

El síndrome de la cápsula ecosistémica, o los antihábitats del cierre ecológico // Ecosystemic capsule syndrome, or the anti-habitats of ecological closure



La evidente concienciación ambiental presente a día de hoy, es producto directo del debate ecológico iniciado en los años 60. Un inminente colapso de los recursos del planeta incita a buscar una manera de preservar artificialmente los moribundos ecosistemas terrestres antes de que desaparezcan por completo. Como respuesta, se toma de referente el modelo de cabina espacial que venía desarrollándose años atrás, con unos fines de supervivencia bastante similares. Así nace el prototipo representativo de lo conocido como "ecología de cabina": la "cápsula ecosistémica". Aunque este vehículo salvavidas surge como proyecto para capturar trozos de ecosistemas y salvaguardarlos en caso de un hipotético cierre ecológico, su propósito nunca llega a materializarse con un éxito considerable. Ejemplos reales construidos en distintas ubicaciones y décadas, configuran una importante genealogía de entornos naturales recreados artificialmente dentro de contenedores mecanicistas. A pesar de que son concebidos como conjuntos habitables, la inexistencia de una relación de equilibrio entre máquina y especies, acaba conduciéndolos a adoptar una morfología de antihábitats ecosistémicos. Como resultado, dichos prototipos terminan consumiéndose a sí mismos, destruyendo la porción de naturaleza que pretendían conservar, y con ello, su propia razón de ser.

cápsula ecosistémica, cierre ecológico, antihábitat, ecología de cabina, prototipo mecanicista



Today's environmental awareness is a direct product of the ecological debate that began in the 1960's. An imminent collapse of the planet's resources, prompts the search for a way to artificially preserve the earth's dying ecosystems before they completely disappear. As a desperate measure, the space cabin model that had been developed years before with quite similar survival goals, is taken as a reference. Thus, the "ecosystem capsule" is born like the representative prototype of what is known as "cabin ecology". This life-saving vehicle emerges as a way to capture ecosystems pieces and safeguard them in case of a hypothetical ecological shutdown. Nevertheless, its purpose has never been successfully fulfilled. Real examples built over the years in different locations, make up an important genealogy of natural environments artificially recreated inside mechanistic containers. Initially, they are conceived as habitable complexes. However, the lack of a balanced relationship between machine and nature, turns out producing only morphologies of ecosystemic anti-habitats. As a result, these prototypes end up consuming themselves, destroying the portion of nature they were intended to preserve, and with it, their own *raison d'être*.

ecosystem capsule, ecological closure, anti-habitat, cabin ecology, mechanistic prototype

Ana Patricia Minguito García

El síndrome de la cápsula ecosistémica, o los antihábitats del cierre ecológico



El debate ecológico contemporáneo sobre la supervivencia del ecosistema terrestre, surge como herencia directa del cambio de paradigma iniciado en los años 60. Entonces, un llamamiento en contra del agotamiento biológico producido por la explotación industrial, une las voces de expertos medioambientalistas para promover el inicio de una nueva agenda, más involucrada en la conservación y regeneración ambiental.

Prueba de ello es la concienciación que despierta la publicación de *Silent Spring* en otoño de 1962. Aquí, Rachel Carson pone la alerta sobre los efectos perjudiciales de los pesticidas, iniciando una movilización en contra de la deforestación, la contaminación atmosférica o la amenaza nuclear. Este cambio de actitud del público habitante del planeta, se consolida a raíz de la crisis energética de los 70. Como respuesta, se materializa un modelo de gestión alternativo para llevar a cabo un hipotético “cierre ecológico”.

1*

Un genealogía teórica sobre el encapsulamiento de paisajes

El perfilamiento de esta corriente de pensamiento y acción surge a través de los manifiestos de Buckminster Fuller, Ian McHarg y John Todd. Inspirados por los estudios sobre la carrera espacial, reivindican la configuración de una vía para contener atmósferas naturales en recintos artificialmente cerrados.

Fuller equipara la Tierra a una enorme nave mecánica que viaja por el espacio, y pone de manifiesto que la biosfera terrestre no es más que una cápsula sobredimensionada¹. Esta analogía espacial permite comprender que la Tierra funciona como un ecosistema autosuficiente. Si se enfoca el análisis desde una perspectiva doméstica —ligada al hábitat humano—, la cabina espacial aparenta ser un atractivo modelo de *hogar* para un posible rescate medioambiental.

Esta connotación ideológica de la cápsula como refugio fundamenta la consolidación durante los años 70 de lo conocido como “ecología de cabina”. En este contexto, se diseñan diferentes prototipos físicos que buscan reproducir el microcosmo terrestre a través de sistemas cerrados autopoieticos².

Estos sistemas utilizan la arquitectura como medio y recipiente para reconstruir parcialmente el mundo³. Gracias a la protección que brinda la cápsula como escudo, y a la independencia que ofrece la tecnología, el microclima contenido puede aislarse prácticamente de cualquier entrada o salida del exterior. A diferencia de un sistema abierto vinculado a su contexto, la arquitectura de un sistema cerrado sólo necesita generar un entorno controlado capaz de autorregularse. En otras palabras, siguiendo la línea de pensamiento de McHarg: igual que el astronauta no puede sobrevivir si la nave no mantiene su propio equilibrio ecológico, el sistema natural domesticado no

1 » FULLER, Buckminster. *Operating Manual for Spaceship Earth*. Edwardsville: Lars Muller Publishers, 1969, p. 46. ISBN 978-3037781265.

2 » MATURANA, Humberto y VARELA, Francisco. *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1980 (1972). ISBN 90-277-1016-5.

3 » KALLIPOLITI, Lydia. *The Architecture of Closed Worlds*. Zürich: Lars Müller Publishers, 2018, p. 174. ISBN 978-3-03778-580-5.

4 » MCHARG, Ian L. *Design with Nature*. New York: The Natural History Press, 1969, pp. 46, 96. ISBN 978-0385021425.

5 » YEANG, Kenneth. *Designing With Nature: The Ecological Basis for Architectural Design*. New York: McGraw-Hill, 1995, p. 61. ISBN 978-0070723177.

6 » KUROKAWA, Kisho. *Metabolism in architecture*. London: Studio Vista, 1977, pp.75-85. ISBN 978-0289707333.

7 » ANKER, Peter. The Ecological Colonization of Space. *Environmental History*. Chicago: The University of Chicago Press, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 239-268. DOI: 10.1080/13602360500463230.

8 » Las grandes naturalezas hacen referencia a bosques, lagos, praderas y/o estuarios. Ver: KALLIPOLITI, 2018, p. 13.

9 » BENYUS, Janine. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: AVON BOOKS USA, 2002 (1997). ISBN 978-0060533229.

10 » Capaz de autoorganizarse, autodiseñarse, autorrepararse y autorreplicarse.

11 » TODD, John y TODD, Nancy. *Living machines*. En: CAPRA, Fritjof y PAULI, Gunter, eds. *Steering business toward sustainability*. New York: United Nations University Press, 1995, capítulo 11. ISBN 92-808-0909-1.

12 » La teoría utilizada se apoya en que "si los ecosistemas cerrados estables y productivos no pueden funcionar en la Tierra, no funcionarán en órbita". Ver: ANKER, Peter. The closed world of ecological architecture. *The Journal of Architecture*. Norway: Routledge, 2005, vol. 10, no. 5, p. 536. DOI: 10.1080/13602360500463230.

puede mantenerse si la cápsula no le proporciona las condiciones adecuadas para su autogestión⁴. Este argumento lo secunda Kenneth Yeang al afirmar que "los problemas de supervivencia en un microsistema artificial aislado (como una nave espacial) se asemejan a los problemas de supervivencia de los seres humanos en el 'sistema global de soporte vital' o la biosfera"⁵. Por dicho motivo, resulta imprescindible trasladar el lenguaje de los ciclos metabólicos terrestres, a sistemas mecanicistas que puedan estabilizar un entorno natural en una cabina artificial.

El ambiente recreado funciona como una estructura sellada con límites sistémicos: "una rotura del equilibrio interno de la cápsula destruye el entorno en ella controlado"⁶. El mecanicismo metabólico al que hace referencia Kisho Kurokawa se basa, precisamente, en la utilización de la tecnología como artificio constructivo del equilibrio habitable para el ser humano. Esa concepción es igualmente aplicable a la teoría del encapsulamiento de ecosistemas, ya que en ambos casos "tal dispositivo y la vida en él dependen del otro para su existencia y supervivencia". Por tanto, es importante tener en cuenta la aproximación metabólica que fundamenta la "Capsule Declaration", a fin de poder avanzar en la definición de un prototipo viable con el que contener entornos regidos por leyes naturales.

