

Evaluación de estructuras neumáticas como respuesta eficaz ante situaciones de emergencia sanitaria en Chile

Estudiante: Amanda Catalina Machuca Cornejo

Profesor guía: Carla Cortes Hernández

Resumen

Las emergencias de salud pública causadas por enfermedades epidémicas nunca han estado exentas de ocurrir. Cada cierto rango de tiempo, y a lo largo de la historia, han existido pandemias que han provocado crisis a nivel regional, nacional y mundial. La pandemia del Covid-19, que hasta el día de hoy no ha sido erradicada, en conjunto con la aparición de nuevos brotes epidémicos, son tema de interés en el sistema de salud. A partir de estos fenómenos surge la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los potenciales de la implementación de estructuras neumáticas como un espacio temporal habitable que ayude a la recuperación de pacientes, controlando el avance de enfermedades presentes en una emergencia sanitaria? En el desarrollo de esta investigación, se busca responder la pregunta anterior mediante de la evaluación de los potenciales presentes en las estructuras neumáticas, y la comparación con recintos sanitarios de emergencias propuestos para contener y controlar el avance del Covid-19.

Palabras clave: Estructuras neumáticas, Emergencias sanitarias, Covid-19, Estructuras prefabricadas, Construcciones modulares

1. Introducción

Una emergencia de salud pública de importancia internacional (ESPII), según el Reglamento Sanitario Internacional (2005)

Es un evento extraordinario que constituye un riesgo para salud pública de otros Estados a causa de su propagación internacional y que podría requerir una respuesta internacional coordinada. Es declarada por el director general de la Organización Mundial de la Salud (OMS), tras la evaluación y recomendación de un comité de emergencias. (COVID-19 Glosario Sobre Brotes Y Epidemias, 2020, p.1).

Ante una ESPII la OMS establece criterios de acción en función del nivel de alcance y las etapas de propagación de un virus o enfermedad. Es así como el día 11 de marzo del año 2020, cuando comienza una de las crisis más importantes de los últimos 100 años causada por el virus SARS-CoV2. La OMS declara pandemia de nivel mundial.

Ante esta situación a nivel nacional comienza a generarse un déficit en la capacidad hospitalaria, debido a el colapso de recintos asistenciales, que dieran soporte al alza de

contagios y el control de salud de otro tipo de enfermedades, teniendo que reconvertir casi el 100% de la capacidad hospitalaria nacional para la atención de pacientes con SARS-CoV-2". (El impacto de covid19 en el sistema de salud y propuestas para la reactivación, 2020, p.20).

En vista de lo anterior, se busca una manera de aumentar los recintos de atención a pacientes que estuvieran principalmente contagiados de Covid-19. Es así como, con la propuesta de solución temporal de separar y aislar a los pacientes, se controla el aumento en el número de casos y se busca controlar la emergencia. Dicha solución propuesta dio una respuesta que no fue inmediata. En una primera instancia, se adaptaron espacios para la atención y evaluación de pacientes, además de otros espacios para que estos realizaran cuarentena (residencias sanitarias). Luego se realizaron construcciones para crear nuevos espacios para la atención y detección de pacientes contagiados por Covid-19, que en su mayoría fueron pensados para ser ubicados en las cercanías de los centros de salud. Estas construcciones fueron con realizadas diseños convencionales o modulares, en las que se utilizaron materiales como el acero, madera, o paneles prefabricados. Por otro lado, existen casos internacionales que plantearon la creación de estructuras neumáticas para dar respuesta rápida y eficiente a la pandemia.

La existencia de una investigación enfocada en la evaluación de potenciales presentes en las estructuras neumáticas para dar solución y soporte a viviendas de emergencia requeridas en un contexto provocado por un desastre natural donde se vea afectada la población (Nannig Abello, 2020). En esta investigación explora de manera anexa las soluciones generadas con la llegada del Covid-19, dejando puntos en la investigación que no se exploraron en su totalidad.

Tomando en cuenta la línea investigativa inconclusa, establecida por la investigación anteriormente mencionada, se establecerá un estudio investigativo que busca continuar con el estudio existente. A través de un enfoque limitado únicamente en soluciones propuestas en la pandemia producida por el Covid-19. A través de la arquitectura y la tecnología se buscará evaluar los potenciales de las estructuras neumáticas para su implementación en la construcción de espacios que respondan y controlen el avance de enfermedades presentes en emergencias sanitarias, en comparación a otras estructuras propuestas en pandemia.

2. Antecedentes

2.1. Emergencias sanitarias, pandemias y epidemias

Una enfermedad puede incidir en la población, a mayor o menor escala, de un área o región determinada, y dependiendo del nivel de impacto que genere se puede considerar como brote epidémico, epidemia o pandemia.

En una primera aparición y con un grado de incidencia menor en la población se encuentran los brotes epidémicos, que se entiende como dos o más casos asociados epidemiológicamente entre sí.

Cuando el brote epidémico presenta un avance en el tiempo y este no puede ser controlado generando así un mayor número de contagios, además de una incidencia en un área geográfica mayor, se considera como una epidemia.

Si una epidemia no se puede controlar a tiempo y además se extiende en un área geográfica de gran magnitud, y a través de más de un continente, se declara pandemia mundial, afectando a un gran número de personas.

A partir de estas circunstancias la Organización Mundial de la Salud establece parámetros para evaluar el nivel de incidencia y clasificar el tipo de contagio, además de establecer 4 etapas de contagio, desde su aparición, transmisión localizada, aumento de contagios alcanzando una epidemia o pandemia y remisión en su totalidad o parcialmente (Centro De Tratamiento De Infecciones Respiratorias Agudas Graves, 2020, p.7).

Dentro de las etapas de una epidemia, las medidas de prevención deben anticiparse ante la aparición de una nueva enfermedad para poder controlar la propagación hacia otras áreas geográficas. La epidemia es controlada cuando se ha alcanzado la inmunidad y se han obtenido resultados eficaces ante las medidas aplicadas. Ante esta situación se debe mantener el control hasta erradicar la enfermedad y su incidencia en el área afectada.

2.2. Pandemias a nivel mundial en la historia

Las enfermedades contagiosas han estado presentes a lo largo de la historia, en diferentes periodos y magnitudes, desde que el ser humano comenzó a establecerse como sociedad y a compartir territorios. Por lo que la llegada de pandemias y epidemias que afecten la salud pública siempre ha estado presente.

En los últimos años han existido diversas enfermedades que han generado una emergencia sanitaria, algunas clasificadas en un grado de brotes, epidemias y otras de pandemia, provocando un número de muertes considerables.

En la siguiente tabla se presentan 6 de las enfermedades con un mayor número de muertes en la población en los últimos 100 años.

Tabla 1: Epidemias y Pandemias con mayor mortalidad en los últimos 100 años, elaboración propia a partir de recopilación de datos a partir de fuentes de información. (*HistoryOfVaccines.Org*, s. f.)

Enfermedad	Duración	Origen	Expansión	Clasificación	N° de muertes	Tasa de letalidad
Encefalitis letárgica	1915-1926	No se sabe con exactitud	Mundial	Pandemia	1.5 millones +	2.3%
Gripe Española	1918-1920	China - Usa	Mundial	Pandemia	100 millones +	20%
Tifus Ruso	1918-1922	Rusia	Nacional	Epidemia	3 millones +	Sin información
Gripe Asiática	1957-1958	China	Mundial	Pandemia	1.5 millones +	4%
SIDA	1981-presente	Camerún	Mundial	Pandemia	40 millones +	100%
Covid-19	2019-presente	China	Mundial	Pandemia	6.5 millones +	1.25%

Dentro de las enfermedades presentadas en la tabla 1, algunas de ellas se transmiten por vías respiratorias y fluidos como saliva que son transmitidos al toser.

Hasta el día de hoy siguen apareciendo nuevas enfermedades que inician como brote epidémico pero que si no se toman las medidas pertinentes pueden avanzar a un nivel de epidemia o pandemia. Actualmente la OMS tiene 3 alertas de emergencias de salud. La pandemia del covid-19 que aún no ha alcanzado un grado de remisión; el brote epidémico de viruela sísmica (Monkeypox); el resurgimiento del brote de cólera en el área de Puerto Príncipe, Haití.

2.3. Arquitectura frente a emergencias sanitarias

Cuando se presenta una emergencia de salud pública, se busca mitigar y contener la expansión de la enfermedad que generó la emergencia, por lo que las infraestructuras utilizadas para aislar a la población deben tener la capacidad de otorgar la seguridad al personal sanitario y a los pacientes atendidos.

La arquitectura de emergencia sanitaria se debe adaptar a las necesidades y protocolos que se establezcan para dar respuesta a la emergencia, lo que tendrá incidencias en el diseño y equipamientos de las infraestructuras.

Dentro una instalación hospitalaria de emergencia sanitaria se consideran diferentes tipos de infraestructuras que definirán los equipamientos requeridos y funciones que cumplen, dentro de los cuales la OMS ha establecido un “Manual práctico para instalar y gestionar un centro de tratamiento de infecciones respiratorias agudas” (Centro De Tratamiento De Infecciones Respiratorias Agudas Graves, 2020), a raíz de la pandemia del Covid-19. Así, podemos ver las siguientes infraestructuras:

- Infraestructura de control y detención: corresponden a los puntos de control, salas de esperas y triage (El *triage* es un sistema de selección y clasificación de pacientes en los servicios de urgencias (triage, s.f)) que se organizan para separar a los contagiados e intentar contener los focos activos evitando futuros contagios.
- Infraestructura de aislamiento y tratamiento: habilitar áreas para el aislamiento y tratamiento de enfermos.
- Infraestructura de apoyo técnico: laboratorios, vacunatorios, logística y almacenamiento, sistema de agua y gestión de residuos.

