

Respuesta académica a desafíos
de la pandemia de COVID-19:
Unidades de Aislamiento
Epidemiológico Portátil

Academic Response to
Challenges of the COVID-19
Pandemic: Portable
Epidemiological Isolation Units

Alex Leandro Pérez Pérez¹
Carlos Alberto Nader Manrique¹
Helmuth Geofre Ramos Calonge¹
Camilo Andrés Cifuentes Quin¹
Nicolas Pardo Sánchez¹



¹ Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. E-mail: aleperez@unisalle.edu.co

¹ Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

RESUMEN: El artículo presenta un proyecto de unidades de aislamiento epidemiológico de emergencia, desarrolladas en el contexto de la pandemia de COVID-19, a partir de estructuras neumáticas de domos geodésicos icosaédricos. Este proyecto académico e investigativo fue desarrollado como parte del Programa de Arquitectura de la Universidad de La Salle, dentro del Laboratorio Lasallista para la Construcción del Hábitat Colombiano (LAB-LAHC). El sistema de aislamiento propuesto beneficia en la actualidad a diversas regiones del país, aportando desde la arquitectura experimental, soluciones hoy utilizadas para la vacunación en zonas apartadas y la atención de otras emergencias. En este artículo se muestran detalles de la investigación y de las etapas de desarrollo del proyecto luego de diez meses de trabajo. La experiencia se perfila como una acción de extensión universitaria a replicar en el futuro por su aporte en la solución de problemas reales de la sociedad.

PALABRAS CLAVE: COVID-19, unidad de aislamiento epidemiológico, estructuras neumáticas, diseño de emergencia, investigación aplicada, extensión universitaria

ABSTRACT: The article presents a project of emergency epidemiological isolation units developed in the context of the COVID-19 pandemic from pneumatic structures of icosahedral geodesic domes. This academic and research project was developed as part of the Architecture Program of the University of La Salle within the Lasallian Laboratory for the Construction of the Colombian Habitat (LAB-LAHC). The proposed isolation system currently benefits various regions of the country, providing, from the experimental architecture, solutions that today are used for vaccination in remote areas, and the care of other emergencies. This article shows details of the research and the development stages of the project after ten months of work. The experience is emerging as a university extension action to be replicated in the future for its contribution to solving real problems in society.

KEYWORDS: COVID-19, epidemiological isolation unit, pneumatic structures, emergency design, applied research, university extension

Temática: Diseño de instalaciones para la salud

RECIBIDO: 30 marzo 2021 APROBADO: 2 junio 2021

Introducción

El desarrollo de la ciencia se basa en la formulación de preguntas. No necesariamente deben tener relevancia científica. Todo depende del contexto, el equipo de trabajo, las capacidades técnicas disponibles, la financiación y el deseo inmenso de aportar a una sociedad que requiere de su servicio para superar las dificultades y avanzar al futuro.

Antes de la pandemia, el Laboratorio Lasallista para la Construcción del Hábitat Colombiano (LAB-LAHC), del programa de Arquitectura de la Universidad de La Salle en Bogotá, había realizado exploraciones con estudiantes alrededor de la utilización del aire como elemento estructural (Figura 1). Fue así como, en el marco de la convocatoria del Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación de Colombia, el Laboratorio presentó una propuesta para diseñar unidades de aislamiento epidemiológico de emergencia, mediante un sistema modular de domos geodésicos basados en el icosaedro, con el ideal de apoyar la atención a la emergencia sanitaria y de aportar espacios propicios al personal médico para la atención de pacientes en distintos lugares del país.

Los docentes, investigadores, egresados y estudiantes que conforman el Laboratorio, al igual que quienes dedican su tiempo y energía a la academia y la investigación, reconocen en la ciencia un estilo de vida. La pregunta que hoy puede reflejar un problema seguramente cambiará mañana y, por ende, validar una respuesta o hipótesis nunca es el final del proceso, siempre será el inicio de reflexiones cada vez más complejas.

