

# IV JORNADA DE DOCTORADO

TECNOLOGÍA DE LA  
ARQUITECTURA, DE LA  
EDIFICACIÓN Y DEL URBANISMO

28 DE OCTUBRE DE 2021

LIBRO DE ACTAS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Departament de Tecnologia de l'Arquitectura

IV JORNADA DE DOCTORADO  
DEL PROGRAMA DE TECNOLOGÍA  
DE LA ARQUITECTURA, DE LA  
EDIFICACIÓN Y DEL URBANISMO

Libro de Actas

2021

Este libro recoge las actas de la IV Jornada de Doctorado del Programa de Tecnología de la Arquitectura, de la Edificación y del Urbanismo (TAEU) de la Universitat Politècnica de Catalunya, celebrada en Barcelona el 28 de octubre de 2021.

Mientras que en ediciones anteriores la Jornada se limitó a presentaciones de actuales doctorandos del programa, en esta ocasión se decidió hacerlo extensivo a los egresados, incluyendo a algunos ponentes ya titulados. El formato híbrido utilizado (presencial y por videoconferencia) facilitó tanto las presentaciones como la asistencia del público. Las ponencias, de temática bastante variada dentro del ámbito del programa, despertaron un gran interés entre el público asistente, generándose debates muy enriquecedores.

Información de jornadas previas: <https://taeu.phd.upc.edu/es/jornadas>

### **Comisión Académica de Programa de Doctorado**

Josep Claramunt  
David García  
Jose Maria González  
Ana María Lacasta  
Adrià Muros  
Joan Ramon Rosell  
Joan Lluís Zamora

Edición: Ana María Lacasta

ISBN 978-84-9880-985-5



Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0.  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

# ÍNDICE

---

<u>Letiane Benincá, Eva Crespo, Ana Carolina Badalott, Josep María González-Barroso</u> Optimización multi-objetivo del entorno, forma y envolvente de vivienda social multifamiliar para alcanzar la menor demanda de energía con uso de algoritmo genético	4
<u>Ignacio Alejandro Guzmán-Hernández, Fidel Franco, Joan Lluís Zamora</u> Estrategias de climatización pasivas y semi-pasivas para viviendas en clima cálido-húmedo	9
<u>Omar Avellaneda, Marisela Mendoza, Diana Peña</u> Vertex Pavilion. Deployable Arches Structure with Triangular Section	14
<u>Ainara Bilbao, Adrián Muros</u> Definir la luz	19
<u>Mariana Esponda Cascajares</u> Retos en el patrimonio para un futuro sustentable	24
<u>Alicia Rivera-Rogel, Albert Albareda, David García, Rodrigo Retamales</u> Análisis de pérdida de función observada por sismo en infraestructura hospitalaria	29
<u>Patricia Torres Sánchez, Óscar Alberto López Bátiz</u> AUR Architectural and Urban Resilience Competencia resiliencia en arquitectura: desarrollo de competencias en estudiantes universitarios	36

# Optimización multi-objetivo del entorno, forma y envolvente de vivienda social multifamiliar para alcanzar la menor demanda de energía con uso de algoritmo genético

Letiane Benincá<sup>ab</sup>, Eva Crespo Sánchez<sup>a</sup>, Ana Carolina Badalotti Passuello<sup>b</sup>, Josep María González Barroso<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya (España);

<sup>b</sup>Posgradación en Ingeniería Civil: Construcción e Infraestructura y LIFE Sustainability,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