Para garantizar el correcto funcionamiento de las instalaciones la OMS ha establecido recomendaciones para el tratamiento de pacientes con enfermedades infecciosas, dentro de las cuales se deben considerar las siguientes:

- Los espacios con sistema de aire donde exista una recirculación hacia otros recintos deberán contar con filtros de alta eficiencia (HEPA), que filtren el aire contaminado antes de la recirculación.
- Se deben evaluar los recursos hídricos de la zona en la cual se establezca la estructura dispuesta, viendo la capacidad, calidad y disponibilidad.
- Se debe proporcionar un buen acceso garantizando la vigilancia y protección de pacientes, visitantes y personal.

Considerando las recomendaciones para la implementación de estructuras sanitarias, se establecerán características de estructuras neumáticas para evaluar su utilización de manera segura en emergencias sanitarias.

2.4. Antecedentes históricos de las estructuras neumáticas

Las primeras exploraciones de las estructuras neumáticas en la arquitectura inician principalmente en el siglo XX, utilizadas en sus comienzos para fines militares en la segunda guerra mundial como elementos protectores de radares.

Las ideas iniciales fueron formuladas por el ingeniero inglés Frederick William Lanchester, quien proponía un hospital de campaña con una estructura sustentada por una serie de cojines hinchados con aire a presión. Esta idea no se llevó a cabo, por lo que años más tarde el arquitecto Wallace Neff en 1941 realizó una construcción, que utilizaba como base un globo para poder generar una forma esférica con hormigón. Esta idea se replicó en varios países debido a su bajo costo en la construcción, y alta eficiencia energética. Se denominó a este tipo de proyectos como "Bubble House".

En 1948, el ingeniero norte americano Walter Bird, construyó el primer edificio hinchado llamado "Radome", estaba construido a base de membranas plásticas, años más tarde siguió creando proyectos para diferentes usos a partir de estructuras neumáticas con plásticos translúcidos.

A partir de 1950, Frei Otto y Buckminster Fuller, realizaron proyectos y pruebas, teniendo como base las cúpulas geodésicas (estudio de la forma y dimensiones de la tierra), para formular la teoría de las estructuras neumáticas.

La historia y la cronología de las evoluciones de las estructuras neumáticas nos permite entender cómo transcurrió el avance tecnológico. En base a esto podemos determinar las características y variables que son más relevantes para el correcto funcionamiento dentro del sistema.

2.5. Estructuras neumáticas

Según la definición de Roger N. Dent las estructuras neumáticas son:

cualquier estructura soportada o motivada por la acción de una diferencia de presión creada con aire (Roger N.Dent, 1975).

Entre sus características está el ser flexibles y ligeras, debido a que son fabricadas con un material textil o un film plástico, muy delgado y de bajo peso. Esto permite que las estructuras puedan ser móviles y fáciles de transportar. Estas desafían la gravedad, producto a la presión interna de la estructura que se contrapone a la fuerza de gravedad, lo que permite que sean estructuras autosoportantes. Lo anterior supone una gran ventaja y marca una diferencia con respecto a las estructuras convencionales, que resultan ser en gran medida estructuras rígidas, y de un mayor peso que las estructuras neumáticas.

Los principales componentes para la funcionalidad de las estructuras neumáticas son: una membrana, de un material textil o film plástico; y aire, que le otorga la forma volumétrica, generando una estructura autosoportante que pueden prescindir de cualquier otro anexo estructural. El aire produce una tensión en la membrana y define la forma requerida. Además, tiene la capacidad de transmitir las tensiones como compresión, aplicando una fuerza constante a la membrana.

Las estructuras neumáticas, están definidas por normas físicas que dan forma y determinan el diseño, a través de una fórmula que se compone de la presión interior de la construcción, la tensión de la membrana y los radios de curvaturas que definen la forma.

Existen diferentes tipos de estructuras neumáticas que dependen de la presión ya sea positiva o negativa, como se muestra en los siguientes esquemas (figura 2).

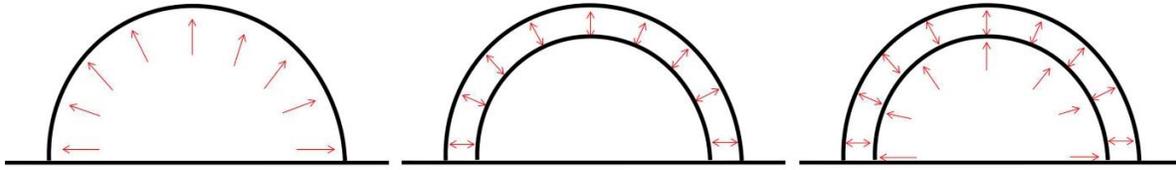


Figura 1: Tres tipos de estructuras neumáticas (de izquierda a derecha) Baja presión positiva, alta presión positiva, híbrida (baja y alta presión positiva). Elaboración propia

Las consideraciones que se deben contemplar al momento de construir una estructura neumática para su utilización en emergencias sanitarias son: climatización, recirculación de aire, presión de aire constante en el interior, control térmico y accesos (se debe mantener el confinamiento del espacio).

2.6. Curvatura sinclástica

Son aquellas que en todos los puntos de la superficie existe una misma curvatura. Es decir, la intersección de un plano perpendicular a dicha superficie produce una línea de intersección que siempre tiene la concavidad hacia el mismo lado (ESTRUCTURAS SINCLÁSTICAS - Issuu, s. f.).

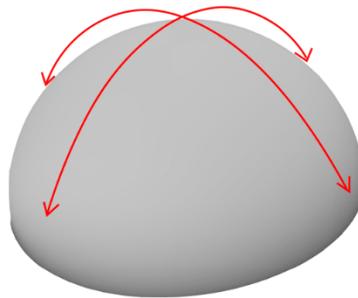


Figura 2: Esquema de estructura sinclástica, elaboración propia

Su forma principal es, de cúpula compuesta en base a curvaturas positivas intersecadas entre sí generando una forma sinclástica.

2.7. Materialidad

Para la construcción de las estructuras neumáticas se utilizan diferentes materiales dependiendo de la escala y la función requerida. Dentro de los materiales utilizados en estructuras neumáticas se encuentran: Film de PVC, PES-PVC, ETFE, nylon, poliéster, fibra de vidrio, entre otros.

Las películas plásticas pueden ser transparente debido a que su uso es recomendado en infraestructuras sanitarias para facilitar la vigilancia de los pacientes.

Para el refuerzo y mayor eficiencia de los materiales, las membranas pueden ser revestidas así aumentan su resistencia, durabilidad, filtración del calor y luz. Por ejemplo, es posible revestirlas con películas de PVC, poliéster o poliuretano. (Krauel, 2013, p.46)

3. Métodos

3.1. Visión general

Esta investigación se llevó a cabo mediante una metodología no experimental la cual se entiende como:

Yna metodología con base a eventos que ya sucedieron o se dieron en la realidad sin manipulación o intervención del investigador, por lo general con una visión retrospectiva conocida también como expos-facto; en este tipo de estudios las variables independientes acontecen sin que se tenga control sobre ellas (Universidad Naval, s.f.).

Se considera un diseño de investigación mixta, descriptiva y explicativa, utilizando un método analítico.

En una primera parte se realizó una revisión de antecedentes con una técnica de recolección de información a través de fuentes bibliográficas primarias y secundarias. Posteriormente, se efectuó una selección de casos de estudio a nivel descriptivo y se establecieron criterios para entender el comportamiento y características de los casos seleccionados. Lo anterior, se hizo con el objetivo de evaluar los potenciales de las estructuras neumáticas para su implementación en la construcción de espacios que den soporte a el avance de virus y enfermedades presentes en emergencias sanitarias en, comparación a otras estructuras propuestas durante la pandemia. De esta manera, se consideraron el tiempo y los mecanismos de respuesta, y se comprendió la tipología, características, efectividad y funcionalidad de dichas estructuras.

Utilizar esta metodología permitirá comprender los antecedentes históricos enfocados en un contexto de emergencias sanitarias específicamente en el más actual, la pandemia del Covid-19, donde se establecieron recomendaciones y consideraciones al momento de construir espacios sanitarios para dar soporte a los recintos de salud ampliando la capacidad de atención.

Por otro lado, se presentaron los antecedentes históricos de las estructuras neumáticas lo que evidencia el avance tecnológico existente desde las primeras apariciones de las estructuras hasta las estructuras propuestas hoy en día. Esto nos permite entender su funcionamiento para posteriormente ser ejemplificado con casos de estudios en un contexto de emergencias sanitarias.

3.2. Selección de casos de estudio

Dado que el estudio busca evaluar y comparar a las estructuras neumáticas con otras estructuras propuestas a raíz de emergencias sanitarias, se realizó una selección de casos de estudio construidos o presentados con el propósito principal de dar una respuesta o solución ante la llegada del Covid-19 y la poca disponibilidad en los centros de salud. La mayoría de estos considera un tiempo corto en la instalación no mayor a 1 mes.

