

Ad Astra pro terra: el futuro de la sostenibilidad está en el espacio exterior

Ad Astra pro terra: the future of sustainability is in outer space

¹Gabriel Fernández Ibáñez

RESUMEN

El propósito de este artículo es analizar la relación entre dos corrientes culturales aparentemente antagónicas: por un lado, el optimismo tecnológico, es decir, la confianza en el futuro ejemplificada en la carrera espacial; por otro, el cuestionamiento pesimista que ha hecho del desarrollo tecnológico el aspecto más criticado y radical del movimiento ecologista. Ambas corrientes encontraron su expresión en movimientos de diseño vigentes hasta el día de hoy, como son el diseño arquitectónico sostenible y el aeroespacial. Se establece, así, una comparación a partir de fuentes publicadas entre el diseño sostenible y el diseño aeroespacial. Los resultados demuestran que existe un acercamiento entre ambos como una fuente de inspiración y de desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas extremadamente útiles para enfrentar los nuevos desafíos que nos impondrá el cambio climático. Finalmente, se hace un llamado a los arquitectos, que adhieren su quehacer profesional, a la sostenibilidad; a abandonar el pesimismo frente a la tecnología para que, en su lugar, se apunte hacia el futuro, hacia el espacio como la fuente de inspiración que podría salvar nuestro planeta.

Palabras clave

Sostenibilidad; arquitectura; aeroespacial; diseño

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the relationship between two apparently antagonistic cultural currents, on the one hand, technological optimism, meaning the confidence in the future exemplified in the space race, and on the other hand, the pessimistic questioning that the most criticised and radical aspect of the environmental movement has made of technological development. Both currents found expression in architectural design movements in force to this day, such as sustainable design and aerospace design. Subsequently, a comparison between sustainable design and aerospace design, using the available literature, is established. The results show that there is a rapprochement between the two, which is defined as a source of inspiration and development of new technological solutions that will be extremely useful to face the new challenges that climate change will impose on us. Finally, a call is made to architects who adhere to sustainability in their professional work to leave behind pessimism in the face of technology and that instead we must point to the future, to space as source of inspiration that may save our planet.

Keywords

Sustainability; architecture; aerospace; design

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la arquitectura sostenible es, en esencia, tomar los principios del desarrollo sostenible –definidos por las Naciones Unidas¹– para aplicarlos en la expresión física del diseño de objetos arquitectónicos, espacios públicos, ciudades y territorios. Demasiado diversa para ser considerada un movimiento, algunos autores, como Garzón (2010), la consideran, más bien, una nueva forma de concebir el diseño que incorpora variables –como el consumo energético y el uso eficiente de los recursos– para reducir el impacto sobre el medio ambiente. Surgió, como respuesta a las consecuencias negativas del proceso de industrialización, durante la segunda mitad del siglo pasado, período en el cual el mundo comenzaba a recuperarse de las brutales consecuencias de la Segunda Guerra Mundial y el orden geopolítico resultante cobraba forma a través del enfrentamiento ideológico de dos superpotencias, cada una con visiones totalmente opuestas e incompatibles.

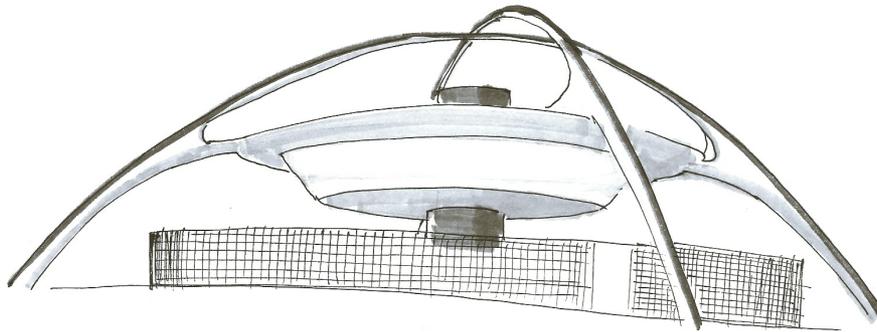
En ese nuevo orden de cosas, el enfrentamiento directo resultaba imposible, las fuerzas en conflicto eran muy similares y las consecuencias de una lucha declarada con armas nucleares, inimaginables. El conflicto fue derivando, entonces, en una carrera tecnológica, buscando alguna ventaja comparativa capaz de romper el equilibrio de poderes. Ambos bandos –Estados Unidos y la Unión Soviética–, tomaron inspiración en el trabajo de los alemanes durante la Segunda Guerra Mundial y comenzaron a desarrollar medios más eficaces de depositar bombas nucleares en suelo enemigo. Así nacieron los ICBM, misiles balísticos intercontinentales, cuyos diseños fueron la base de los primeros modelos de cohetes capaces de poner una masa considerable en una órbita estable alrededor del planeta (Collins, 1999). En 1957, la teoría se volvió realidad cuando Sputnik fue lanzado desde el lugar que posteriormente se convertiría en el cosmódromo de Baikonur convirtiéndose en el primer satélite artificial en la historia de la humanidad. La carrera espacial había comenzado.