Pese a todo, esta adaptación práctica de la teoría espacial al contexto del cierre ecológico⁷ termina desvirtuando el significado original de "ecosistema". Concebir el microcosmos terrestre dentro de un hábitat artificial hace que no pueda —ni deba— hablarse de "una porción de la biosfera madre —o la Tierra—", sino de una copia fidedigna subordinada o sub-biosfera. Consecuentemente, el ecosistema natural engendrado artificialmente tampoco ha de considerarse como una porción de naturaleza, sino como una entidad equivalente o "natura". Y, siguiendo con dicha concatenación terminológica, la cápsula arquitectónica que encierra el espacio interior, también reclama una existencia objetiva y designación propia. De aquí surge lo denominado como "cápsula ecosistémica": una réplica de biosfera contenida en un ambiente artificial generado tecnológicamente.

En este avance, el equipo del New Alchemy Institute —con John y Nancy Todd a la cabeza— lanza a comienzos de los 90, el manifiesto "Living Machine" a favor del prototipo mecanicista como entidad habitable. El manifiesto concibe las cápsulas-refugio como "máquinas vivientes" productoras de ecosistemas de nueva creación. Este naturalismo sintético implica trasladar las leyes metabólicas de grandes ecologías al ámbito salvaje de la artificialidad arquitectónica⁸. Precisamente gracias a la aplicación de la biomímesis⁹, se pueden ensamblar componentes mecánicos y biológicos con el fin de estabilizar un entorno autorregenerativo¹⁰, que adquiera la forma de híbrido biónico entre máquina y jardín¹¹.

A raíz de este renovado consenso medioambiental, en los años 2000 se perfila una vertiente preservacionista que no busca tanto replicar minibiomas terrestres para mandarlos al espacio, sino "encapsular paisajes" para asegurar su supervivencia¹². Sin embargo, los fracasos retratados en varios de los prototipos construidos, cuestionan la viabilidad de los recintos mecanicistas como contenedores habitablemente adecuados para salvaguardar la natura.

En dicho contexto, Peter Anker toma prestado la expresión “síndrome de la cápsula”¹³ en “The closed world of ecological architecture”, para subrayar la condición de estanqueidad y ensimismamiento que experimentan los tripulantes de cualquier submarino o nave espacial. Esta sensación de claustrofobia propia de la condición humana, es equiparable a la limitación de crecimiento que sufren los entornos naturales contenidos en cápsulas acotadas en sus tres ejes espaciales. A diferencia de los muros que rodean un jardín —que sirven para acotar en dos de sus ejes un recinto, pero que permiten un crecimiento libre en vertical—, un sistema cerrado limita el desarrollo total extensible del espacio interior —por muy grande que pueda construirse la cápsula—.

13 » Esta expresión la utilizan anteriormente Serge Chermayeff y Christopher Alexander en *Community and Privacy* (1963).

Esta última lectura sobre el síndrome del hábitat, conduce a determinar que un cierre extremo del ecosistema artificial puede provocar su colapso, e incluso su reinención en formato de antihábitat. Lo que conlleva a sentenciar que, para lograr preservar un ambiente natural subordinado, no basta sólo con establecer un equilibrio estático entre máquina y especies, sino que es necesario ajustar la entropía del propio sistema. Y para ello, la red mecanicista que da vida al ecosistema debe hacer frente a las demandas y desajustes de esa interacción tecnológica-natural. Por tanto, para que un ecosistema encapsulado sobreviva saludablemente, no sólo ha de asegurarse la autorregulación —u *homeostasis*— del sistema, sino que el propio sistema pueda controlar el equilibrio dinámico interior en permanente cambio—u *homeorresis*—.

2*

Una metodología de clasificación para una muestra heterogénea

Generar una respuesta de verdadero avance ante la crisis ecológica global, invita a indagar en la delgada línea que separa el hábitat del antihábitat. Dilucidar cuáles son los requisitos fundamentales para producir entornos naturales que no terminen boicoteándose a sí mismos, determina el tipo de ecología de cabina necesaria para un cierre ecosistémico.

Por este motivo, se pone en crisis la viabilidad de diferentes modelos contruidos inicialmente como cápsulas habitables para la natura, pero que terminan comportándose como antihábitats ecológicos. Los cinco entornos seleccionados son una muestra significativa del sentido más purista de “closed world” —o “mundo cerrado”—, al disponer de una amplia heterogeneidad de parámetros. Los casos de estudio acogen diferente número de especies—vegetales, animales y/o humanas—, un tamaño distinto de cápsula, y un grado de estanqueidad que varía según se relacionan los dos parámetros anteriores.

Debido precisamente a que estas cuestiones cuantitativas son las que establecen el mejor criterio de ordenación y análisis, los casos recogidos no se desarrollan cronológicamente, sino según aumenta la diversidad de especies y tamaño de la cápsula (fig.01).

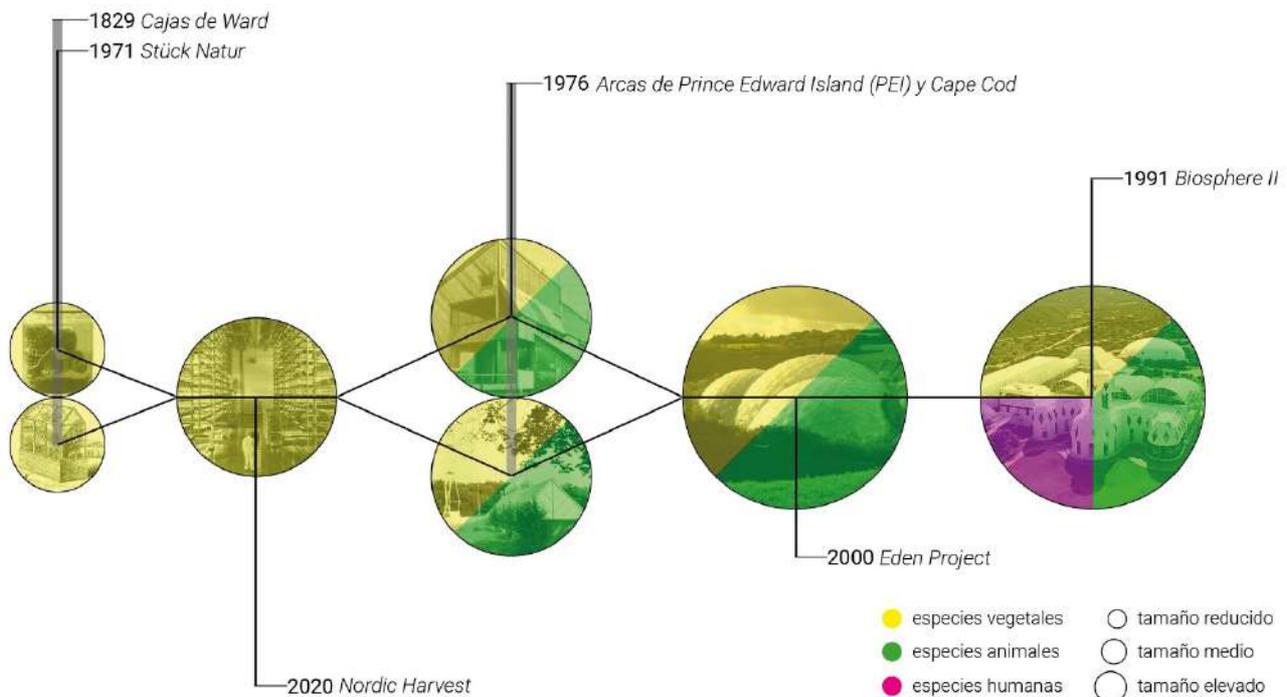


FIGURA 01 » Diagrama de ordenación de la mesa de muestras (eje horizontal: desarrollo según aumenta la heterogeneidad de especies y tamaño de la cápsula; eje vertical: franja superior para proyectos desarrollados en el s.XX, y franja inferior para prototipos del s.XXI), elaboración propia.

