de la tercera planta donde comienza el uso residencial, el cual muchas veces se comprendía en varios niveles. A continuación se muestra los planos redibujados en base a un repositorio con información de un edificio histórico de Shibam³⁹. A partir de estos, también se ha realizado una axonometría seccionada que nos permite ver la disminución del espesor del cerramiento con la altura, la variación de los tipos de huecos en el cerramiento en función de la altura y la distribución en planta de los usos.

³⁹ Repositorio online arquitectura vernácula en: <http://www.docartis.com/YEMEN/>

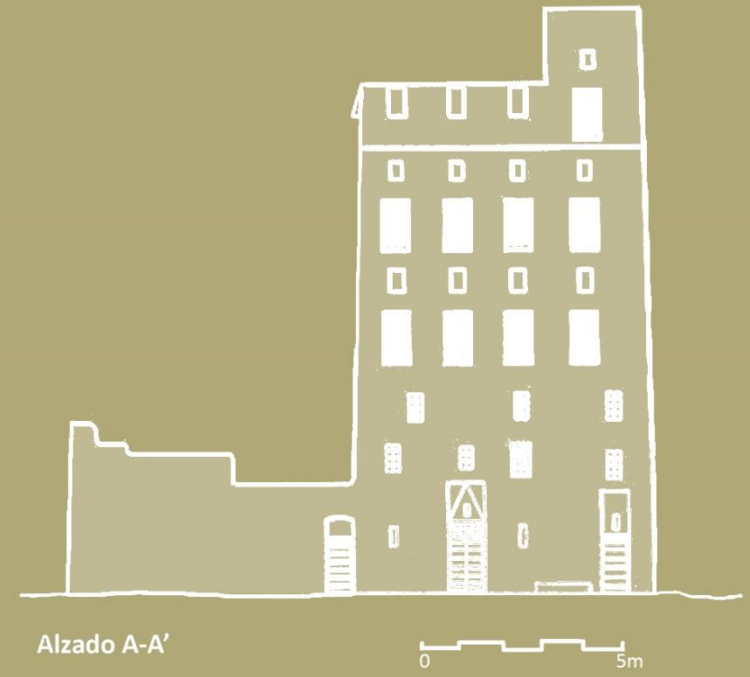
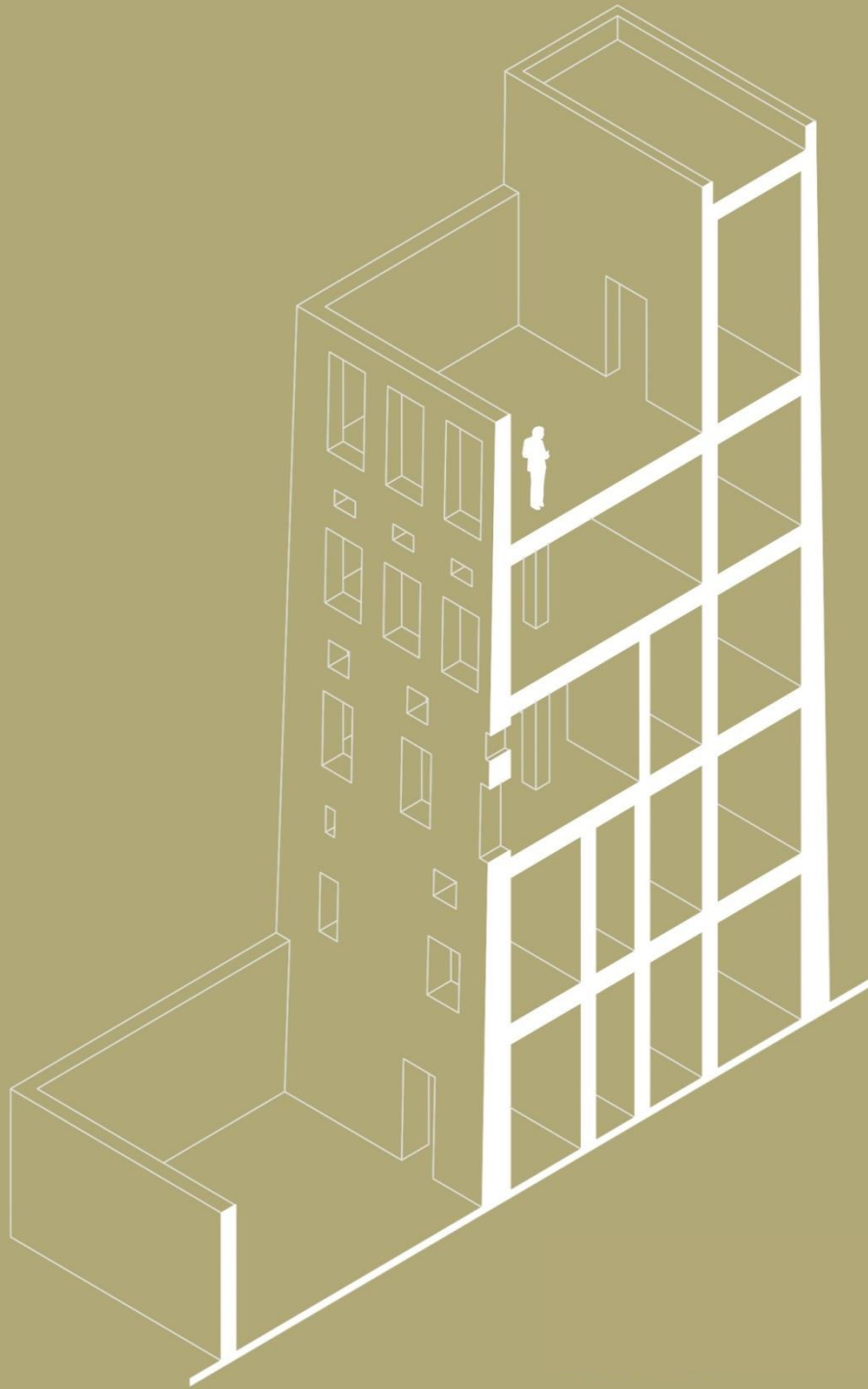


Fig. 35, Axonometría seccionada. Esquema de elaboración propia.

Fig. 36, Fachada y sección del edificio. Figuras redibujadas

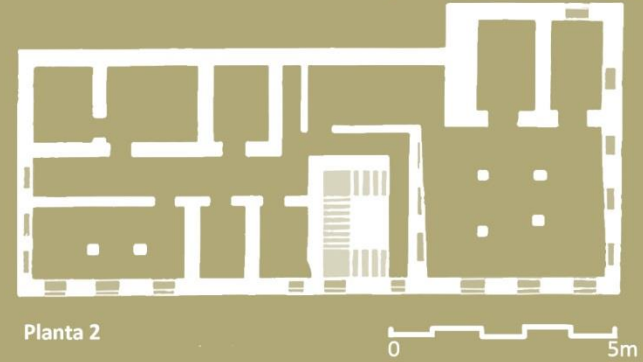
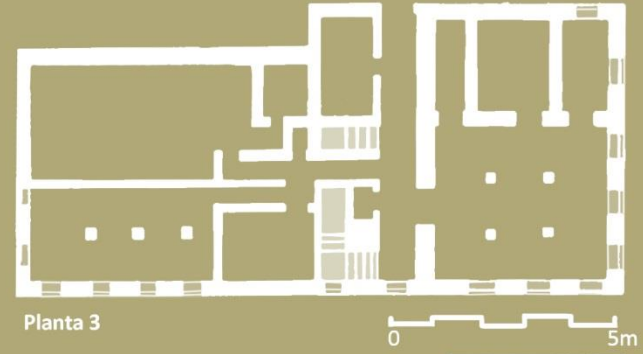
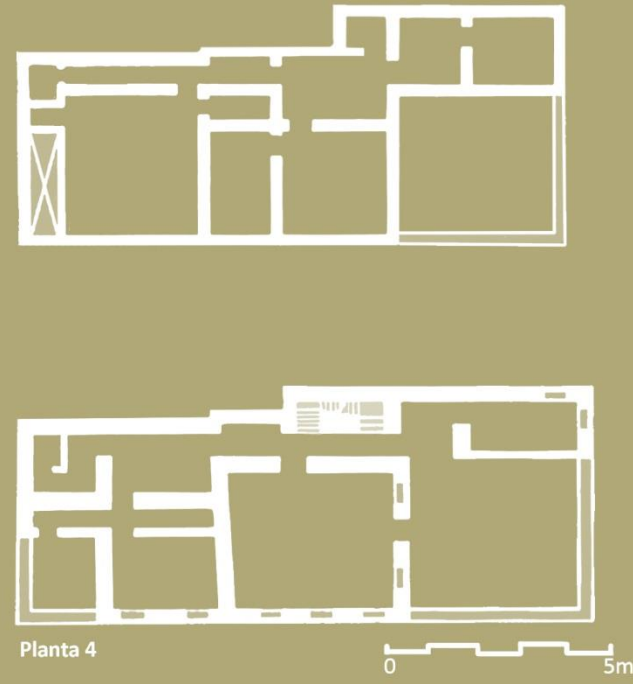
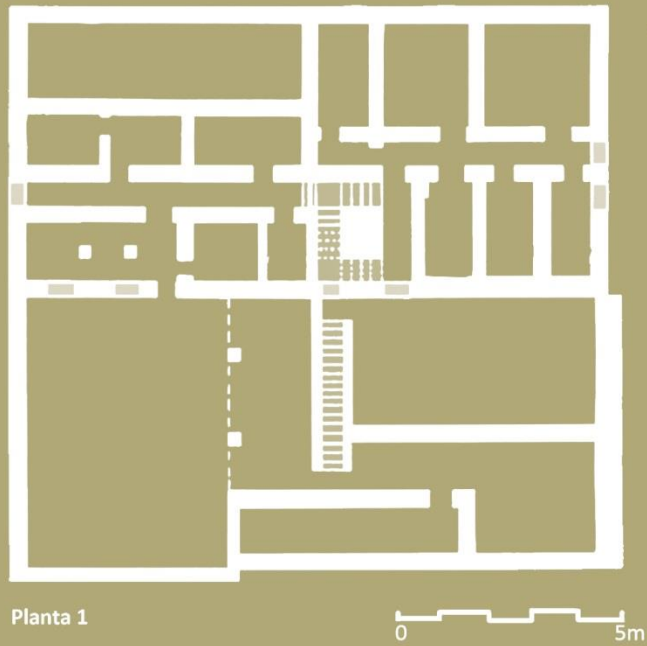
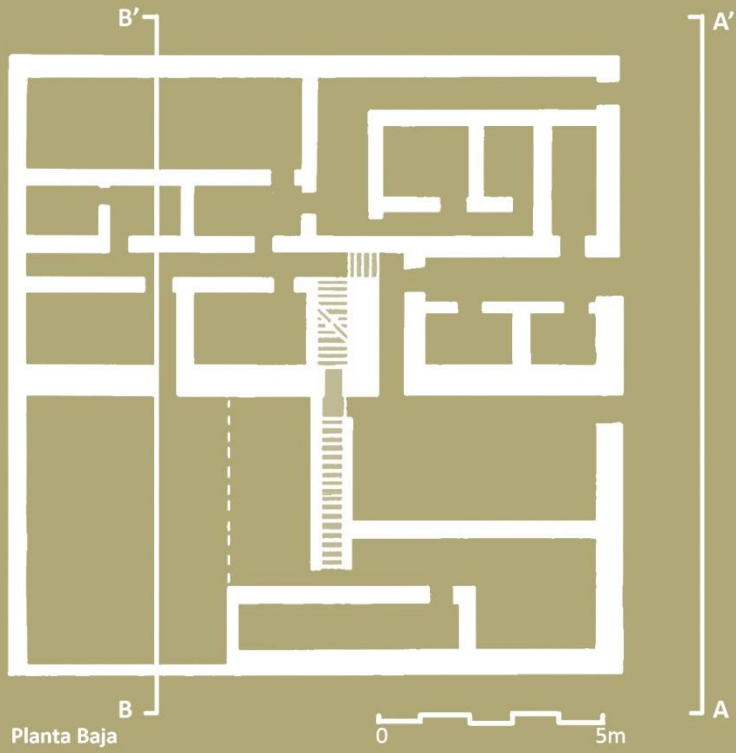


Fig. 37, Plantas del edificio. Planos redibujados



Fig. 38, Plano de Shibam a fecha de 2014



Fig. 39, Vista aérea actual de la ciudad tomada con Google earth.

AGRUPACIÓN

En cuanto a la organización de la ciudad, esta se construye en planta rectangular y rodeada por una muralla de unos 330 metros de largo por 240 metros de ancho que cuenta con una única entrada en la zona sur de la ciudad⁴⁰. Este cercado de la ciudad surge ante la necesidad de defenderse frente a los ataques de los beduinos, a la vez que supone una herramienta de control del tráfico de gente al tener un solo acceso. Como resultado de la voluntad de la población de situarse dentro de las murallas para así tener protección, se percibe una ciudad densa, de casas contiguas y pequeñas calles, que únicamente cuenta con dos grandes plazas. Estos dos grandes espacios de reunión se encuentran frente a la mezquita, en el centro de la ciudad; y junto a los edificios gubernamentales a la entrada del asentamiento.

La compactación y crecimiento vertical de Shibam, se debe en parte a la construcción de altos edificios, como estrategia de demostrar su poder frente a las familias rivales del territorio de Hadhramaut y exponer su prestigio económico y político. (Fontaine, 2009)⁴¹

⁴⁰ Mediciones realizadas a través del medidor de Google Maps

⁴¹ FONTAINE. Op. cit., p.19.

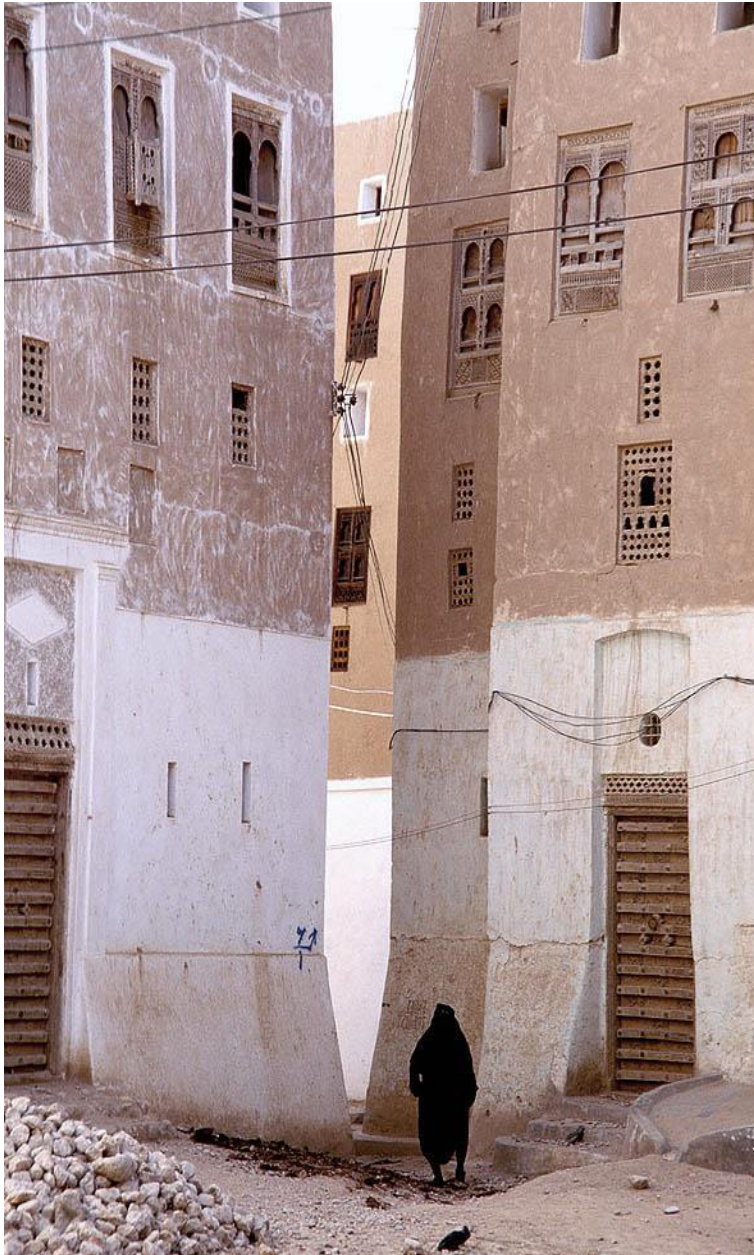


Fig. 40, Trazado irregular de estrechas calles.

Este crecimiento en altura junto con la proximidad de sus edificaciones creará un espacio público dominado por estrechas y sinuosas calles alejadas de la intensa radiación lumínica, de manera que solo a medio día penetrará la radiación solar directa hasta la cota del suelo. El beneficio de esta disposición de los edificios, no afectará únicamente al espacio público, sino que también hará que impacte menos radiación solar sobre las fachadas de los edificios, teniendo así estas menores ganancias de calor. Cabe destacar también de la imagen de la izquierda, el uso de la mashrabiya, un elemento tradicional en madera de la cultura árabe que se coloca en las ventanas para controlar la entrada de luz. Este es ligero y practicable, y su uso permite tamizar la luz que entra a las estancias para evitar el deslumbramiento en el interior debido a la gran diferencia entre la radiación solar interior y la oscuridad de estas arquitecturas.