Al igual que en el caso de la sostenibilidad, el arte y la arquitectura no fueron ajenos a su influencia. El optimismo y la confianza en el

¹Es posible encontrar información en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

futuro prometido por el avance tecnológico sirvieron como fuente de inspiración para estilos de carácter futurista, como el Googie², y, más tarde, a la aparición de toda una especialidad dentro de la Arquitectura, la arquitectura aeroespacial. La carrera espacial tuvo su punto culminante en 1969, cuando el programa Apolo llevó a dos de sus astronautas a pisar por primera vez el suelo de otro cuerpo celeste. Las palabras que pronunció Neill Armstrong en ese momento dieron la vuelta al mundo y las personas que presenciaron por televisión dicho momento, sintieron que la victoria no era sólo de un país, sino de la humanidad entera. En el contexto latinoamericano, la arquitectura sostenible es un campo de estudio muy desarrollado, mientras que, por el contrario, la arquitectura aeroespacial es todavía muy incipiente. Incluso, se observa que líneas de investigación latinoamericanas que contemplan ambos campos de estudio son prácticamente inexistentes. Sin embargo, dada la cercanía temporal entre ambos campos, aunque son de temperamentos tan distintos –uno tan optimista y otro tan pesimista– ¿existe alguna relación? Esta es la hipótesis de trabajo de esta investigación: que existe una relación bidireccional de retroalimentación entre la arquitectura aeroespacial y la sostenible. De este modo, por ejemplo, la arquitectura aeroespacial podría ser una fuente de innovación que permitiese llevar a la práctica los ideales de sostenibilidad al diseño y, con ello, ayudar a resolver problemas aquí en nuestro planeta³.

Figura 1
LAX Airport, Los Ángeles.



Nota: Notable representante del estilo “Googie” y la profunda influencia de la carrera espacial en la cultura norteamericana. Diseñado por Paul R. Williams Pereira & Luckman Architects.
Fuente: Elaboración propia, referencia tomada de www.untappedcities.com

METODOLOGÍA

Se realizó un análisis comparativo de la bibliografía referente a los dos ámbitos de la pregunta propuesta (arquitectura sostenible y arquitectura aeroespacial). En el caso de la arquitectura aeroespacial, se ha tomado como punto de partida a Duerk (2004) y sus recomendaciones bibliográficas, mientras que para el caso de la arquitectura sostenible se han seleccionado artículos que ofrezcan una visión global sobre el tema.

²El Googie fue un estilo arquitectónico norteamericano de corte futurista e inspirado por el diseño aeronáutico y espacial. Bautizado así, de acuerdo a algunas fuentes, por el crítico Douglas Haskell en honor a una cafetería que visitó en Los Ángeles a fines de los años 40. Para más información se recomienda el libro *Googie Redux: ultramodern roadside architecture* de Allan Hess (2004).

³Tanto la Agencia Espacial Europea y la Nasa, por ejemplo, tienen programas de transferencia tecnológica, en los cuales se entregan patentes de tecnologías útiles para la industria de la construcción. Entre ellos, materiales nuevos, sistemas de aislamiento térmico, monitoreo, generación y almacenamiento de energía, automatización y modelación.

A través de la bibliografía seleccionada, se han determinado categorías dentro de cada una de estas corrientes de diseño. Los puntos a comparar están tomados de Guy y Farmer (2001). Además, se han contrastado las categorías descritas por los autores para extraer conclusiones.

ARQUITECTURA AEROESPACIAL Y SOSTENIBILIDAD

Contrario a lo que pudiera parecer a simple vista, el movimiento ecologista y el optimismo tecnológico derivado de la carrera espacial no evolucionaron de forma separada. La visión de la tierra desde el espacio ayudó a cohesionar en la conciencia colectiva las inquietudes de una nueva generación que, galvanizados por desastres ambientales y el libro *La primavera silenciosa* de Rachel Carson, trasladaron la ecología del ámbito académico a la arena política (Estenssoro, 2007). La idea de un planeta azul como cuna de, hasta el momento, la única muestra de vida en el universo, quedó firmemente cimentada. Ninguna frontera imaginaria podía competir con el poder de esa imagen; la tierra suspendida sola, en el negro vacío.

Mientras el programa Apolo languidecía en la conciencia pública norteamericana y Eugene Cernan dejaba las, hasta el momento, últimas huellas humanas en suelo lunar, el club de Roma anunciaba sus conclusiones, pronosticando un futuro de hambruna, desastres ambientales, contaminación y guerras por los pocos recursos disponibles⁴. Años más tarde, el informe Brundtland permitió reconciliar las profecías catastrofistas del club de Roma con las necesidades de la economía social de mercado, dando lugar a una estrategia de desarrollo clara, concisa y definida (WCED, 1987). El crecimiento cero dio paso al desarrollo sostenible.

Arquitectura sostenible: una definición elusiva

En la actualidad, cuando nos proponemos encontrar una definición que pueda darle un sentido unitario a la rica diversidad de soluciones de diseño que llamamos arquitectura sostenible, nos encontramos con que, en la práctica, no es una tarea fácil. El término engloba a diversos tipos constructivos, contextos culturales, usos tecnológicos y perspectivas respecto a lo que significa diseñar de forma “sostenible” (Guy y Farmer, 2001).

A pesar de ello, si bien su definición puede, en la práctica, ser un concepto discutible (Cook y Golton, 1994), ello no significa que no sea posible definir categorías. Dentro de la enorme diversidad de ejemplos que pueden englobarse dentro del término, Guy y Farmer (2001) identifican una serie de “lógicas medioambientales”. No son rígidas o exclusivas, pudiendo encontrarse varias de ellas coexistiendo en el mismo proyecto. Informan la manera en que un proyecto enfatiza un aspecto particular del dilema ecológico, definiendo con ello estrategias de diseño específicas (Hajer, 1995).

⁴El Club de Roma es una organización no gubernamental, creada en 1968, cuyo objetivo es la de contribuir al análisis y propuesta de soluciones a diversas problemáticas de orden mundial. Una de sus más influyentes contribuciones fue su informe del año 1972, llamado *The Limits of Growth*. Establece la necesidad de reducir la tendencia de crecimiento de la población mundial si la civilización humana ha de sobrevivir. A pesar de que, afortunadamente, ninguna de las predicciones del Club de Roma se ha cumplido, sus defensores argumentan que dichas proyecciones son “en principio” correctas.