3*

Cinco grupos de ecosistemas encapsulados

El primer “mundo cerrado” se remonta a mediados del siglo XIX, cuando se conciben las londinenses *Cajas de Ward*. Este exitoso diseño es capaz de mantener especies vegetales en un *tarro de conserva* con cierre hermético, utilizando únicamente la energía luminotérmica del sol. No obstante, no es hasta 1979 cuando aumenta considerablemente su popularidad, gracias a que el grupo austriaco Hans-Rucker-Co alberga durante ocho años un fragmento de ecosistema terrestre en miniatura, dentro de una cápsula de vidrio bautizada como *Stück Natur* —un trozo de natura—. Sin embargo, la oxidación del cierre metálico que contiene ambos microhábitats, termina provocando una sucesión de fugas que rompen el equilibrio interior.

Casi cuarenta años más tarde, vuelve a ponerse a prueba un prototipo ecosistémico similar —con igualmente sólo especies vegetales—, utilizando un contenedor industrial completamente opaco. El *paraíso vertical* para la natura *Nordic Harvest* inaugurado en 2020 como una granja en altura a las afueras de Copenhague, consigue minimizar el número fugas entre interior y exterior gracias a una mecanización explícita del conjunto. Aunque no establece un sistema completamente cerrado, esta propuesta solventa los errores cometidos en las *arcas apocalípticas* norteamericanas de los años 70 construidas en *Prince Edward Island (PEI)* y *Cape Cod*. Estos prototipos-arca no logran frenar su fatal desenlace como antihábitats ecosistémicos, debido a que aplican un sistema mecanicista apto para vegetación en entornos con especies animales.

Una respuesta rápida a esta problemática busca incrementar el tamaño de la cápsula para así albergar mayor maquinaria con la que contrarrestar la demanda. Pero esta acción —llevada a cabo en los *jardines edénicos* del *Eden Project*, en el sur de Inglaterra de los 2000—, lejos de conseguir la autonomía

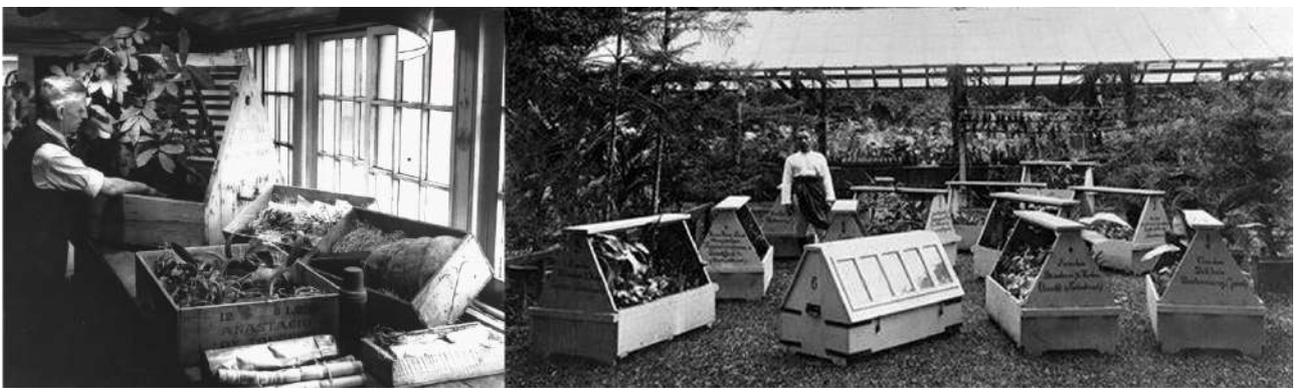


FIGURA 02 » Empaquetado de plantas en *Cajas de Ward*, archivo del Royal Botanic Gardens de Kew.

del sistema, aumenta considerablemente su riesgo de fugas. En definitiva, cuanto más grande parece concebirse el “mundo cerrado”, más inestable se vuelve. Y esto mismo lo confirma el *refugio de la biosfera* construido en Arizona a comienzos de los 90. Aquí, al introducir al ser humano como otra especie más, el grado de estanqueidad del *Biosphere II* se debilita radicalmente hasta acabar desapareciendo por completo.

Tarros de conserva

Los primeros ecosistemas conservados dentro de recintos artificialmente estancos son los microhábitats creados por Nathaniel Bagshaw Ward en 1829. Estas *Cajas de Ward* se conciben como contenedores para trasladar especies vegetales desde climas tropicales al norte de Europa. El diseño original utiliza una caja de madera y vidrio sencillo —sellada con masilla— para generar una atmósfera superviviente a las largas travesías marítimas¹⁴ (fig.02). Dentro, las plantas mantienen su propio ecosistema primitivo gracias a una autogestión de la humedad¹⁵. Pero estas *cajas wardianas* de especies foráneas no funcionan sólo como cápsulas de transporte, sino que constituyen su propia arquitectura de *hogar* una vez llegadas a puerto —permitiendo que no entren en contacto con un clima diferente—.

El grupo austriaco Hans-Rucker-Co, recupera esta idea de microclima encapsulado para trabajar en un modelo comercializable de gestión medioambiental (fig.03). El fragmento de ecosistema vegetal contenido desde 1971 hasta 1979 en la bola de cristal *Stück Natur*¹⁶, conforma una muestra de natura aislada y desconectada del exterior —sin ninguna entrada ni descarga de salida—. El tarro funciona como una estructura habitable gracias a que utiliza los recursos disponibles dentro de sus fronteras sistémicas. Esto reivindica la concepción *fulleriana* de “mundo dentro de otro mundo” o “hábitat dentro de otro hábitat”. Pero lo más destacable de este primer modelo común de cápsula ecosistémica, es que la gestión de su equilibrio higrotérmico depende únicamente del microcosmos contenido: son las propias plantas las que generan y controlan el microhábitat.

Este submundo presenta a la arquitectura como un vehículo de arraigo medioambiental. El tarro personifica un esfuerzo por preservar y reconstituir una naturaleza mediante porciones de la misma. El propio Ward introduce explícitamente esta equivalencia, al proyectar la caja-invernadero emulando la cabaña primitiva de Laugier. Aunque, como bien señala en *On the Growth of Plants in Closely Glazed Cases*¹⁷, todo el éxito del experimento está

14 » Este diseño es una reproducción a escala reducida del invernadero doméstico construido por Ward para proteger sus propias plantas del aire industrial viciado de Londres, tras descubrir que restos de materia orgánica podían germinar dentro de botellas cerradas de vidrio.

15 » El agua de la tierra se evapora con el calor del día, condensándose en las paredes de la caja, y cayendo al sustrato para ser absorbido de nuevo por la planta.

16 » TORRES, Ana, ASENSI, Juan José y GAVIDIA, Valentín. *La biosfera en un bote. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. Barcelona: Editorial Graó, 2015, no. 82, pp. 66-70. ISSN 1133-9837.

17 » WARD, Nathaniel Bagshaw. *On the Growth of Plants in Closely Glazed Cases*. Londres: Cambridge University Press, 2013 (1842). ISBN 978-1-108-06113-1.



FIGURA 03 » Comparativa entre las *Cajas de Ward* y el *Stück Natur*, Nathaniel Bagshaw Ward y Hans-Rucker-Co.

condicionado por un solo punto: el cierre del entorno contenido; si no se realiza correctamente, se puede oxidar y terminar fisurando la cápsula.

En definitiva, el prototipo esbozado en este primer grupo ecosistémico resulta sorprendentemente viable en su propósito inicial, al tratarse de un entorno bastante reducido. Su tamaño es acorde tanto al tiempo que pretende utilizarse, como a la fisionomía de la especie que aguarda. Es más, al tratarse de un solo tipo de especie (o grupo de la misma familia), el ecosistema contenido es capaz de autorregularse por sí sólo fructíferamente. El tarro simplemente suministra el único elemento que no puede producir y que configura la base del proceso fotosintético por el cual gestionar la demanda de nutrientes y agua: el sol¹⁸.

18 » La carcasa de vidrio es la responsable de transmitir la energía luminotérmica del sol para generar el efecto invernadero interior.

Paraísos verticales

Para asegurar un proyecto de vida más largo, la granja vegetal *Nordic Harvest* sustituye el vidrio por un paramento opaco continuo. Este híbrido de catorce pisos de altura, sobrevive de forma autónoma desde 2020 en una zona industrial de Taastrup. La clave del experimento reside en la construcción de una cámara oscura que regula la temperatura y humedad del interior mecánicamente.

19 » DESHAYES, Julie, RENARD, Lucie y FOURNIER LE RAY, Juliette. We met the founder of Europe's largest vertical farm. En: *The Choice*, 2021[en línea].

20 » YESHEALTH, Agri-Biotechnology Co. Gelponic Vertical Farms. En: *YesHealthGroup*, 2023 [en línea].