benincalf@gmail.com

La envolvente de los edificios tiene una gran influencia en su consumo energético. Diseñar arquitectónica y constructivamente la envolvente exterior de un edificio requiere la toma de decisiones de muchas variables, ya sean climáticas, paisajísticas, sociales, ambientales, etc. Los algoritmos genéticos, como en biología, facilitan el cruce de múltiples parámetros a su vez. Este aspecto facilita la maximización o minimización de uno o más objetivos específicos, y así encontrar la solución óptima para los fines especificados. Los algoritmos genéticos, aliados a los softwares de simulación de energía, hacen posible la asociación de muchas variables al mismo tiempo con pocos recursos, contribuyendo en la decisión final del proyecto, que podría ser extremadamente exhaustiva si se hace de forma prescriptiva o una simulación a la vez. En este sentido, este artículo busca establecer qué pautas de diseño de la envolvente de vivienda social multifamiliar en la zona climática 2 de Brasil son las más óptimas, con el análisis integrado de 14 variables constructivas, como el espesor del aislamiento de las paredes y cubierta, el espesor del vidrio, la absorción térmica de los colores y la proporción de pared y ventana, con el uso del algoritmo genético *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II), de acuerdo con los límites descritos en el Código Técnico Español (CTE), y en la NBR 15575, normativa brasileña, haciendo un análisis multi-objetivo para encontrar la mejor relación entre demanda de energía de calefacción y refrigeración.

**Palabras clave:** Optimización multi-objetivo; Algoritmo genético; Eficiencia energética; Demanda de calefacción; Demanda de refrigeración.

## 1. Introducción

Con la crisis energética mundial, vivida en los años 70, hubo la necesidad de adaptar los estándares energéticos de los edificios. Como resultado, se crearon nuevas leyes y regulaciones sobre el tema para minimizar los impactos energéticos de los edificios. Desde entonces, arquitectos, ingenieros y constructores han tenido que adaptarse a esta nueva realidad, buscando formas de construir con mayor eficiencia energética [1].

La construcción del edificio requiere un gran estudio inicial y análisis de muchas variables para que pueda construirse con un rendimiento energético adecuado. Hay innumerables variables constructivas, climáticas y de diseño que influyen en el proyecto. En esta materia, los algoritmos genéticos pueden ser útiles para proporcionar una respuesta rápida a las muchas variables del edificio, de forma integrada.

## 2. Optimización Multi-objetivo

Es el uso de dos funciones objetivos en conflicto y que generan una curva de Pareto, donde la mejor solución será la más cercana al punto utópico, en la búsqueda de la minimización o maximización de una

de las funciones objetivo, como se muestra en Fig. 1 [2].

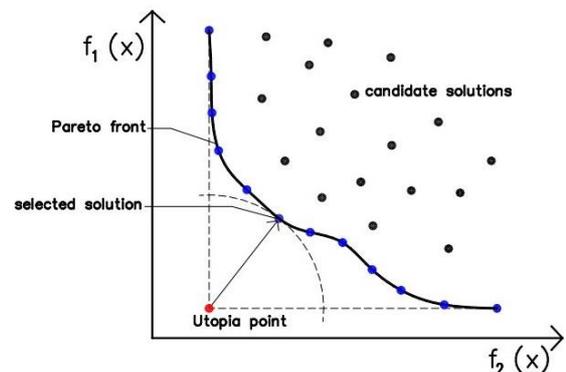


Figura 1. Selección de la mejor solución. Curva de Pareto [2].

Los métodos de optimización se han mejorado y estudiado ampliamente en los últimos años, como se puede ver en los artículos de revisión sobre el tema. Estas revisiones han demostrado que el *software EnergyPlus* es el principal motor de cálculo térmico y la herramienta de optimización más utilizada es Matlab. Presentan el aumento de la optimización con algoritmos a lo largo de los años, para ayudar en los problemas de construcción. Señalan que el algoritmo NSGA-II es el más adecuado para resolver problemas

de optimización multi-objetivo, que son comunes en el diseño arquitectónico [1-8].

### 3. Algoritmo Genético (AG)

Introducido por Holland (1975) y se basa en un proceso de selección natural y adaptación que imita la evolución biológica (Darwin), incluyendo aspectos de herencia, cruce o combinación y mutación. Se destaca por la diversidad de las soluciones que presenta y la eficiencia en la optimización del rendimiento del edificio, debido a su clasificación elitista que acelera la convergencia de las soluciones [1].

Además, los artículos de revisión sobre el tema, señalan que el AG *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II), propuesto por Deb et al. (2002), es el más adecuado para resolver problemas de optimización multi-objetivo, que son comunes en el diseño arquitectónico. Esta variante utiliza la *crowding distance*, lo que significa que busca la convergencia de los genes más aptos después de la primera generación aleatoria [1,9].