Tabla 1
Las seis lógicas en competencia de la arquitectura sostenible.

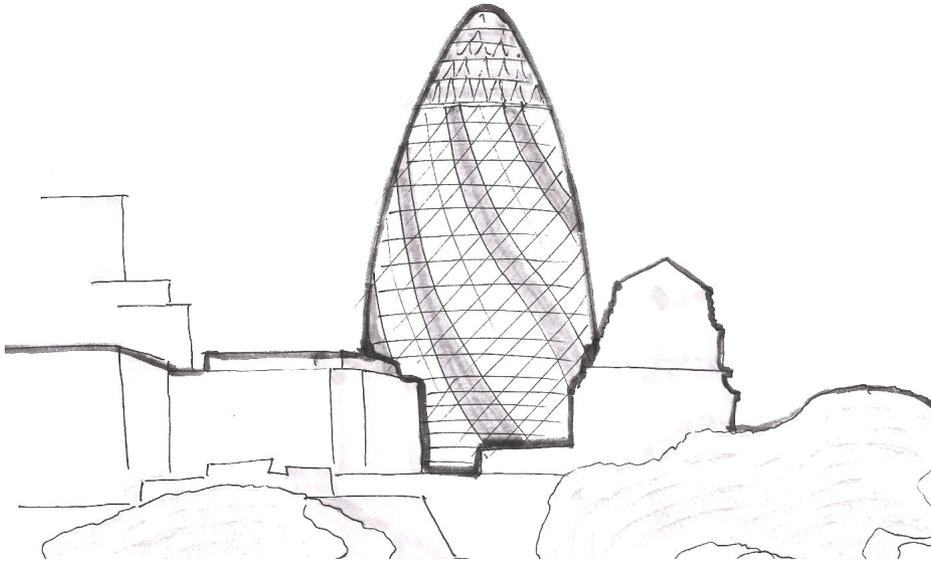
Lógica	Imagen del espacio	Fuente de conocimiento	Imagen edificada	Tecnología	Concepto idealizado de lugar
Eco-técnica	Contexto global, macro físico	Tecno racional científico	Comercial, moderno, orientado hacia el futuro	Energía integrada eficiente, alta tecnología, inteligente	Integración de preocupaciones medioambientales globales en estrategias de diseño de edificios convencionales. Visión urbana de ciudad densa y compacta
Eco-céntrica	Frágil microbiótico	Ecología sistémica holismo metafísico	Contaminador parasítico consumidor	Autónomo renovable reciclado intermedio	Armonía con la naturaleza a través de edificios autónomos y descentralizados con una limitada huella ecológica. Asegurando la estabilidad, integridad y el "florecimiento" de la biodiversidad local y global
Eco-estética	Antropocéntrico alienante	Posmodernismo sensorial ciencia	Arquitectural icónico, New Age	Pragmático nuevo no lineal orgánico	Universalmente reconstruido en virtud del nuevo conocimiento ecológico y transformación nuestra conciencia de la naturaleza
Eco-cultural	Contexto cultural regional	Fenomenología ecología cultural	Auténtico armonioso tipológico	Local, Low-Tech, común vernacular	Aprendiendo a "habitar" a través de edificios adaptados a características locales y bio-regionales, físicas y culturales
Eco-médica	Contaminado, peligroso	Medicina clínica, ecología	Vida saludable, cuidador	No tóxico, pasivo natural al tacto	Un ambiente natural y táctil que asegura la salud, bienestar y calidad de vida para los individuos
Eco-social	Contexto social, jerárquico	Ecología social, ecología	Hogar democrático individual	Flexible participativo apropiado localmente	Reconciliación del individuo y la comunidad en una forma cohesiva socialmente a través de comunidades descentralizadas, "orgánicas", no jerárquicas y participativas

Fuente: Traducción propia, tomada de Simon Guy y Graham Farmer (2001).

Dentro del espectro de lógicas medioambientales que Guy y Farmer definen, las posiciones oscilan desde la lógica "ecotécnica" que está basada en un discurso según el cual cambios incrementales, basados en la economía y la innovación tecnológica, derivada de un análisis objetivo y el método científico, pueden aportar soluciones a los problemas ambientales. Sería necesario el desarrollo de mejores y más eficientes formas de tecnología capaces de reemplazar a las existentes y mitigar las consecuencias indeseadas de su utilización. La respuesta parece ser, entonces, no menos industrialización, sino una mejor industrialización. Esta lógica está representada por la escuela High-Tech de diseño, con exponentes como Sir Norman Foster, Richard Rogers, Renzo Piano y otros.

Figura 2

30 St Mary Axe, en Londres, Inglaterra. Ícono del Skyline londinense y del estilo High Tech. Diseñado por Foster & Partners.