Más allá de problemas, hipótesis, objetivos, cronogramas y presupuestos, en cualesquiera de los diversos campos del conocimiento humano, las preguntas ¿para quién?, ¿por qué? y ¿con quién? son las más importantes, si somos conscientes de las enormes desigualdades y de los conflictos que enfrentamos como humanidad.

¿Para quién? En el contexto de la pandemia el equipo de investigación no solo consideró al paciente infectado y al personal de salud. También era necesario tener en cuenta los territorios apartados, las instituciones responsables de esta y otras emergencias, además de las diversas poblaciones que observaban con preocupación lo que los medios de comunicación enseñaban una y otra vez: imágenes de polideportivos, coliseos, estadios y hangares con decenas de camas y pacientes en ellas que, de lo contrario, estarían en los pasillos de hospitales o centros de salud.

Aquí cobra relevancia el ¿por qué? Fortalecer el sistema de salud y de emergencias para la atención de diversas contingencias no solo involucra la construcción de adecuadas y modernas instalaciones, también insta a contar con ajustes externos para ampliar las capacidades de atención con soluciones portátiles, flexibles y modulares. La lucha de hoy es contra la COVID-19, pero mañana serán otras situaciones que –como se sabe– son el resultado del manejo indebido de los recursos naturales y del poco respeto al planeta que habitamos.

Pensar únicamente en la actual pandemia y su interacción con el medio, podría ser un error si la solución no se proyecta al futuro. Posiblemente, esa es la primera enseñanza que dejó el análisis de



Figura 1. Ejercicios previos con estudiantes y profesores del Programa de Arquitectura (2015). Fuente: Autores.

las variables emergentes a lo largo de esta investigación, lo que constituye el cimiento para seguir desarrollando productos de ciencia y tecnología más incluyentes, sinérgicos y adaptables.

Y, finalmente, ¿con quién? Se identificaron diversos actores en un contexto que rápidamente cambiaba y en una economía popular que apresuradamente colapsaba, lo que permitió considerar el uso de proveedores y operarios que, de otro modo, no tendrían opciones de ingresos. La investigación debe ser participativa, colaborativa y abierta a aprender de los saberes populares. Ninguno de los investigadores había manipulado una máquina de coser y ninguno de los operarios había reflexionado sobre el papel que asumían cada una de las piezas que juntaba para validar la simulación de condiciones físicas, ambientales y funcionales, en un diseño arquitectónico emergente, sembrando las semillas de posibles emprendimientos o líneas de negocio que pudieran competir con las innovaciones creadas en otros países donde, seguramente, un Estado comprometido con la generación de oportunidades las favorecería.

Por otra parte, están los futuros investigadores o profesionales, los que asumirán con responsabilidad los retos de la ciencia y la tecnología cuando no estén los “galardonados científicos” que participaron en la convocatoria del Ministerio de Ciencia. Se incluyeron otras especialidades, egresados y estudiantes de la Universidad, esperando influenciar los cambios para el futuro, motivando, con la pasión que genera la ciencia, un mundo diferente al heredado por la ley del más fuerte, el individualismo o las manos invisibles del mercado.

Por último, y no menos importantes, están los funcionarios públicos en todos los niveles de entidades o ministerios, que según sus intereses o especialidades, contribuyeron al mejoramiento del producto final y a proyectar posibles mejoras en versiones posteriores. Se suman las personas comunes, que observaban con asombro cómo una estructura aparecía y permitía ingresar a su interior, sentían los cambios en las sensaciones y condiciones a las percibidas en el exterior, lo cual generaba preguntas que posiblemente tendrán relevancia científica para un futuro proyecto de investigación que necesita obtener financiamiento, aunque este no permita colonizar Marte, a pesar de la perseverancia.

Se propone así describir las etapas que constituyeron la creación de unidades de aislamiento epidemiológico portátiles para la atención de la pandemia, las cuales permitieron validar un diseño experimental de estructuras neumáticas que, gracias al desarrollo de ejercicios académicos e investigativos previos, hoy apoyan los esfuerzos para la atención de diversas contingencias en apartados territorios de Colombia.