21 » Los biofertilizantes se fabrican in situ a partir de los desechos fermentados procedentes de la soja, las conchas de ostras o el azúcar. Esto hace que pueda eliminarse la utilización de pesticidas artificiales y otros productos químicos tóxicos. Ver: PETERS, Adele. This vertical farm in Denmark will grow 1,000 tons of local greens a year. En: *FastCompany*, 2020 [en línea].

22 » La presencia humana dentro del ecosistema natural se reduce únicamente a tareas de supervisión de los propios sistemas mecanicistas. En estos casos, el personal porta un traje especial EPI para no introducir ningún agente externo.

Esta evolución de la *caja wardiana* al contenedor industrial, la populariza Dickson Despommier en 1999 junto a un grupo de estudiantes de la Universidad de Columbia. Entonces determinan que solamente es necesario un edificio de 30 pisos de altura para igualar el sumatorio de tejados de New York potenciales de ser cultivados. Si las superficies de cultivo están abiertas a la atmósfera terrestre, pueden absorber la luz solar, el dióxido de carbono y los nutrientes y agua del subsuelo. Pero si, por el contrario, los cultivos se albergan dentro de una caja cerrada, la infraestructura mecanicista ha de suministrar todo lo necesario para que dicha transferencia de materia y energía se produzca con la misma eficacia.

El proyecto de *Nordic Harvest* incorpora un sistema de hidroponía mejorado¹⁹ para hacer frente a esa demanda. Se comienza eliminando la tierra de la ecuación metabólica, haciendo que la planta crezca en un sustrato de hidrogel con forma de esponja o tela fibrosa²⁰. Seguidamente, se introducen biofertilizantes microbianos para combatir bacterias nocivas y plagas²¹. Y, por último, todos los procesos de siembra, recirculación de agua, cuidado y control de temperatura y composición del aire, se realizan robóticamente²².



La energía obtenida a partir de turbinas eólicas alimenta un sistema de iluminación LED que posibilita a las plantas realizar la fotosíntesis²³ —al igual que hacía el vidrio en los *invernaderos de Ward*—. Siguiendo el ya mencionado principio de la biomímesis, se varía la intensidad y temperatura de color LED para imitar los cambios de luz solar y proporcionar unas condiciones similares a las del ecosistema abierto (fig.04). Sin embargo, si se proporciona mayor iluminación que la adecuada, aumenta la tasa de crecimiento de las especies, incrementando al mismo tiempo el consumo de energía y las emisiones de calor. Dicho cambio en el delicado equilibrio termina requiriendo un aporte extra de dióxido de carbono que cubra la demanda energética que el sistema mecanicista no es capaz de solventar. Lo que significa que, si finalmente no se rompe la estanqueidad de la cámara, no se asegura la autosupervivencia de la natura encapsulada —y el conjunto podría pasar a comportarse como un antihábitat—.

Tal como sucede con las *cajas wardianas*, el aspecto más relevante de este proyecto es su capacidad para mantener con vida a las especies en regiones climáticas extremadamente frías y/o con escasez de horas de sol²⁴, simplemente recreando un clima artificial óptimo para su desarrollo. Esto parece vislumbrar un posible acercamiento a la configuración de un paraíso ideal para la natura²⁵; pero nada más lejos de la realidad. En ambos casos resulta bastante complejo mantener el ecosistema en equilibrio, y más especialmente en *Nordic Harvest*, debido a que entran en contacto especies vegetales de familias y tipos diferentes que complejizan considerablemente la estabilidad del híbrido a largo plazo.

Arcas de Noé

Optimizar la mecanización de los sistemas para establecer un equilibrio entre demanda y suministro, resulta a grandes rasgos bastante complicado. Tomando la investigación espacial como fuente de conocimiento, Chermayeff y Alexander asemejan el orden armónico de la Tierra al orden pequeño de las cosas que el ser humano sí es capaz de controlar, para crear una reciprocidad certera entre máquina y natura. Esta herencia la acogen los integristas del New Alchemy Institute²⁶, adoptando una narrativa metafórica cercana a la profecía original de Noé y su Arca de la salvación²⁷. El resultado es una concepción de los prototipos-cápsula como “arcas”²⁸ o refugios para mantener a flote a la natura si la moribunda *Nave Espacial Tierra* desaparece.

FIGURA 04 » Infraestructura interior de la granja vertical *Nordic Harvest*, Alastair Philip Wiper.

23 » NORDIC HARVEST. A taste of a greener world. En: *Nordic Harvest*, 2023 [en línea].

24 » SEGUI, Pau. Granja vertical eólica: Dinamarca producirá 1.000 Toneladas de verduras al año. En: *Ovacen*, 2022 [en línea].

25 » GUTMANN, Martin y CASTILLO, Paula. Carbon-neutral vertical farming: Nordic Harvest. En: *Atlas of the Future*, 2021 [en línea].

26 » El nombre del colectivo se inspira, de hecho, en los escritos alquímicos de Giordano Bruno (1548-1600) sobre la relación recíproca entre el microcosmos y el macrocosmos del mundo.

27 » Ver: ANKER. The closed world of... 2005, p. 534.

28 » WOLFE, John. The latest year of research on bioshelters: A summary. *New Alchemy Quarterly* [en línea]. Massachusetts: New Alchemy Institute, 1982, no. 9, pp. 7-9 [consulta: abril de 2023].

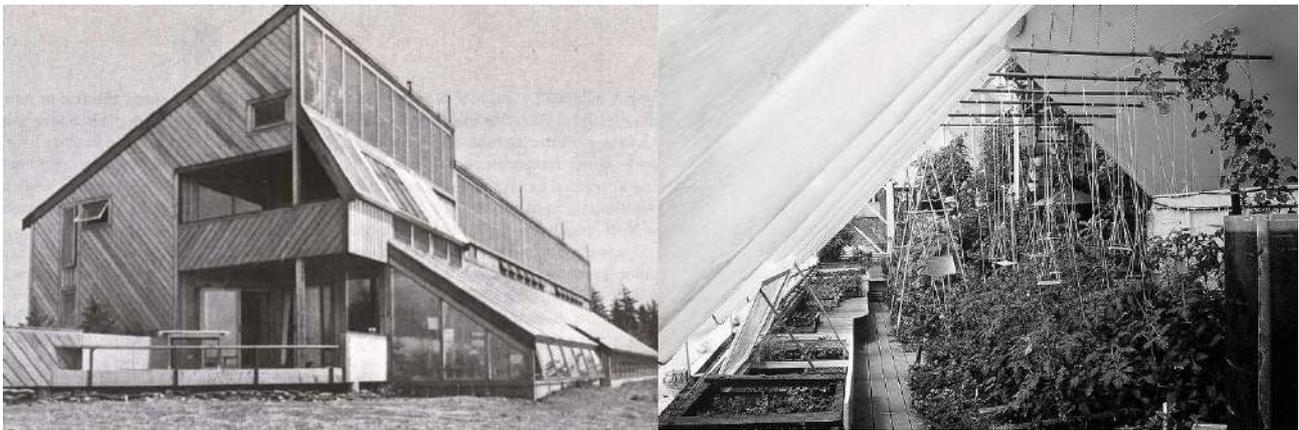


FIGURA 05 » Exterior e interior del Arca en Prince Edward Island (PEI), Solsearch Architects.

29 » SOLSEARCH ARCHITECTS. "Living Lightly on the Earth": Building an Ark for Prince Edward Island, 1974-76. Halifax: Dalhousie Architectural Press, 2018. ISBN 978-0929112695.

30 » Los cultivos incluyen hortalizas, hierbas, flores y árboles jóvenes; y la piscifactoría, lagartos, tritones, mariquitas e incluso alguna serpiente para controlar las poblaciones de insectos.

31 » Cada tanque forma su propio microcosmos, y sirve de alimento a los demás mediante el desvío estratégico de agua. El agua del primer grupo de tanques —que contienen peces y algas— se desintoxica por medio de conchas trituradas en el segundo grupo, filtrando los residuos y sustancias químicas. El tercer grupo de tanques purifica el agua del sistema a través de caracolas y otros crustáceos que eliminan bacterias y microorganismos.

32 » De hecho, la fila de colectores solares incorporada en el Arca PEI se sustituye por paneles fotovoltaicos en el Arca de Cape Cod para mejorar la eficiencia energética. Ver: BARNHART, Earle. Bioshelter primer. *Journal of the New Alchemists* [en línea]. Massachusetts: New Alchemy Institute, 1977, no. 4, pp. 114-122 [consulta: abril de 2023].