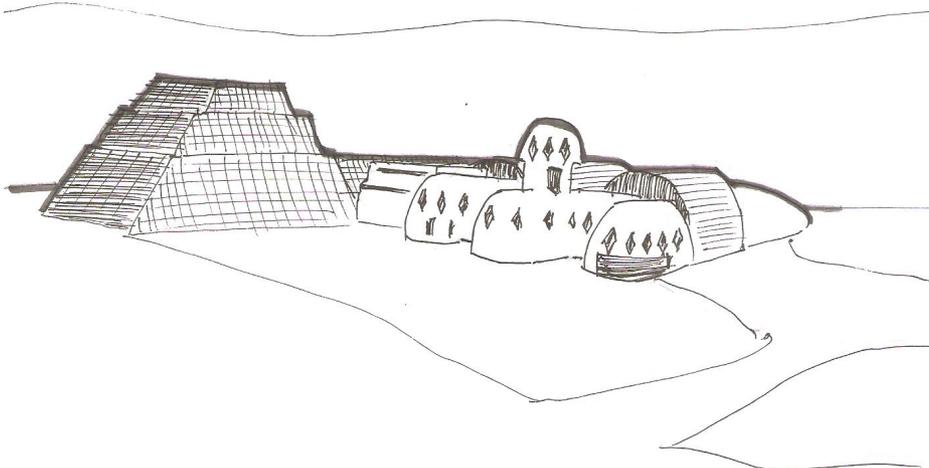
Fuente: Elaboración propia, referencia tomada de www.britannica.com

En el otro punto del espectro, podemos encontrar proyectos que ponen énfasis en el rescate y dignificación de las tradiciones vernáculas locales, como una forma de preservar tanto la diversidad cultural como el sentido identitario del lugar. Del mismo modo, pueden encontrarse proyectos cuyo interés es crear unidades autónomas e independientes, construidas con materiales reciclados y cuyo objetivo es constituirse como una forma de restauración ecológica del sitio donde se emplaza. Este último enfoque, llamado por los autores “eco-céntrica” está representado por el trabajo del arquitecto Michael Reynolds, con sus proyectos de “Earthship” (Reynolds, 1993).

Independientemente de las estrategias utilizadas y a los objetivos a los que cada diseñador pone énfasis en la búsqueda por alcanzar la sostenibilidad, resulta claro que una de las aportaciones más importantes del movimiento ecologista al diseño sostenible es la idea de concebir el objeto como un sistema dinámico en relación con el medio que lo contiene. Dada esta concepción sistémica, podemos señalar que el diseño sostenible busca, en última instancia, generar sistemas cerrados en relación a la materia que entra y sale de éstos, es decir, hacer un manejo consciente de sus entradas (aire, agua, luz, personas) y sus salidas (desperdicios, aguas negras y grises, dióxido de carbono, patógenos, etc.) y, al mismo tiempo, abiertos en relación a la energía que consumen y son capaces de generar.

En este sentido, el proyecto Biosphere 2 –iniciativa desarrollada en 1991 por el ingeniero John Polk Allen– es uno de los ejemplos recientes más mediáticos y conocidos de la idea de concepción sistémica mencionada anteriormente. Consistió en una serie de edificios, con una extensión de 1,7 hectáreas, concebidos para formar un ecosistema artificial completamente cerrado. El experimento tenía el objetivo de comprender la complejidad de relaciones de un ecosistema, además de poner a prueba la viabilidad de vivir en un ambiente cerrado en misiones fuera de la tierra. Así, constituye un ejemplo de unión entre arquitectura aeroespacial y sostenible en un mismo proyecto. El equipo de “biosferianos” consistió, en una primera misión de 8 personas que debían permanecer en ese medioambiente artificial durante 2 años. El experimento sufrió graves imprevistos, como pérdida de cosechas y aumento descontrolado de los niveles de CO₂, lo que obligó a romper el protocolo y recibir ayuda del exterior. De la experiencia se obtuvieron valiosos datos que han permitido una mejor comprensión de las complejas interrelaciones que influyen en la salud de un ecosistema cerrado, además de revelar factores no considerados en el plan original, como los psicosociales (Nelson, 2018).

Figura 3
Proyecto Biosphere 2, en Oracle, Arizona.



Nota: En su momento, este proyecto fue el más grande ecosistema cerrado jamás construido. Diseñado y construido por la firma Biospheric Design. **Fuente:** Elaboración propia, referencia tomada de www.biosphere.org

Arquitectura Aeroespacial: hacia las estrellas para salvar la tierra.

Mientras el desarrollo sostenible dejaba sus huellas en la teoría y la práctica del diseño arquitectónico, la carrera espacial pareció esfumarse de la escena arquitectónica. Sus avances posteriores a la era Apollo, en su mayor parte, fueron de la mano de ingenieros y profesionales vinculados a las agencias espaciales gubernamentales, desarrollando estudios de hipotéticas misiones o sirviendo de apoyo a proyectos como la estación espacial internacional. Ello comenzó a cambiar durante los primeros años del siglo XXI, resultado, entre otras cosas, de la significativa reducción

del costo de enviar material al espacio a raíz del éxito de iniciativas completamente privadas como SpaceX (Seedhouse, 2013).

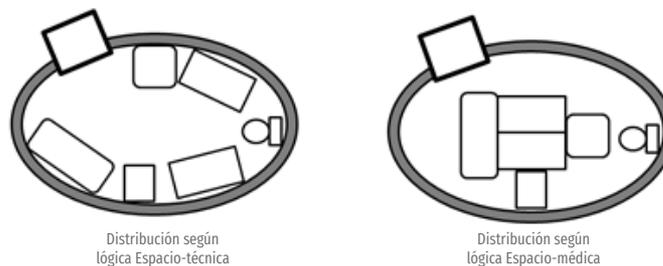
El Subcomité de Arquitectura Aeroespacial del American Institute of Aeronautics and Astronautics define la arquitectura aeroespacial de la siguiente manera por Duerk (2004, traducción propia):

La teoría y práctica de diseñar y construir ambientes habitados en el espacio exterior, respondiendo al profundo impulso humano de explorar y ocupar nuevos territorios. La arquitectura organiza e integra la creación y enriquecimiento de ambientes construidos. Diseñar para el espacio requiere conocimiento especializado de mecánica orbital, ingravidez, vacío, psicología de ambientes herméticos y otros temas. La arquitectura aeroespacial tiene relaciones complementarias con diversos campos como la ingeniería aeroespacial, arquitectura terrestre, diseño de transporte, medicina, factores humanos, ciencia espacial, leyes y arte (p. 3).