Inicialmente, es necesario fijar un número de población, que serán los individuos optimizados. En la secuencia, es necesario estipular cuántas generaciones estarán cruzando los "genes" de los individuos. Con estos dos parámetros se logrará un número X de soluciones [10, 11].

La primera selección de los "genes" ocurre aleatoriamente, luego, la función *crowding distance* buscará los mejores "genes" para alcanzar las funciones objetivas seleccionadas para la optimización, como muestra la Fig. 2.

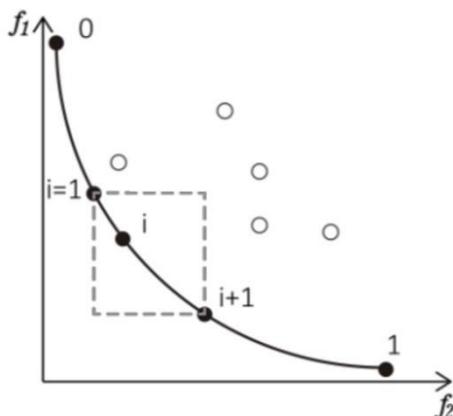


Figura 2. *Crowding distance* [9]

En este escenario, se hará el cruce de todas las variables seleccionadas, buscando la mejor solución para lograr el problema multi-objetivo, para

maximizar o minimizar las dos (o más) funciones de objetivos propuestas.

### 4. Optimización de edificios multifamiliares con AG

En la academia, el tema está ampliamente estudiado, siendo el ACV y la eficiencia energética los temas con más discusión en el campo de la ingeniería y arquitectura. Ciardiello *et al.* [12], hacen la optimización de un edificio multifamiliar en dos fases. Primero analizan la forma, las proporciones y la orientación de un edificio hipotético. En la segunda fase, se analizaron variables para modernizar los edificios, verificando 22 variables diferentes, utilizando una variante del NSGA-II.

Los autores concluyen que con la investigación llevada a cabo, fue posible ahorrar 60% de la demanda energética anual mediante la optimización de la geometría. Con la forma optimizada hay el potencial de ahorro de 23% del coste energético anual utilizando estrategias pasivas y activas en la rehabilitación de la edificación encontrada como óptima.

En Italia, Ascione *et al.* [13], optimizaron un edificio residencial real de cinco pisos, utilizando NSGA-II, con una población de 50 individuos y 100 generaciones, para las siguientes variables: orientación, tipo de ventana, espesor de aislamiento y absorción solar de paredes, piso y techo, setpoint de temperatura para calefacción y refrigeración; la posición del aislamiento térmico de las paredes, el techo y el piso; espesor de bloque de paredes, techo y piso y el bloque de conductividad térmica y densidad de paredes, techo y piso. Las funciones objetivas para el análisis multi-objetivo fueron el consumo de energía primaria; costes globales relacionados con la energía y las horas de desconfort.

Los resultados de la investigación muestran que la optimización de la envolvente de la edificación puede dar indicaciones para la rehabilitación energética del parque de viviendas italiano. Las soluciones óptimas proporcionan valores bajos de consumo de energía primaria (entre 62,0 y 91,9 kWhp/m<sup>2</sup>a) y de costo de energía global entre 456 y 665 Euros/m<sup>2</sup> (dependiendo de la ubicación).

En la búsqueda de minimizar las demandas de calefacción y refrigeración, Albatayneh [14] estudió una casa típica jordana, utilizando el software DesignBuilder junto con el AG embebido y evaluó 12 variables de diseño. Los resultados finales muestran que la refrigeración se puede disminuir en 99,79

kWh/año y la calefacción en 193,95 kWh/año en comparación con el modelo de referencia.

**5. Método**

Esta investigación empleará la simulación energética y la optimización con el AG NSGA-II como estrategia de averiguación, utilizando el *software* de cálculo termoenergético *EnergyPlus* versión 9.0.1 y el lenguaje de programación *Python* como herramienta de optimización, con el objetivo de recrear las realidades de las tipologías elegidas, simulando el comportamiento de dos edificios multifamiares en el contexto climático de la ciudad Passo Fundo, zona climática 2, en el sur de Brasil.