Para la selección de los casos de estudios se buscó que las estructuras seleccionadas fueran de características similares para ser evaluadas bajo los mismos parámetros. Las características para comparar los casos de estudio son:

1. **Tamaño:** se consideran los proyectos en que el módulo principal no supera los 200m² (sin considerar la suma de m² de los módulos al ser ampliados y unidos con otros módulos), principalmente debido a que la mayoría de las propuestas sugieren ubicar las estructuras en cercanías de los recintos asistenciales por lo que se deben adaptar a los espacios existentes.

2. Volumen de aire: este parámetro nos permite identificar la cantidad de aire en el interior de las estructuras propuestas
3. Materialidad: nos permite determinar características materiales de los casos de estudio y verificar si los materiales propuestos pueden ser limpiados y desinfectados con facilidad, si son resistentes ante diferentes eventos climáticos, entre otro tipo de características.
4. Tiempo de construcción: para identificar la rapidez de respuesta de cada caso de estudio y evaluar cuál responde más rápido ante las situaciones de emergencias sanitarias.
5. Peso: nos permite establecer si las estructuras requieren de otro tipo de maquinarias para ser movidas e instaladas en la ubicación determinada.
6. Tipo de ventilación: nos permite establecer si el tipo de ventilación que se utiliza garantiza la calidad del aire en los establecimientos de salud de acuerdo con las recomendaciones de la OMS (se debe asegurar una tasa de ventilación ideal de 160 litros por segundo por paciente, con un mínimo de 80 litros por segundo por paciente)
7. Capacidad de atención (n° de pacientes por módulo): posibilita la comparación entre las diferentes propuestas entre m² y número de pacientes para ver cuáles son las diferencias entre módulos de similares capacidades.

Finalmente, dentro de las características mencionadas se llegó a seleccionar 11 casos de estudio internacionales y 1 caso de estudio nacional. Estos son los siguientes:

1. CNC-MEM (Módulo de Emergencia Médica), KOTKO
2. CURA (Unidades Conectadas para Enfermedades Respiratorias), Carlo Ratti e Italo Rota
3. Hospital Modular de Emergencia, MMW Architects
4. Hospital ships, Weston Williamson + Partners
5. JUPE HEALT, JUPE
6. KAKSH, AGX Architects
7. MOBILE PPS (Personal Protective Space) for Doctors, Plastique- Fantastique
8. Mobile hospital, VHL Architecture
9. Rescue Center, HAHA Architects Group
10. Refugio de emergencia plegable, Gonzalo Guzmán
11. Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil, Universidad de la Salle
12. Zona Cero, FAU Uchile

3.3. Clasificación de casos de estudio

Ya seleccionados los casos de estudio se realizó una clasificación según las tipologías estructurales en las construcciones presentes en los proyectos o propuestas, con el fin de entender el funcionamiento y resistencia de las estructuras, de las cuales se presentan las siguientes:

1. Construcciones prefabricadas: es un sistema de construcción basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se llevan a su posición definitiva para montar la edificación tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa. Tal es así que, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, y no de elaboración. (Serrador, 2017b).

2. Construcciones modulares: el Modular Building Institute las define como "la construcción modular es un proceso en el que un edificio se construye fuera del sitio, bajo condiciones controladas, utilizando los mismos materiales y diseñando con los mismos códigos y estándares que las instalaciones construidas convencionalmente, pero en aproximadamente la mitad del tiempo"
3. Estructuras neumáticas, como se mencionó en los antecedentes de la investigación, las estructuras neumáticas se entienden como estructuras que se soportan a partir de una diferencia de presión de aire. En este caso las estructuras son unidas y ensambladas en un taller o fábrica, siendo montadas e infladas en la ubicación final del proyecto.

La principal diferencia que existe entre las construcciones prefabricadas y la arquitectura modular según el Modular Building Institute, es que la primera prepara las piezas unitarias en taller que posteriormente necesitan de una puesta en obra in-situ al igual que la construcción tradicional. Por otro lado, la arquitectura modular elimina los problemas presentes en el montaje en obra por lo que las piezas llegan completamente ejecutadas desde fábrica, disminuyendo el impacto en el entorno.

Esta clasificación nos permite establecer las ventajas y desventajas entre los diferentes casos de estudio propuestos. Además de esto, se establecieron algunos parámetros para medir la constructividad de cada caso de estudio propuesto. La constructividad se define como:

El grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto (Loyola y Goldsack, 2010).

Dentro de los parámetros de constructividad se consideran los siguientes: montaje, mano de obra, tiempo, flexibilidad, simplicidad y reutilización o reciclaje de material. A través de esta evaluación se espera poder obtener las potencialidades de las estructuras neumáticas en comparación a las otras propuestas modulares y prefabricadas aplicadas a la arquitectura hospitalaria de emergencia sanitaria.

4. Resultado

4.1. Casos de estudio seleccionados

A continuación, se presentan los casos de estudios con las características principales que se utilizaron para poder visualizar las diferencias entre las propuestas.

Tabla 1: Epidemias y Pandemias con mayor mortalidad en los últimos 100 años.

Nombre del proyecto	Tamaño del módulo	Volumen de aire	Materialidad	Facilidad de limpieza y desinfección	Tiempo de construcción/ instalación	Peso	Tipo de ventilación	Capacidad de atención
---------------------	-------------------	-----------------	--------------	--------------------------------------	-------------------------------------	------	---------------------	-----------------------

CNC – MEM KOTKO	6,25 m2	15,25 m3	6 láminas de madera contrachapada de pino de dimensiones 1,22 cm x 2,44cm, perfiles de acero.	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	10 minutos	Definen como de peso ligero	Ventilación natural	1 paciente por módulo
CURA Carlo Ratti e Italo Rota	14,88 m2 (Espacio modular del contenedor) 25 m2 (Espacio modular + infraestructura hinchable)	300 m3/ hora	Contenedor de envío de 20 pies, infraestructura hinchable de tejido de poliéster recubierto en PVC	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	10 días	2.300 kg	Sistema de climatización y ventilación HVAC, con un filtro HEPA, Suministra aire filtrado a 300m3/hora	2 pacientes por módulo
Hospital Modular de Emergencia MMW Architects	14,88 m2 (Espacio modular del contenedor) 2.697,43 m2 superficie útil total	33,53 m3/	Contenedor de envío de 20 pies y lona en el área de circulación inflable (estructura neumática)	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	Sin información	2.300kg		48 pacientes/48 salas
Hospital Ships Weston Williamson + Partners	14,88 m2	33,53 m3	Contenedor de envío modificado en sus puertas utilizando un panel de perspex	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	Sin información	2.300 kg	Ventilación mixta, ventilación natural y aire acondicionado	1 paciente por módulo
JUPE HEALT JUPE	10-20 m2	25-50 m3 aprox.	Lona impermeable y mástiles de aluminio	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	No se especifica con exactitud, pero menciona que es un tiempo menor a día	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación mecánica	1 a 2 personas
KAKSH AGX Architects	29,73 m2	55,36 m3	Materialidad: Paneles Puff, acero	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	2 horas	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación natural y sistema HVCA (no se especifica con detalle)	1 paciente por módulo
MOBILE PPS Plastique-Fantastique	92,8 m3	92,8 m3	TPU blanco y transparente	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	Sin información	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación mecánica	1 paciente por módulo

Mobile Hospital VHL Architecture	4,8 m2	12 m3 aprox.	Tubos de hierro, tableros de cemento y lona impermeable	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	2 horas	No se especifica a con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación mixta, ventilación natural y aire acondicionado	1 paciente por módulo
Rescue Center HAHA Architects Group	14,88 m2	33,53 m3	Contenedores TEU	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	Tiempo estimado de montaje es solo un par de horas (No se especifica con exactitud)	2.300 kg	Ventilación mixta, ventilación natural y aire acondicionado	1 paciente por módulo
Refugio de emergencia plegable Gonzalo Guzmán	No establece dimensiones en la propuesta, realiza una propuesta en sistema constructivo	No especifica	Estructura rígida de paneles (establecen que pueden ser de cualquier material), cobertura de tela	En este caso dependerá del material que se escoja para construir esta propuesta	Propone una instalación rápida, no especifica el tiempo con exactitud	Ligero, dependiendo del material que se realice	Ventilación natural	1 paciente por módulo
Unidad de Aislamiento Epidemiológico Universidad de La Salle	125 m3 por domo y 1,149 sistema de 9 domos	6,840 m3/hora (sistema de 9 domos)	Film de PVC transparente en conjunto con una membrana PES-PVC	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	2 horas	390 g/m2 (valor del material utilizado)	Ventilación mecánica, a través de ventiladores centrífugos motorizados con filtro HEPA	2 pacientes por módulo
Zona Cero FAU, Uchile	110 m2	443,53 m3 aprox.	Panel aislante autosoportante un esqueleto de acero galvanizado	El proyecto presenta terminaciones sanitizables lo que permite una correcta desinfección y limpieza del espacio	17 días		Ventilación natural a través de una cubierta ventilada	Sin información

A través de las características de los casos de estudio seleccionados podemos ver que las propuestas realizadas buscan responder rápidamente y brindar una solución efectiva ante la emergencia sanitaria presente. Pese a que algunas de ellas no especifican con exactitud el tiempo de desarrollo, consideran un tiempo acotado para el montaje e instalación, teniendo en consideración que el tiempo estimado es de 1 módulo o sistema propuesto. Por lo tanto, la instalación de un mayor número de módulos sistema aumentarían la cantidad de tiempo, lo que depende exclusivamente de la cantidad necesaria a instalar. Se debe considerar que, en los casos de estudios propuestos con una unidad creada con contenedores de envío, se requerirá maquinaria para mover y montar los módulos, por lo que se debe tener en cuenta la capacidad de la maquinaria y el número de personas requeridos para su instalación.