De esta manera, la arquitectura aeroespacial es, en estos momentos, una especialidad con derecho propio, con varios programas internacionales que ofrecen los conocimientos necesarios para trabajar en el campo aeroespacial (Caratelli, 2020).

A diferencia con el caso de la arquitectura sostenible, la arquitectura aeroespacial no parece estar dividida en lógicas que compiten entre sí. En su lugar, se tiene que existen dos lógicas que se complementan y que deben existir en cada proyecto. Ellas, que he llamado tentativamente “espacio –técnica” y “espacio-médica”, difieren, en cuanto imponen requerimientos que pueden ser difíciles de armonizar dentro del diseño. Ambas son de carácter, racionalista, científico, con especial énfasis en la eficiencia de recursos y el consumo de energía. Ello es así porque un objeto diseñado para operar en el espacio exterior se enfrenta a requerimientos que son considerablemente más complejos que uno que sólo debe funcionar en tierra. Debe ser capaz, por ejemplo, de resistir la aceleración y las vibraciones producto de ser enviado al espacio en un cohete.

Figura 4
Ejemplo esquemático de planta de hábitat espacial.



Nota: Distribución interior de recintos puede variar de acuerdo al énfasis en funcionalidad (lógica espacio-técnica, a la izquierda) o en protección contra radiación (lógica espacio-médica, a la derecha). **Fuente:** Elaboración propia, basado en conferencia “Nasa Talk-Spacecraft, Habitats and Radiation Protection”, disponible en [Youtube.com](https://www.youtube.com)

Al mismo tiempo, debe manejar, mediante sistemas de transmisión y disipación, diferencias extremas de temperaturas⁵, resistir dosis continuas de radiación ultravioleta, rayos cósmicos, llamaradas solares, emisiones de rayos gamma, micrometeoritos, entre otros. Es importante señalar que los aspectos asociados al bienestar emocional y a la expresión artística serán en el futuro cada vez más relevantes, especialmente en el caso de asentamientos de larga duración, por lo que acabarán cobrando mayor importancia dentro de las lógicas antes mencionadas.

Tabla 2.
Lógicas complementarias de la arquitectura aeroespacial.

Lógica	Imagen del espacio	Fuente de conocimiento	Imagen edificada	Tecnología	Concepto idealizado de lugar
Esp-técnica	Contexto global macrofísico	Tecno racional científico	Moderno, esencialmente funcional, orientado hacia el futuro	Energía integrada eficiente alta tecnología inteligente	Creación de espacios a salvo del ambiente hostil exterior, un oasis mantenido artificialmente. Visión urbana a través de interiores interconectados, manteniendo al mínimo conexión al exterior
Esp-médica	Radiactivo extremo peligroso	Medicina clínica medicina nuclear psicología biología	Vida saludable cuidador	No tóxico, agradable al tacto, colores y texturas que orientan y agradan	Un ambiente artificial que asegura la salud, bienestar tanto físico y mental y calidad de vida

Fuente: Elaboración propia basada en trabajo de Simon Guy & Graham Farmer (2001).

Ambas comparten su relación con el entorno exterior, el cual es tratado como algo hostil, lleno de peligros para la vida, pero al mismo tiempo, fuente de fascinación y respeto. La visión que surge de esta relación es la de constituir el objeto como un oasis en donde la vida puede refugiarse, prosperar y eventualmente, lograr la autosuficiencia.

Otra consideración en común es el costo, en términos tanto económico como energético, de enviar masa al espacio (Christensen *et al.*, 2016). Esto condiciona la necesidad tanto de reciclar al máximo los recursos necesarios para operar, como el aire y el agua, como de reducir los desechos y el reabastecimiento. Como una forma de simplificar los requerimientos de materiales para el desarrollo de las misiones espaciales, se está trabajando actualmente en el concepto *In Situ Resource Utilization* (ISRU). Puede traducirse como utilización de recursos *in situ* o “vivir de la tierra” en donde se propone hacer uso de los recursos disponibles para, por ejemplo, fabricar combustible o construir una capa protectora contra los micrometeoritos y la radiación (Arnhof, 2016).

⁵El calor sólo puede transmitirse mediante radiación en el espacio, dado que no hay atmósfera, por lo que en un objeto en el espacio, su lado expuesto directamente a la luz solar se calentará mucho más rápido que su lado a la sombra, esto hace que su estructura corra el riesgo de agrietarse y explotar si no cuenta con sistemas que redistribuyan el calor y lo disipen al espacio. Ello también es necesario para el calor generado en el interior del objeto.

Por último, en toda misión de exploración se toman todos los resguardos para evitar una posible contaminación del ambiente que se está estudiando. Eso es especialmente cierto en el caso de las misiones a Marte, en donde los *rovers* son esterilizados minuciosamente para evitar llevar formas de vida al medioambiente marciano (Bannova, 2021). De este modo, el objetivo de la arquitectura aeroespacial es diseñar y construir espacios capaces de albergar a un ser humano en las mejores condiciones posibles, protegerlo de ambientes hostiles, preservar la vida y mantener lo más intacto posible el medioambiente circundante, ya sea el espacio exterior, la Luna, Venus, Marte u otro cuerpo celeste.

Tabla 3
Ámbitos de acción de la arquitectura aeroespacial.