El dicho popular que se muestra más abajo, expresa importancia del mantenimiento y la buena ejecución de la construcción con tierra, debido a su vulnerabilidad al agua. Se refiere a la buena impermeabilización de la cubierta cuando habla de un buen sombrero y a la impermeabilización de la base de una construcción refiriéndose a las botas.

“Una casa de adobe a la intemperie precisa de unas buenas botas y un buen sombrero”

Dicho popular en la construcción con tierra

En la imagen que se muestra a la debajo de este texto, se aprecia el enfoscado blanco de cal al que antes nos referíamos para proteger las cubiertas del agua de lluvia, que como si de un reflejo se tratara, también se encuentra en la parte inferior de todas las edificaciones. Siendo la función de este proteger de la humedad que asciende por capilaridad del terreno.



Fig. 41, Plaza de la mezquita, Shibam.

SINTESIS DE ESTRATEGIAS PROYECTUALES

La arquitectura de Shibam es de por sí sostenible, no solo por los mecanismos bioclimáticos que emplea, lo es también cultural y económicamente. Debido a que contribuye a la supervivencia de todo un gremio de artesanos expertos en el trabajo con el barro, dedicados a la construcción y continuas reparaciones en las fachadas deterioradas por el viento arenoso del desierto y el agua de la época de lluvias. De igual manera, su resultado único debido a emplear materiales de la zona, ayuda a conservar una identidad cultural propia.

La ciudad destaca por su agrupación de edificios altos y muy juntos, lo cual constituye su principal mecanismo de supervivencia frente a las elevadas temperaturas. Esta disposición de los edificios, permite que se entiendan como un conjunto perforado únicamente por unas estrechas calles resguardadas de la intensa radiación solar, que filtran la luz natural y donde se enfría el cálido aire del desierto. Por otra parte, el interior de los edificios también se protege de las condiciones exteriores gracias a la inercia térmica que suponen los gruesos muros de tierra, los cuales que llegan a tener un espesor de hasta 80cm en la parte inferior.

CASAS ENTERRADAS EN SHAANXI

El hábitat subterráneo



Fig. 42, Elaboración propia. Localización Shaanxi.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO

Las casas enterradas, conocidas como “Yaodongs” en China, son una forma tradicional de construir en la región nordeste de este país. En esta zona próxima al desierto del Gobi, las casas bajo tierra han sido la respuesta al duro clima desde hace 4000 años, situando el origen en la edad de bronce y alcanzando su popularidad durante las dinastías Ming y Quing.

Características climáticas del entorno:

Semi-árido

Llanura próxima al erg del Gobi

Temperatura máxima: 41,7°C

Temperatura mínima: -7°C

Precipitaciones anuales: 106,1mm

Humedad relativa: 39,3 %

Viento dominante: -

Fuente: World Weather Information Service & Weatherbase

INTRODUCCIÓN

La arquitectura excavada es un fenómeno muy recurrente en diversas civilizaciones a lo largo del mundo, incluso si estas no han estado en contacto antes. Vemos un claro ejemplo de arquitectura excavada como el de Capadocia⁴² en Turquía, que es coetáneo a la aparición de las primeras casas bajo tierra en China. Esta inteligente solución de hábitat no precisa de ningún recurso ni material complementario y puede llevarse a acabo con sencillos utensilios. Este se trata de un proceso de transformación de la estructura de la superficie terrestre, que consiste únicamente excavar la tierra, extraer el material excavado y habitar el interior. Es uno de los procesos más rudimentarios y menos tecnológico, pero no por ello es una solución poco desarrollada, sino todo lo contrario.

Esta vuelta a lo excavado, buscando en la espesa capa de tierra que separa sus casas de la superficie una gran inercia térmica que permita tener unas temperaturas moderadas a lo largo de todo el año, representa una reminiscencia de las primeras formas de habitar en el planeta. Es una solución muy próxima a la de aquellos primeros moradores del planeta que decidieron habitar las cuevas existentes, aunque en este caso es el hombre el que decide escavar su propia caverna que le proporcione abrigo, y configurarla según sus necesidades, a una escala que domina y que le permite modelar y controlar la entrada de luz y la ventilación.

⁴² Ciudad subterránea bajo roca volcánica en la provincia de Nevsehir, de hasta ocho niveles por debajo de la tierra, con una extensa red de túneles y con capacidad para hasta 5.000 personas.



Fig. 43, Vista aérea lejana de un conjunto de casas subterráneas en Honan, China



Fig. 44, Vista aérea de detalle

CONTEXTO CULTURAL

En la región nordeste de China más próxima al desierto del Gobi, se encuentra de manera abundante en las primeras capas del suelo, un sedimento transportado producto de la erosión llamado loess. Estos son depósitos sedimentarios arcillosos, constituido como una roca arenosa de carácter blando. Esto junto con su alta porosidad (45%), lo convierte en un material fácil de excavar y modelar. Unas cualidades, que los primeros habitantes de esta región no dudaron en explorar.

A lo largo de toda la provincia de Shaanxi encontramos casas excavadas de distintas formas sobre este mineral, existen tanto verticales sobre laderas, como horizontales escondidas bajo planicies tal y como muestra la imagen de la izquierda. En el presente trabajo se centra la atención sobre aquellas que se encuentran bajo los campos de cultivo por su especial interés al exportar el concepto de la cueva, natural de entornos montañosos, a un lugar donde ninguna estructura proveniente de la naturaleza se asemeja a esta forma. Pese a esto, el ingenio de los primeros habitantes de esta árida planicie, construyeron sus casas bajo tierra con el fin de protegerse de la inclemencia del viento y como protección frente a los animales salvajes entre otros factores (Rudofsky, 1964)⁴³.

Otra de las razones para excavar el suelo, era la escasez de materiales de construcción como la madera leñosa o la piedra, siendo de esta manera más fácil extraer la tierra del suelo y habitar este espacio sin necesidad de aportar ningún material.

⁴³ RUDOFSKY. Op. cit., p. 17.

AGRUPACIÓN

Como se puede observar en las imágenes aéreas, este tipo de casas sobre el terreno únicamente quedan patentes gracias al patio del que se sirven para ser iluminadas. Estas suelen estar agrupadas de manera regular, pero sin un patrón concreto. Estas peculiares cuevas que se hunde en el horizonte, están siempre ventiladas e iluminadas por un patio central en torno al cual se organizan. Estos se tratan de patios rectangulares o cuadrados de uso común a varias viviendas, o en los casos de las familias más numerosas puede llegar a ser de una sola casa. El hecho de que en la mayoría de situaciones estos patios sean comunes a varias casas, los convierte en un espacio de relación a nivel de comunidad como si de una plaza se tratase. Quedando así establecidos en las jerarquías espaciales como volúmenes comunes, que son únicamente superados por la superficie a cota 0, donde a mayor ámbito se desarrollan los nexos sociales entre los distintos patios.

ESTRUCTURA Y MATERIALIDAD

Las dimensiones en planta de un patio cuadrado suele ser de entre 10 y 15 metros de lado., mientras que la profundidad de estos varía entre 7,5 y 9 metros. Generalmente se suele acceder a estos mediante escaleras en forma de L o mediante una escalera alejada del patio, que a través de un pasillo lleva a este. Esta segunda opción se hacía camuflando la escalera para evitar invasores no deseados. (Hong-key, 1990)⁴⁴

⁴⁴ HONG-KEY, Yoon. *Loess cave-dwellings in Shaanxi province, China*. GeoJournal, Volume 21, Issue 1–2, May 1990. p.99.



Fig. 45, Vista aérea actual en Shaanxi, China

“Aunque no haya una sola casa a la vista; Esta tierra tiene doble tarea, con viviendas abajo y tierras de cultivo arriba”

George B. Cressey⁴⁵

⁴⁵ CRESSEY, George. *Land of the 500 Million: A Geography of China*. McGraw-Hill, Chicago, 1955.

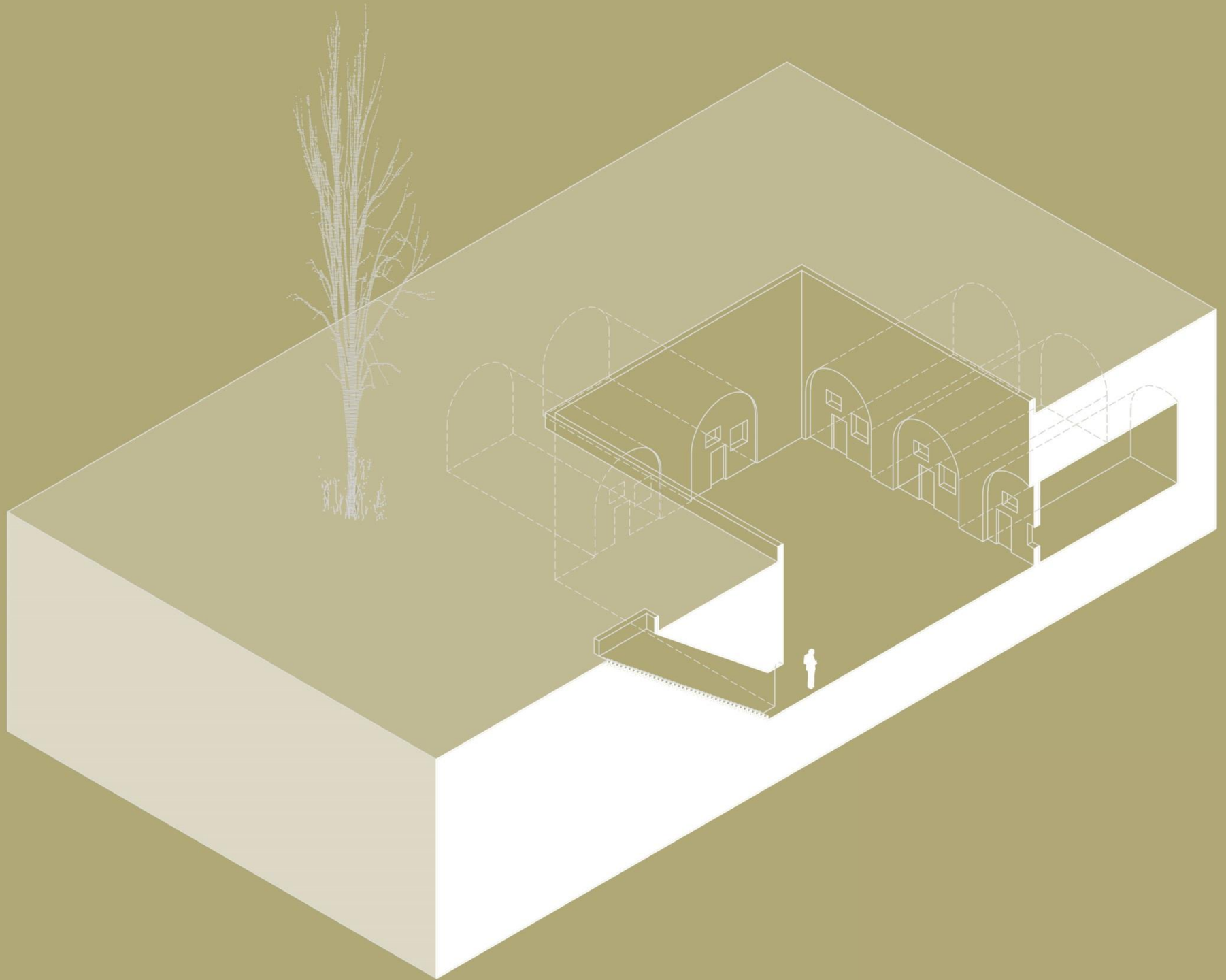


Fig. 46, Elaboración propia. Axonometría seccionada por el patio de un conjunto de casas subterráneas.

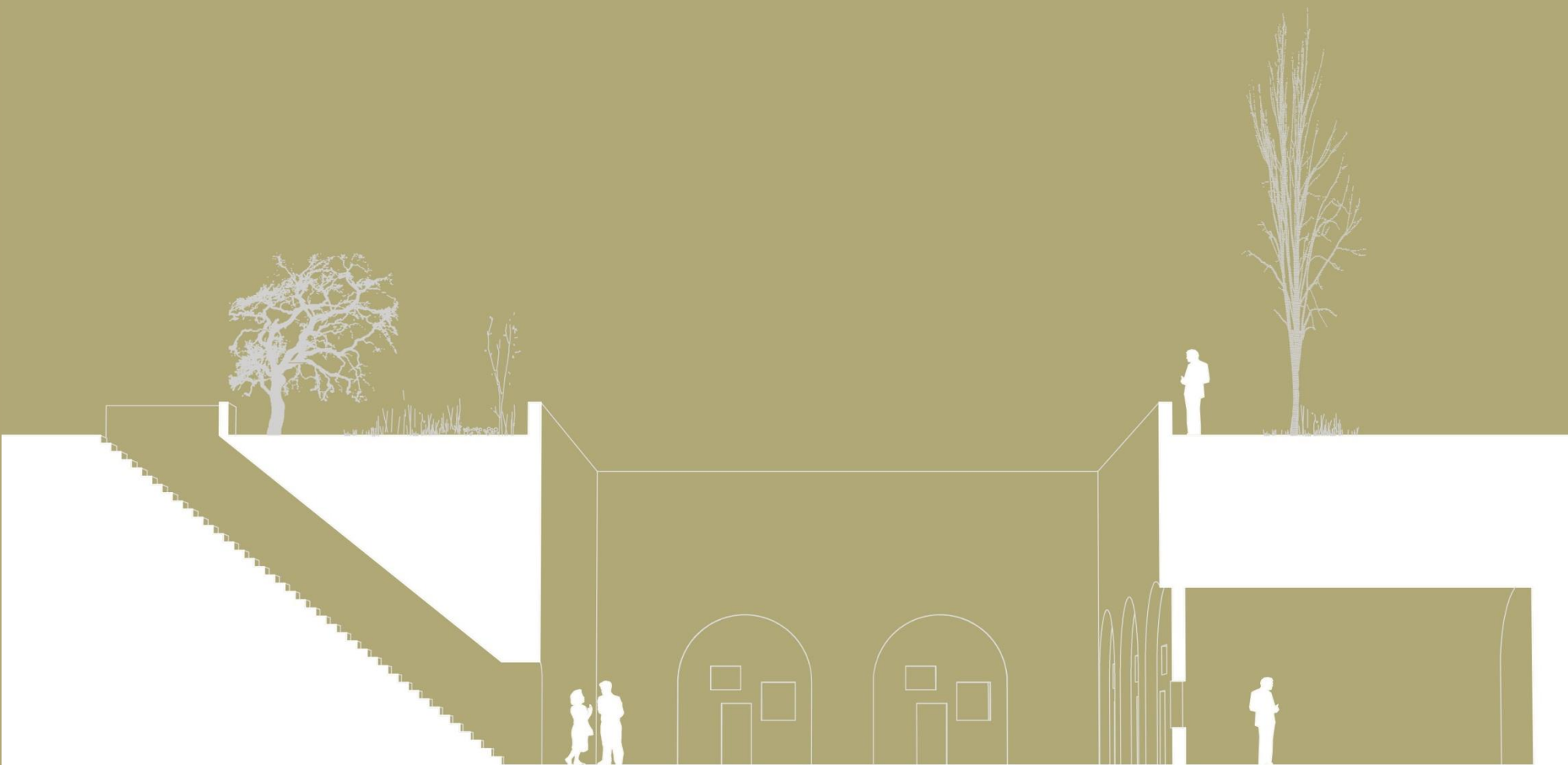


Fig. 47, Elaboración propia. Sección fugada por el patio de un conjunto de casas subterráneas.



Fig. 48, Patio como espacio de relación

El patio es además de un sitio de reunión, el único acceso a las viviendas. La entrada a estas suele enmarcarse bajo un arco, donde además de la puerta de acceso se introducen también ventanas que ayudan a iluminar y ventilar las estancias. En el interior, las viviendas están construidas en una sola altura, lo que deja por arriba más de 6 metros de terreno hasta llegar a la superficie. Esta distancia sirve de aislamiento suficiente frente a las condiciones climáticas externas y le confiere a los muros de la casa tal inercia térmica, que los cambios de temperatura en el exterior apenas suponen una diferencia térmica en el interior. Manteniendo así la casa fresca en verano y cálida durante el invierno. Las más sencillas de estas casas cuentan únicamente con un local, mientras que otras, se agrupan mediante túneles que conectan los locales contiguos como puede verse en el esquema de la página siguiente. Un único habitáculo de tamaño medio tiene unas dimensiones aproximadas de 4,5m de ancho y 9m de profundidad. Esto son aproximadamente 40m², que se inscriben en un espacio único, sin compartimentaciones. Una vez excavados los habitáculos, es necesario cubrir tanto las paredes como el techo abovedado, con una pasta que consiste en loess humedecido y mezclado con paja de arroz que hace de aglutinante. Esto se hace para evitar que las paredes del habitáculo excavado, ahora expuestas al aire, pierdan la humedad y como consecuencia se sequen en exceso y pierdan la cohesión y terminen colapsando en consecuencia. (Fuller, 1924)⁴⁶

⁴⁶ FULLER, Myron and CLAPP, Frederick. *Loess and Rock Dwellings of Shensi, China*. Geographical Review, American Geographical Society, New York, 1924. p.218.