Desarrollo del proyecto

El Proyecto Unidades de Aislamiento Epidemiológico, presentado por el Laboratorio Lasallista para la Construcción del Hábitat Colombiano (LAB-LAHC), responde a una de las convocatorias del Ministerio de Ciencias de Colombia con apertura y cierre más cortas en la historia de la institución, debido al rápido avance de la pandemia: del 25 de marzo al 28 del mismo mes. Durante el tiempo disponible se recopiló la producción experimental realizada por más de seis años, y se analizaron las posibilidades que estos ejercicios ofrecían para la atención a la emergencia sanitaria que iniciaba y cambiaba radicalmente el estilo de vida de toda la población [1].

El 6 de abril se recibió respuesta y el correspondiente financiamiento. El equipo, inicialmente compuesto por cuatro profesores de la Facultad de Ciencias de Hábitat, una arquitecta y un ingeniero eléctrico egresados de la Universidad, así como un estudiante semillerista del Programa de Arquitectura, iniciaron el desarrollo de cinco etapas investigativas. La primera, caracterizó y aplicó la teoría desarrollada por el Laboratorio en investigaciones previas sobre la geometría de los poliedros y la construcción de estructuras neumáticas (Figuras 2a y 2b).

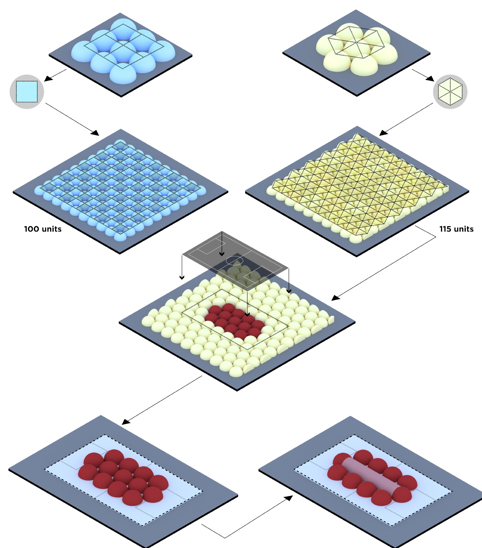


Figura 2a. Proceso de búsqueda para la definición de la configuración en planta del sistema. Elaboración propia.

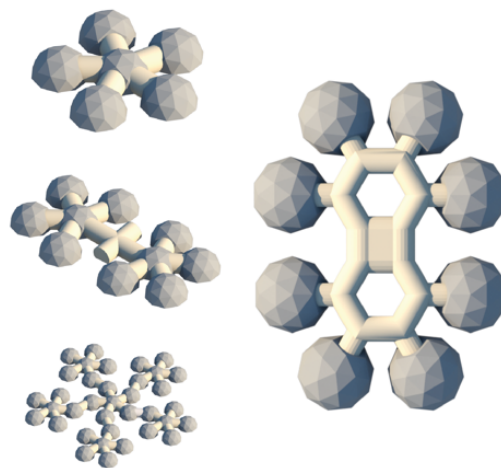


Figura 2b. Configuraciones alternativas del sistema. Elaboración propia.

Durante la segunda etapa se desarrollaron los archivos de despiece y confección de las estructuras neumáticas para el desarrollo de los sistemas de aislamiento (Figura 3a y 3b). La etapa de diseño involucró procesos de modelación y parametrización, digitales y análogos, los cuales permitieron simular las ventajas y desventajas de diversas alternativas de agrupación para su correcto funcionamiento.

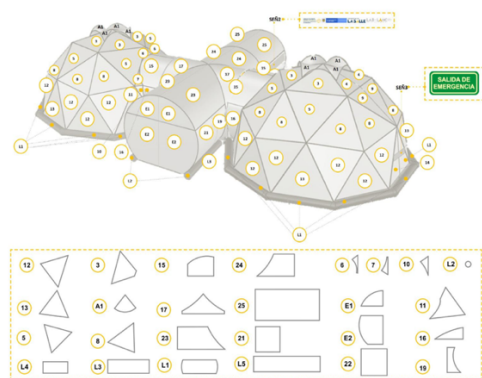


Figura 3a. Archivos de modelación y despiece. Elaboración propia.