Ámbitos	Ejemplos	Conocimientos requeridos	Estado de avance	Descripción
Sistemas herméticos	Trajés EVA (Nasa)	Ingeniería, Psicología, Ergonometría y Medicina	Diseño, prototipos construidos y probados en la realidad	Estructuras capaces de mantener en buenas condiciones a tripulación, desarrollo de sistemas de soporte vital y estudios psicosociales
Transporte	Cápsulas espaciales, Dragón (SpaceX) Soyuz (Roscosmos)	Ingeniería de cohetes, Mecánica celeste, Psicología, Ergonometría, Biología y Medicina	Diseño, prototipos construidos y probados en la realidad	Estructuras capaces de mantener en buenas condiciones a tripulación, desarrollo de sistemas reutilizables para abaratar costo de transporte
Estación especial	EEl, Skylab, MIR	Ingeniería de cohetes, Mecánica celeste, Psicología, Arquitectura, biología y medicina	Diseño, prototipos construidos y probados en la realidad	Estructuras capaces de mantener en buenas condiciones a tripulación, infraestructura diseñada para permitir experimentos en microgravedad y estudios diversos
Bases	Proyecto base lunar ESA (arquitecto Norman Foster)	Ingeniería de cohetes, Mecánica celeste, minería, procesos industriales, Psicología, Arquitectura, biología y medicina	Diseño, prototipos a escala construidos	Estructuras capaces de mantener en buenas condiciones a tripulación, estructura de límites fijos y expansión limitada, actividades ligadas principalmente a la investigación
Ciudades	Proyecto ciudad marciana NUWA, (desarrollado por Abibo Studio y SOnet)	Ingeniería de cohetes, Ingeniería estructural, Mecánica celeste, Minería, procesos industriales, Psicología, Arquitectura, biología y medicina	Diseño	Estructuras capaces de mantener en buenas condiciones a una comunidad, posibilidad de expansión y actividades económicas diversas, puestos de avanzada para futura terraformación
Mega-estructuras	Cilindro O'Neil, toro de Standford, esfera de Dyson	Ingeniería de cohetes, Ingeniería estructural, Mecánica celeste, Minería, procesos industriales, Psicología, Arquitectura, biología y medicina	Diseño preliminar, concepto	Estructuras capaces de albergar ciudades y naciones enteras, pretenden albergar la mayoría de la industria y la población humana en el sistema solar, requieren el desarrollo de infraestructura en órbita a gran escala

Fuente: Elaboración propia.

La arquitectura aeroespacial tiene distintos ámbitos de acción, en diferentes escalas y órdenes de complejidad, que van desde el diseño de trajes espaciales hasta estructuras capaces de sostener civilizaciones enteras. El diseño de estaciones espaciales es la tipología construida de mayor escala en este momento. Verdaderos laboratorios en órbita, cuyo interés científico radica en proveer un ambiente en microgravedad, para investigación y puesta a prueba de nuevas tecnologías y métodos de fabricación. Actualmente, existen nuevas investigaciones que entregan diseños más amigables para la tripulación, incorporando elementos para compensar los efectos psicológicos de la microgravedad, como la pérdida de referencia, a través del uso del color, por ejemplo (Burattini *et al.*, 2014).

Tabla 4
Comparación entre la arquitectura sostenible y la aeroespacial.

Lógica/ Características	Arquitectura sostenible		Arquitectura Aeroespacial	
	Eco-técnica	Eco-médica	Esp-técnica	Esp-médica
Imagen del espacio	Contexto global macro físico.	Contaminado peligroso.	Contexto global macro-físico.	Radiactivo contaminado extremo peligroso.
Fuente de conocimiento medioambiental	Tecno racional científico.	Medicina clínica ecología.	Tecno racional científico.	Medicina clínica medicina nuclear psicología y biología.
Imagen edificada	Comercial moderno orientado hacia el futuro.	Vida saludable cuidador .	Moderno, esencialmente funcional orientado hacia el futuro.	Vida saludable protector.
Tecnología	Energía integrada eficiente alta tecnología inteligente.	No tóxico, pasivo natural al tacto.	Energía integrada eficiente alta tecnología inteligente.	No tóxico, agradable al tacto, colores y texturas que orientan y agradan.
Concepto idealizado de lugar	Integración de preocupaciones medio-ambientales globales en estrategias de diseño de edificios convencionales. Visión urbana de ciudad densa y compacta.	Un ambiente natural y táctil que asegura la salud, bienestar y calidad de vida para los individuos.	Creación de espacios a salvo del ambiente hostil exterior, un oasis mantenido artificialmente. Visión urbana a través de interiores interconectados, manteniendo al mínimo conexión con el afuera.	Un ambiente artificial que tanto físico y mental, y calidad de vida para los individuos.

Fuente: Elaboración propia basada en trabajo de Simon Guy y Graham Farmer (2001).

RESULTADOS

Se ha realizado un análisis comparativo de la arquitectura aeroespacial y sostenible. En el caso de la primera, se han tomado las lógicas medioambientales descubiertas por la revisión bibliográfica: las lógicas “espacio-técnica” y “espacio-médica”. En el caso de la segunda, se han seleccionado aquellas que presenten mayor grado de afinidad con las ya mencionadas. Posteriormente se han contrastado entre sí en relación a los siguientes puntos: imagen del espacio, fuentes de conocimiento, imagen edificada, incorporación de tecnología y concepto idealizado de lugar, además de comparar aspectos como objetivos y visión. Se tiene lo siguiente:

Se ha encontrado que, a pesar de existir diferencias importantes entre arquitectura aeroespacial y sostenible (especialmente en sus lógicas eco-técnica y eco-médica), hay varios puntos concordantes. En el caso de la imagen del espacio, se encuentra que ambas son muy similares. Igualmente sucede con la fuente de conocimiento que usan; la imagen edificada que proyectan y la tecnología que utilizan. Difieren, en algunos puntos importantes, por ejemplo: la funcionalidad extrema de la arquitectura aeroespacial, además del uso de colores y texturas para combatir los efectos del aislamiento y la falta de gravedad.