El suelo, sin embargo no solía recubrirse y se dejaba natural, puesto que con el uso se volvía duro y compacto. La principal desventaja de esta forma de hábitat, es el riesgo de que el terreno que se encuentra por encima colapse. Para evitarlo es importante un constante mantenimiento, que conserve la humedad de las cavidades y por otra parte hay que evitar que por encima de estas crezcan árboles que a través de sus raíces podrían afectar a la estructura.

“Allí donde la cobertura de loess sea considerable y la lluvia sea ligera, no hay ninguna razón por la que las cuevas no deban aguantar durante un siglo o más, siempre que estas hayan sido cuidadas adecuadamente y su interior mantenido debidamente recubierto”

Myron L. Fuller

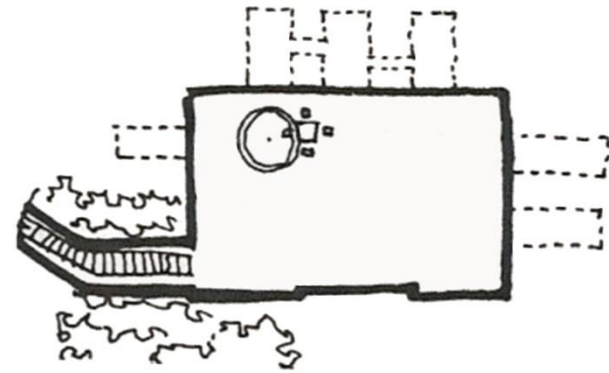


Fig. 49, Esquema de organización en planta

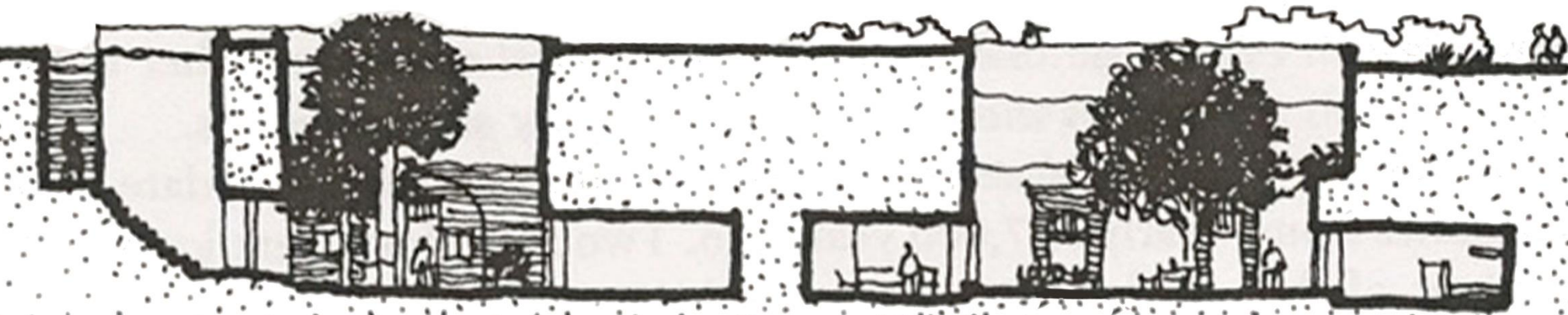


Fig. 50, Sección esquematizada de acceso al patio y organización de usos



Fig. 51, Wang Shouxian en el interior de su cueva



Fig. 52, Guo Jiaming frente a su casa

◦SINTESIS DE ESTRATEGIAS PROYECTUALES

Las casas enterradas de Shaanxi son un perfecto ejemplo de la arquitectura vernácula, que desde un principio sabe adaptarse a su entorno incluso con pocos recursos, y cuya última finalidad es la funcionalidad y la supervivencia al medio. La falta de recursos, le sirve de pretexto para excavar su hábitat a base únicamente de extraer material de la superficie terrestre. Por otra parte, las dimensiones de los patios, permiten imaginar la cantidad de trabajo que llevaba construir estas casas, debiendo extraerse hasta 1152 m³ de terreno para conseguir un patio medio con las siguientes dimensiones: 12 x 12 x 8 metros. Esto representa una gran cantidad de trabajo manual debido a que se empleaban únicamente medios mecánicos y utensilios sencillos.

Debido a la profundidad de los patios, la capa de corteza terrestre que se encuentra entre la superficie y las viviendas, tiene la suficiente inercia térmica como para hacer invariables los cambios de temperatura exterior y mantener así un hábitat con una temperatura moderada en cualquier situación.



Fig. 53, Actual coexistencia de las casas enterradas con otras más modernas

CUADRO RESUMEN





CASOS DE ESTUDIO					
LOCALIZACIÓN		Sáhara	África Subsahariana	Península Arábiga	China
ENTORNO		Extremadamente Árido	Muy árido	Muy árido	Semi-árido
CONDICIONES CLIMÁTICAS	<i>HR</i>	10-15 %	30,2 %	17 %	39,3 %
	<i>T_{máx}</i>	57°C	49,1°C	46°C	41,7°C
	<i>T_{min}</i>	3°C	6,5°C	14°C	-7°C
MATERIALIDAD		Estructura de madera y envolvente de piel de cabra	Tierra comprimida	Muros de adobe y forjados de madera	Terreno excavado
ESTRATEGIAS PROYECTUALES		<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidad - Ligereza - Transportable en busca de nuevos recursos - Envoltura térmica con gran capacidad de aislamiento y transpirable al mismo tiempo - Versatilidad - Rápida construcción 	<ul style="list-style-type: none"> - Pocos recursos y utensilios para su construcción. - Uso del efecto chimenea para ventilar el habitáculo - Gran inercia térmica de sus muros. - Solidez estructural 	<ul style="list-style-type: none"> - Agregación como estrategia, empleando la proximidad entre los edificios para mantener un microclima templado en las calles y proteger de la radiación solar las fachadas de los edificios. - Gran espesor de muros, que confiere inercia térmica y aislamiento frente al exterior. - Materia autóctona - Durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Espacios de relación y habitáculos resguardados del clima. - Gran inercia térmica del terreno, que permite una temperatura constante en el interior, independientemente de la T^º exterior. - No necesita ningún recurso para construirse, solo sencillos utensilios para excavar el terreno.
INCONVENIENTES		<ul style="list-style-type: none"> - Refugio mínimo, con algunas carencias de confort 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuas reparaciones - Elevado tiempo construcción - Destreza constructiva 	<ul style="list-style-type: none"> - Reparaciones continuas necesarias - Destreza constructiva 	<ul style="list-style-type: none"> - Luz interior escasa - Ventilación escasa - Continuas reparaciones - Riesgo de desprendimiento

Fig. 54, Elaboración propia, cuadro resumen estrategias proyectuales de los casos de estudio.

INTRODUCCIÓN: LA VIDA INTERPLANETARIA.

Existen distintas razones por las cuales el ser humano ha imaginado en incontables ocasiones dominar el espacio exterior y conquistar otros planetas, Las declaraciones que se muestran en la introducción de este trabajo del astronauta y director científico de la NASA John Grunsfeld⁴⁷, en las cuales habla de cómo la Humanidad tendrá que conquistar otros planetas para sobrevivir, son solo una razón práctica que busca la supervivencia de la raza humana. Aunque esta ilusión que genera la conquista de lo desconocido, también ha sido objeto de un gran número de cineastas, escritores, arquitectos y otros artistas que a través de sus obras han plasmado su visión de una vida interplanetaria. Es tal vez esta curiosidad y ambición del ser humano, parecida a la de los primeros moradores del desierto que decidieron adentrarse y habitar este entorno hostil, la que conduce a los humanos a crecer e investigar más sobre su propio origen, y este no se puede explicar desde la tierra únicamente. El Dr. David R. Williams⁴⁸ científico de la NASA, habla de cómo Marte es el próximo paso lógico en la evolución humana para comprender mejor el universo y la vida.

“Las personas necesitamos nuevas experiencias, agitar algo en lo más profundo de nosotros, que nos permite crecer, sin cambios algo duerme en nuestro interior...”

Película de ciencia ficción Dune⁴⁹

⁴⁷ GRUNSFELD. Op. cit.

⁴⁸ WILLIAMS, David. *Why Mars?*. Artículo online de la NASA, 25 Septiembre 2015. Dirección web: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/marswhy.html>

⁴⁹ *Dune*. Dirigida por David Lynch. 1984; Hollywood, LA, United States of America: Universal Studios Inc. Película. min. 19:28

En la película anteriormente citada, su director imagina un universo en el que los viajes interplanetarios son algo frecuente y rápido. En este universo imaginario existe el planeta Arrakis, el cual está lleno de desiertos. En las primeras imágenes del desierto de Arrakis y de los nómadas del desierto se habla de la importancia del agua y de la adaptación al entorno de los ojos. La tribu que habita este planeta, lo hace bajo tierra en las rocas, aprovechando el agua y la humedad del subsuelo.

Sin embargo en la actualidad, aunque no nos encontramos en ese paradigma todavía, con los nuevos avances tecnológicos, la posibilidad de realizar viajes interplanetarios y conquistar otros mundos es cada vez más tangible. El antropólogo Marc Augé destaca ese cambio de escala de la cualidad terrestre a la escala planetaria. Augé afirma que el futuro de la humanidad es extraterrestre, cambio de escala que tiene que ver con la imaginación. Hay millones de sistemas solares en nuestra galaxia y millones de galaxias en el espacio, lo que sucede es que la escala espacio-temporal es tan extensa que no se puede concebir. A partir del momento en el que el planeta se convierte en un paisaje el cual se puede abarcar en una única mirada, se convierte en el contexto último. O más bien a escala del tiempo próximo, el lugar tierra por fin ha acabado, a partir de este momento la humanidad deberá cambiar de escala temporal y espacial, para proyectarse un poco más lejos en el sistema solar. Estamos asistiendo, no al final de la historia, sino al final de la prehistoria de la humanidad terrestre como sociedad planetaria. (Augé, 2014)⁵⁰

⁵⁰ AUGÉ, Marc. *El planeta, ¿Lugar o no lugar? Los lugares del futuro*. Conf. ETSAV 2014

EL VIAJE

El doctor científico de la NASA David Stern explica las complejidades y la problemática del tiempo de viaje utilizando la frase: “No consiste únicamente en apuntar y disparar, por lo tanto, es mejor buscar una órbita que lleve la nave espacial de la Tierra a Marte, y ejecutar el lanzamiento cuando la llegada de la nave a la órbita de Marte, coincida con la llegada de Marte a esta misma ubicación”. A este complicado recorrido se le conoce como la órbita de transferencia de Hohmann. Este método permite además, facilitar la igualación de la velocidad de la nave con la velocidad orbital de Marte, debido a que ambos cuerpos se mueven en la misma dirección. Es la Elipse de Transferencia de Hohmann (u órbita de transferencia), presentada por primera vez en 1925 por el Ingeniero alemán Wolfgang Hohmann, la que nos permite calcular el tiempo de viaje a través de unos cálculos relativamente complejos que aquí se omiten, pero pueden ser consultados en la fuente citada. Por tanto, el tiempo para ir desde P hasta A son 0,70873 años o aproximadamente 8,5 meses. Se puede demostrar que la elipse de transferencia de Hohmann es el modo más eficiente de aprovechar el empuje del cohete para alcanzar Marte. Otras trayectorias pueden llegar a allí más rápido, pero requerirán más empuje para empezar y un ajuste más grande del empuje al final, incluyendo quizás un cambio en la dirección. (NASA, 2001)⁵¹

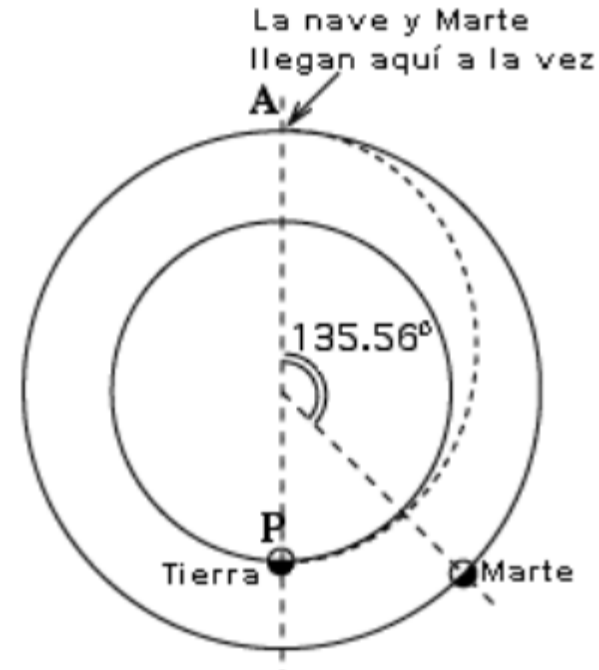


Fig. 55, Posición inicial de los planetas en el momento de lanzamiento y trayectoria viaje de ida.

⁵¹ STERN, David. #21b *Vuelo a Marte: ¿Cuánto durará? ¿Por dónde ir?*. Fuente: <https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mmars1.htm>

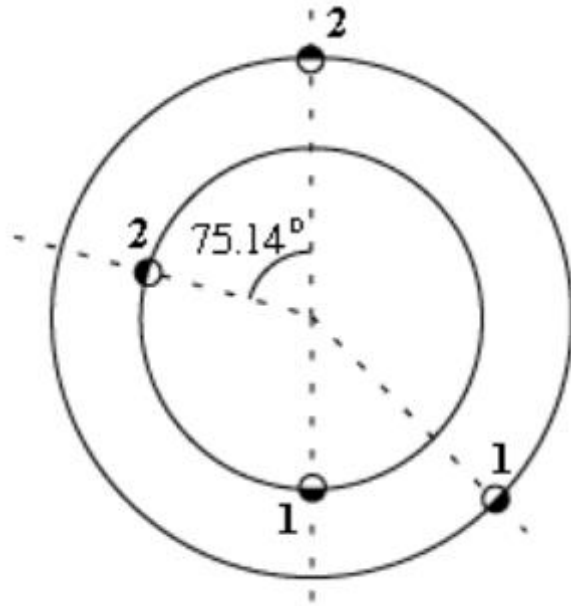


Fig. 56, Posición relativa (2) de los planetas en el momento de llegada a marte.

El mayor inconveniente del viaje entre Marte y la Tierra, además de la duración del trayecto, es una exigencia muy rigurosa respecto de las posiciones relativas de los planetas en el momento del lanzamiento. Estas condiciones requeridas ocurren sólo una vez cada aproximadamente 26 meses, debido a que la distancia Tierra-Marte cambia constantemente a causa de las distintas velocidades de rotación orbital. Es decir, para regresar de Marte a la Tierra, la elipse de Hohmann se puede utilizar también, pero igualmente los planetas necesitan estar posicionados en el lugar exacto en el momento del lanzamiento. Si los astronautas de la Tierra llegan algún día a la superficie de Marte, deberán escoger entre esperar 26 meses para tener las condiciones correctas necesarias para la vuelta, o tomar un camino a casa más directo pero menos económico. A este tiempo de algo más de dos años que se necesita para que los dos planetas vuelvan a estar en la posición adecuada para que se realice el viaje de vuelta, se le conoce como el periodo sinódico. (NASA, 2001)⁵²

Es por esto que todos los aspectos y requisitos de la misión deben investigarse en detalle antes de la salida, porque debido a la naturaleza de la trayectoria de vuelo, no habrá un retorno rápido o suministro suplementario de la Tierra en caso de imprevistos. Tras la partida de la Tierra, la tripulación debe ser completamente autosuficiente, lo suficientemente flexible como para adaptarse a las nuevas situaciones, y sin duda requerirá experiencia en una amplia gama de disciplinas.

⁵² STERN. Op. cit.

CLIMA Y CONDICIONES PARTICULARES.

Lo primero a conocer del planeta rojo, es que su atmósfera no es respirable, tal y como se observa en las tablas Fig.57 y Fig.58, las concentraciones de oxígeno distan considerablemente respecto a las que se encuentran en la atmósfera terrestre. Otro problema que presenta la atmósfera marciana es su escaso espesor, el cual no le permite filtrar la radiación ultravioleta, lo que hace que sea necesario protegerse de esta, pese a que la radiación que recibe el planeta rojo es menor que la de la tierra al estar más alejado del Sol como puede verse en la comparativa de la Fig.60. Las dos apreciaciones anteriores, junto con una temperatura media diaria de -63°C en la superficie de marte, nos lleva a imaginar el futuro más inmediato de una colonia marciana como un hábitat presurizado, aclimatado y aislado de la naturaleza propia del planeta rojo.

Por otra parte, la misión espacial Mars Express de la agencia espacial europea, fue la primera misión en detectar nubes de hielo de dióxido de carbono a gran altitud en la atmósfera marciana. En 2011, el SPICAM (espectrómetro atmosférico infrarrojo) reveló que la atmósfera marciana está sobresaturada de vapor de agua. La sobresaturación ocurre cuando el agua en la atmósfera permanece como vapor, en lugar de condensando o congelando. Aunque el ambiente de Marte tiene 10 000 veces menos vapor de agua que el de la Tierra, es un dato esperanzador que ayudará a comprender mejor el ciclo del agua en este planeta. (ESA, 2013)⁵³

⁵³ ESA (European Space Agency). *Mars express, a decade of observing the red planet*. An ESA Communications Production ESA, 2013.