Figura 3b. Modelaciones primer prototipo. Elaboración propia.

En la tercera, se realizaron varios prototipos: dos parciales que permitieron evaluar el comportamiento de los materiales y validaron el concepto (Figura 4) y dos unidades completas, cada una compuesta por nueve domos y sus túneles de circulación. En esta etapa se involucraron más de cinco personas externas a la universidad, un técnico y sus operarios, quienes demostraron sus capacidades en la manufactura de piezas de gran formato, la comprensión del diseño propuesto, y la posibilidad de desarrollar una línea de producción que permitiera fabricar en serie 20 unidades de aislamiento en el menor tiempo posible.



Figura 4a. Prototipo parcial, prueba de condiciones materiales y técnicas del diseño. Fuente: Autores.



Figura 4b. Prototipo parcial con ajustes de producción y funcionamiento. Elaboración propia. Fuente: Autores.

Luego de 4 meses de trabajo, se inicia el proceso de planificación para su fabricación en masa y el diseño de un sistema eléctrico de alternancia que permitiera tener 24/7 el funcionamiento de los moto-ventiladores, para garantizar la estabilidad de la estructura y la renovación del aire para el correcto funcionamiento de las unidades a diversos usos.

Mientras la ciudad continuaba parcialmente paralizada, y las actividades comerciales se desarrollaban con dificultad, el equipo de investigación inició la cuarta etapa, desarrollando los manuales necesarios para la fabricación, el armado y su reutilización. En ese momento, el Ministerio de Ciencias intervino en el proceso y solicitó evaluar las características de las unidades para su posible uso en contextos reales. Se realizaron diversas pruebas de funcionamiento en las instalaciones de la Universidad, Colegio de La Salle, y se recibió la valoración del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) como producto con “Certificación de No obligatoriedad de Registro Sanitario” (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Prototipo 1 completo - octubre 7 del 2020. Fuente: Autores.



Figura 6. Prototipo 2 completo - noviembre 17 del 2020. Fuente: Autores.

Durante este proceso igualmente se recibieron visitas de funcionarios del Ministerio de Salud, quienes hicieron observaciones y sugirieron ajustes al funcionamiento y posibles usos en el contexto de la emergencia sanitaria.

Descripción de la solución seleccionada

La unidad propuesta consiste en un sistema flexible, compuesto de cinco módulos. Cuatro de ellos están formados por dos domos de 5 metros de diámetro y sus conectores, los cuales permiten que la unidad se ubique en lugares con diferentes espacialidades. El módulo restante corresponde a un domo y una esclusa de ingreso, que puede cumplir la función de antecámara, regulando mediante transiciones que el aire se mantenga en el interior para garantizar la estabilidad de la estructura. (Figura 7)

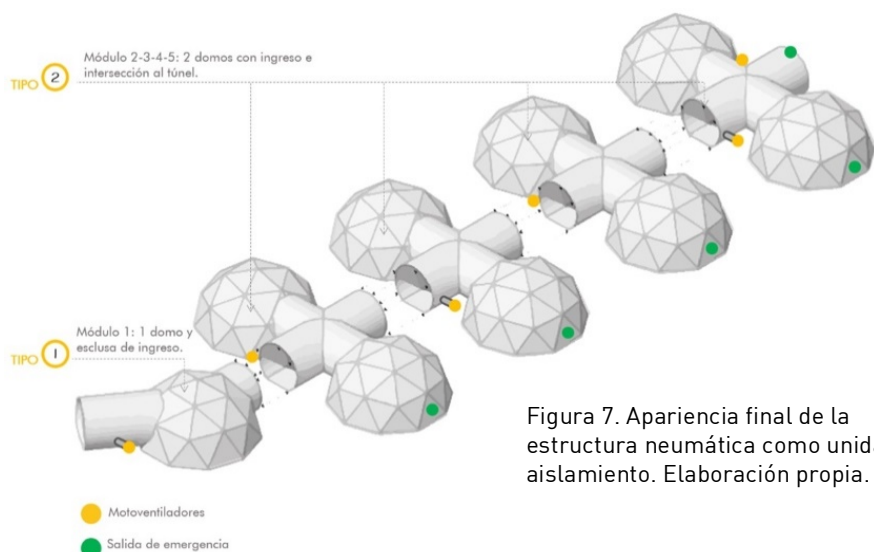


Figura 7. Apariencia final de la estructura neumática como unidad de aislamiento. Elaboración propia.