El concepto idealizado de lugar es notoriamente diferente. En relación a cómo se concibe el medioambiente exterior, la arquitectura aeroespacial considera el afuera como una fuente de peligro, por un lado, y algo que debe ser preservado, por otro. Asimismo, el concepto de interior tiene prioridad y la relación con el afuera es la estrictamente necesaria.

Desde un aspecto estrictamente estilístico, se encuentra que la arquitectura aeroespacial tiene, en general, aspectos que la hacen muy cercana al estilo *high-tech*. Difiere de éste en su vocación iconográfica. La arquitectura aeroespacial no está, de momento, concebida para ser mirada desde afuera.

Se ha encontrado, asimismo, una clara similitud entre las visiones de cada una, ya que ambas tienen un enfoque sistémico, con énfasis en manejar la relación entre el objeto diseñado y el ambiente que lo rodea. Hay una diferencia importante: la arquitectura aeroespacial está orientada a una misión que es, esencialmente, expandir las fronteras de la vida fuera de la tierra y el conocimiento humano. En otras palabras, ser un oasis artificial donde la vida puede crecer y prosperar.

La arquitectura aeroespacial tiene relación indirecta con la arquitectura sostenible como tal, aunque tiene aspectos distintivos que la separan. Lo que puede afirmarse es que ambas son concordantes, lo suficiente para permitir la transferencia directa de conocimientos, tecnología, tipologías formales, soluciones constructivas, etc. entre ambos.

DISCUSIÓN

Podemos establecer una concordancia entre los objetivos de la arquitectura sostenible y la aeroespacial: ambas tienen como regla fundamental reducir su impacto sobre el entorno; conseguir la mayor eficiencia posible en el uso de materiales y recursos; maximizar la independencia energética; reutilizar los recursos necesarios para su funcionamiento, como el aire y agua, y reducir y mitigar los desperdicios. Además, desde un punto de vista sistémico, ambas aspiran a constituirse como un sistema cerrado materialmente y abierto energéticamente.

Sin embargo, no puede afirmarse que la arquitectura aeroespacial forme parte de la arquitectura sostenible, ya que, en el caso de esta última, sus esfuerzos tienden a mitigar, reducir, compensar o reconstituir; mientras

que, en el caso de la arquitectura aeroespacial, estos esfuerzos están subordinados a un interés por conocer, descubrir y expandir la vida a través del cosmos.

Desde los inicios de la ciencia ficción como género literario, siempre se ha entendido la exploración espacial como la puerta hacia nuevos territorios donde expandir la vida y la civilización. El interés científico por la exploración siempre ha coexistido con el fin último de colonizar para, de ese modo, asegurar la continuidad de nuestra especie en el universo⁶.

La arquitectura aeroespacial tiene una forma de aproximación frente al medioambiente exterior claramente ecologista, las agencias espaciales envían *rovers* y otras sondas al espacio los cuales son esterilizados concienzudamente para no contaminar otros cuerpos celestes. Del mismo modo puede verse un trasfondo ecologista en la forma en que pone especial énfasis en conceptos como reciclaje, eficiencia en el uso de recursos, dar prioridad a la salud y bienestar de sus ocupantes, entre otros.

La tecnología derivada de la exploración espacial, desde sus inicios, ha sido un insumo invaluable para el avance de múltiples disciplinas, incluyendo la arquitectura y la construcción (Bannova y Kristiansen, 2014). Su influencia ha permeado hacia el desarrollo de nuevos procesos y nuevas formas de resolver los desafíos que impone el arte de construir. Hoy en día la arquitectura aeroespacial se encuentra en un período de renacimiento y de expansión (Bell, 2014), motivado por la exitosa inserción de la empresa privada en el mercado de cohetes, el desarrollo de satélites de bajo costo y menor tamaño y la creación de programas de estudios (Doule, 2010) que permiten la especialización de nuevos profesionales, fuera de las agencias gubernamentales. Entre éstos, destaca por su liderazgo académico en el campo el Centro Internacional Sasakawa para la Arquitectura Espacial (SICSA) de la Universidad de Houston, la Universidad Espacial Internacional (ISU) ubicada en Francia, la Academia de la NASA para la Astrobiología, entre otros. También existen programas en línea, como el ofrecido por SIDI Space Architecture & Design Online Course.

Lo interesante de la transferencia tecnológica es que el diseño en ambientes tan extremos y completamente diferentes a las condiciones de la tierra, puede dar respuesta a requerimientos y problemáticas que aún son incipientes, a problemas que aún no han sido planteados. Por ejemplo, si la humanidad se enfrenta a una nueva pandemia, ¿tendremos que incorporar sistemas de filtrado y descontaminación en viviendas y edificios públicos? O, en el caso de necesitar construir en territorios alejados de líneas de abastecimiento, como en el territorio Antártico, ¿acaso no deberíamos usar una mezcla de sistemas automatizados y materiales locales, a la manera del concepto de ISRU?

Es hora que los arquitectos, en particular aquellos que viven en países en vías de desarrollo, tomen conocimiento de este enorme campo de estudio. El espacio exterior puede considerarse, sin lugar a dudas, como el más extremo de los ambientes que la humanidad ha intentado habitar.

⁶El tratado del espacio exterior, de 1967, y los acuerdos de Artemis, más recientemente, son esfuerzos internacionales por establecer un marco regulatorio para armonizar estas dos posiciones. Ahora, con el renovado interés por la minería espacial, es casi seguro que las leyes que prohíben la soberanía sobre territorio fuera del planeta serán revisadas.