Composición atmosférica de Marte	
Dióxido de Carbono (CO ₂)	95,32%
Nitrógeno (N ₂)	2,7%
Argón (Ar)	1,6%
Oxígeno (O ₂)	0,13%
Monóxido de carbono (CO)	0,08%

Fig. 57, Elaboración propia, tabla composición atmosférica de Marte. Fuente: NASA

Composición atmosférica de la Tierra	
Nitrógeno (N ₂)	78,08%
Oxígeno (O ₂)	20,95%
Argón (Ar)	0,93%
Neón, Helio, Kriptón	0.0001%
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.0003%

Fig. 58, Elaboración propia, tabla composición atmosférica de la Tierra. Fuente: NASA

Distancia Tierra-Marte	
Mínimo (10 ⁶ km)	55,7
Máximo (10 ⁶ km)	401,3

Fig. 59, Elaboración propia, tabla distancia Tierra-Marte. Fuente: NASA

Datos de interés	Marte	La Tierra
Irradiación solar (W / m ²)	586,2	1361,0
Satélites naturales (lunas)	2	1
Velocidad de escape (km /s)	5,03	11,19
Gravedad superficial (m /s ²)	3,71	9,80
Volumen (10 ¹⁰ km ³)	16.318	108.321

Fig. 60, Elaboración propia, tabla comparativa otros datos de interés. Fuente: NASA



TIERRA

TEMPERATURA: -50°C hasta +50°C

CLIMA: Variado

GRAVEDAD: 9,8 m/s

DÍA: 23 horas 56 minutos

AÑO: 365 días

ATMÓSFERA: Nitrógeno, oxígeno, CO₂

PRESIÓN: 1 bar

AGUA: En estado líquido y sólido



MARTE

TEMPERATURA: -89°C hasta -31°C

CLIMA: Cielos despejados y tormentas de arena

GRAVEDAD: 3,7 m/s

DÍA: 24 horas 37 minutos

AÑO: 670 días

ATMÓSFERA: CO₂

PRESIÓN: 0,01 bar

AGUA: En estado sólido bajo la arena

En lo que se refiere a la superficie marciana, actualmente aunque todavía no está lo suficientemente explorada y se desconoce a gran profundidad la composición de la corteza marciana, si hay distintas imágenes tomadas por las misiones espaciales llevadas a cabo, que permiten distinguir una superficie cubierta de dunas y cráteres, que se asemeja a un desierto pedregoso o REG. En su superficie, se distinguen por una los fragmentos rocosos diseminados y por otra parte el regolito, que es el compuesto de arena formada por distintos minerales y cuya compactación es muy reducida. En algunos puntos del planeta puede observarse escarcha sobre la superficie o fragmentos de hielo en los polos.(ESA Op.cit, 2013)



Fig. 62, Imagen de la superficie de Marte tomada por la sonda Spirit. Fuente: NASA

Por otra parte, aunque la atmósfera marciana actual en sí misma está formada principalmente por dióxido de carbono, es demasiado delgada y fría para soportar el agua líquida, un ingrediente esencial para la vida. En Marte, la presión de la atmósfera es menos del uno por ciento de la presión de la atmósfera terrestre, lo que implica que cualquier agua líquida en la superficie se evaporaría o congelaría muy rápidamente. Es por ello, que algunos científicos proponen la idea de la terraformación de Marte, que consiste en alterar el campo magnético, la atmósfera y exportar vida al planeta para convertirlo en un lugar habitable para el hombre, fuera de cúpulas y refugios.

Los defensores de la terraformación de Marte, aun conscientes de que se trataría de un proceso a largo plazo de Marte, proponen liberar gases de una variedad de fuentes propias del planeta rojo, para espesar la atmósfera y aumentar la temperatura hasta el punto donde el agua líquida es estable en la superficie. Estos gases se denominan “gases de efecto invernadero” por su capacidad para atrapar el calor y calentar el clima, ya conocidos de sobra en la Tierra. Sin embargo, un estudio tras la revisión de los datos recogidos por la nave Mars Odyssey de la Nasa, revelan la imposibilidad de llevar a cabo la terraformación de Marte con la tecnología actual. (JAKOSKY, Bruce, *Inventory of CO² available for terraforming Mars*, 2018).

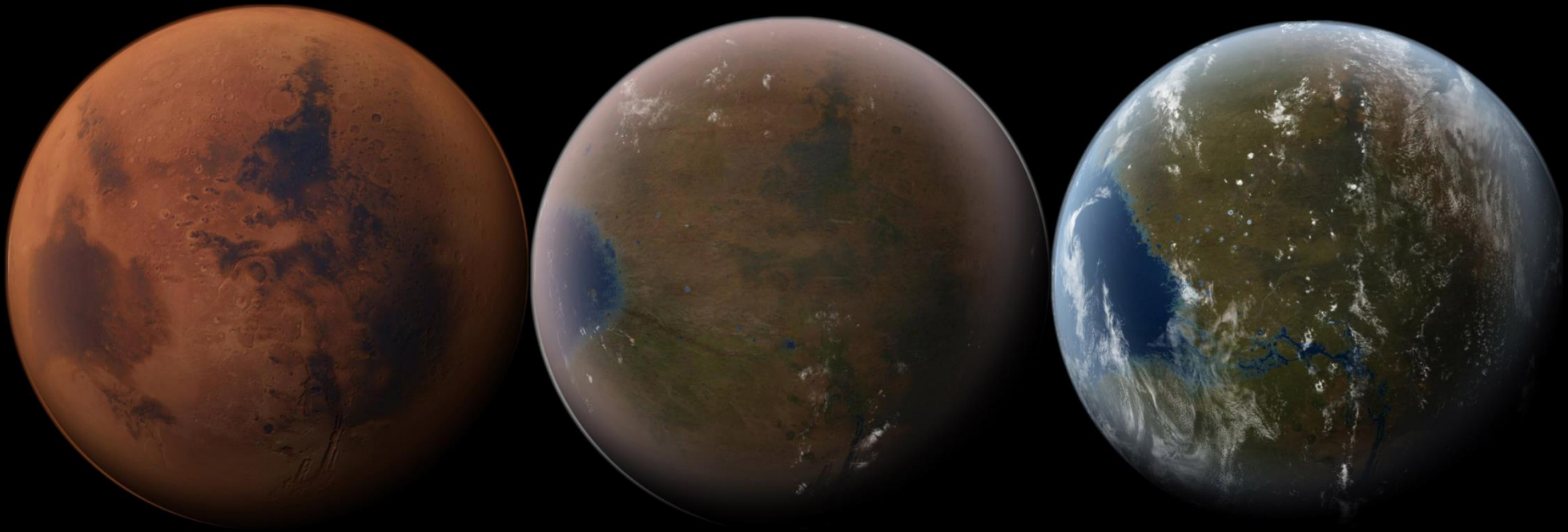


Fig. 63, Terraformación de Marte

UN PEQUEÑO ECOSISTEMA

Aunque la terraformación no es posible a día de hoy, sí que se ha intentado controlar el clima a pequeña escala para permitir crear un oasis de vida en la inerte superficie de Marte. Es a finales de los años 80 del siglo pasado, cuando una serie de científicos financiados por la empresa privada Space Biosphere Ventures, motivados por la misión espacial Apolo, pensaron que si ya se había llegado a la Luna, el siguiente paso sería vivir en esta, o en Marte, o en otro cuerpo de Sistema Solar. Así que trataron de desarrollar la tecnología para hacerlo posible. Con esta premisa, se construyó en el desierto de Arizona, EE.UU.; Un edificio parecido a un invernadero, este se trataba de una estructura hermética construida en acero y cristal. En esta se introdujeron algunos de los ecosistemas más representativos de la Tierra: una selva, un océano, un desierto, un manglar y una sábana. Además de 2.500 metros de tierras cultivables y dependencias para la vida humana, como dormitorios y oficinas. (El Confidencial, 2014)⁵⁴

Este está considerado el mayor ecosistema cerrado jamás creado, y tenía como objetivo el estudio de la red de interacciones formadas entre todos sus elementos, así como la relación entre el hombre, la agricultura, la tecnología y su entorno. Es decir, todo lo que sería necesario conocer en caso de querer llevar nuestra vida a otro planeta. Con esta intención, en 1991 se llevó a cabo la primera prueba con una duración de 2 años, esta consistía en introducir a 8 científicos que serían los encargados de hacer el pequeño ecosistema

⁵⁴ Artículo: *Biosfera 2: el experimento que quiso recrear la Tierra*. Periódico El Confidencial, 2014. Periodista: Rocío Benavente

sostenible en el tiempo, cultivando alimentos, analizando la evolución química del aire y del agua y siendo a su vez observados para estudiar su estado físico y psicológico durante el experimento. La finalidad era crear un hábitat en el que se fuera capaz de reciclar el aire y mantener un clima estable. Sin embargo, los resultados fueron muy distintos a los que se esperaban, el experimento concluyó con serios problemas para mantener los niveles de oxígeno, falta de alimento y los habitantes sufrieron pérdidas importantes de peso, a la vez que continuas disputas entre ellos. Aunque el experimento fue un fracaso se pueden extraer importantes conclusiones de este. En este sentido Jane Poynter, una de las habitantes del ecosistema durante esos dos años, afirma que en un ecosistema “tan pequeño”, las acciones llevadas a cabo por sus habitantes tienen una gran influencia en el medio. (Poynter, 2014)⁵⁵

Por otra parte cabe destacar, que dentro de estas atmosferas creadas artificialmente, no existe viento, ni días lluviosos, ni tormentas eléctricas, ni incendios; Esta todo perfectamente controlado. Lo que hace que el ser humano se encuentre fuera de su naturaleza, conllevando esto ciertas implicaciones psicológicas. Este es un problema de escalas como Poynter explica, debido a que por ejemplo, un incendio o cualquier acción llevada a cabo por un individuo en uno de estos frágiles ecosistemas, podría desestabilizarlo por completo.

⁵⁵ POYNTER, Jane. *Jane Poynter on Biosphere 2*. Conference on Speakers.com



Fig. 64, Vista aérea del proyecto Biosphere 2.



Fig. 65, Jane Poynter en el interior del proyecto Biosphere 2.

ALGO MÁS QUE LO FÍSICO, LO PSICOLÓGICO

En Marte, además de unas condiciones climatológicas extremas, el tiempo de viaje, una atmósfera que no es respirable y la necesidad de protegerse frente a la radiación, existe una problemática que pocas veces es tenida en cuenta, esta son las implicaciones psicológicas que conlleva para el ser humano enfrentarse a un entorno completamente desconocido y no reconocible. La película *“Rumbo a lo desconocido”*⁵⁶ la cual se fundamenta en el avance científico de poder extraer agua a partir de la tierra, la película versa sobre la implantación de la primera colonia en el planeta rojo.

En esta película sale a la luz el principal reto del ser humano a la hora de conquistar otros planetas, su condición de terrestre. Esta condición se combate en la nave de la película reproduciendo sonidos antes de dormir que recuerdan al hábitat terrestre, como el ruido de unos grillos, y el mar entre otros. En relación con esto, el protagonista durante los 270 días de viaje en la nave, también aparece rociando con un spray olores que le recuerdan a la tierra como: césped recién cortado o agua marina. Problemas que en un futuro la realidad aumentada, actualmente en proceso de desarrollo, podría resolver. Por otra parte, debido a que el astronauta de la película viaja solo, también se recuerda la necesidad de la interacción humana, para mantener las capacidades psicológicas intactas. Con este fin, el astronauta realiza video llamadas a diario con gente de la tierra.

⁵⁶ *Rumbo a lo desconocido*. Dirigida por Mark Elijah Rosenberg. 2016; Coproducida por: 3311 Productions / Loveless / Rooftop Films. United States of America. Película

NUEVA SOCIEDAD, NUEVAS JERARQUÍAS, NUEVA ARQUITECTURA

La construcción del espacio arquitectónico como refugio y en última instancia como colonia de seres humanos extraterrestre, entraña varios retos. Entre estos retos se encuentra, La transformación de un no lugar en lugar. Entendiendo el lugar antropológico, como aquel que permite mediante una lectura atenta del espacio dar una imagen de la estructura social, en oposición a lo que sería un no lugar. Este nuevo espacio, habrá que humanizarlo, darle tamaño humano, hacerlo escapar al anonimato. Conforme el hombre vaya más lejos tendrá que inventar nuevos lugares, en los cuales nuestras relaciones entre los unos y los otros se redefinirán. Esta nueva construcción del espacio y de una nueva sociedad, podría ser fuente de utopías realizadas que no pueden realizarse actualmente, si no es en un contexto más extenso y global como es un no lugar. Estas heterotopías de Foucault, que no se pueden realizar ahora debido a las relaciones sociales ya establecidas por el lugar, en un nuevo lugar todavía no marcado por estas normas fácilmente localizables en la ocupación del espacio, podría darse pie a ser realizadas. (Augé, 2014)⁵⁷

En primera instancia, para la implantación del primer asentamiento humano en Marte, deberá elegirse un lugar de aterrizaje que mejor responda a las necesidades de la misión, bien sea por protección frente a las tormentas de arena, más horas de luz, temperatura más moderada y otros factores. Lo que no cabe duda es que esta nueva arquitectura, si se plantea como una colonia permanente, deberá estar relacionada con el

lugar, y el uso de recursos indígenas será fundamental para el éxito de la misión y demostrar la viabilidad a largo plazo de un asentamiento humano en Marte.

Esta nueva construcción del espacio, igual que la arquitectura vernácula del desierto estudiada, se debe concebir como una arquitectura de supervivencia, que deberá adaptarse al medio marciano con el uso mínimo de recursos importados. Este minimalismo en el uso de materiales, tiene que ver con la cantidad limitada de recursos que pueden transportarse desde la Tierra por razones técnicas. Con estos condicionantes, la arquitectura primigenia en Marte podría tener mucho que ver con aquella arquitectura originaria del desierto, una construcción basada en la utilidad, la economía de medios y la supervivencia al entorno. Esta arquitectura originaria de Marte, seguramente igual que la arquitectura vernácula, sufrirá una maduración en base a la experiencia con el entorno, que la hará evolucionar, expandirse y colonizar el espacio.

“Un comienzo es un momento muy delicado”

*Película de ciencia ficción Dune*⁵⁸

⁵⁷ AUGÉ, Op. cit.

⁵⁸ *Dune*. Dirigida por David Lynch. 1984; Hollywood, LA, United States of America: Universal Studios Inc. Película. min. 01:34

PROYECTOS EXTRATERRESTRES

Una mirada crítica

CONCEPTOS CONSTRUCTIVOS PREVIOS

Construcción de cúpulas y hormigón marciano

LA CÚPULA: UN OASIS DE VIDA EN MARTE

La arquitectura que permite albergar en su interior ecosistemas a gran escala aprovechando la transparencia para permitir entrar la radiación ultravioleta, controlando así el clima, se materializa por primera vez en la Exposición Universal de Londres (1850) con el edificio concebido por Joseph Paxton. A partir de este edificio, esta arquitectura de acero y vidrio únicamente, se populariza. Esta intención de mantener un clima aislado del exterior, se encuentra por primera vez en forma de cúpula el Jardín Botánico de Missouri, EEUU. Este se trata de una cúpula concebida por el arquitecto Buckminster Fuller en el año 1960. Esta se denominó coloquialmente el Climatron, debido a que eran capaces de controlar el clima, aunque no generaba en su interior un ambiente completamente aislado y autosuficiente como Biosphere 2, si permitió investigar en este tipo de estructuras.

El Climatron está formado por una única estructura de barras tubulares de aluminio trabajando a compresión y cables trabajando a tracción. Siendo las dimensiones de esta cúpula, 42m de diámetro en planta y 21m de altura. En un principio, este se concibió como unos paneles de plexiglass rígido montados en un marco de aluminio, lo cual permitía una estructura bastante ligera. Pero con el paso del tiempo la cúpula se deterioró, por una parte el marco de aluminio se deformó a causa de las variaciones térmicas, permitiendo fugas de calor y la formación de condensaciones dentro de la cúpula. Como consecuencia, los paneles originales de plexiglass, se deterioraron y perdieron la transparencia. (Munns, 2017)⁵⁹

⁵⁹ MUNNS, David P. D. *Engineering the Environment: Phytotrons and the Quest for Climate Control in the Cold War*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press., 2017. Chapter 3, Pp. 70-83.



Fig.66, Cúpula del Jardín Botánico de Missouri, EE UU.



Fig. 67, Construcción de la cúpula del Jardín Botánico

Posterior al proyecto estudiado de Buckminster Fuller y al proyecto Biosphere 2 realizado en acero y vidrio, El Jardín Botánico *Eden Project* de Grimshaw architects, respresenta un avance cualitativo respecto a los materiales empleados. Este moderno proyecto comienza su construcción al sur de Inglaterra en el año 1988, para ser terminado tres años más tarde.