33 » ROSE, Steve. The Circle of Life. En: *The Guardian: The Observer Design*, 2019 [en línea].

34 » NEW ALCHEMIST INSTITUTE y SOLSEARCH ARCHITECTS. From our experience: The first three years aboard the Cape Cod Ark. *Journal of the New Alchemists* [en línea]. Massachusetts: New Alchemy Institute, 1980, no. 6, pp. 115-153 [consulta: abril de 2023].

Dos ejemplos de este tercer modelo de ecología artificial se construyen a mediados de los 70, en la canadiense Prince Edward Island (PEI) y en la estadounidense Cape Cod. Utilizando la biomimesis para imitar los procesos ecológicos terrestres y siguiendo los diagramas metabólicos de recirculación de energía, materia, agua y residuos, ambas Arcas se levantan como "máquinas vivientes" y hogares para la natura.

Son varios los detalles arquitectónicos utilizados para crear una interdependencia entre componentes vivos y de ingeniería. Gran parte de la cubierta del Arca se inclina al sur para maximizar la exposición solar meridional —incorporando fibra de vidrio y acristalamiento de doble hoja—. Alternativamente, la superficie interior del tejado que queda orientada a norte se pinta de blanco para maximizar la reflectancia solar²⁹ (fig.05). Dentro, un invernadero de producción de alimentos y una piscifactoría de acuicultura³⁰ se conectan por medio de tanques solares recicladores de agua³¹. Debido a su capacidad para acumular calor, estos tanques regulan la humedad y temperatura del conjunto, haciendo que otros elementos tradicionales de control climático resulten redundantes e innecesarios³². Por último, una turbina eólica produce la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar el sistema³³ (fig.06).

La organización interna de cada Arca se ejecuta a imagen y semejanza de la enunciada equiparación con la Tierra. Como si se tratase de una reproducción contenida en miniatura, los tanques de peces calentados con energía solar representan los océanos, y los huertos intensivos encarnan la biota. A ello se suma el sistema de compostaje —que imita los procesos de fermentación del suelo—, y un elaborado sistema de alcantarillado —que asegura la reutilización de excrementos como alimento para las gallinas, en representación de las aves del planeta—.

Pese a su concepción, ambas Arcas terminan fracasando como prototipos ecosistémicos debido, esencialmente, a la disparidad de especies. Es más, el hecho de que vegetales y animales no logren establecer un equilibrio atmosférico habitable, lleva a romper la estanqueidad de la cápsula para incorporar paneles practicables que renueven el aire viciado interior. Además, esta medida no evita que las bacterias de los ciclos metabólicos terminen muriendo por las elevadas temperaturas, y que la alta concentración de humedad pudra la estructura de madera³⁴.

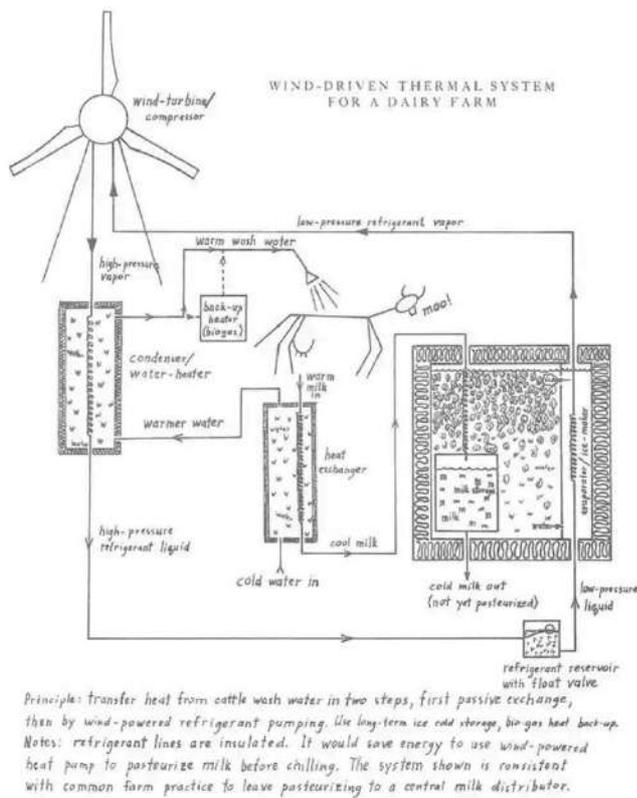


FIGURA 06 » Comparativa entre el diagrama metabólico proyectado y la infraestructura construida en el *Arca de Cape Cod*, *The Journal of the New Alchemists*.

Así que, aunque se construye tras un exhaustivo estudio previo, el proyecto fracasa estrepitosamente al ejecutar su demolición a comienzos de los 2000. Ya que, en este caso, ni siquiera la rotura de la hermeticidad logra mejorar sustancialmente la habitabilidad del conjunto.

Jardines del Edén

Esta incapacidad de generar una arquitectura sinérgica con su contenido orgánico, se hace más evidente aún en otra metáfora formal utilizada: la concepción del microcosmos artificial como un nuevo *jardín del Edén*. Se recurre otra vez a un referente bíblico para exponer que las máquinas reguladoras de clima y medio ambiente no son más que un “fruto espontáneo de un árbol edénico”³⁵. Así mismo lo expresa Lydia Kallipoliti en *The architecture of closed worlds*: “la casa autónoma era como un Jardín del Edén restaurado”. Si la *cabaña primitiva* sirve a Laugier como medio para rastrear los orígenes de la arquitectura en la naturaleza, la cápsula cerrada se erige ahora como mecanismo de recuperación de la relación entre individuo y entorno. O al menos eso es lo que persigue Peter Anker: “La Tierra está en discordia desde la expulsión de los humanos del Jardín del Edén, y los humanos tienen que trabajar para restablecer esa armonía perdida”³⁶.

Esta metáfora teórica la convierte el New Alchemy Institute en un recurso formalista en 1971, con el levantamiento de una cubierta geodésica sobre un estanque de peces —en representación de la atmósfera terrestre³⁷—. Dicha misma filosofía es la que impulsa la construcción del *Eden Project* en una antigua cantera inglesa, casi treinta años después —al mismo tiempo que las Arcas anteriores se demuelen—. Este nuevo diseño de cápsula ecosistémica consta de dos recintos bulbosos que replican biomas ajenos a la costa suroeste de Cornwall³⁸ (fig.07).

35 » MARX, Leo. *The machine in the garden: technology and the pastoral ideal in America*. New York: Oxford University Press, 2000 (1967), pp. 8-9. ISBN 978-0195133516.

36 » Ver: KALLIPOLITI, 2018, pp.15, 175.

37 » En palabras de John Todd: “Nuestro primer pequeño experimento utilizó una estructura geodésica para crear literalmente un mundo en miniatura. Dentro de la estructura, el aire era la atmósfera; el agua era análoga al 70% de océanos que necesita la Tierra para mantener un clima estable; el 30% restante eran todas las especies vegetales y animales que completaban la complejidad del ecosistema. Así que ya estábamos utilizando la Tierra como modelo de diseño”. Ver: ROSE, 2019.

38 » Se recrea un bioma diferente en cada recinto geodésico: un ambiente húmedo o “Bioma de los Trópicos”, y un ambiente mediterráneo o “Bioma Templado-Cálido”. Ver: ADAMS, Ross. *Approaching the end: Eden and the catastrophe*. Log [en línea]. New York: Anyone Corporation, 2010, no.19, pp. 87-97 [consulta: mayo de 2023].



FIGURA 07 » Vista exterior e interior del Bioma Templado-Cálido en el *Eden Project*, Grimshaw Architects.

39 » Para rehabilitar este valle agotado por los espesos residuos de arcilla en un terreno fértil de nuevo, no se moviliza tierra de ningún otro lugar, sino que las pendientes más pronunciadas se abonan con compost de champiñón, y las zonas llanas con una mezcla de arena de desecho y residuos verdes con contenido húmico. Ver: KALLIPOLITI, 2018, p. 223.

40 » TIMS, Anna. Tim Smit: how we made the Eden Project. En: *The Guardian*, 2014 [en línea].

41 » A esto se suma el hecho de que, a pesar de la puesta en marcha de un complejo sistema subterráneo de recuperación de agua de lluvia —que cae por los biomas y se filtra por el terreno—, se utiliza un suministro externo para cubrir todos requerimientos generados.