La instalación de la unidad con los cinco módulos propuestos ocupa las dimensiones de una cancha de baloncesto reglamentaria (28m x 15m), espacio común y disponible en cualquier municipio del país. (Figuras 8 y 9)

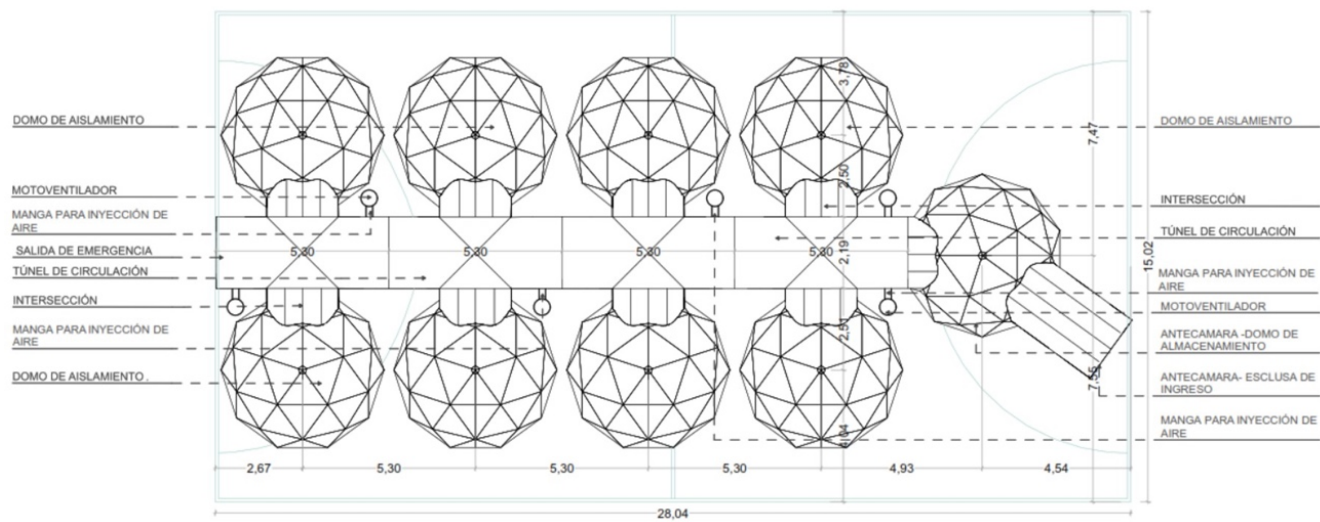


Figura 8. Planta de la unidad, sus dimensiones y características formales. Elaboración propia.

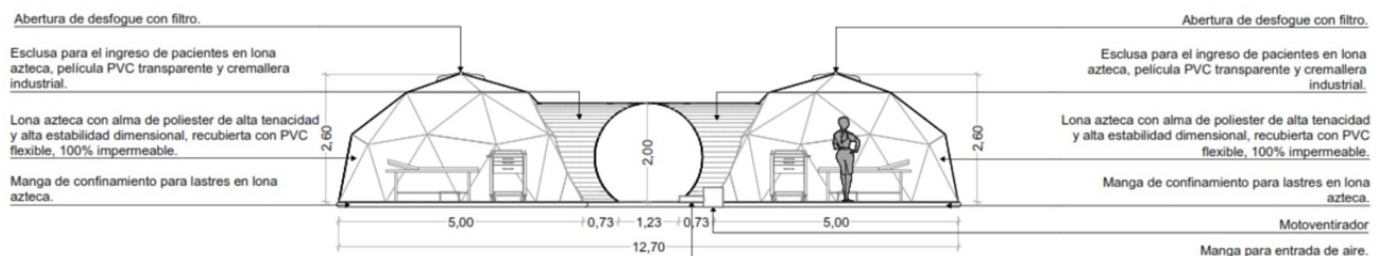


Figura 9. Sección transversal de la unidad. Elaboración propia.