Este proyecto aúna varias características interesantes, por una parte podemos ver varias cúpulas ensambladas que intersecan entre ellas formando un conjunto, lo refleja una compleja estrategia de agregación. Por otro lado esta lo innovador de su estructura, Cada cúpula tiene lo que se conoce como un marco espacial hex-tri-hex con dos capas. La capa exterior está hecha de hexágonos de tamaño variable en función de la posición (el más grande tiene 11 metros de ancho), mientras la capa interna comprende hexágonos y triángulos atornillados. Como resultado, la estructura de acero pesa solo un poco más que el aire contenido en los biomas. Es por ello que estas estructuras son más propensas a volar que a bajar, por lo que están atadas a los cimientos con anclajes. En el interior de esta estructura metálica, se encuentran una especie de “burbujas de aire” transparentes en cada hexágono, hechas de un co-polímero de etileno tetrafluoroetileno (ETFE).Cada ventana tiene tres capas de este material, que inflado crea una cámara de 2 metros de profundidad. (Grimshaw Architects, 2001)⁶⁰



Fig. 68, Vista exterior de cúpulas Eden Project



Fig. 69, Vista exterior detalle de una cúpula de Eden Project

⁶⁰ Grimshaw Architects. *Biome architecture*. Dirección web: <https://www.edenproject.com/eden-story/behind-the-scenes/architecture-at-eden>



Fig. 70, Vista interior Eden Project

Por otra parte, aunque estas burbujas de ETFE son muy livianas (menos del 1% del peso equivalente en vidrio para un mismo área), son lo suficientemente fuertes como para soportar el peso de varias toneladas sobre estas. Además, el ETFE puede transmitir luz UV, no se adhiere, se autolimpia y dura más de 25 años. Eden Project es pionero en el uso de este material aislante realmente ligero y capaz de resguardar los biomas del clima exterior, mediante las burbujas hexagonales de la estructura de acero, que atrapan el aire entre dos capas de ETFE, actuando así como una envoltura térmica. Estos biomas tienen una superficie de unos 16.000 m² y posee una altura de 50 metros en el punto más alto. La estructura, debido a la envergadura del proyecto tiene un peso de 465 toneladas en su conjunto, y contiene 426 toneladas de aire. (Grimshaw Architects, 2001)⁶¹

⁶¹ Grimshaw Architects. *Biome architecture*. Op. cit.

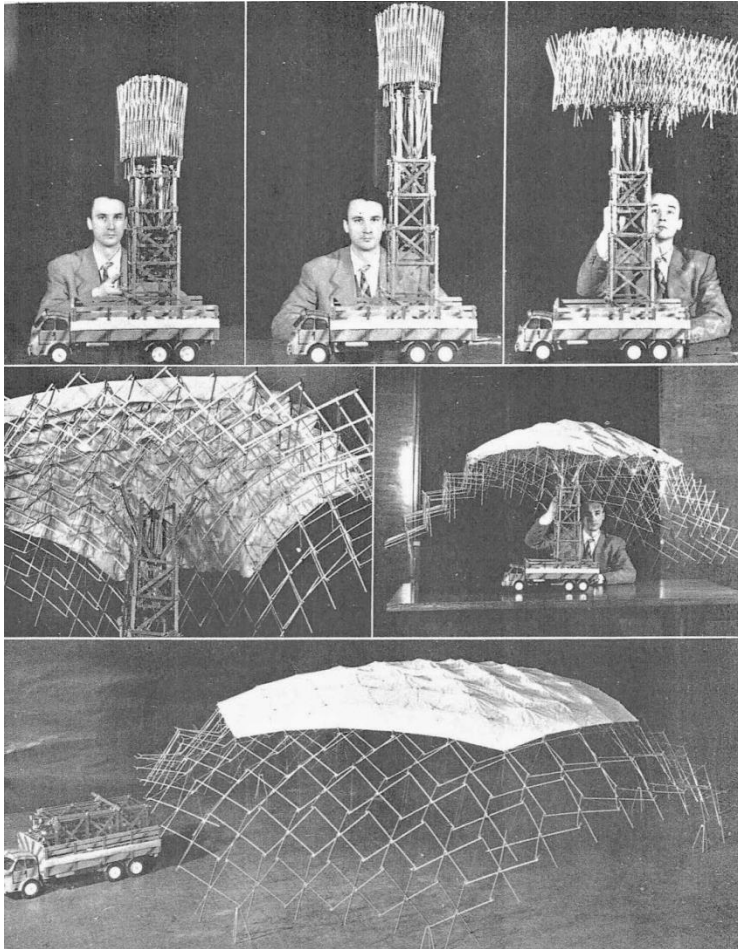


Fig. 71, Prototipo del proyecto *Teatro Ambulante* a escala 1:10

El principal obstáculo para la construcción en Marte de las estructuras mostradas como la de Eden Project, es la problemática de una atmosfera y un clima que no permitirían el trabajo manual de ensamblaje para su implantación. Frente a esta posible complicación a la hora de ejecutar estas cúpulas, es interesante rescatar la idea de una estructura que se construye sola, desplegándose como las estructuras ideadas por Emilio Perez Piñero. Este arquitecto español de mediados del siglo pasado, destacó por sus estructuras retráctiles capaces de abarcar grandes luces y posteriormente poder ser plegadas y transportadas.

Este llegó a diseñar cúpulas de 32 metros de diámetro en planta y 11 metros de altura, con un peso aproximado de 3000 kilogramos. Esto equivaldría a un área de 800 m² que podría ser cubierta con estas estructuras. La estructura de las cúpulas, tenía un plano medio de simetría que le permitía trabajar indistintamente bajo carga o bajo succión del viento. Constando esencialmente de tres partes: Por una parte, el armazón rígido de barras articuladas, que constituye un acordeón espacial. Por otra parte, los elementos flexibles de tracción, unidos permanentemente a la estructura, constituidos por una red de cables superior y otra inferior, que determinan el límite máximo de apertura de la estructura. Por último, unos elementos, enganchables y desenganchables, que tensados triangulan y rigidizan la estructura; y, que cuando se desenganchan permiten que la estructura se pliegue. (Valcárcel,1992)⁶²

⁶² VALCÁRCCEL, J. P. *La obra arquitectónica de Emilio Perez Piñero*. Boletín Académico. Escola Técnica Superior de Arquitectura da Coruña, 1992, Nº16, Pp. 3-12.

EL HORMIGÓN MARCIANO

En muchos de los proyectos propuestos para Marte actualmente, y en esto hay consenso, como se muestra en los 3 proyectos extraterrestres expuestos en este trabajo; los primeros colonizadores podrán llevar ciertas estructuras consigo, pero esto solo puede ser una solución temporal. Rápidamente estos primeros colonos tendrán que encontrar una manera de construir estructuras propias utilizando los recursos propios del planeta rojo. Un grupo de investigadores de la Northwestern University en este sentido, han conseguido reproducir con éxito la impresión 3d con hormigón marciano, descubriendo así cómo hacer hormigón utilizando materiales que están ampliamente disponibles en Marte. La clave de este descubrimiento, reside en prescindir del agua como elemento desencadenante de las reacciones que provocan el fraguado y endurecimiento del hormigón, puesto que esta no se encuentra en estado líquido en Marte.

El material clave de la construcción en Marte será el azufre, según el equipo de investigadores de la Northwestern. La idea es calentar el azufre a aproximadamente 240 ° C para que se convierta en líquido, mezclarlo con el suelo marciano, que actúa como un agregado, y luego dejarlo enfriar. El azufre se solidifica, uniendo el agregado y creando hormigón.

A medida que el azufre se enfría, se solidifica para formar azufre monoclinico y luego se transforma en azufre ortorrómbico, el alótropo estable a temperaturas más bajas. Pero también se encoge durante este proceso y este encogimiento crea cavidades y tensiones que debilitan el compuesto. Por ello, para hacer el hormigón de azufre lo

suficiente fuerte y duradero como para ser útil en Marte, los investigadores utilizaron suelo marciano simulado, que consiste principalmente en dióxido de silicio y óxido de aluminio con otros componentes como óxido de hierro y el dióxido de titanio. También probaron varios tamaños diferentes de partículas en este agregado. Tras varias pruebas con las condiciones de presión y temperatura marcianas, y diferentes porcentajes de azufre fundido extrajeron las siguientes conclusiones: Un agregado de partículas más pequeñas reduce la formación de huecos, lo que aumenta significativamente la resistencia del material. Según los investigadores: *“La mejor combinación para producir hormigón marciano es 50 por ciento de azufre y 50 por ciento de suelo marciano con un tamaño máximo de agregado de 1 mm”* Como resultado de este hormigón marciano, se obtiene un material fuerte, que alcanza una resistencia a compresión superior a 50 MPa, especialmente si se comprime durante el curado para reducir la formación de huecos. Esta fuerza es también en parte resultado de los enlaces químicos que el azufre produce con el suelo marciano. Otras ventajas de este hormigón, es que se puede reciclar calentándolo, para que el azufre se derrita y así poder ser reutilizado. También es de secado rápido, y relativamente fácil de manejar (MIT Review, 2015)⁶³ (Wan, Wendner and Cusatis, 2015)⁶⁴

⁶³ *Materials Scientists Make Martian Concrete.* MIT Technology Review, 2015. Dirección web: <https://www.technologyreview.com/s/545216/materials-scientists-make-martian-concrete/>

⁶⁴ WAN, Lin; WENDNER, Roman; CUSATIS, Gianluca. *A Novel Material for In Situ Construction on Mars: Experiments and Numerical Simulations.* Evanston, Illinois, Northwestern University, 2015. Online open access.

MARS CITY

La gran colonia humana



Fig. 72, Vista exterior del proyecto implantado en la superficie de Marte

El proyecto Mars City, ideado por el despacho de arquitectos BIG (Bjarke Ingels Group), está pensado para implantarse actualmente en la Tierra, concretamente en Arabia Saudí a modo de prueba, para si este tiene éxito ser exportado a Marte en un futuro (está previsto el año 2117). El proyecto en Marte sería un híbrido de soluciones exportadas de la tierra y otras autóctonas, aunando este asentamiento permanente los dos conceptos constructivos explicados anteriormente. Por una parte aprovecha la diferencia de presión para crear cúpulas hinchables muy ligeras y transparentes, que permiten crear un ecosistema presurizado y condiciones favorables a la vida, siendo esta la solución ligera que habría que importar desde la Tierra. Por otra parte el proyecto también cuenta con una parte pesada y autóctona, que consiste en la construcción del hábitat dentro de esta cúpula, bien mediante la excavación en el terreno o bien mediante la impresión en 3D de este hábitat con hormigón marciano del modo explicado anteriormente, empleando el suelo de Marte extraído para crear la parte enterrada del hábitat. (BIG, 2017)⁶⁵

“La arquitectura que más nos llamaba la atención es la arquitectura vernácula, la cual hemos envuelto adaptándola al clima y paisaje local. Con el proyecto Mars City hemos intentado explorar sobre qué aspecto tendría una arquitectura vernácula marciana”

Bjarke Ingels

⁶⁵ Bjarke Ingels Group web site: <https://big.dk/#projects-mars>

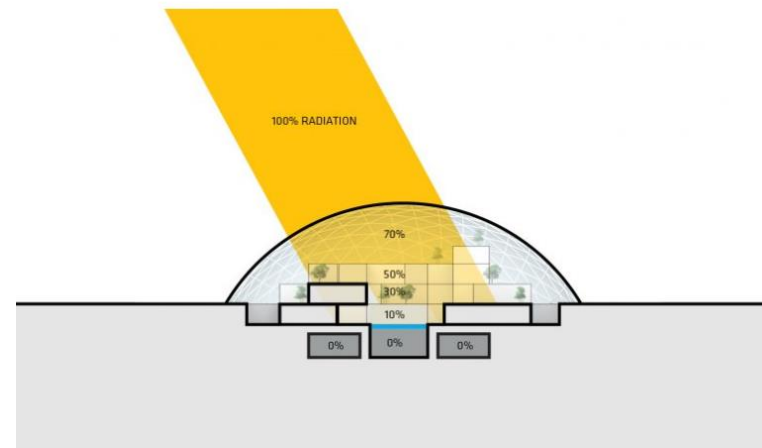


Fig. 73, Exposición a la radiación

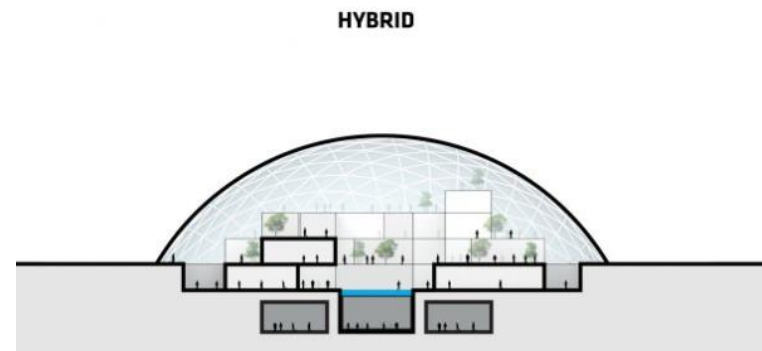


Fig. 74, Jerarquía de espacios dentro de Mars City

La protección frente al clima la da la cúpula, que a la vez que mantiene una presión que permite la vida, también conserva una atmósfera respirable y protege frente a las temperaturas de la superficie marciana de -63°C de media. Siendo el compuesto proveniente del suelo marciano, el encargado de proteger de manera más eficiente frente a la radiación y configurar el espacio arquitectónico en el interior de la cúpula.



Fig. 75, Vista interior del proyecto Mars City

El proyecto Mars city cuenta con una superficie de 176.516 m² y busca crear una solución de carácter permanente para una futura colonia en Marte, que pasaría por crear igual que en el proyecto Biosphere 2, un ecosistema propio y autosuficiente, capaz de autoabastecerse de manera prolongada en el tiempo con productos autóctonos de Marte, teniendo así que controlar aspectos como la capacidad de producir alimentos en este entorno, regenerar el oxígeno o extraer agua mediante procesos químicos.

Es interesante de esta solución mixta que propone BIG, el uso del Hi-Tech para crear una cúpula de materiales plásticos de alta resistencia, parecidos a los vistos anteriormente en *Eden Project*, que confieren una piel térmica que permite la vida en su interior, siendo a su vez ligera, lo cual le permitiría poder ser transportada desde la Tierra. Al mismo tiempo, destaca el uso del Low-Tech, empleando el propio material que se encuentra en la superficie marciana para construir una arquitectura más rígida y pesada, que no podría ser transportada desde la Tierra. Esto último, supone una cierta reminiscencia a la arquitectura vernácula en la tierra y a los proyectos estudiados del desierto, capaces de emplear la materia del lugar para la construcción de la arquitectura como refugio frente al clima.

Esta riqueza en la variedad de soluciones a la hora de crear el asentamiento marciano, también puede verse en los espacios que se crean, permitiendo una transición desde el paisaje exterior a la cúpula, conectado visualmente a través de las paredes transparentes de esta cúpula, con un espacio exterior dentro de la cúpula, que si esta presurizado y permite la vida,

conectado a su vez con la edificación levantada con el suelo marciano, y por último también existe el espacio enterrado, que permite aprovechar al máximo la superficie cubierta por la cúpula. Sin duda, esta es una interesante propuesta, que tal vez en un futuro y una vez instalada la cúpula, la colonia podría seguir creciendo hacia el subsuelo, pero disponiendo siempre de ese acceso a la naturaleza que permite la cúpula, y que cumple con el aspecto psicológico de mantener el vínculo emocional del ser humano con un entorno reconocible, donde encontrar especies vegetales y olores que le recordasen a la Tierra.

Por otra parte, la arquitectura se protege de este entorno climáticamente mediante la capacidad aislante de la cúpula e inercia térmica del suelo, que mantendría aislada térmicamente también la parte enterrada de la colonia. No existiendo mecanismos vistos en la tierra como la ventilación cruzada u otros que dependen del viento, puesto que se trata de un ambiente controlado y aislado donde no hay corrientes.

Frente a estas bondades del proyecto Mars City, el mayor inconveniente en el uso de este sistema de cúpulas, es su vulnerabilidad frente a posibles impactos, bien de rocas empujadas por tormentas de arena, o bien por pequeños asteroides que pudiesen impactar contra estas, debido a que en Marte al no haber atmósfera como en la tierra, el impacto de meteoritos es algo mucho más habitual. Estas posibles agresiones a la cúpula o el hecho de deteriorarse y necesitar alguna reparación, podrían conllevar el riesgo de que esta se despresurizara creando una inestabilidad que destruiría el ecosistema interno en un corto plazo de tiempo.