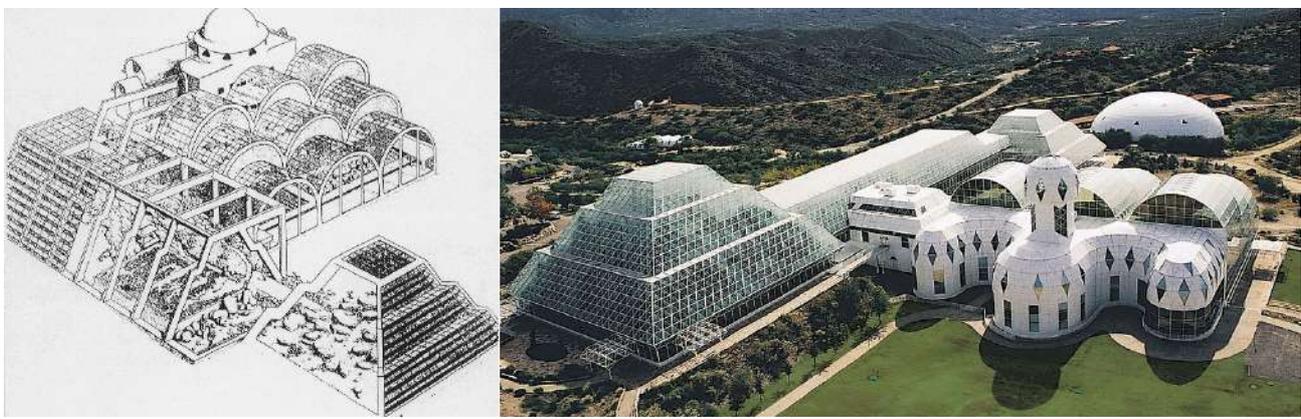
El proyecto aprovecha la singularidad topográfica del emplazamiento para convertir una mina de arcilla en un jardín de 4.500 especies³⁹. Los cráteres funcionan como recipientes naturales de calor, ofreciendo masa térmica para el crecimiento de especies vegetales y animales. Recuperando las investigaciones *fullerianas* de finales del siglo XX, las cuencas se cubren con ocho cúpulas transparentes de paneles hexagonales de acero tubular, unidas en suma booleana mediante una articulación múltiple sin nudos. Dichos paneles se revisten con almohadillas de triple capa ETFE para obtener la máxima ganancia solar y regulación térmica⁴⁰.

Aunque existe un sistema de recirculación de aire para mantener una temperatura y humedad constantes, la aparente estanqueidad del conjunto se rompe en el momento en que hay que incluir nuevamente paneles abatibles para liberar el exceso de calor del interior (fig.08). El aire incorporado se utiliza para paliar también la alta demanda de oxígeno exigida por las especies. No obstante, esto termina resultando contraproducente, debido a que el aire introducido está a una temperatura distinta que la del interior. Esto conlleva a necesitar un aporte energético extra para calentarlo o enfriarlo —y no romper el equilibrio climático de cada bioma—⁴¹.

Actualmente, el conjunto funciona como un gran jardín de especies que se mantienen en unas condiciones óptimas a lo largo del año. No configura una entidad autosuficiente aislada del exterior, sino que toma lo necesario del mismo para adaptarlo a las demandas que su fisionomía mecanicista es incapaz de solventar. Si no se produce esa rotura de la cápsula, el proyecto terminaría convirtiéndose, una vez más, en un antihábitat insostenible.

FIGURA 08 » Escotillas y paneles abatibles de ventilación en el *Eden Project*, Graham Gaunt – Arup Group.





Refugios de la biosfera

La arquitectura del antihábitat ecosistémico alcanza su punto álgido con el *Biosphere II*. Este prototipo de principios de los 90, pretendía albergar un refugio de coevolución entre distintas especies de la biodiversidad mundial — incluidos humanos—. Sin embargo, sólo termina materializando una copia barata a menor escala de la “Biosfera I” —o la Tierra—.

La empresa Space Biospheres Venture construye este prototipo en forma de “arca de vidrio”⁴² (fig.09). Bajo una estructura geodésica-piramidal —que recuerda a la las *cajas wardianas*—, se encierran cinco regiones de biomas fuertemente secuestrados y mantenidos⁴³, junto con cultivos agrícolas, viviendas humanas, “pulmones de acero” y la “tecnosfera” —un laberinto subterráneo de infraestructuras mecánicas, eléctricas y de fontanería que controlan los biomas⁴⁴—.

Aunque *Biosphere II* sella herméticamente el sistema, la eliminación radical de todas las fugas supone, al mismo tiempo, su propia destrucción. Inicialmente, el contar con un número mayor de especies parecía generar un conjunto más estable y robusto —secundando la hipótesis *toddiana* de “si no hay suficientes sub-ecosistemas, la máquina viviente no es capaz de auto-diseñarse”⁴⁵—. Sin embargo, la vivencia extraída de sus fases de experimentación (misiones), confirma que la estanqueidad extrema es la verdadera causa del fallo operativo. Seis meses después del inicio del experimento, un descenso notorio de la concentración de oxígeno —acumulado en el suelo y en el hormigón expuesto— provoca una distopía atmosférica⁴⁶. La producción interna no consigue suplir las demandas de un sistema con pérdidas, y surge la necesidad de bombear oxígeno del exterior. Esta deficiencia —junto con el desequilibrio del pH en el bioma oceánico⁴⁷—, lleva a convocar la suspensión del experimento tan solo dos años después.

Por ello, aunque se puedan extraer y aislar artificialmente partes de la natura, el equilibrio metabólico no se establece de igual manera que lo hace en la superficie terrestre. Es decir, los “mundos cerrados” carecen de un “mecanismo de curación” propio o, lo que es lo mismo, dependen de un suministro mecánico constante para que las condiciones ambientales se recreen aptamente. Y como aún no se disponen de máquinas autopoieticas capaces de autogestionarse como un ser vivo más, el propósito del experimento como entorno ecosistémico sellado se arruina definitivamente⁴⁸.

FIGURA 09 » Comparativa entre proyecto inicial y fisionomía final ejecutada del *Biosphere II*, Peter Anker.

42 » GENTRY, Linnea y LIPTAK, Karen. *The Glass Ark: The Story of Biosphere 2*. New York: Viking Press, 1991. ISBN 978-0670841738.

43 » Se incluye un desierto, una zona de marismas y manglares, un océano con arrecife de coral, una selva tropical, y una pradera de sabana.

44 » Los “pulmones de acero” compensan las fluctuaciones de temperatura y presión, mientras que las unidades de tratamiento de aire de la “tecnosfera” crean precipitaciones artificiales controlando el oxígeno y dióxido de carbono. Ver: KELLY, Kevin. *Out of control: The rise of neo-biological civilization*. New York: Perseus Books, 1994, pp. 139-140, 150-152, 158, 166. ISBN 0-201-48340-8.

45 » Ver: TODD, 1995.

46 » En las primeras cápsulas espaciales, son las fugas del oxígeno respirado las que precisamente se encargan de eliminar los contaminantes de la cabina y evitar los problemas de acumulación tóxica.

47 » Compensar la acidificación del bioma oceánico, requiere del vertido de bicarbonato sódico. Además, la proliferación de especies imprevistas debilita los cultivos agrícolas. Como no se usan pesticidas porque el agua de escorrentía es reutilizada, las especies humanas sufren hambruna, debiendo quemar reservas de grasa. Esto produce una mayor liberación de toxinas que incrementa más aún el desequilibrio ambiental. Ver: KELLY, 1994.

48 » WATSON, Traci. *Can Basic Research Ever Find a Good Home in Biosphere 2?* *Science* [en línea]. Washington DC: AAAS, 1993, vol. 259, no. 5102, pp. 1688-1689 [consulta: febrero 2023]



FIGURA 10 » Imágenes interiores de las biomas del *Biosphere II*, Space Biospheres Venture.

49 » Un ejemplo de dichas interacciones es el florecimiento de una especie de ameba no existente en la superficie terrestre actual. Esta ameba gigante de origen caribeño está tan poco evolucionada que aún depende de bacterias simbióticas para lograr sobrevivir. Ver: L.E.O. Landscape Evolution Observatory (LEO). En *Biosphere 2*, University of Arizona, 2015 [en línea].

50 » GITELSON, J., LISOVSKY, G. y MACELROY, R. *Man-made Closed Ecological Systems*. London: Taylor and Francis, 2002, p. 51. ISBN 9780429218996.