4.2. Propuesta de diseño y estructura propuesta

A continuación, se presentan las propuestas de diseño que realizan los diferentes casos de estudio, la estructura que planteada y los diferentes componentes de cada una.

Caso 1: CNC – MEM (Módulo de Emergencia Médica), KOTKO

Se inspiran en un diseño “open source”, buscando su reconceptualización. Su objetivo es realizar un módulo que puede crecer, aumentar su capacidad y si es necesario crear un pabellón, que comparta las instalaciones mecánicas y eléctrica entre módulos, adaptándose al emplazamiento y a las necesidades de la población. El diseño propone usar la cantidad mínima de material y poder transportarse en un vehículo.

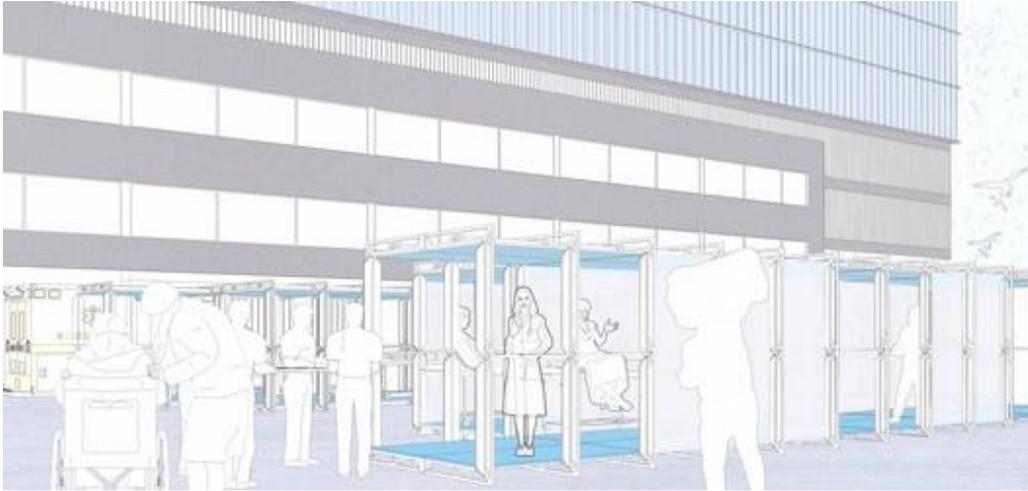


Figura 3: Sistema de módulos CNC – MEM (Ane Efe Santana, C., & Chaves, L. 2020)

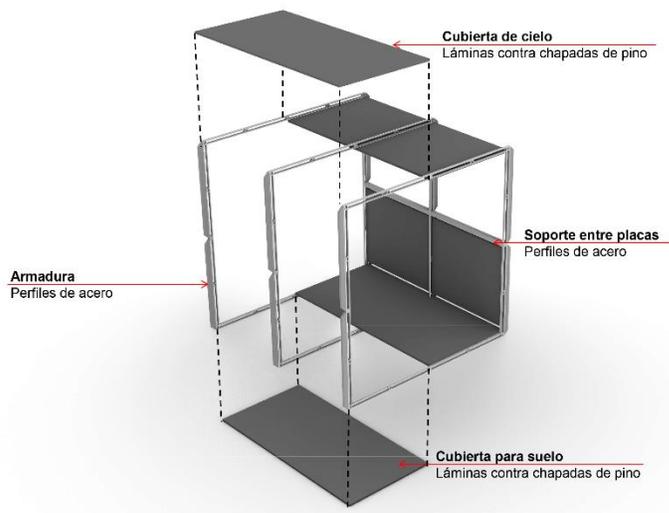


Figura 4: Estructura de 1 CNC - MEM, elaboración propia a partir de la fuente (Ane Efe Santana, C., & Chaves, L. 2020).

Caso 2: CURA (Unidades Conectadas para Enfermedades Respiratorias), Carlo Ratti e Italo Rota

Buscan mejorar la eficiencia de los hospitales de campaña, con una propuesta de código abierto para ser replicada en otras partes del mundo. Presenta una instalación rápida de manera segura y eficaz, adaptable a las necesidades y la capacidad de la infraestructura del lugar. Proponen además un espacio adaptado para ser utilizados por pacientes en UCI (Unidad de Cuidados Intensivos), donde pueden permanecer de manera segura, ya que el módulo considera un equipo de biocontención y todos los equipos médicos necesarios en el interior de la infraestructura. La unidad proyectada está pensada para ubicarse cerca de un hospital o un hospital de campaña independiente, y conectarse a través de una estructura hinchable las instalaciones médicas en el lugar.



Figura 5: Estructura de módulo cura, (Carlo Ratti Associati. s. f.)

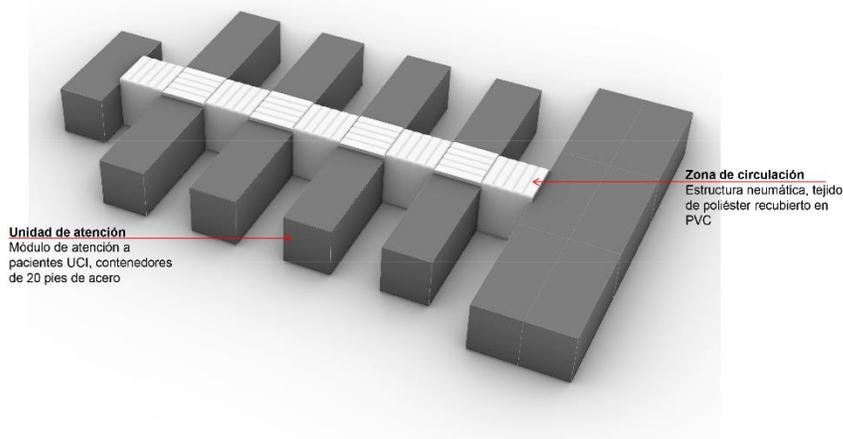


Figura 6: Sistema de módulos y circulaciones, como posible configuración, elaboración propia a partir de la fuente (Carlo Ratti Associati. s. f.).

Caso 3: Hospital Modular de Emergencia, MMW Architects

Plantean un hospital modular, con un diseño eficiente, flexible y asequible con un sistema de construcción a través del uso de contenedores de envíos reciclados y telas inflables. La disposición de los módulos permite que las ambulancias se ubiquen directamente en los módulos de los pacientes, permitiendo que estos no deban transitar en el interior del hospital. Además, se ubica en las cercanías de un hospital y funciona trabajando como un hospital satélite.

Al igual que el proyecto CURA, el uso está destinado a pacientes UCI. En el interior del módulo se dispone de equipamientos sanitarios y de una esclusa que permite mantener la presión de aire en el área de circulación además de un espacio de desinfección segura.

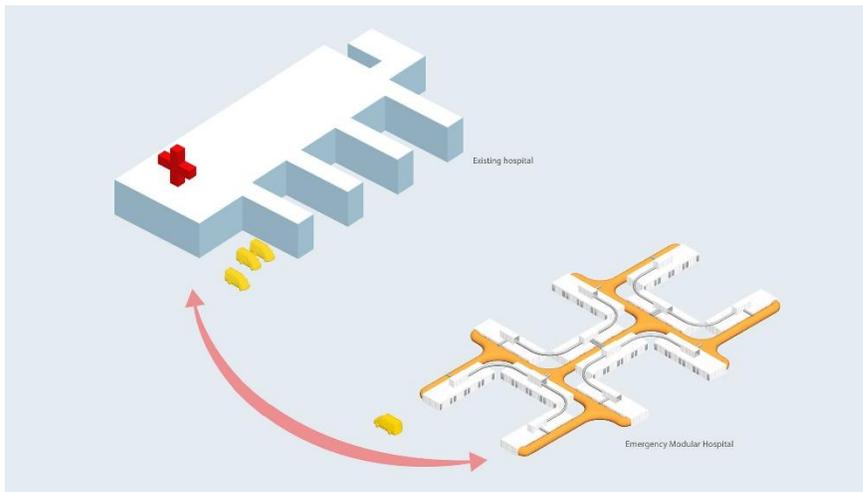


Figura 7: Sistema de módulos y circulación del Hospital Modular de emergencia (Emergency Modular Hospital | MMW Architects, s. f.)

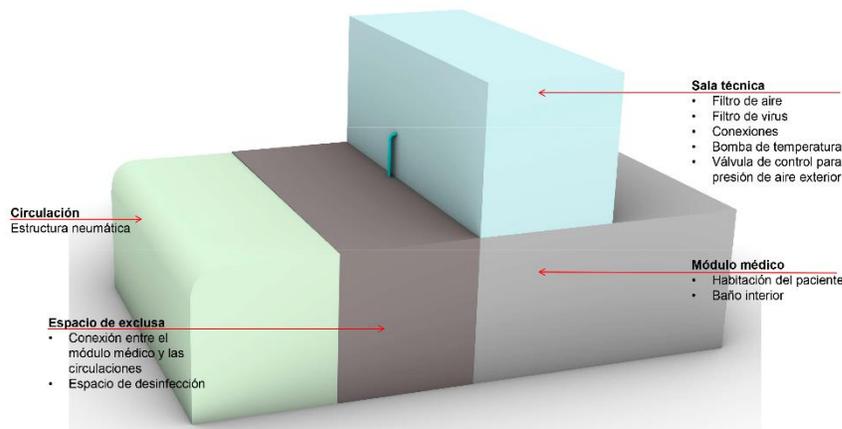


Figura 8: Módulo médico e instalaciones, elaboración propia a partir de la fuente (Emergency Modular Hospital | MMW Architects, s. f.).