Fig. 76, Vista exterior del proyecto implantado en Arabia Saudí

MARS HABITAT

Crecimiento modular

El proyecto *Mars Habitat* del despacho de arquitectura Foster + Partners, está concebido como un hábitat modular compuesto por distintas partes, que unidas entre sí forman una célula de habitabilidad única. La propuesta considera múltiples aspectos del proyecto, desde la llegada y el despliegue, hasta la construcción y las operaciones a llevar a cabo. En primer lugar, se situaría la llegada de los robots semiautónomos, los cuales deberían elegir un emplazamiento y cavar un cráter de 1,5 metros de profundidad, para protegerse de las tormentas de arena y hacer más estables los módulos. En una segunda entrega, llegarían los módulos inflables que se encuentran dentro del cráter para formar el núcleo del asentamiento. (Fig. 77)

Por otra parte, el proyecto de Mars Habitat contempla, que una vez instalados y acoplados los módulos en el cráter, una serie de robots pre-programados y semiautónomos antes de la llegada eventual de los astronautas imprima en 3D una segunda piel del hábitat con el material del suelo marciano, esto sería para proteger así el habitáculo de la radiación y conferirle un mayor aislamiento gracias a la inercia térmica del terreno. El hábitat, está pensado como una vivienda sólida impresa en 3D para hasta cuatro astronautas, construida con regolito, el suelo suelto y las rocas que se encuentran en la superficie de Marte. (Foster + Partners, 2015)⁶⁶

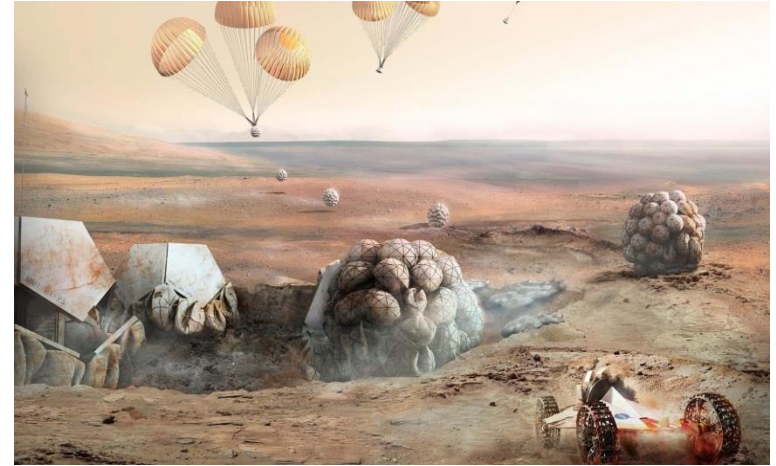


Fig. 77, Fase I del proyecto, llegada a Marte de los módulos



Fig. 78, Fase II del proyecto, los módulos se acoplan en su configuración final

⁶⁶Foster + Partners, 2015. Dirección web información del estudio sobre el proyecto: <https://www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat/>

El proyecto Mars Habitat, supone una célula de habitabilidad completamente ajena al planeta rojo, importada en su estado final desde la tierra y completada por una capa de suelo marciano para hacerla más sólida y segura frente a la radiación, además de incrementar noblemente el aislamiento térmico de sus paredes en contacto con el exterior. Es decir, si bien emplea la materialidad del lugar para completar el hábitat, no se relaciona con este, ni siquiera mediante visuales, ya que estos módulos no cuentan con ventanas que permitan observar el entorno.



Fig. 79, Sección del proyecto en su estado final

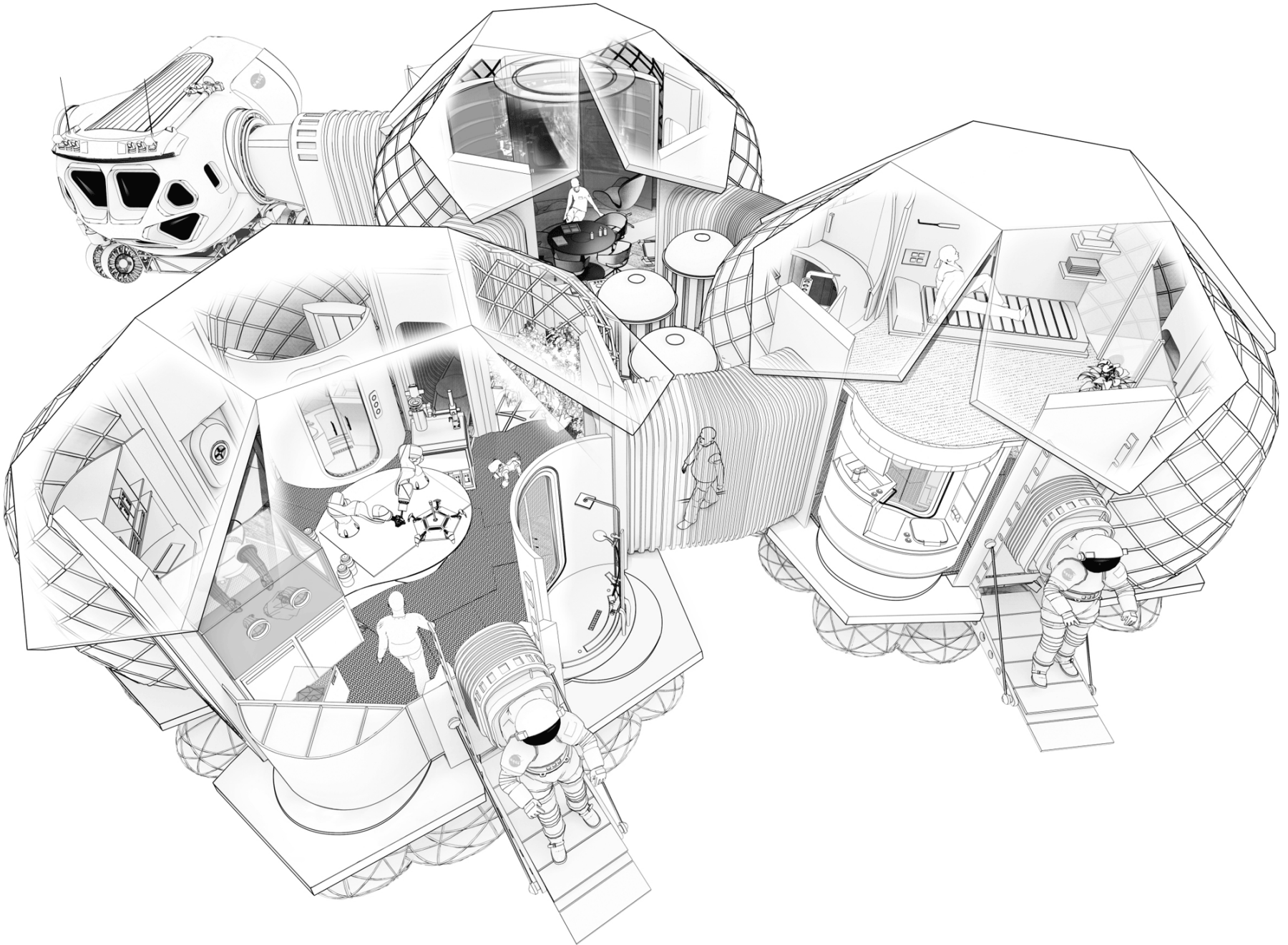


Fig. 80, Axonometría Mars Habitat

La escala del proyecto de Mars Habitat, es una mucho menor que la solución propuesta por el despacho de arquitectos BIG. Esto hace pensar, que al contrario que la propuesta de Bjarke Ingels, Mars hábitat es un proyecto que supone una primera aproximación, con una escala mucho más abordable y que no constituye un hábitat permanente a partir del cual establecer una colonia. Es decir, este proyecto no está pensado como una agrupación a nivel de asentamiento, sino a nivel de una única vivienda. Este aspecto es visible también, en la carencia de espacios de relación entre los distintos módulos o células de habitabilidad, que podría solucionarse con un módulo más grande que permitiese la relación con su entorno al mismo tiempo, al mismo tiempo que se estableciese como un espacio común al que se acoplasen varias células de habitabilidad.

El proyecto tal y como está concebido, es una apuesta directa por el HI-Tech, confiando la tarea de hacer habitable la célula a todos los sistemas de acondicionamiento y generación de oxígeno y agua mediante sofisticados procesos químicos. Otro elemento que hace pensar que no es un hábitat durable con carácter permanente, es el hecho de no disponer de espacios de cultivo o generación de recursos como los que si dispone Mars City, confiando así en los recursos importados de la tierra para la supervivencia de los astronautas, o bien en el constante envío de provisiones como ya se hace en la estación espacial internacional. Pese a esto, seguramente se trate del proyecto más plausible a corto plazo debido a que no entraña tantos riesgos como otros, puesto que maneja menos variables. No obstante, este no se puede presentar como una solución duradera a largo plazo por las razones argumentadas.



Fig. 81, Fase final del proyecto, los módulos se recubren de regolito marciano

KAHN-YATES HÁBITAT

Pequeñas células autosuficientes

El proyecto *Kahn-Yates Habitat*, es la propuesta que consiguió obtener el tercer premio en el concurso de la NASA *"3D-Printed Habitat Centennial Challenge"*. Este es resultado de la colaboración de The Albert Kahn Associates y Yates Construction team. El proyecto está pensado como un pequeño hábitat para 4 astronautas, que tiene la particularidad de estar formado por dos partes destacables, Por un lado el núcleo central, que es la propia nave espacial empleada para llegar hasta Marte, y por otro lado, la cascara que recubre esta nave, impresa en 3D en Marte y que permite crear un espacio intermedio de relación entre estas dos naturalezas, la importada de la Tierra y la propia marciana.

"Llegamos a esta forma distinta basada en las relaciones estructurales, funcionales y programáticas. La elegancia del diseño está pensada para minimizar las tormentas de polvo que pueda sufrir"

Kahn-Yates team

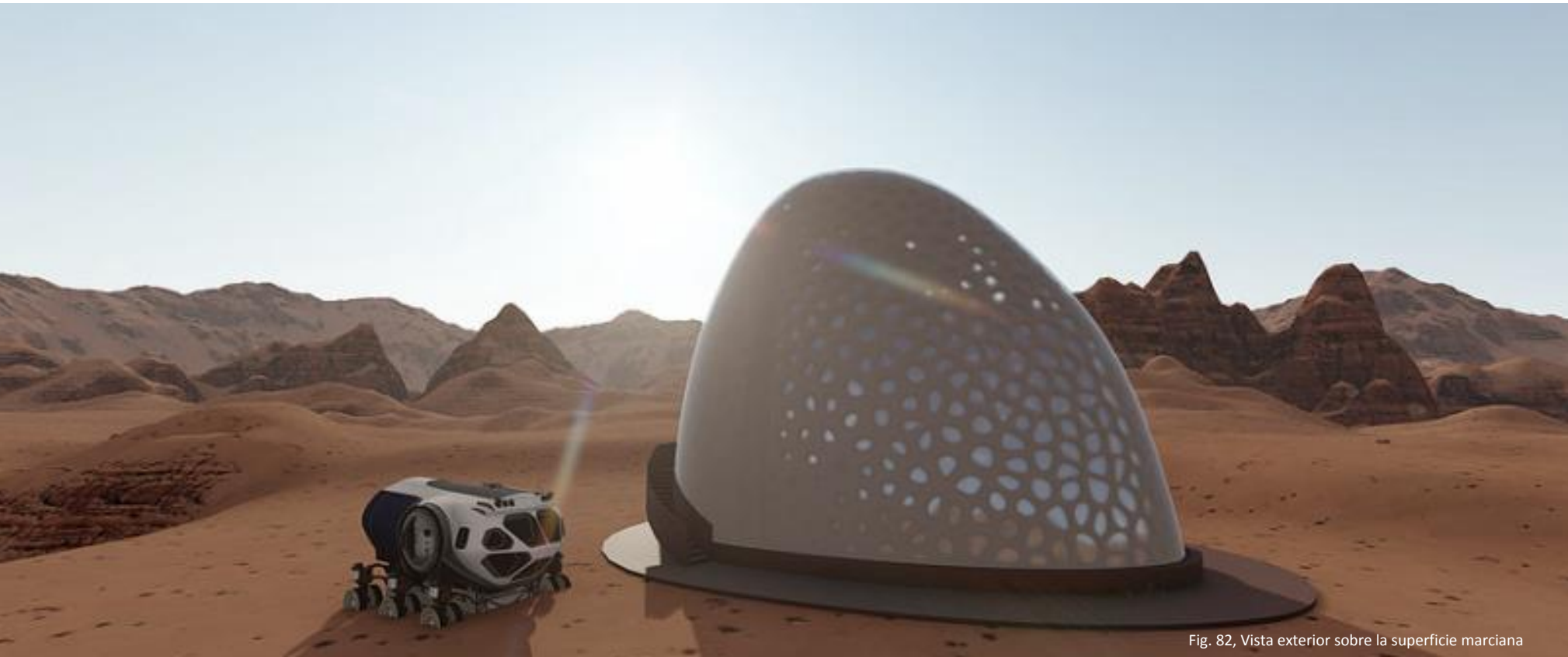
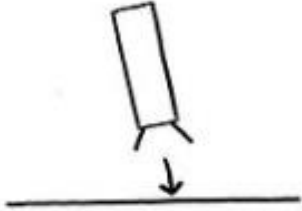
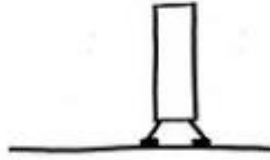
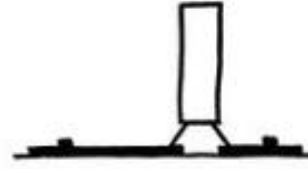
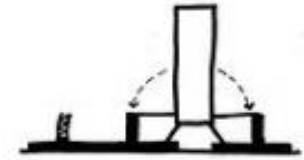
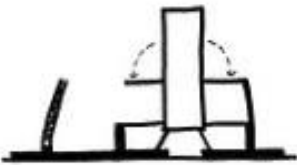
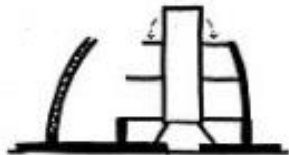
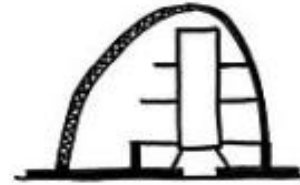


Fig. 82, Vista exterior sobre la superficie marciana

**1** ATERRIZAJE**2** IMPRIMIR BASE DE LA NAVE**3** IMPRIMIR BASE DEL HABITÁCULO**4** DESPLIEGUE DE LA PLACA DEL PRIMER PISO**5** DESPLIEGUE DE LA PLACA DEL SEGUNDO PISO**6** DESPLIEGUE DE LA PLACA DEL TERCER PISO**7** IMPRIMIR CONCHA**8** CRECER, VIVIR, MANTENER

Este proyecto igual que Mars Hábitat de Foster + Partners, importa de la tierra el hábitat ya construido y ensamblado, minimizando así los riesgos y las tareas a realizar sobre la superficie marciana. Sin embargo, este proyecto al tocar suelo marciano, se expande a su alrededor como puede verse en los esquemas de la fig. 83, gracias a la impresión en 3D de una piel protectora en forma de concha a su alrededor. Esta solución, se ubica cerca del ecuador de Marte debido a que en este emplazamiento se disfruta de 51 días más de calor respecto a otras ubicaciones, situación muy parecida a la de la tierra debido a que ambos planetas poseen el mismo ángulo de rotación orbital.(Kahn, 2018)⁶⁷

La colonización del planeta rojo comienza con la llegada del módulo espacial a la superficie de Marte, el cual debería aterrizar de forma vertical como ya hizo la sonda Curiosity en 2012, y quedar separado del suelo mediante unas patas de apoyo. Una vez ya aterrizado el módulo y en posición estable, el brazo de impresión de cinco ejes con la boca de carga se expandiría desde la parte superior del núcleo, mientras que los robots exploradores comenzarían a recolectar el material necesario que se encuentra en el suelo marciano para utilizarlo en la construcción. Después de completar la excavación y expandirla horizontalmente, la impresora 3D imprimiría la base de las patas de apoyo y el zócalo que servirá para la construcción de la envolvente térmica del hábitat.

Inmediatamente después de completar la cimentación y la base del contorno de la cáscara, el brazo de impresión pasaría verticalmente sobre este zócalo, para comenzar a imprimir a modo de capas, una cubierta de hormigón marciano, como el ya explicado. Pero esta máquina de impresión 3D tendría unas boquillas de impresión secundarias, que imprimirían al mismo tiempo capas de HDPE (High-density polyethylene) a ambos lados del hormigón, dejando el hormigón marciano en el centro. En la conformación de esta piel que recubre el hábitat prefabricado, se permitiría la entrada de luz mediante la reducción o eliminación de la capa central de hormigón que conforma la concha, de manera que quedaría como recubrimiento en estas secciones, únicamente las capas de HDPE, tanto exterior como interior y una cámara de aire intercalada.

Por otra parte, conforme se iría construyendo la cáscara, se irían desplegando las estructuras de cada nivel (como se observa en la fig.83 a la izquierda), lo cual permite ampliar considerablemente el espacio del hábitat prefabricado. Quedando únicamente dos conexiones con el exterior a nivel de planta baja, conteniendo estas el acceso al SEV (vehículo de exploración) y una escotilla para conexiones con posibles hábitats futuros. Una vez que se completa el hábitat y este alcanza su altura terminal, ya estará completamente operativo y aislado de la atmósfera marciana. Quedando las funciones distribuidas por niveles. En planta baja está la zona de cultivo y jardín, la segunda altura alberga el laboratorio y la zona de trabajo, en el tercer nivel se encuentra la zona de vida y dormitorios para los 4 astronautas, y el nivel superior albergará las operaciones de impresión 3D y almacenamiento adicional. Cuando esté completo, el núcleo prefabricado contendrá todos los equipos de electricidad, ventilación y soporte vital necesarios para la duración de la estancia de los astronautas.