No obstante, se consigue un aporte verdaderamente significativo cuando, se decide dar una segunda vida al *Biosphere II* en forma de laboratorio de experimentación (fig.10). Científicos de la Universidad de Columbia aprovechan las ruinas de esta arquitectura encapsulada para mantener – intencionadamente– los niveles extraordinariamente altos de dióxido de carbono del bioma oceánico. El resultado es una regresión del mismo a un estado casi primigenio, gracias al registro de interacciones bióticas propias de una etapa evolutiva anterior⁴⁹.

Este pequeño descubrimiento merece una doble lectura. Por un lado, si el ecosistema artificial fracasa en su cometido de autosuficiencia, el conjunto ya no sólo se convierte en un antihábitat potencialmente mortal⁵⁰, sino que termina autoconsumiéndose a sí mismo hasta volver a un estado primitivo o desaparecer. Por otro lado, a pesar del fracaso como ecosistema encapsulado, su concepción constructiva puede aprovecharse para indagar más aún en el establecimiento de relaciones saludables entre máquina y natura.

4*

Resultados de una comparativa transversal entre antihábitats

Para determinar cuándo estos entornos pasan de engendrar hábitats saludables a generar atmósferas viciadas, es pertinente contrastar el propio comportamiento de las cápsulas como entidades ecosistémicas.

Si el prototipo se asemeja a la arquitectura de las *Cajas de Ward* –tamaño pequeño y un solo tipo de especie vegetal–, el ecosistema es capaz de autoabastecerse higrótermicamente por sí mismo bastante bien. Aunque para ello la cápsula debe suministrar suficiente luz solar y un sellado hermético que no genere perturbaciones térmicas o aéreas que rompan la estabilidad interior.

Si, por el contrario, se utilizan cápsulas mayores –como en *Nordic Harvest*– o con variedad de especies –como en las *Arcas PEI* y *de Cape Cod*–, hay que disponer de una mayor complejidad arquitectónica para dar solvencia a las demandas del sistema.

Sin embargo, como aún no se han materializado entidades que satisfagan mecánicamente todos los requerimientos de un sistema natural, éstas dependen de la georreferenciación en un lugar determinado. Sólo así pueden beneficiarse de las corrientes de viento y/o calor terrestre. Si el entorno

encapsulado precisa, además, un aporte de oxígeno extra y/o agua para regular la humedad y temperatura interior —como es el caso del *Eden Project* o *Biosphere II*—, se termina exigiendo una geolocalización concreta. Esto es, el prototipo ya no solo se aprovecha de las oportunidades climáticas, sino que se conecta a otros recursos del contexto —producidos, generalmente, por el ser humano— para poder extender la esperanza de vida de las especies.

Esta creación de prototipos ecosistémicos con mayor complejidad se basa en la premisa de que “cada vez que establecemos una conexión, como en la propia naturaleza, el conjunto se vuelve más estable, más fuerte y más sano”⁵¹. Por lo tanto, si los sistemas naturales son capaces de interconectarse armoniosamente, una réplica a menor escala debe comportarse de igual manera. Sin embargo, los experimentos sobre el cierre ecológico contradicen lo anterior para decretar que los ecosistemas artificiales contenidos son impredecibles en su evolución⁵². Diseñar correlaciones entre máquina y natura requiere de un ensamblaje no sólo de elementos tecnológicos, sino también de componentes dinámicos ligados al metabolismo natural, que se escapan del control humano⁵³. Así que, aunque la ecología global aluda a un estado de equilibrio aparentemente replicable, los prototipos ecosistémicos construidos demuestran que controlar artificialmente un sistema natural, es un falso mito bastante imposible de alcanzar.

51 » Ver: ROSE, 2019.

52 » Ver: KALLIPOLITI, 2018, p.174.

53 » DANITZ, Brian y ZELOV, Chris. *Ecological Design: Inventing the Future*. United States: Cinema Guild, 1994.

5*

Conclusiones para un cierre ecológico alternativo

Los antihábitats analizados extraen una conclusión común: es inviable contener ecosistemas naturales artificialmente, y hacerlo de forma duradera, si se realiza en prototipos herméticamente estancos. Las propuestas estudiadas parecen equiparar los elementos de la natura a meros objetos guardables en cajas. Por tanto, parece acorde —aunque resulte incongruente— promover la construcción de cápsulas con fugas para controlar los desequilibrios del interior. El avance y retroceso en esta historia del cierre ecológico, permite dilucidar que, a la par que aumenta el número de especies y tamaño de la cápsula, disminuye exponencialmente la hermeticidad del sistema. Lo que imposibilita, en consecuencia, la utilización de los “closed worlds” como posibles salvavidas con los que hacer frente a la crisis ecológica actual.

No obstante, detrás de este aparente fracaso, se esconde un pequeño resquicio por el cual avanzar. La línea que separa la conversión de un hábitat ecosistémico en un antihábitat para la natura, es tan frágil como la que sostiene a un sistema mecanicista de forma indefinida sin necesidad de reparación. Para que no se produzca un colapso del sistema, es de vital importancia llegar a construir una simbiosis regulable entre componentes mecánicos y biológicos.

El éxito de las relaciones metabólicas en la biosfera madre se debe, justamente, a que su atmósfera no es una carcasa artificial cerrada, sino que está compuesta por una casi infinitud de capas que permiten la regulación higrótérmica de los ecosistemas. Si se traslada esta premisa a una escala reducida, las sub-biosferas encapsuladas parecen demandar, igualmente, disponer de una atmósfera propia a partir de la cual autorregularse.

Para que el prototipo de “mundo cerrado” pueda convertirse en un diseño viable con el que preservar, salvaguardar y reproducir una porción de la natura, es preciso construir un contorno mecanicista con capacidad de reacción. Dicho en otras palabras, en vez de sellar la cápsula al vacío con un perímetro tecnológico impenetrable, se propone como alternativa generar un cierre más dinámico constituido por capas de interacción. Y son esas capas, estratos o filtros, los que deben personalizarse para generar diferentes respuestas, según las peculiaridades exigidas por cada parte del sistema. Así se puede empezar a esbozar la creación de una atmósfera dinámica y artificial nueva, que permita a un subconjunto de la natura sobrevivir como un entorno ecosistémico propio, independiente y saludablemente habitable.

6*

Bibliografía

- FULLER, Buckminster. *Operating Manual for Spaceship Earth*. Edwardsville: Lars Muller Publishers, 1969, p. 46. ISBN 978-3037781265.
- MATURANA, Humberto y VARELA, Francisco. *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1980 (1972). ISBN 90-277-1016-5.
- KALLIPOLITI, Lydia. *The Architecture of Closed Worlds*. Zürich: Lars Müller Publishers, 2018, pp.12-27, 172-177, 199-203, 222-229. ISBN 978-3-03778-580-5.
- MCHARG, Ian L. *Design with Nature*. New York: The Natural History Press, 1969, pp. 46, 96. ISBN 978-0385021425.
- YEANG, Kenneth. *Designing With Nature: The Ecological Basis for Architectural Design*. New York: McGraw-Hill, 1995, p. 61. ISBN 978-0070723177.
- KUROKAWA, Kisho. *Metabolism in architecture*. London: Studio Vista, 1977, pp.75-85. ISBN 978-0289707333.
- ANKER, Peter. The Ecological Colonization of Space. *Environmental History*. Chicago: The University of Chicago Press, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 239-268. DOI: 10.1080/13602360500463230.
- BENYUS, Janine. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: AVON BOOKS USA, 2002 (1997). ISBN 978-0060533229.
- TODD, John y TODD, Nancy. *Living machines*. En: CAPRA, Fritjof y PAULI, Gunter, eds. *Steering business toward sustainability*. New York: United Nations University Press, 1995, capítulo 11. ISBN 92-808-0909-1.
- ANKER, Peter. The closed world of ecological architecture. *The Journal of Architecture*. Norway: Routledge, 2005, vol. 10, no. 5, pp. 527-552. DOI: 10.1080/13602360500463230.
- TORRES, Ana, ASENSI, Juan José y GAVIDIA, Valentín. La biosfera en un bote. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. Barcelona: Editorial Graó, 2015, no. 82, pp. 66-70. ISSN 1133-9837.
- WARD, Nathaniel Bagshaw. *On the Growth of Plants in Closely Glazed Cases*. Londres: Cambridge University Press, 2013 (1842). ISBN 978-1-108-06113-1.
- DESHAYES, Julie, RENARD, Lucie y FOURNIER LE RAY, Juliette. We met the founder of Europe's largest vertical farm. En: *The Choice*, 2021[en línea]. Disponible en: <https://thechoice.escp.eu/their-choice/we-met-the-founder-of-europes-largest-vertical-farm/> [consulta: mayo de 2023].
- YESHEALTH, Agri-Biotechnology Co. Gelponic Vertical Farms. En: *YesHealthGroup*, 2023 [en línea]. Disponible en: <https://www.yeshealthgroup.com/partners/nordic-harvest> [consulta: abril de 2023].
- PETERS, Adele. This vertical farm in Denmark will grow 1,000 tons of local greens a year. En: *FastCompany*, 2020 [en línea]. Disponible en: <https://www.fastcompany.com/90582905/this-vertical-farm-in-denmark-will-grow-1000-tons-of-local-greens-a-year> [consulta: marzo de 2023].
- NORDIC HARVEST. A taste of a greener world. En: *Nordic Harvest*, 2023 [en línea].