Caso 4: Hospital ships, Weston Williamson + Partners

Presentan una propuesta que se enfoca en una duración a largo plazo. Formulan un diseño que definen como sencillo y elegante, que busca asegurar el uso inteligente de recursos. Proponen el uso de contenedores de envío que se adaptan cambiando las puertas de acero por un panel perspex. Al igual que en el caso de CURA y del Hospital Modular de emergencia, los módulos están destinados para el uso de pacientes UCI, con la diferencia de que proponen ubicar los módulos en barcos, teniendo una capacidad de ubicar 2000 contenedores destinados para Cuidados Intensivos dentro de la embarcación.

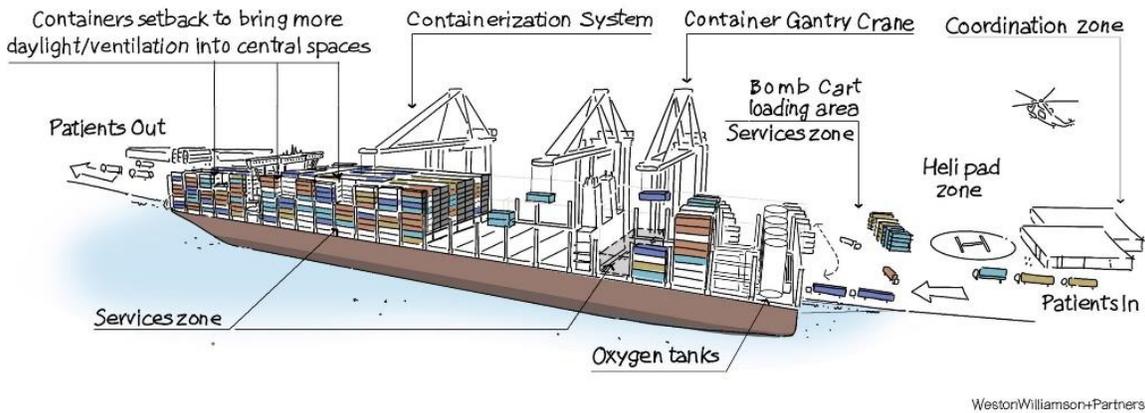


Figura 9: Propuesta de Hospital ships, Weston Williamson + Partners (Ravenscroft, 2022)

Modular & robust shipping containers

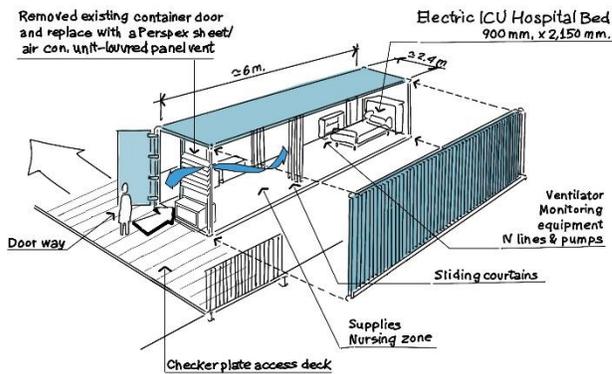


Figura 10: Módulo de Hospital ships, Weston Williamson + Partners (Ravenscroft, 2022)

Caso 5: JUPE HEALT, JUPE

Exponen un diseño pensado en la comodidad, el cuidado y el bienestar de los pacientes. Son unidades a bajo costo que tienen un valor de 1/30 del costo de una habitación de hospital, de fácil transporte y pueden ser enviadas a cualquier lugar, a través de una camioneta de servicio pesado con un carro de arrastre acoplado. Utilizan tecnología inspirada en la industria automotriz, altamente escalables, rentables, proponen una unidad que se despliega y se guarda en la base del módulo. Esta propuesta no considera la ampliación y conexión entre módulos.



Figura 11: Unidad JUPE HEALT, despliegue, transporte y guardado, (Baldwin, 2020)

Caso 6: KAKSH, AGX Architects

Una unidad prefabricada de estructura en A. proponen cuatro funcionalidades: unidad hospitalaria de cuarentena, refugio de cuarentena para un paciente o laboratorio de pruebas. A través del uso de las unidades se busca aumentar la capacidad hospitalaria para pacientes que no se encuentran en la UCI (Unidades de Cuidado Intensivo), pero al estar en cuarentena, requieren atención 24 horas al día y 7 días a la semana.

Presentan una solución eficaz, flexible y rápido. Tiene el potencial de ampliarse y unirse entre módulos, simplificando las operaciones mínimas en el sitio, cuyos materiales son de fácil adquisición y bajo costo.



Figura 13: Sistema y configuraciones de proyecto Kaksh, (Harrouk, 2020)

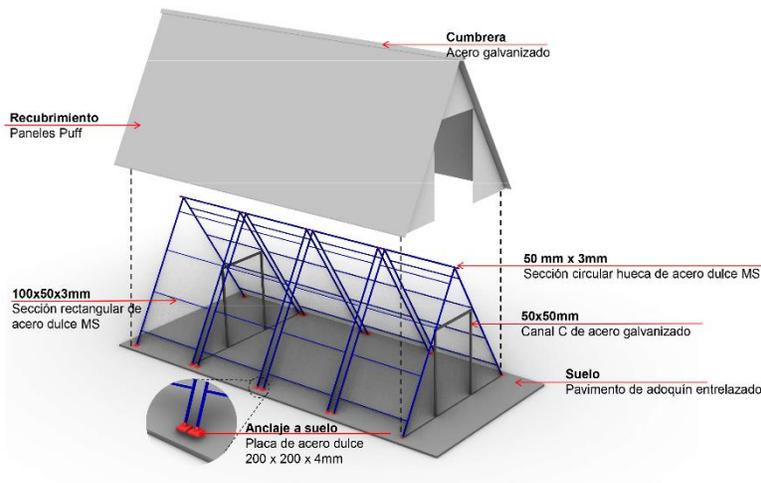


Figura 14: Estructura de 1 unidad de proyecto Kaksh, elaboración propia a partir de la fuente (Harrouk, 2020)

Caso 7: MOBILE PPS (Personal Protective Space) for Doctors, Plastique- Fantastique

Un espacio de protección móvil para profesionales de la salud, mediante una estructura neumática con una sobrepresión constante, permitiendo que el aire fluya solo hacia el exterior, sin dejar que virus ingrese. Por esto, se utiliza un espacio de exclusa para la desinfección antes de ingresar al espacio, además de utilizar este para mantener la presión interior de manera constante.



Figura 15: Interior módulo Mobile PPS (Mobile PPS for Doctors - Plastique Fantastique. s. f.)

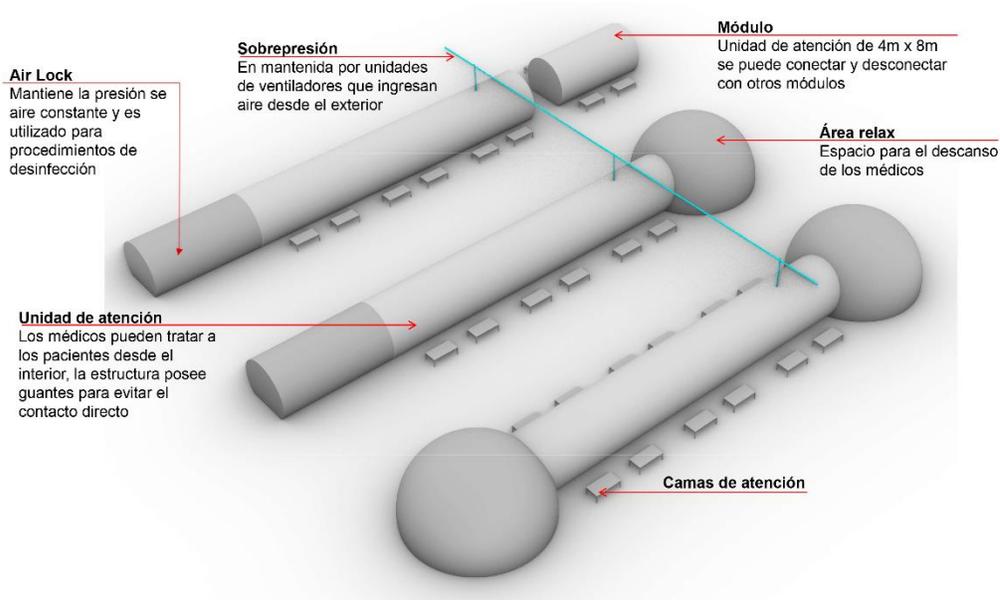


Figura 16: Sistema de MOBILE PPS, y uso de áreas, elaboración propia a partir de la fuente (Mobile PPS for Doctors - Plastique Fantastique. s. f.)

Caso 8: Mobile hospital, VHL Architecture

Proponen un diseño de hospital móvil donde se garantiza el funcionamiento e instalaciones de un centro médico. Además de ser construido rápidamente bajo un sistema de producción de masas, se ensambla fácilmente y no requiere mano de obra calificada, puede ser ubicado en cualquier terreno plano y no requiere el uso de pilotes.