Debido a ello, desde los albores de la carrera espacial su exploración ha servido, por necesidad, como un motor para llevar a los límites tanto nuestro entendimiento como nuestra tecnología. Es en este sentido que la arquitectura aeroespacial constituye un reservorio de nuevas ideas, nuevas formas de habitar, de construir, de nuevos materiales y nuevas forma de relacionarnos con el medioambiente.

Para poder aprovechar dicho potencial es necesario que los países interesados, en especial aquellos que no cuentan con los recursos para implementar un programa espacial con sus propios modelos de cohetes, en lugar de competir con los líderes de la industria aeroespacial, dediquen sus esfuerzos en crear una estructura organizacional que permita una fluida transferencia tecnológica y retroalimentación. En ese sentido, las universidades pueden cumplir un rol fundamental como fuentes de conocimiento y experticia para traducir los insumos obtenidos de la arquitectura aeroespacial en respuestas a los problemas propios del contexto local.

CONCLUSIÓN

Como hemos revisado, se encuentra que la arquitectura aeroespacial tiene enfoques ecologistas tanto en su acercamiento al medioambiente exterior, así como también en el cuidado del ambiente interior y sus externalidades. A pesar de ello, ella no puede ser considerada simplemente parte de la arquitectura sostenible, principalmente debido a la misión específica de exploración, expansión y descubrimiento que condiciona sus esfuerzos.

Se concluye que existe una retroalimentación y una conexión profunda entre la arquitectura aeroespacial y la sostenible. De hecho, dicha cercanía hace posible el traspaso de tecnología e investigación, permitiendo inspiración e influencia mutuas.

Es importante entonces, hacer nuevas investigaciones respecto a las posibilidades del uso de tecnologías aeroespaciales en el diseño de arquitectura sostenible, respecto al uso de materiales, tipologías, sistemas energéticos y de reciclaje, así como también respecto al desarrollo de sistemas de autosuficiencia como la hidroponía, que pueden ser extremadamente útiles para la producción de alimentos y de nuevas formas de acercamiento al urbanismo sostenible. Además, se considera relevante el hacer estudios respecto del diseño de tipologías aeroespaciales con criterios explícitamente ecológicos, de manera de explorar en mayor detalle esta relación.

Finalmente, a juicio de este autor, es importante que los arquitectos vinculados al tema de la sostenibilidad dejen de lado la desconfianza y el pesimismo hacia la tecnología. Como se ha visto, las posibilidades que abren campos de estudio como la Arquitectura Aeroespacial pueden abrir la puerta a la creación de nuevas y mejores soluciones para enfrentar los desafíos que este nuevo siglo nos depara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnhof, M. (2016). Design of a Human Settlement on Mars Using In-situ Resources (ICES-2016-151). *46th International Conference on Environmental Systems (ICES)*, Vienna, Austria, 10-14 July. Lubbock Texas, USA: Texas Tech University.
- Bannova, O., y Kristiansen, T. (2014). Technology Transfer: Current Trends in Incorporating New Technologies into Housing Industry. *65th International Astronautical Congress (IAC)*, Toronto, Ontario, Canada, 29 September - 3 October. Paris, France: International Astronautical Federation.
- Bannova, O. (2021). *Space Architecture: Human Habitats Beyond Planet Earth*. DOM Publishers.
- Bell, L. (2014). Brave New Worlds: Reaching Towards a New Era of Space Architecture. *Architectural Design*, 84(6), 118-121.
- Burattini, C., Bisegna, F., Gugliermetti, F., y Marchetti, M. (2014). A new conceptual design approach for habitative space modules. *Acta Astronautica*, 97, 1-8, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.12.008>
- Caratelli, P. (2020). Space Architecture: The Rise of a New Discipline in Architecture and Design Curricula. En: T. Ahram., R. Taiar., S. Colson, y A. Choplin. (Eds) *Human Interaction and Emerging Technologies. IHET 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1018, 98-104, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_16.
- Christensen, C., Doom, T., y Smith, P. (2016). Emerging LEO Economy (AIAA 2016-5585). *AIAA Space 2016 Conference & Exposition*. Long Beach.
- Cook, S. y Golton, B. (1994). *Sustainable development: concepts and practice in the built environment—A UK perspective*. Paper presentado en First Conference Sustainable Construction, Tampa.
- Collins, M. (1999). *Space Race: The US-USSR Competition to Reach the Moon*. Pomegranate.
- Doule, O. (2010). *Space Architecture—Theory and Educational Strategy*. Presentado en *40th International Conference on Environmental Systems (ICES)*, Barcelona.
- Duerk, D. (2004). *Curriculum for Aerospace Architecture with Emphasis on Lunar Base and Habitat Studies*. Ames Research Center, National Aeronautics and Space Administration.
- Estenssoro, J. (2007). Antecedentes para una historia del debate político en torno al medio ambiente: la primera socialización de la idea de crisis ambiental (1945-1972). *Revista Universum*, 22(2), 88-107.

- Garzon, B. (2010). *Arquitectura Sostenible; Bases, Soportes, y casos demostrativos*. Nobuko.
- Guy, S., y Farmer, G. (2001). Reinterpreting Sustainable Architecture: The Place of Technology. *Journal of Architectural Education*, 54(3), 140-148.
- Hajer, M. (1995). *The politics of environmental Discourse*. Oxford University Press.
- Nelson, M. (2018). Some Ecological and Human Lessons of Biosphere 2. *European Journal of Ecology*, 4(1), 50-55. <https://doi.org/10.2478/eje-2018-0006>.
- Reynolds, M. (1993). Earthship: Evolution Beyond Economics. *EUA: Solar Survival Architecture*, 3.
- Seedhouse, E. (2013). *SpaceX: Making Commercial Spaceflight a Reality*. Springer-Praxis.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.