⁶⁷ Albert Kahn Associates, 2018. Dirección web: www.albertkahn.com/marschallenge

Es sin duda el punto fuerte de este proyecto, la solución mixta en el uso de una parte prefabricada que contiene todo lo básico para la vida, y otra parte fabricada in situ, que en cierto modo conecta el hábitat con el lugar. La unión entre estas dos partes claramente diferenciables, se ve favorecida por el espacio intermedio que se crea entre la cáscara y el módulo prefabricado. Este es un espacio en el que entra la luz del sol tamizada por los pequeños agujeros creados en la cáscara, y que se conecta, mediante la visual con el entorno en la superficie del planeta rojo. A su vez este, gracias al diseño de una proyección ovala de la carcasa, le permitiría que con la orientación correcta, pudiera recibir una gran cantidad de luz natural para la jardinería y la producción de alimentos.

Esta solución se entiende como una respuesta a medio camino entre la de Foster y la de BIG, ya estudiadas. Esto se debe a que, pese a comprender la necesidad de producir y cultivar naturaleza en Marte, el equipo de diseñadores afirma que seguirían siendo necesarios los recursos importados de la Tierra, debido a que el tamaño del jardín permitiría únicamente ser empleado como campo de pruebas, a la vez que aportaría un espacio agradable y reconocible para los habitantes del módulo. Con un éxito a medio plazo de esta propuesta, se necesitaría la llegada de otra especie de módulo mayor tamaño, que permitiese de esta manera expandir las áreas de cultivo y aumentar la población, para establecerse así como una colonia humana permanente y autosuficiente. Estableciendo como ocurría con los oasis del desierto, pequeños módulos conectados entre ellos mediante rutas cortas u otros módulos de mayor tamaño, permitiesen diversificar la producción de medios para la supervivencia, a la vez que establecer un asentamiento extenso formado por pequeños núcleos autosuficientes en cierto modo, pero dependientes de estas redes de conexión entre ellos.

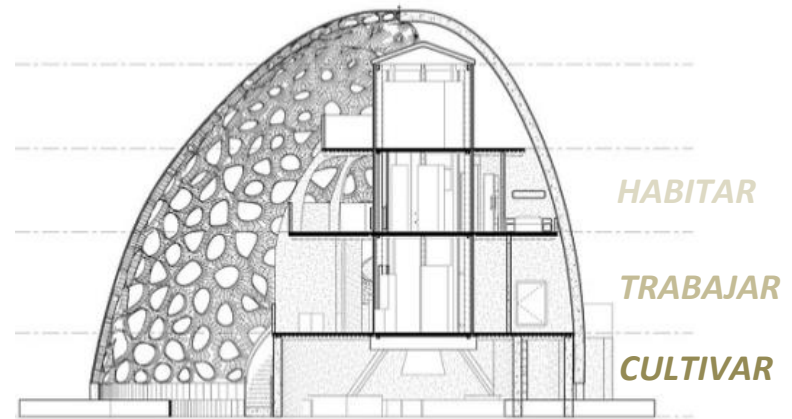


Fig. 84, Sección del hábitat

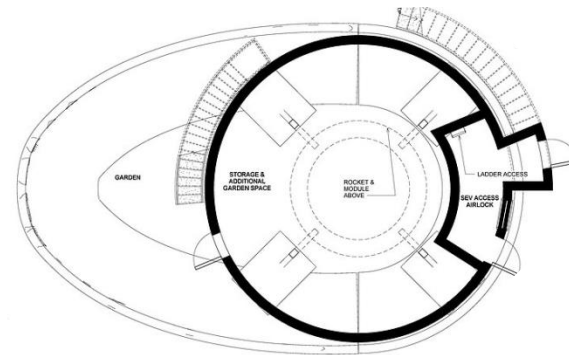


Fig. 85, Planta baja del hábitat

Igual que en el proyecto de Mars City, este módulo de habitabilidad confía su protección frente al clima marciano, a la cáscara que lo envuelve. Aprovechando así el espesor y la inercia térmica del hormigón marciano y la baja transmitancia del HDPE. Esta cúpula al contrario que la de los musgum, no podría ser demasiado esbelta en la parte superior, debido a que además de la función estructural autoportante, también tiene la función de aislamiento térmico y protección frente a la radiación, ambas dos íntimamente relacionadas con el espesor de la cúpula para ser realmente efectivas.



Fig. 86, Vista interior del patio

CUADRO RESUMEN

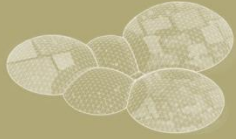


PROYECTOS EXTRATERRESTRES				
ESCALA		Asentamiento	Célula hábitacional	Célula hábitacional
PROYECCIÓN		Largo Plazo	Corto Plazo	Medio Plazo
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Atmósfera	No habitable	No habitable	No habitable
	T_{máx}	- 31°C	- 31°C	- 31°C
	T_{min}	-89°C	-89°C	-89°C
MATERIALIDAD		Cúpula hinchable, Hormigón marciano y Terreno excavado	Estructura inchable cubierta de suelo marciano	Cúpula hormigón marciano y HDPE + Módulo espacial
ESTRATEGIAS PROYECTUALES		<ul style="list-style-type: none"> - Utilización intensiva de materiales autóctonos y parte de la construcción excavada. - Creación de una atmósfera propia que permite el cultivo y la generación de alimentos. - Conexión visual con el entorno - Diversidad de espacios 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos importados ligeros y divididos en pequeños módulos - crecimiento modular y por fases - Protección frente a agresiones y bajas temperaturas gracias a una espesa capa de hormigón marciano impreso en 3D 	<ul style="list-style-type: none"> - Hábitat en relación con la naturaleza y con su entorno. - Sencillez conceptual, gracias a la solución mixta entre hábitat completo importado y parte construida con materiales autóctonos que crea un espacio para el cultivo
INCONVENIENTES		<ul style="list-style-type: none"> - Vulnerabilidad frente a impactos - Complejidad de la estructura de la cúpula y dificultad de implantación de esta sobre la superficie terrestre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de un sistema de generación de recursos a largo plazo. - Falta de conexión con la naturaleza. - Falta de variedad en los módulos, que permitan crear diferentes espacios 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad constructiva de la cúpula. - Estrategia de agregación compleja - Vulnerabilidad frente a agresiones de la cúpula.

Fig. 87, Elaboración propia, cuadro resumen estrategias proyectuales de los casos de estudio en Marte.

CONCLUSIÓN

Arquitectura de supervivencia, hace referencia a aquella que se construye con el fin último de sobrevivir. Como se ha visto en la introducción y en los casos de estudio tanto en la Tierra como en los extraterrestres, es en esta situación con las condiciones más desfavorables, como un clima extremo o la escasez de medios, cuando surgen los mecanismos y las claves que sientan las bases de la evolución de la arquitectura como refugio para la vida.

Una evolución que se produce de manera experimental, fruto de la capacidad del ser humano de aprender de su entorno, de los materiales que la naturaleza nos ofrece, del clima, de la física, y del confort. El resultado de este proceso de aprendizaje es la **arquitectura vernácula**, cuya máxima es la funcionalidad. Es por esto, que el trabajo en primera instancia analiza y redibuja las arquitecturas primitivas de los climas más extremos de nuestro planeta, lo que sirve para comprender mejor los espesores de estas construcciones, sus dimensiones, la estrategia de agregación que emplean y los mecanismos que las han hecho resistir y perdurar en estos arduos climas.

De este primer estudio se desprenden varias conclusiones. Como por ejemplo, la gran protección que ofrece la cueva o la vivienda enterrada gracias a la inercia térmica del terreno, o lo eficiente de la ventilación cruzada, o como en el caso de la jaima, intervienen factores que van más allá de la arquitectura, cobrando vital importancia las relaciones de interdependencia y las conexiones que se establecen en estas civilizaciones y que permiten su subsistencia. Teniendo así multitud de respuestas en función de las peculiaridades de cada contexto.

Pese a lo arduo de los climas desérticos, la Tierra ofrece un clima, que a día de hoy hemos conseguido dominar como especie, no habiendo prácticamente ningún lugar en la superficie terrestre que no se haya conseguido habitar. Es por ello que la segunda parte del trabajo comprende **la condición humana de búsqueda permanente de nuevos retos, y plantea la posibilidad de viajar y establecer un asentamiento humano en Marte**, algo cada vez más plausible. El estudio llevado a cabo en la introducción de la segunda parte del trabajo, permite entender la complejidad que encierra esta propuesta. Siendo el entorno de Marte no sólo un desierto por la falta de precipitaciones y el carácter árido de su paisaje, sino también por la multitud de factores que dificultan la existencia de vida en este planeta.

Este trabajo fin de grado pretende ser un viaje del origen de la arquitectura primitiva construida por el ser humano al hábitat que le depara el futuro a la humanidad. Donde **nuestra experiencia y aprendizaje a lo largo de nuestra historia, deberá ser el nexo de unión entre la arquitectura de estos dos mundos**. Debiendo extraer las claves que han permitido la supervivencia en los climas más extremos de nuestro planeta, y que tras la revisión y estudio de estas, permitirán afrontar los nuevos retos que se plantean con mayor solvencia.

Construir las primeras colonias en Marte será como inventar una **nueva arquitectura vernácula**. Los marcianos serán como colonos indígenas, investigando estructuras y respuestas a problemáticas, que seguramente ya surgieron aunque con distintos factores en esas primeras arquitecturas de supervivencia en la Tierra.





La superficie de Marte vista por la sonda Mars Pathfinder, 1997. Fuente: NASA

BIBLIOGRAFÍA

_ALBERT KAHN ASSOCIATES, 2018.

Acceso online: <www.albertkahn.com/marschallenge>

_ARONSON, Shlomo. *Aridscapes: Proyectar en tierras ásperas y frágiles*. Editorial Gustavo Gili, Colección Land & ScapeSeries, Barcelona, 2008.

_AUGÉ, Marc. *El planeta, ¿Lugar o no lugar? Los lugares del futuro*. Conferencia ETSA Valencia, 2014

_BIG (Bjarke Ingels Group). Acceso online: <www.big.dk/#projects-mars>

_CAMPO BAEZA, Alberto. *Sustancia y circunstancia: memoria del curso 2002-2003 de las asignaturas proyectos arquitectónicos 4 y 5. De la cueva a la cabaña*. Mairia Libros, Madrid, 2003.

_CRESSEY, George. *Land of the 500 Million: A Geography of China*. McGraw-Hill, Chicago, 1955.

_DOCARTIS. Repositorio online de arquitectura vernácula en Shibam. Acceso online: <www.docartis.com/YEMEN>

_DUNE. Dirigida por David Lynch. 1984; Hollywood, LA, United States of America: Universal Studios Inc. Película

_EL CONFIDENCIAL. *Biosfera 2: el experimento que quiso recrear la Tierra*. Artículo online, Periódico El Confidencial, 2014. Periodista: Rocío Benavente. Acceso online: <www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-11-24/el-plan-para-recrear-la-tierra-que-termino-como-gran-hermano_482766>

_EL MUNDO. *La Humanidad tendrá que conquistar otros planetas para sobrevivir*. Diario El Mundo, Madrid, 2014. Periodista Pablo Jáuregui. Acceso online: <www.elmundo.es/ciencia/2014/06/15/539b5454e2704e5c0a8b45>

_ESA (European Space Agency). *Mars express, a decade of observing the red planet*. An ESA Communications Production ESA, 2013. Acceso online: <www.sci.esa.int/mars-express/51856-ten-years-at-mars-new-global-views-plot-the-red-planet-s-history>

_FRAMPTON, Kenneth. *Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance*. Postmodern Culture, London, 1983.

_FOSTER + PARTNERS, 2015. Acceso online: <www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat>

_FULLER, Myron and CLAPP, Frederick. *Loess and Rock Dwellings of Shensi, China*. Geographical Review, American Geographical Society, New York, 1924.

_GREENPEACE. *Desertificación y sequía*. Greenpeace, 2007. Acceso online: <archivo-es.greenpeace.org/espana/es/reports/desertificacion-y-sequa-act>

_GRIMSHAW ARCHITECTS. *Biome architecture*. Acceso online: <www.edenproject.com/eden-story/behind-the-scenes/architecture-at-eden>

_HEIDEGGER, Martin. *Construir, habitar, pensar*. Revista académica *Teoría*, Universidad de Chile, Núm. 5-6, 1975.

_HONG-KEY, Yoon. *Loess cave-dwellings in Shaanxi province, China*. GeoJournal, Volume 21, Issue 1-2, May 1990.

_IKUSKA. *El pueblo Bereber*. Ikuska Libros, 2013. Acceso online: <www.ikuska.com/Africa/Etnologia/Pueblos/Bereber/index>

_JAKOSKY, Bruce. *Inventory of CO² available for terraforming Mars*. University of Colorado, Nature Astronomy volume 2, 2018.

_KÖPPEN, Wladimir Peter. *Manual de climatología*. Universidad de Graz, Austria, 1919.

_LAITY, Julie. *Deserts and desert environments*. New York, Wiley-Blackwell Publications, 2008.

_LANCASTER, Nicholas. *Geomorphology of desert dunes. Chapter Sand transport by the wind*. Routledge, Londres, 1995.

_MIT (Massachusetts Institute of Technology). *Materials Scientists Make Martian Concrete*. *MIT Technology Review*, 2015. Acceso online: <www.technologyreview.com/s/545216/materials-scientists-make-martian-concrete>

_MUNNS, David P. D. *Engineering the Environment: Phytotrons and the Quest for Climate Control in the Cold War*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press., Chapter 3, 2017.

_MUÑOZ, Juan Antonio. *La ruta de las caravanas y la vida en la jaima*. Artículo, 2018. Acceso online: <www.juanantoniomunoz.com/la-ruta-de-las-caravanas-xii-y-la-vida-en-la-jaima>

_NATIONAL GEOGRAPHIC EDUCATION. *Africa Physical Geography*, 2013. Acceso en: <www.nationalgeographic.org/encyclopedia/africa-physical-geography>

_NELSON, Steven. *From Cameroon to Paris: Mousgoum Architecture In and Out of Africa*. University of Chicago Press, Chicago, 2007.

_OLGYAY, Víctor. *Design with Climate. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton, Princeton University Paperback, 1963.

_PÁGINAS ARABES. *A la sombra de la jaima*. Portal de cultura árabe, Páginas Árabes, 2016. Acceso online: <www.paginasarabes.com/2016/01/18/a-la-sombra-de-la-jaima>

_POYNTER, Jane. *Jane Poynter on Biosphere 2*. Conference on Speakers. Acceso online: <www.youtube.com/watch?v=e4qGgfCUBb0&t=199s>

_RUDOFISKY, Bernard. *Arquitectura sin arquitectos*. Editorial universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1973.

_RUMBO A LO DESCONOCIDO. Dirigida por Mark Elijah Rosenberg. 2016; Coproducida por: 3311 Productions / Loveless / Rooftop Films. United States of America. Película

_SEIGNOBOS, Christian. *La case obus, histoire et reconstruction*. Collection Architectures traditionnelles, Editions Parenthèses, París, 2003.

_SEMPER, Gottfried. *The Four Elements of Architecture: And Other Writings*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1989.

_SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1999.

_SOLDEVILA, Alfons. Conferencia Taller de línea. La Salle, Investigación arquitectura mediterránea IAM, artículo online, 2012.

_STERN, David. #21b *Vuelo a Marte: ¿Cuánto durará? ¿Por dónde ir?* Acceso online: <www.pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mmars1>

_UNESCO. *Desertificación*. Revista digital *El correo de la UNESCO*, Junio de 2006.

_UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Old Walled City of Shibam*. World Heritage List, ref.192, 1982. Acceso online: <whc.unesco.org/en/list/192>

_VALCÁRCEL, J. P. *La obra arquitectónica de Emilio Perez Piñero*. Boletín Académico. Escola Técnica Superior de Arquitectura da Coruña, Nº16, 1992.

_VAN BEEK, Walter. *The Dancing Dead: Ritual and Religion among the Higi of North Cameroon and Northeastern Nigeria*. University Oxford books, Oxford, 2012.

_WAN,Lin; WENDNER, Roman; CUSATIS, Gianluca. *A Novel Material for In Situ Construction on Mars: Experiments and Numerical Simulations*. Evanston, Illinois, Northwestern University, 2015.

_WILLIAMS, David. *Why Mars?* Artículo online de la NASA, 2015.
Acceso online: <www.nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/marswhy>

BIBLIOGRAFÍA FOTOGRAFICA

_Figura 0 Portada

Imagen de la superficie de Marte tomada por la sonda Spirit en el cráter Bonneville.fecha:18 Mayo, 2004. Fuente: NASA/JPL/Cornell University

_Figura 1

La cabaña primitiva. Autor Marc-Antoine Laugier. Grabado alegórico de la cabaña primitiva. Aparición en el libro *Essai sur l'architecture* 2.ª ed. París, 1975. Fuente: Flickr estudio Campo Baeza

_Figura 2

Elaboración propia. Regiones áridas del planeta. Basado en el documento fotográfico nº 8106 de la UNESCO

_Figura 3

Erosión y formación de distintos paisajes desérticos a causa de agentes naturales. Fuente: agrega.juntadeandalucia.es/repositorio

_Figura 4

Desierto rocoso del Gobi, Fuente: Getty Images

_Figura 5

Desierto pedregoso próximo al Atlas marroquí. Fuente: Getty Images

_Figura 6

Formación de las dunas barchan. Fuente: Bagnold, 1965

_Figura 7

Elaboración propia. Origen del oasis.