El módulo se puede dividir en cuatro partes para garantizar que el transporte del modelo se pueda mover fácilmente a cualquier lugar, desde zonas urbanas hasta zonas rurales remotas. Los materiales utilizados que proponen son de fácil acceso.

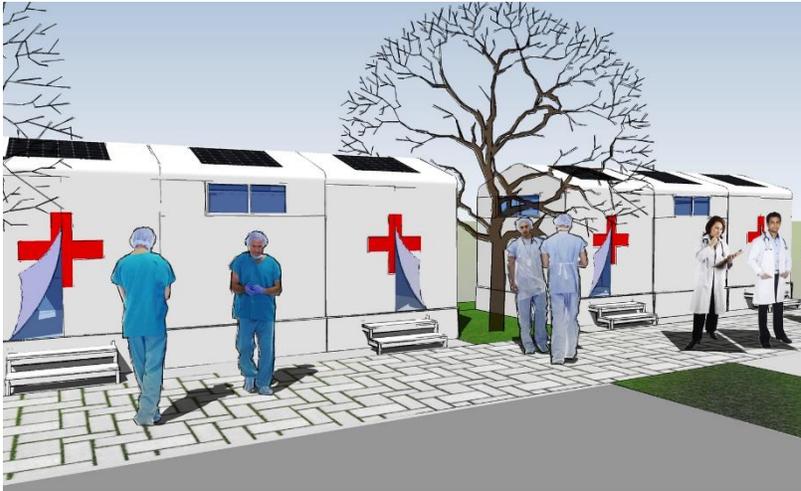


Figura 17: Módulos Mobile hospital, VHL Architecture,

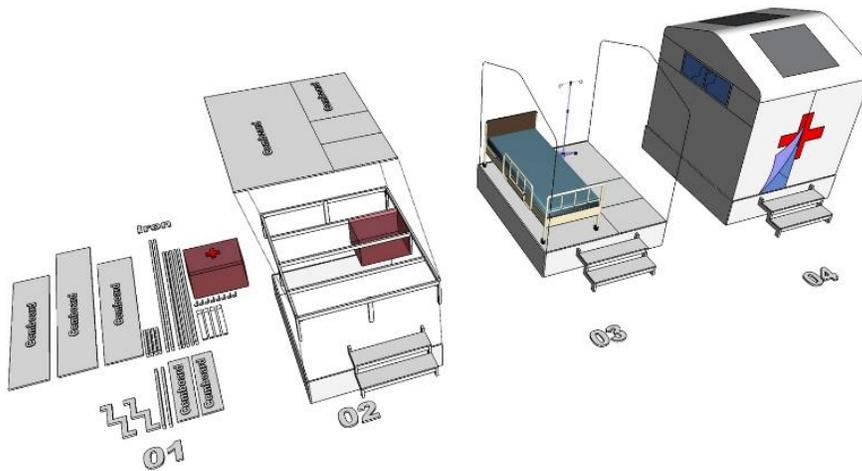


Figura 18: División de partes de módulo Mobile Hospital

Caso 9: Rescue Center, HAHA Architects Group

Exponen el concepto de centro móvil de diagnóstico y tratamiento que puede cumplir con todas las tareas de un hospital modular de emergencia temporal completamente funcional. Utilizan contenedores TEU FRC modificando y adaptando los contenedores, con piezas móviles y un sistema hidráulico con un montaje autónomo.

La estructura modular de la instalación “totalmente autosostenible” permite montarla con cualquier configuración.

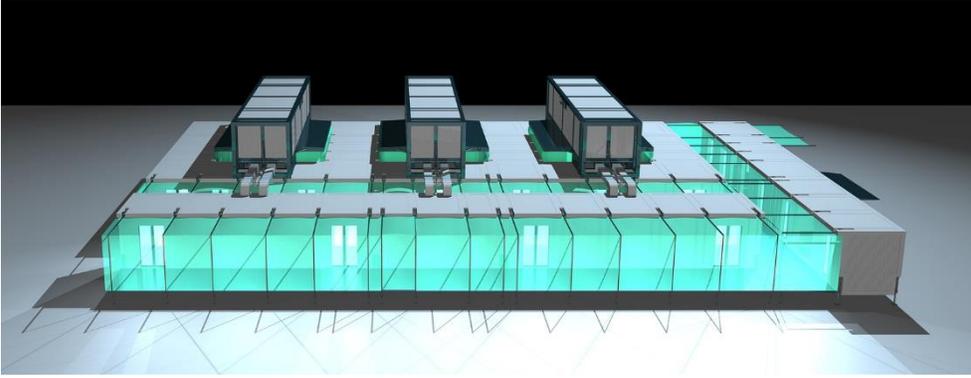


Figura 19: Sistema de módulos Rescue Center (Harrouk, 2020)

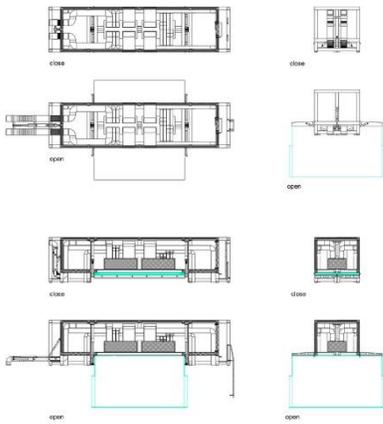


Figura 20: Planimetría módulo, distribución y orden, Rescue Center (Harrouk, 2020)

Caso 10: Refugio de emergencia plegable, Gonzalo Guzmán

Presentan el diseño de un refugio simple, efectivo y económico que puede transportarse y construirse fácilmente. El módulo propuesto puede ampliarse y adaptarse a cualquier situación en la que se requiera el refugio de emergencia. No proponen un material específico ya que se establece que puede ser construido con cualquier material disponible.

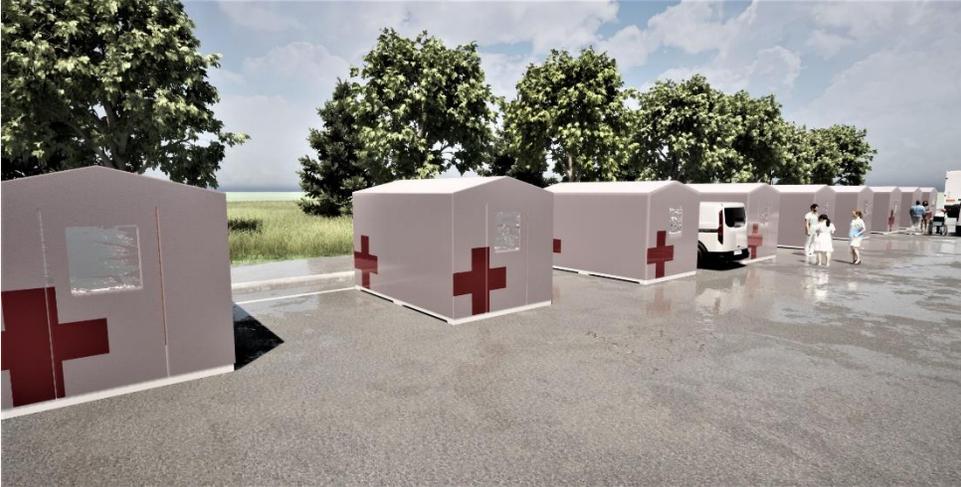


Figura 21: Módulos Refugio de emergencia plegable (Emergency shelter | Gonzalo Guzman, s. f.)

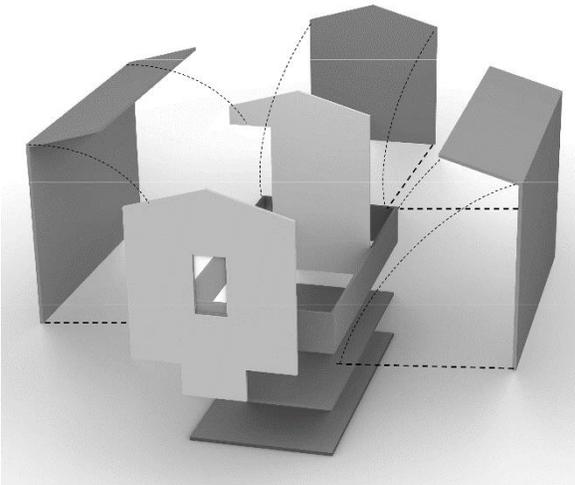


Figura 22: Despliegue de partes del módulo, elaboración propia a partir la fuente (Emergency shelter | Gonzalo Guzman, s. f.)

Caso 11: Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil, Universidad de La Salle

Las unidades de aislamiento proponen una estructura neumática generada a través de módulos de domos geodésicos y túneles de circulación. Presentan un diseño flexible adaptable, ligero y fácil de transportar. Establecen un sistema construido por 9 domos que se encuentran unidos, por lo que no requiere ensamblar piezas o partes de los módulos.



Figura 23: Sistema de domos geodésicos Unidad de Aislamiento Epidemiológico (Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil. 2020).