- NORDIC HARVEST. A taste of a greener world. En: *Nordic Harvest*, 2023 [en línea]. Disponible en: <https://www.nordicharvest.com/saadangoervi/sadan-gor-vi> [consulta: marzo de 2023].
- SEGUI, Pau. Granja vertical eólica: Dinamarca producirá 1.000 Toneladas de verduras al año. En: *Ovacen*, 2022 [en línea]. Disponible en: <https://ovacen.com/granja-vertical-dinamarca/> [consulta: abril de 2023].
- GUTMANN, Martin y CASTILLO, Paula. Carbon-neutral vertical farming: Nordic Harvest. En: *Atlas of the Future*, 2021 [en línea]. Disponible en: <https://atlasofthefuture.org/project/nordic-harvest-vertical-farm/> [consulta: mayo de 2023].
- WOLFE, John. The latest year of research on bioshelters: A summary. *New Alchemy Quarterly* [en línea]. Massachusetts: New Alchemy Institute, 1982, no. 9, pp. 7-9 [consulta: abril de 2023]. Disponible en: <https://newalchemists.files.wordpress.com/2015/02/bioshelt.pdf>
- SOLSEARCH ARCHITECTS. *"Living Lightly on the Earth": Building an Ark for Prince Edward Island, 1974-76*. Halifax: Dalhousie Architectural Press, 2018. ISBN 978-0929112695.
- BARNHART, Earle. Bioshelter primer. *Journal of the New Alchemists* [en línea]. Massachusetts: New Alchemy Institute, 1977, no. 4, pp. 114-122 [consulta: abril de 2023]. Disponible en: <https://newalchemists.files.wordpress.com/2015/02/bioprime.pdf>
- ROSE, Steve. The Circle of Life. En: *The Guardian: The Observer Design*, 2019 [en línea]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/ng-interactive/2019/sep/29/the-new-alchemists-could-the-past-hold-the-key-to-sustainable-living> [consulta: abril de 2023].
- NEW ALCHEMIST INSTITUTE y SOLSEARCH ARCHITECTS. From our experience: The first three years aboard the Cape Cod Ark. *Journal of the New Alchemists* [en línea]. Massachusetts: New Alchemy Institute, 1980, no. 6, pp. 115-153 [consulta: abril de 2023]. Disponible en: <https://newalchemists.files.wordpress.com/2022/03/nai-journal-6.pdf>
- MARX, Leo. *The machine in the garden: technology and the pastoral ideal in America*. New York: Oxford University Press, 2000 (1967), pp. 8-9. ISBN 978-0195133516.
- ADAMS, Ross. Approaching the end: Eden and the catastrophe. *Log* [en línea]. New York: Anyone Corporation, 2010, no. 19, pp. 87-97 [consulta: mayo de 2023]. Disponible en: <https://rossexoadams.com/2010/05/25/approaching-the-end-eden-and-the-catastrophe-to-come/>
- TIMS, Anna. Tim Smit: how we made the Eden Project. En: *The Guardian*, 2014 [en línea]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/culture/2014/sep/29/how-we-made-the-eden-project-tim-smit> [consulta: mayo de 2023].
- GENTRY, Linnea y LIPTAK, Karen. *The Glass Ark: The Story of Biosphere 2*. New York: Viking Press, 1991. ISBN 978-0670841738.
- KELLY, Kevin. *Out of control: The rise of neo-biological civilization*. New York: Perseus Books, 1994, pp. 139-140, 150-152, 158, 166. ISBN 0-201-48340-8.
- WATSON, Traci. Can Basic Research Ever Find a Good Home in Biosphere 2? *Science* [en línea]. Washington DC: AAAS, 1993, vol. 259, no. 5102, pp. 1688-1689 [consulta: febrero 2023] DOI: <https://doi.org/10.1126/science.259.5102.1688>.
- L.E.O. Landscape Evolution Observatory (LEO). En *Biosphere 2, University of Arizona*, 2015 [en línea]. Disponible en: <https://biosphere2.org/research/research-initiatives/landscape-evolution-observatory-leo> [consulta: mayo de 2023].
- GITELSON, J., LISOVSKY, G. y MACELROY, R. *Man-made Closed Ecological Systems*. London: Taylor and Francis, 2002, p. 51. ISBN 9780429218996.
- DANITZ, Brian y ZELOV, Chris. *Ecological Design: Inventing the Future*. United States: Cinema Guild, 1994.

Tabla de ilustraciones

FIGURA 1 » Diagrama de ordenación de la mesa de muestras (eje horizontal: desarrollo según aumenta la heterogeneidad de especies y tamaño de la cápsula; eje vertical: franja superior para proyectos desarrollados en el s.XX, y franja inferior para prototipos del s.XXI). Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2 » Empaquetado de plantas en *Cajas de Ward*, archivo del Royal Botanic Gardens de Kew. Fuente: TORRES, Ana, ASENSI, Juan José y GAVIDIA, Valentín. La biosfera en un bote. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. Barcelona: Editorial Graó, 2015, no. 82, pp. 66-70. ISSN 1133-9837.

FIGURA 3 » Comparativa entre las *Cajas de Ward* y el *Stück Natur*. Fuente: WARD, Nathaniel Bagshaw. *On the Growth of Plants in Closely Glazed Cases*. Londres: Cambridge University Press, 2013 (1842). ISBN 978-1-108-06113-1; KLOTZ, Heinrich (ed.). *Postmodern visions: Drawings, paintings and models by contemporary architects*. New York: Abbeville Press, 1985. ISBN 9780896595699.

FIGURA 4 » Infraestructura interior de la granja vertical *Nordic Harvest*, Alastair Philip Wiper. Fuente: Nordic Harvest Vertical Farm, Denmark, 2023. <https://alastairphilipwiper.com/blog/nordic-harvest-vertical-farm>

FIGURA 5 » Exterior e interior del *Arca en Prince Edward Island*, Solsearch Architects. Fuente: SOLSEARCH ARCHITECTS. "Living Lightly on the Earth": *Building an Ark for Prince Edward Island, 1974-76*. Halifax: Dalhousie Architectural Press, 2018. ISBN 978-0929112695.

FIGURA 6 » Comparativa entre el diagrama metabólico proyectado y la infraestructura construida en el *Arca de Cape Cod*, The Journal of the New Alchemists. Fuente: ROSE, Steve. The Circle of Life. En: *The Guardian: The Observer Design*, 2019 [en línea]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/ng-interactive/2019/sep/29/the-new-alchemists-could-the-past-hold-the-key-to-sustainable-living> [consulta: abril de 2023].

FIGURA 7 » Vista exterior e interior del recinto que acoge el Bioma Templado Cálido en el *Eden Project*, Grimshaw Architects. Fuente: Closed Worlds. Disponible en: <https://www.closed-worlds.com/eden-project>

FIGURA 8 » Vistas exteriores de la apertura de los paneles abatibles de ventilación del *Eden Project*, Graham Gaunt – Arup Group. Fuente: Closed Worlds. Disponible en: <https://www.closed-worlds.com/eden-project>

FIGURA 9 » Comparativa entre el proyecto inicial planteado y la fisionomía definitiva ejecutada del *Biosphere II*, Peter Anker. Fuente: ANKER, Peter. The Ecological Colonization of Space. *Environmental History*. Chicago: The University of Chicago Press, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 239-268. DOI: 10.1080/13602360500463230.

FIGURA 10 » Imágenes interiores de los biomas del *Biosphere II*, Space Biospheres Venture. Fuente: Closed Worlds. Disponible en: <https://www.closed-worlds.com/biosphere-ii>