Soluciones ambientales

La unidad de aislamiento, inflada mediante presión positiva, está construida con materiales flexibles y de bajo grosor (como láminas de PVC transparentes y tela vinílica), superficies de alta transmitancia (U) y baja inercia térmica (I). Por tal razón, su construcción o ubicación permanente debe ser en espacios cubiertos que eviten su exposición a la radiación solar, y se garantice como condición de partida la temperatura y humedad relativa propias del espacio interior a la sombra.

Para el análisis de las condiciones en el interior de las unidades, se realizaron mediciones en el contexto climático de la ciudad de Bogotá (sede Candelaria de la Universidad de La Salle) durante 4 días (96 horas), entre las 3:00 pm del jueves 20 de agosto hasta las 3:00 pm del lunes 24 de agosto, con sensores tipo Datalogger (temp/RH/2. Hobo Onset. Modelo U13-014) para el registro y almacenamiento de datos sobre la temperatura (T) y la humedad relativa (HR). Se utilizaron los mismos equipos de medición para identificar las condiciones al exterior de la unidad, a una distancia de 2 metros, con la intención de obtener datos de referencia sobre las condiciones ambientales en el recinto donde se ubica, y sus diferencias con las condiciones al interior de las unidades.

La información suministrada por los sensores con relación a los datos mínimos y máximos, tanto de temperatura como de la humedad relativa, se analizaron a partir del diagrama sicrométrico de Givoni [2]. Se comprobó que para el mediodía la temperatura y la humedad relativa al interior de la unidad se encuentran dentro de la zona de confort, lo que significa que se garantizan las condiciones básicas para satisfacer el bienestar térmico del usuario. Para la noche, considerada la situación más crítica, las condiciones interiores deben ser corregidas, aumentando 5 grados centígrados, lo cual puede

hacerse mediante equipos de calefacción, que sumados a las cargas térmicas de equipos (Q) y personas permitan favorecer el bienestar para los usuarios.

Se pudo comprobar que las variaciones entre el exterior y el interior no son superiores a 2 grados centígrados de temperatura y 10% de humedad relativa, lo cual garantiza condiciones similares a las del ambiente exterior bajo la sombra. Considerando lo anterior, se recomienda que, identificadas las condiciones ambientales del lugar de implantación (ubicaciones designadas por los organismos y entes que administraran las unidades en las diferentes regiones del país), así como las condiciones climáticas de temperatura y humedad relativa bajo la sombra, se utilicen dispositivos mecánicos que garanticen el confort térmico interior bajo las siguientes condiciones: aire acondicionado para temperaturas superiores a los 28 grados con una humedad relativa superior al 80%, y calefacción convencional para temperaturas inferiores a los 17 grados.

Etapas actuales

En este momento de la investigación, se está validando la adaptabilidad y flexibilidad de la estructura propuesta. Asimismo, adquiere relevancia el aporte que las unidades pudieran brindar en los procesos de vacunación masiva para poblaciones ubicadas en áreas aisladas, cumpliendo con los protocolos y requerimientos logísticos exigidos. Este planteamiento está siendo bien acogido por diversas instituciones gracias a la visita de la ministra a diversas regiones del país.