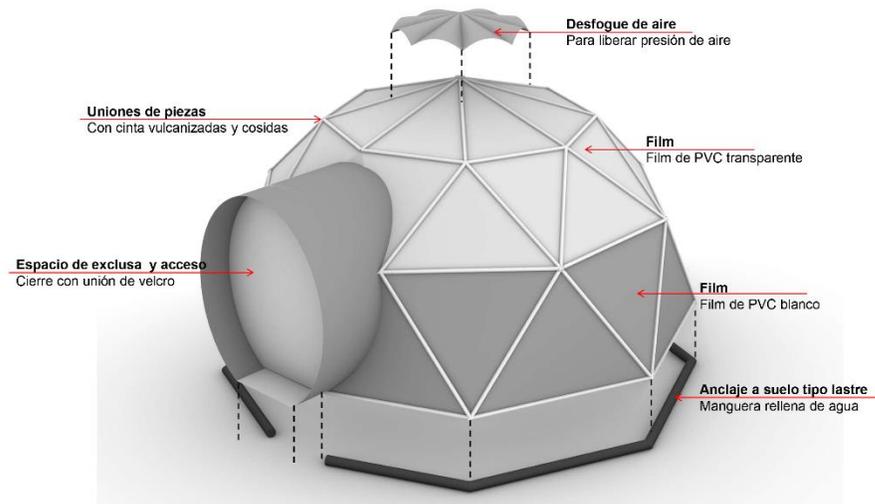


Figura 24: Estructura de 1 domo PEIU, elaboración propia a partir de la fuente (Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil. 2020).

Caso 12: Zona Cero, Fau Uchile

Proponen un diseño simple prefabricado en base a módulos que se repiten, lo permite distintas configuraciones. De esta manera se adapta a las complejidades y tamaños de los diferentes recintos hospitalarios.

Utilizan materiales de fácil adquisición, bajo costo, simplicidad de montaje y tecnología de fácil acceso. Aseguran la ventilación del espacio, resistencia a la lluvia, la protección frente a escorrentías de aguas lluvias, la posibilidad de variación del aislamiento térmico según el requerimiento geográfico y accesibilidad universal.



Figura 25: Módulo Zona Cero (FAU, 2021)

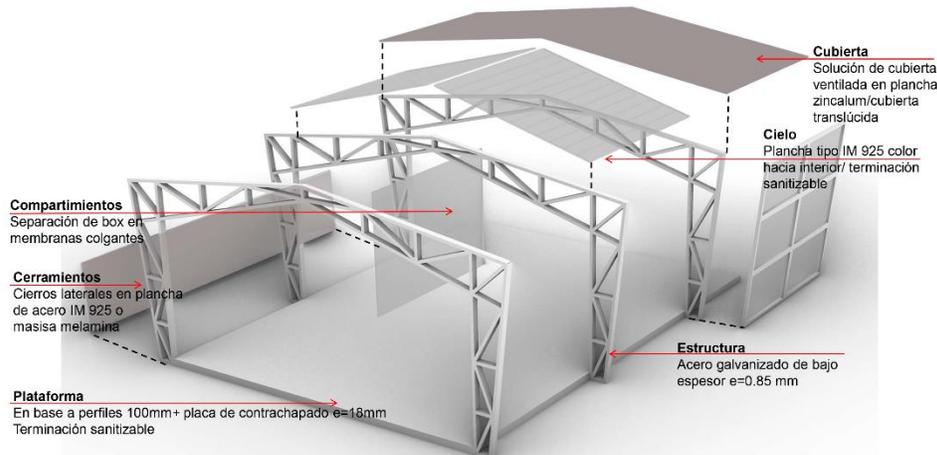


Figura 26: Estructura y partes del módulo, elaboración propia a partir de la fuente (Alvarado, 2020)

A partir de las propuestas por cada caso de estudio, donde se exponen estructuras prefabricadas, construcciones modulares comenzando de contenedores de envío, sistemas modulares en base a de láminas, y estructuras neumáticas, se muestra en la siguiente tabla la comparación entre ellas y la evaluación de los parámetros de constructividad de cada uno de los casos estudiados.

Tabla 3: Parámetros de constructividad, elaboración propia a partir de datos de casos de estudio.

Tipología estructural	Casos de estudios	Montaje	Requiere Mano de obra calificada	Rapidez de montaje (menor a 1 día)	Flexibilidad	Simplicidad	Reutilización o capacidad de reciclaje del material	Durabilidad en el tiempo
Estructuras prefabricadas	KAKSH, AGX Architects	Se debe instalar en una plataforma de hormigón o cualquier		X	X	X	Totalmente reciclable	X

		superficie plana y nivelada						
	Zona cero Fau, Uchile	Consideran la instalación sobre una plataforma en un terreno nivelado	X		X		Puede ser reciclado casi en su totalidad debido a los materiales utilizados	X
Construcciones modulares	CNC – MEM KOTKO	No establecen requerimientos o consideraciones		X	X	X	Totalmente reciclable	X
	JUPE HEALT, JUPE			X			Totalmente reciclable	
	Refugio de emergencia plegable, Gonzalo Guzmán			X		X	Dependerá del material seleccionado ya que la propuesta especifica la utilización de cualquier material accesible	
	Mobile hospital, VHL Architecture	Puede ser instalado en cualquier terreno plano, no requiere pilotes		X		X	Puede ser reutilizado y se pueden reciclar algunas partes del módulo	X
	CURA Carlo Ratti e Italo Rota	Se debe instalar en una superficie nivelada y firme. Además del uso de maquinarias para mover los contenedores y caminos de carga pesada para su transporte	X		X	X	Al utilizar contenedores de envío los autores de las propuestas mencionan que estos pueden ser reutilizados para otras emergencias o seguir utilizándolos para envíos o almacenaje	X
	Hospital Modular de EmergenciaMM W Architects		X		X	X		X
	Hospital ships, Weston Williamson + Partners		X			X		X
Rescue Center, HAHA Architects Group	X			X	X	X		
Estructuras neumáticas	MOBILE PPS Plastique – Fantastique	No establecen requerimientos o consideraciones		X	X	X	Totalmente reciclable	X
	Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil Universidad de La Salle	Se debe instalar bajo una estructura techada con baja exposición al sol y una superficie plana		X	X		Totalmente reciclable y se propone una reutilización en diferentes usos	X

Podemos observar en esta tabla la constructividad presente en los casos de estudio, donde las estructuras neumáticas responden con una mayor cantidad de elementos que demuestran la calidad en los diseños y la optimización del tiempo de ejecución de las propuestas.

Por otro lado, además del grado de constructividad, en la siguiente tabla se analizarán las ventajas y desventajas de los casos de estudios propuestos.

Tabla 4: Ventajas y desventajas generales de las tipologías estructurales presentes en los casos de estudio.

Tipología estructural	Ventajas	Desventajas
Estructuras prefabricadas	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de construcción rápida en el caso de estudio de KAKSH • Materiales de construcción pueden ser reciclados en un 100% • Puede ser reutilizado para otro tipo de usos • Adaptabilidad de los espacios 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de construcción mayor a 15 días en el caso de estudio Zona cero • Al ser armado in-situ genera desechos en el montaje de la estructura
Construcciones modulares	<ul style="list-style-type: none"> • Rápidez de instalación • Materiales de construcción pueden ser reciclados en un 100% (sin considerar construcciones a partir de contenedores de envío) • Puede ser reutilizado para otro tipo de usos • No genera un gran impacto y desechos en la ubicación de las estructuras • Resistentes ante factores climáticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Las construcciones a partir de contenedores requieren el uso de maquinarias para su montaje • Las construcciones a partir de contenedores requieren de mano de obra especializada • Las construcciones a partir de contenedores requieren el uso de transporte pesado
Estructuras neumáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Rápidez de instalación • Materiales utilizados en los casos de estudios propuestos como el PVC, TPU y lona pueden ser reciclados en un 100% • Puede ser reutilizado para otro tipo de usos • Fácil fabricación • Fácil de transportar, no requiere maquinaria para su instalación • No requiere mano de obra especializada y en gran cantidad. • Cantidad de materiales mínima. • No genera un gran impacto y desechos en la ubicación de las estructuras. • Capacidad de guardar la estructura en un espacio menor a 1 metro cuadrado por módulo. • Adaptabilidad de los espacios 	<ul style="list-style-type: none"> • Factores climáticos (no puede tener luz del sol directa, las cargas por lluvia o nieve pueden hacer que la estructura colapse) • Requiere el uso permanente de aire para funcionar

Podemos observar que las estructuras neumáticas presentan diversidad de usos y una gran cantidad de ventajas más que desventajas en comparación a los otros tipos de tipologías propuestas en los casos de estudio. Resulta ser un diseño óptimo, de rápida respuesta, con el uso de una menor cantidad de materiales y elementos, además de responder de manera segura ante la situación de emergencia sanitaria propuesta.

5. Conclusiones

Para finalizar, se puede concluir lo siguiente:

El objetivo principal de la investigación establecía evaluar las estructuras neumáticas para su utilización en emergencias sanitarias y compararlas con otros tipos de estructuras propuestas en dicho contexto. Por esta razón, se realizó una evaluación tomando diferentes parámetros de análisis en el diseño de los diferentes casos de estudio expuestos. Así, se determinó que las estructuras neumáticas presentan mayor potencial para otorgar una respuesta rápida, eficaz y segura.

Los casos de estudios realizados con estructuras neumáticas toman en consideración las recomendaciones de la OMS en la importancia de renovar el aire interior contaminado y utilizan un sistema de ventilación mecánica con filtros de aire que aseguran la calidad del aire al interior. La propuesta presentada por *plastique fantastique MOBILE PPS* establece que el personal médico se encuentra en el interior en un espacio confinado donde aseguran la biocontención, y limitando el contacto con los pacientes. Y por otro lado la Universidad de Lasalle presenta la Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil, donde realizan un estudio de la forma revisando diferentes puntos en la propuesta, en el que logran establecer un sistema seguro, rápido y eficaz para su uso inmediato.