_Figura 8

Oasis de la ciudad de Gadamés, Fuente: Luca Galuzzi

_Figura 9

Microclima del lugar. Esquema de Rafael Serra, *Arquitectura y climas*. Fuente: SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1999. p.8.

_Figura 10

Elaboración Propia. Funcionamiento cúpula vs cubierta plana

_Figura 11

Elaboración Propia. Funcionamiento ventilación cruzada

_Figura 12

Elaboración Propia. Funcionamiento malquaf

_Figura 13

Elaboración Propia. Funcionamiento del bagdir

_Figura 14

Elaboración Propia. Funcionamiento malquaf + fuente

_Figura 15

Elaboración propia. Área de influencia del pueblo bereber.

_Figura 16

Esquema estructural de una jaima. Fuente: La Salle investigación de arquitectura mediterránea. www.salleurl.edu/arquitectura-i-urbanisme/la-jaima/

_Figura 17

Elaboración propia. Estructura y envolvente de la jaima

_Figura 18

Elaboración propia. Agrupación de jaimas en torno a un patio central.

_Figura 19

Jaima individual en el desierto. Autor: Guthrie Bowron.
Fuente: www.4kpics.rocks/casas-del-desierto-del-sahara

_Figura 20

Agrupación de jaimas en el desierto. Fuente: Revista Grazia,
www.grazia.es/lifestyle/7-excursiones-que-dejan-huella

_Figura 21

Jaima atirantada. Fuente: La Salle investigación de arquitectura mediterránea, blogs.salleurl.edu/arquitectura-i-urbanisme/la-jaima.

_Figura 22

Jaima como único refugio del intenso asoleo.
Fuente: www.marruecosteespera.com/rutas-especiales-jaimas-bereberes-en-el-desierto.

_Figura 23

Elaboración propia Localización tribu Musgum.

_Figura 24

Fotografía tomada por el explorador alemán Adolf Friedrich en 1923.
Fuente: Publicación en 1923, libro: *"From the Congo to the Niger and the Nile : an account of The German Central African expedition of 1910-1911"*

_Figura 25

Termitero. Fuente: Getty images

_Figura 26

Esquema de elaboración propia. Planta y sección musgum

_Figura 27

Esquema de elaboración propia. Axonometría agrupación musgum

_Figura 28

Reparaciones en un casa obús tradicional. Fuente: Image Cité des science et de l'industrie, Paris

_Figura 29

Sección agrupación de cabañas. Fuente: www.indayear3studio-1718s1.blogspot.com/2017/09/ranchanas-vernacular-architecture

_Figura 30

Imagen aérea tomada con Google Earth.
Coordenadas de la imagen: 10°50'21.4"N 15°02'05.2"

_Figura 31

Elaboración propia. Localización Shibam, Hadramaut.

_Figura 32

Vista aérea de Shibam y los campos de cultivo anegados. Fuente: Plataforma Arquitectura, *Manhattan del desierto: Shibam, la antigua ciudad de rascacielos de Yemen*

_Figura 33

Fachada de la ciudad. Fuente: Plataforma Arquitectura, *Manhattan del desierto: Shibam, la antigua ciudad de rascacielos de Yemen*

_Figura 34

Reparación de la fachada de un edificio en Shibam.
Fuente: www.zurutuza.eu/blog

_Figura 35

Esquema de elaboración propia. Axonometría seccionada.

_Figura 36

Fachada y sección del edificio. Figuras redibujadas. Fuente: www.docartis.com

_Figura 37

Plantas del edificio. Planos redibujados Fuente: www.docartis.com

_Figura 38

Plano de Shibam a fecha de 2014.

Fuente: www.hiddenarchitecture.net/2016/01/shibam.html

_Figura 39

Vista aérea actual de la ciudad tomada con Google earth.

_Figura 40

Trazado irregular de estrechas calles. Fuente: Plataforma Arquitectura, *Manhattan del desierto: Shibam, la antigua ciudad de rascacielos de Yemen*

_Figura 41

Plaza de la mezquita, Shibam. Fuente: unesco.org/en/list/192/gallery

_Figura 42

Elaboración propia. Localización Shaanxi.

_Figura 43

Vista aérea lejana de un conjunto de casas subterráneas en Honan, China. Fuente: Rudofsky, Bernard. *Arquitectura sin arquitectos*. Editorial universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1973.

_Figura 44

Vista aérea de detalle. Fuente: Rudofsky, Bernard. *Arquitectura sin arquitectos*. Editorial universitaria de Buenos Aires, 1973.

_Figura 45

Vista aérea actual en Shaanxi, China.

Fuente: www.rt.com/viral/334638-underground-homes-china-caves

_Figura 46

Elaboración propia. Axonometría seccionada por el patio de un conjunto de casas subterráneas.

_Figura 47

Elaboración propia. Sección fugada por el patio de un conjunto de casas subterráneas.

_Figura 48

Patio como espacio de relación. Fuente: www.chinadaily.com.cn

_Figura 49

Esquema de organización en planta.

Fuente: undergrounddwellings.wordpress.com/project-proposal

_Figura 50

Sección esquematizada de acceso al patio y organización de usos.

Fuente: undergrounddwellings.wordpress.com/project-proposal

_Figura 51

Wang Shouxian en el interior de su cueva. Fuente:

www.dailymail.co.uk

_Figura 52

Guo Jiaming frente a su casa. Fuente: <http://www.pieuvre.ca>

_Figura 53

Actual coexistencia de las casas enterradas con otras más modernas.

Fuente: www.rt.com/viral/334638-underground-homes-china-caves

_Figura 54

Elaboración propia, cuadro resumen estrategias proyectuales de los casos de estudio.

_Figura 55

Posición inicial de los planetas en el momento de lanzamiento y trayectoria viaje de ida. Fuente: NASA.

Dirección web: www.pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mmars1

_Figura 56

Posición relativa (2) de los planetas en el momento de llegada a marte. Fuente: NASA.

Dirección web: www.pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mmars1

_Figura 57

Elaboración propia, tabla composición atmosférica de Marte.

Fuente: NASA

_Figura 58

Elaboración propia, tabla composición atmosférica de la Tierra.

Fuente: NASA

_Figura 59

Elaboración propia, tabla distancia Tierra-Marte. Fuente: NASA

_Figura 60

Elaboración propia, tabla comparativa otros datos de interés.

Fuente: NASA

_Figura 61

Elaboración propia, imagen comparativa Tierra vs Marte datos generales de interés. Fuente: NASA

_Figura 62

Imagen de la superficie de Marte tomada por la sonda Spirit.

Fuente: NASA

_Figura 63

Terraformación de Marte. Fuente: Diario ABC

_Figura 64

Vista aérea del proyecto Biosphere 2. Fuente: Arizona Science Teachers Association (ASTA)

_Figura 65

Jane Poynter en el interior del proyecto Biosphere 2. Fuente: Arizona Science Teachers Association (ASTA)

_Figura 66

Cúpula del Jardín Botánico de Missouri, EE UU.

Fuente: www.missouribotanicalgarden.org

_Figura 67

Construcción de la cúpula del Jardín Botánico.

Fuente: www.missouribotanicalgarden.org

_Figura 68

Vista exterior de cúpulas Eden Project.

Fuente: Grimshaw Architecture

_Figura 69

Vista exterior detalle de una cúpula de Eden Project. Fuente: Grimshaw Architecture

_Figura 70

Vista interior Eden Project. Fuente: Grimshaw Architecture

_Figura 71

Prototipo del proyecto *Teatro Ambulante* a escala 1:10.

Fuente: Emilio & Ricardo, 1961

_Figura 72

Vista exterior del proyecto implantado en la superficie de Marte.

Fuente: Bjarke Ingels Group

_Figura 73

Exposición a la radiación. Fuente: Bjarke Ingels Group

_Figura 74

Jerarquía de espacios dentro de Mars City. Fuente: BIG

_Figura 75

Vista interior del proyecto Mars City. Fuente: Bjarke Ingels Group

_Figura 76

Vista exterior del proyecto implantado en Arabia Saudí.

Fuente: Bjarke Ingels Group

_Figura 77

Fase I del proyecto, llegada a marte de los módulos.

Fuente: www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat

_Figura 78

Fase II del proyecto, los módulos se acoplan en su configuración final.

Fuente: www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat

_Figura 79

Sección del proyecto en su estado final.

Fuente: www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat

_Figura 80

Axonometría Mars Habitat.

Fuente: www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat

_Figura 81

Fase final del proyecto, los módulos se recubren de regolito marciano

Fuente: www.fosterandpartners.com/es/projects/mars-habitat

_Figura 82

Vista exterior sobre la superficie marciana.

Fuente: www.albertkahn.com/marschallenge

_Figura 83

Esquemas de implantación del hábitat.

Fuente: www.albertkahn.com/marschallenge

_Figura 84

Sección del hábitat. Fuente: www.albertkahn.com/marschallenge

_Figura 85

Planta baja del hábitat. Fuente: www.albertkahn.com/marschallenge

_Figura 86

Vista interior del patio. Fuente: www.albertkahn.com/marschallenge

_Figura 87

Elaboración propia, cuadro resumen estrategias proyectuales de los casos de estudio en Marte.

_Figura 88

La superficie de Marte vista por la sonda Mars Pathfinder, 1977.

Fuente: NASA

ANEXO I

El siguiente documento extraído de la web oficial de la NASA, detalla los procesos químicos que se llevarían a cabo para obtener oxígeno y agua de la atmósfera de Marte, y permitir así el soporte vital para una futura colonia humana.

Acceso online:

<www.nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/marssurf>

Producción de combustible: utilización de recursos in situ (ISRU)

La composición atmosférica marciana permitirá a los astronautas de Marte aprovechar la utilización del recurso in situ para proporcionarles reservas de soporte vital y el propelente requerido por el MAV. La atmósfera marciana está compuesta por aproximadamente 95.3% de dióxido de carbono, 2.7% de nitrógeno, 1.6% de argón, 0.13% de oxígeno, 0.08% de monóxido de carbono y cantidades mínimas de agua, óxido de nitrógeno, neón, criptón y xenón. Al utilizar reacciones simples entre el dióxido de carbono de Marte y el hidrógeno importado, los astronautas podrán producir metano, agua y oxígeno. También será posible la extracción atmosférica directa de nitrógeno y argón.

El hidrógeno es la piedra angular de la estrategia ISRU. La atmósfera marciana no proporciona una fuente importante de gas hidrógeno, y si bien es posible adquirir hidrógeno a través de la electrólisis de los depósitos de hielo de Marte en el subsuelo fundido, la existencia, el tamaño y la accesibilidad de estos reservorios son inciertos. El uso de recursos indígenas

mientras se encuentra en la superficie de Marte es crítico para el éxito de la misión y la implementación exitosa de la estrategia ISRU demostrará la viabilidad de las misiones y / o colonización a largo plazo de Marte. Afortunadamente, el hidrógeno tiene el peso molecular más bajo de cualquier material que podamos llevar a Marte y, por lo tanto, es razonable importarlo en las misiones de carga que preceden a la tripulación. Se sabe que el hielo de agua en los polos existe,

El proceso Sabatier implica la reacción del hidrógeno con el dióxido de carbono a temperaturas elevadas para producir metano y agua. El módulo ISRU reaccionará hidrógeno importado con dióxido de carbono atmosférico para lograr esto. Por cada tonelada métrica (tonelada) de hidrógeno importado que reacciona, se producirán 2 toneladas de metano y 4,5 toneladas de agua. La reacción de Sabatier procede de la siguiente manera:



El metano del proceso Sabatier se almacenará criogénicamente en tanques para uso de los cohetes de oxígeno líquido / metano MAV que lanzarán a los astronautas desde la superficie y hacia la órbita de Marte, donde se encontrarán con un ERV en órbita. El combustible de oxígeno líquido para el MAV deberá provenir de dos fuentes. La primera fuente de oxígeno será la electrólisis del agua producida por la reacción de Sabatier. La electrólisis de 4,5 toneladas de agua producirá 4 toneladas de oxígeno y 0,5 toneladas de hidrógeno que se pueden reciclar al proceso Sabatier (este reciclaje de hidrógeno reducirá a la mitad la cantidad de hidrógeno necesaria para la producción de metano y oxígeno)). El oxígeno producido se almacenará criogénicamente en tanques de combustible MAV o en tanques de módulos ISRU como reserva

de soporte vital para los astronautas. El agua se descompondrá en hidrógeno y oxígeno en la siguiente reacción:



Las dos reacciones anteriores se pueden combinar para producir cantidades variables de agua y oxígeno. Los valores máximos y mínimos de producción en masa de agua y oxígeno se resumen en la siguiente tabla (tenga en cuenta que la producción de metano es constante):

Producción de agua, oxígeno y metano (por tonelada de hidrógeno)		
Producción	Solo sabatier (es decir, máxima producción de agua)	Sabatier + Electrolisis de toda el agua producida. (es decir, la producción máxima de oxígeno)
Metano (toneladas)	2.0	2.0
Oxígeno (toneladas)	0	4.0
Agua (toneladas)	4.5	0
Hidrógeno (toneladas)	0	0.5 (reciclable)

En este punto, es importante notar que incluso si toda el agua producida por el proceso Sabatier se descompusiera en hidrógeno y oxígeno, la relación de masa máxima de oxígeno a metano sería 2: 1. Los motores de metano líquido / oxígeno líquido del MAV utilizarán oxígeno y metano en una relación de masa mayor que la relación 2: 1 obtenida por los procesos combinados Sabatier / Electrolysis (la relación de masa de oxígeno / metano utilizado por los motores probablemente será cercana a 3.5: 1). Claramente, se debe encontrar otra fuente de oxígeno líquido para evitar la producción de exceso de metano.

La electrólisis del dióxido de carbono es una posible solución al problema del déficit de oxígeno. Mientras aún está en desarrollo, este proceso utiliza células de zirconia a altas temperaturas para descomponer el dióxido de carbono. Este proceso podría realizarse con dióxido de carbono atmosférico de Marte, produciendo oxígeno y monóxido de carbono. El monóxido de carbono se descargaría a la atmósfera y el oxígeno se almacenaría criogénicamente para su uso como propulsor MAV y / o reservas de soporte vital para la tripulación. La reacción general para la electrólisis del dióxido de carbono es la siguiente:



La extracción directa de nitrógeno atmosférico y argón proporcionará reservas de gas tampón de soporte vital. Esto probablemente se logrará al pasar la atmósfera marciana comprimida sobre un material que absorberá el nitrógeno y el argón disponibles. Cada vez que el material absorbente se saturara, el nitrógeno y el argón se liberarían a través del calentamiento. El nitrógeno y el argón serían luego almacenados criogénicamente como reservas de soporte vital.

ANEXO II



Dune (1984)

Sinopsis:

Por orden imperial, la familia Atreides debe hacerse cargo de la explotación del desértico planeta Arrakis, también llamado "Dune". Es el único planeta donde se encuentra la especia, una potente droga que es indispensable para los vuelos espaciales. Antes el planeta había sido gobernado por los Harkonen, cuyo despotismo había dejado una huella indeleble en la población. Cuando, con el beneplácito del emperador, los Harkonen atacan el planeta para recuperar el poder perdido, Paul, el hijo del duque Leto Atreides, tiene que huir al desierto. Allí, además de afrontar múltiples peligros, se le presenta una oportunidad de derrocar a los Harkonen.

Elección del film:

Esta película de culto entre los seguidores de la ciencia ficción, igual que muchos otros films y libros tras la llegada del hombre a la luna en 1969, imagina un futuro en el que la especie humana evoluciona, conquista otros planetas y convive con otras especies interplanetarias.

El escenario principal de esta película se sitúa en un planeta lleno de desiertos, igual que el paisaje que podríamos encontrar en Marte. En este habita una especie que se ha adaptado a ese entorno y vive bajo tierra. El director plasma así su idea sobre habitar en un planeta donde la naturaleza simplemente no existe y el único fin es la supervivencia.



Transcripción de la película, min. 19:31

_Paul Atreides

Padre

_Duque Leto Atreides

Gracias por reunirte conmigo.

Echaras de menos el mar ahora que al planeta desierto de Arrakis, pero las personas necesitamos nuevas experiencias, agitar algo en los más profundo de nosotros que nos permite crecer. Sin cambios algo duerme en nuestro interior, algo que rara vez despierta. Hay que despertar al durmiente.

ANEXO III



Rumbo a lo desconocido (2016)

Sinopsis:

El capitán William D. Stanaforth se embarca en una misión para colonizar Marte. Pero cuando todo se tuerce, el viaje cambia de objetivo: la supervivencia y mantener la cordura pasan a ser la prioridad.

Durante toda la película, el protagonista deberá hacer gala de todos sus recursos y una valentía sin precedentes para sobrevivir en el espacio tras unos problemas técnicos, hasta por fin su llegada a Marte.

Elección del film:

Esta reciente película de ciencia ficción, se sitúa en un escenario muy realista y próximo al primer viaje interplanetario de nuestra especie. Basando toda la película únicamente en el viaje, ayuda a comprender las dificultades técnicas y las complejidades de extender nuestra civilización a otros planetas. La película también muestra todos los conflictos internos que afectan al psique del protagonista al encontrarse en un entorno completamente desconocido, alejado de las relaciones sociales y de todo aquello que nos hace humanos.



Transcripción de la película, min. 1:23:04

“Nada ha vivido y nada ha muerto antes en Marte”