En la quinta y última etapa de la investigación se desarrollan el transporte y la asesoría para el montaje de las unidades a las entidades que utilizarán la tecnología. Se incluyen plantas eléctricas de soporte, lo cual finalmente ha permitido producir las doce unidades de aislamiento entregadas hasta la fecha:

- Dos en Villavicencio para la Hospital municipal ESE (Empresa Social del Estado) (Figura 10).
- Una en San José del Guaviare para la secretaria de salud de la Gobernación y el Municipio (Figura 11).
- Una para la Unidad de Gestión del Riesgo en la Gobernación del Meta.
- Otra para la Gobernación de la Guajira.
- Dos para la Gobernación del Valle del Cauca, una para la Secretaria de Salud y otra para la Secretaria de Gestión del riesgo.
- Y dos para el Departamento de Cundinamarca, una para el municipio de Pacho, y otra para el municipio de Zipaquirá.

Actualmente se proyecta para las próximas semanas, la entrega de unidades de aislamiento en la Gobernación del Casanare.



Figura 10. Villavicencio 22 de enero de 2021. Fuente: Autores.



Figura 11. San José del Guaviare 6 de febrero de 2021. Fuente: Autores.

Reflexiones sobre las acciones de extensión universitaria

Entre otros logros del ejercicio académico, investigativo y de extensión universitaria se pueden resaltar:

- El desarrollo de una tecnología clasificada con un TRL (*Technology Readiness Level*) 8 y el interés por parte de clientes internacionales para su comercialización.
- La posibilidad de realizar versiones mejoradas de la tecnología propuesta, las cuales actualmente se encuentran en diseño y costeo para su producción. Esto ha sido gracias al intercambio con comunidades y organismos dedicados a la atención de emergencias y la salud pública.
- El fortalecimiento de una línea de investigación ligada al nuevo programa de Maestría en Diseño y Construcción Experimental.
- La posibilidad de abrir nuevos canales para la difusión científica en artículos [3], un libro, una patente como modelo de utilidad, y una obra permanente. Todos en el contexto de producción bajo la modalidad de creación e investigación- creación en artes, arquitectura y diseño.
- Y finalmente, la divulgación en medios de comunicación, resaltando el aporte de la disciplina de la Arquitectura para la atención de problemas reales, en 23 canales de televisión nacionales e internacionales y medios regionales. Igualmente, la solución tuvo presencia en 13 publicaciones de medios radiales, 15 artículos de prensa y 163 notas en medios digitales, de las cuales 97 fueron internacionales, como Xinhua de China [4], CNBC de Estados Unidos, DW Español [5] y Ruptly de Alemania [6]; también la Agencia Efe [7] y El Diario de España, Swissinfo de Chile, Clarín de Argentina, la Agencia Anadolu de Turquía, Yna de Corea, Metro y The Guardian del Reino Unido, El Telégrafo de Ecuador, y Telemundo, entre otros.

Conclusiones

La convocatoria del Ministerio de Ciencias no solo impone diversos retos a los equipos de investigación participantes; un investigador o su laboratorio también se los impone, y son diferentes a los propuestos por la convocatoria, además de la responsabilidad que involucra el uso de recursos públicos.

Es así como el pensamiento y el trabajo de un equipo de docentes investigadores, auxiliares y colaboradores que, luego de ocho meses, presentan a la opinión pública un producto arquitectónico experimental, cumpliendo con los compromisos de una convocatoria nacional y los principios que rigen al LAB – LAHC, espacio creativo que nació hace más de seis años y que se fortalece, aportando desde la Universidad de La Salle a una reflexión cada vez más necesaria sobre la pertinencia y responsabilidad que deben asumir la ciencia y la tecnología para un desarrollo humano integral y sustentable.

Agradecimientos

El equipo académico e investigativo agradecen a los egresados de la Universidad vinculados como auxiliares de investigación, la Arq. Amelia Cala, el Ing. Felipe Díaz, a los equipos técnicos del Ministerio de Ciencias y el Ministerio de Salud, los equipos administrativos de la Universidad de La Salle, y los operarios, quienes comprendieron la relevancia del proyecto y su aporte a la superación de la emergencia sanitaria.

Referencias bibliográficas

- [1] Nader CA. *Arquitectura Alternativa Sostenible*. Bogotá. Ediciones Unisalle; 2019.
- [2] Givoni B. *Man, climate and architecture*. New York: Elsevier; 1969.