Ambas propuestas tienen una constructividad alta que permite que los diseños se adapten a las necesidades, permitiendo ampliarse, unirse y disponer los módulos de diferentes maneras. Esta evaluación nos permite evidenciar que las estructuras neumáticas sí responden ante una situación de emergencia sanitaria, y con la utilización de un proceso de fabricación digital las propuestas pueden ser difundidas y replicadas con facilidad, de manera segura.

Por otro lado, dentro de los casos de estudio revisado existen propuestas que al igual que las estructuras neumáticas, presentan características que responden de manera eficaz ante el contexto establecido. En este sentido, el caso de la estructura prefabricada KAKSH, y el caso de CNC-MEM, presentan una propuesta flexible, adaptable, rápida. Pero debemos considerar que no todas las propuestas prefabricadas y modulares presentan estas características, algunas requieren de un mayor uso de materiales, mano de obra calificada o de un tiempo mayor en su ejecución y montaje.

Los casos de estudio KAKSH y CNC-MEM, se asemejan en el resultado de una respuesta exitosa, en comparación a las estructuras neumáticas, pero debemos destacar que el avance en el estudio de las estructuras neumáticas y el uso de la tecnología para fabricarlas y diseñarlas, presentan una mayor ventaja en un sentido constructivo, sustentable, sostenible y eficaz, lo que permitiría en una próxima emergencia sanitaria tomar en consideración el uso de las estructuras neumáticas como una respuesta rápida y segura para la atención de pacientes.

Ante lo revisado y evaluado en esta investigación se espera que en una nueva eventualidad se utilicen los resultados presentes y que a través de la arquitectura y la tecnología se establezcan planes de acción que incorporen un precedente para que puedan ser replicados.

Agradecimientos

Agradecimiento a mi profesora guía Carla Cortés por guía durante este proceso y a el Laboratorio Lasallista para la Construcción del Hábitat Colombiano (LAB-LAHC) de la Universidad de La Salle por la facilitación de la investigación en las unidades de aislamiento epidemiológico portátil que realizaron.

Referencias

- COVID-19 Glosario sobre brotes y epidemias. Un recurso para Organización Panamericana De La Salud (2020, abril 30). Recuperado 3 de octubre de 2022, de <https://www.paho.org/es/documentos/covid-19-glosario-sobre-brotes-epidemias-recurso-para-periodistas-comunicadores>
- El impacto de covid19 en el sistema de salud y propuestas para la reactivación. (2020, agosto 19). Colegio **Médico** De Chile A.G. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://www.colegiomedico.cl/wp-content/uploads/2020/08/reactivacion-sanitaria.pdf>
- HistoryOfVaccines.org. (s. f.). History of Vaccines . Recuperado 1 de noviembre de 2022, de <https://historyofvaccines.org/>
- Centro de tratamiento de infecciones respiratorias agudas graves. (2020, marzo). Organización Mundial De La Salud. Recuperado 25 de septiembre de 2022, de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331860/WHO-2019-nCoV-SARI_treatment_center-2020.1-spa.pdf
- Acosta-Gnass, S. I. (2011). Manual de control de infecciones y epidemiología hospitalaria. Pan American Health Organization. Recuperado 22 de octubre de 2022, de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51545>
- Triage. (s. f.). Ministerio de salud gobierno de Colombia. <https://www.minsalud.gov.co/salud/PServicios/Paginas/triage.aspx>
- Protocolo de investigación de los primeros casos y sus contactos .. <https://apps.who.int/iris/Handle/10665/332192>. <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/covid-19-master-ffx-protocol-v2-sp-web.pdf>
- La labor de la OMS en emergencias sanitarias. (2021, mayo). Organización Mundial de la Salud. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA74/A74_9Add1-sp.pdf
- Nannig, A. (2020). Estructuras neumáticas Potenciales de construcción y uso en situaciones de emergencia en Chile. Seminario de licenciatura
- Dent, R. N. (1975). Nuevos caminos de la arquitectura, Arquitectura neumática (1.ª ed.). Editorial Blume, 1975.
- Krauel, J. (2013). Arte, Arquitectura y Diseño Inflable. Links book.

- ESTRUCTURAS SINCLASTICAS - Issuu. (s. f.). Issuu. Recuperado 15 de agosto de 2022, de <https://issuu.com/esmeraldaamparansaenz/docs/sinclasticas/s/11104520>
- Basset, L. (s. f.). Estructuras Neumáticas. Repositorio institucional UPV. Recuperado 19 de agosto de 2022, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30383/Estructuras%20neum%C3%A1ticas.pdf>
- Universidad Naval. (s. f.). metodología de investigación. Gobierno de México. Recuperado 16 de noviembre de 2022, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf
- Serrador, V. J. (2017b, julio 8). ARQUITECTURA MODULAR Y CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA. MOJURU Modular Buildings. <https://www.mojuru.com/arquitectura-modular-prefabricada/>
- Loyola, M. & Goldsack, L. (2010). Constructividad y Arquitectura (Primera edición).
- Harrouk, C. (2020, abril 27). Instalaciones alternativas de atención médica: Arquitectos se movilizan por la lucha contra COVID-19. Arch Daily. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de https://archdaily.cl/cl/938414/instalaciones-alternativas-de-atencion-medica-arquitectos-se-movilizan-por-la-lucha-contra-covid-19?ad_medium=gallery
- Emergency Modular Hospitals - Projects for COVID-19 Pandemic .. (s. f.). Prefab Modular Homes and Buildings. Recuperado 12 de noviembre de 2022, de <https://blog.prefabium.com/2020/05/emergency-modular-hospitals-projects.html>
- Ane Efe Santana, C., & Chaves, L. (2020, abril 21). CNC – MEM (Modulo para Emergencias Médicas) – ARQA. ARQA/CL. Recuperado 24 de septiembre de 2022, de <https://arqa.com/arqa-comunidad/cnc-mem-modulo-para-emergencias-medicas.html>
- CURA | Carlo Ratti Associati. (s. f.). Carlo Ratti Associati . Recuperado 15 de noviembre de 2022, de <https://carloratti.com/project/cura/>
- HVAC design for emergency COVID-19 hospitals with biocontainment through negative pressure. (s. f.). Reddit . Recuperado 15 de noviembre de 2022, de https://www.reddit.com/r/COVIDProjects/comments/fsvug7/hvac_design_for_emergency_covid19_hospitals_with/
- Baldwin, E. (2020, marzo 26). https://www.archdaily.cl/cl/936381/jupe-health-disena-unidades-moviles-para-la-escasez-de-camas-hospitalarias-por-covid-19?utm_medium=website&utm_source=archdaily.cl. Arch Daily. Recuperado 4 de noviembre de 2022, de https://www.archdaily.cl/cl/936381/jupe-health-disena-unidades-moviles-para-la-escasez-de-camas-hospitalarias-por-covid-19?utm_medium=website&utm_source=archdaily.cl
- Module Emergency Hospital by MMW. Housing Innovation Collaborative (s. f.). Recuperado 26 de noviembre de 2022, de <https://housinginnovation.co/rapidshelter/module-emergency-hospital/>

- Emergency Modular Hospital | MMW Architects. (s. f.). Archello. <https://archello.com/project/emergency-modular-hospital>
- Futurarc, A. (2021, 18 agosto). Modular design of mobile hospitals for the treatment of COVID-19. FuturArc. <https://www.futurarc.com/project/modular-design-of-mobile-hospitals-for-the-treatment-of-covid-19/>
- Emergency shelter | Gonzalo Guzman. (s. f.). Archello. <https://archello.com/es/project/emergency-shelter>
- Mobile PPS for Doctors - Plastique Fantastique. (s. f.). Plastique Fantastique Recuperado 1 de octubre de 2022, de <https://plastique-fantastique.de/Mobile-PPS-for-Doctors>
- Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil. (2020, julio 25). Universidad De La Salle. Recuperado 1 de septiembre de 2022, de <https://www.lasalle.edu.co/Noticias/CienciasdelHabitatNoticias/uls/Unidad+de+Aislamiento+Epidemiologico+Portatil#:~:text=La%20estructura%20propuesta%20es%20un,de%20materiales%20o%20personal%20m%C3%A9dico.>
- Alvarado, R. P. F. C. E. D. D. // (2020, 20 abril). U.Chile creará módulos auxiliares en recintos hospitalarios para evitar contagios. Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile. <https://fau.uchile.cl/noticias/162644/uchile-creara-modulos-en-recintos-hospitalarios-para-evitar-contagios>
- Fau, C. D. (2021, 15 octubre). Cinco Premios y Menciones obtuvo la FAU en ARQUISUR 2021. Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile. <https://fau.uchile.cl/noticias/180723/cinco-premios-y-menciones-obtuvo-la-fau-en-arquisur-2021>
- Govea, J. (2019, mayo 10). Arquitectura abierta – ¿qué es la arquitectura open source?. Jesus Govea Arquitecto. Recuperado 10 de noviembre de 2022, de <https://jesusgovea.wordpress.com/2019/05/10/arquitectura-abierta/#:~:text=La%20arquitectura%20de%20c%C3%B3digo%20abierto,un%20esfuerzo%20colectivo%20y%20colaborativo.>