- [3] Nader CA, Pérez AL, Cifuentes CA, Ramos HG. Portable Epidemiological Isolation Unit. Ephemeral Architecture for Covid-19 Emergency. Strategic Design Research Journal [Internet]. 2020 [cited 2021 febrero 17]; 13(3):[401-17 pp.]. DOI: 10.4013/sdrj.2020.133.09.
- [4] XINHUA español. [Video] Estudiantes colombianos crean módulos de aislamiento epidemiológico portátiles ante COVID-19. [En línea] 2021. [Último acceso: 17 febrero 2021]. Available at: http://spanish.xinhuanet.com/2021-02/18/c_139748764.htm.
- [5] DW. DW en español. [En línea] 2021. [Último acceso: 17 febrero 2021]. Available at: <https://www.facebook.com/watch/?v=272425144276499>.
- [6] RUPTLY. Colombia: Cúpulas inflables de aislamiento aumentan el espacio en los hospitales durante la pandemia. [En línea] 2021. Último acceso: 12 febrero 2021]. Available at: <https://www.ruptly.tv/es/videos/20210212-010-Colombia--C-pulas-de-aislamiento-inflables-buscan-solucionar-la-falta-de-espacio-en-hospitales-durante-la-pandemia>.
- [7] Agencia EFE. Coronavirus Colombia. 2021. [En línea]. [Último acceso: 4 febrero 2021]. Available at: https://www.efe.com/efe/america/sociedad/domos-de-aislamiento-una-idea-para-apoyar-capacidad-hospitalaria-colombia/20000013-4457768?utm_source=wwwefecom&utm_medium=rss&utm_campaign=rss.

DATOS DE LOS AUTORES



Alex Leandro Pérez Pérez

Arquitecto, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular de la Universidad de La Salle, Miembro del LAB-LAHC, Investigador principal del Proyecto UAEP. Bogotá, Colombia.

E-mail: aleperez@unisalle.edu.co

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-5080-3168>



Carlos Alberto Nader Manrique

Arquitecto, Máster en Construcción, Profesor Asociado de la Universidad de La Salle, Miembro del LAB-LAHC, Coinvestigador del Proyecto UAEP. Bogotá, Colombia.

E-mail: cnader@unisalle.edu.co

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2090-0765>



Helmuth Geofre Ramos Calonge

Arquitecto, Máster en Construcción, Profesor Asistente de la Universidad de La Salle, Miembro del LAB-LAHC, Coinvestigador del Proyecto UAEP. Bogotá, Colombia.

E-mail: hramos@unisalle.edu.co

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3045-1526>



Camilo Andrés Cifuentes Quin

Arquitecto, Doctor en Arquitectura, Profesor Asociado de la Universidad de La Salle, Miembro del LAB-LAHC, Coinvestigador del Proyecto UAEP. Bogotá, Colombia.

E-mail: cacifuentes@unisalle.edu.co

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1470-9208>



Nicolas Pardo Sánchez

Estudiante de arquitectura de la Universidad de La Salle, Semillerista del LAB-LAHC, Auxiliar de investigación del Proyecto UAEP. Bogotá, Colombia.

E-mail: npardo96@unisalle.edu.co

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2090-6526>

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que representen riesgos para la publicación del artículo.

DECLARACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD AUTORAL

Alex Leandro Pérez Pérez: Investigador principal planificación y ejecución de la actividad de investigación, redacción del borrador inicial y revisión y aprobación del texto final.

Carlos Alberto Nader Manrique: Coinvestigador, coordinador técnico y de diseño del proyecto, revisión, edición y aprobación del texto final.

Helmuth Geofre Ramos Calonge: Coinvestigador, apoyo técnico logístico y de administración del proyecto, revisión y aprobación del texto final.

Camilo Andrés Cifuentes Quin: Coinvestigador, apoyo logístico, coordinador de recursos informáticos, revisión y aprobación del texto final.

Nicolas Pardo Sánchez: Auxiliar de investigación del proyecto, edición visualización, revisión y aprobación del texto final.