En el estado actual, se realiza un análisis del rendimiento real de la demanda energética de calefacción y refrigeración de los edificios con la intención de compararlo con la optimización final. La optimización arquitectónica se caracteriza por dos fases, la fase I proporciona la mejor orientación y forma en relación a la minimización de la demanda energética total del edificio.

La fase II presenta la solución integrada de la optimización de las 13 variables arquitectónicas para la envolvente del edificio buscando la relación entre la mínima demanda de calefacción y refrigeración, siendo las variables y sus rangos presentados en la tabla 1.

*Tabla 1. Variables optimizadas*

Variable	Franja de optimización
Espesor aislante pared (N)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante pared (S)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante pared (L)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante pared (O)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante cubierta	De 0 a 0,15 m
Absortancia solar paredes	De 0,2 a 0,8
Absortancia solar cubierta	De 0,2 a 0,8
Setpoint ventilación	De 18°C a 25°C
Espesor del vidrio	De 0.003 a 0,01m
Proporción ventana-pared (N)	De 15% a 25%
Proporción ventana-pared (S)	De 15% a 25%
Proporción ventana-pared (L)	De 15% a 25%
Proporción ventana-pared (O)	De 15% a 25%

La dos edificaciones en estudio, forman parte del programa de vivienda brasileño “Minha Casa Minha Vida” para familias de renta baja (las que reciben hasta 3 sueldos mínimos). De acuerdo con Triana, Lamberts e Sassi [15], las viviendas multifamiliares se construyen en mayoría en formato “H” y luego en forma linear. En este sentido, este trabajo busca investigar la demanda de estos dos formatos.

La edificación “H” tiene 5 pisos, con viviendas de 40,10m<sup>2</sup> de área útil, con un total de 1.011,35 m<sup>2</sup> de área construida. El edificio linear, también posee 5 pisos, sus viviendas tienen una área útil de 42,60 m<sup>2</sup> y un área construida de 1.137,30m<sup>2</sup>. La Fig. 3 y 4 presentan la perspectiva de las edificaciones.



*Figura 3. Edificio “H”.*



*Figura 4. Edificio linear.*

El modelado de las Zonas Térmicas y la configuración de los edificios analizados observando: ocupación - número de personas, horarios de ocupación, tasas metabólicas, iluminación - horarios de activación del sistema de iluminación, densidad de potencia de iluminación, infiltración de aberturas, equipos, sistemas de iluminación y ventilación natural, se definieron observando las condiciones límites de la legislación brasileña, como es la realidad a simular y fueron configuradas y adaptadas según el INI-R [16]. Las configuraciones de la envolvente del edificio se establecieron con los límites recomendados en la NBR 15220 [17] y la NBR 15575 [18] observando la transmitancia térmica, la absortancia térmica y la capacidad térmica.

Siendo la transmitancia térmica de la pared de 2,6 W/m<sup>2</sup>.K y la capacidad térmica de 150,48 kH/m<sup>2</sup>.K. La cubierta con transmitancia térmica de 2,3 W/m<sup>2</sup>.K, de acuerdo con los parametros de la NBR 15575.

Se analiza la ciudad de Passo Fundo, en el sur de Brasil, perteneciente al estado de Rio Grande do Sul y clasificada en la zona climática 2 de la NBR 15220 [17]. La ciudad está a 687 m de altitud, y es clima Cfa, según la clasificación de Koppen [19].

## 6. Conclusiones

Los algoritmos genéticos son una herramienta eficaz y a la vez asertivas para la solución de problemas conflictivos en la ingeniería y arquitectura. Por lo expuesto, la tesis tiene la intención de encontrar la mejor orientación solar, la forma (entre las dos propuestas) y la envolvente (analizando las 13 diferentes características) partiendo del análisis multi-objetivo con el uso del NSGA-II en la búsqueda de la mejor relación entre a minimización de la demanda de calefacción y de refrigeración.

## Referencias

[1] Kheiri, F. A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 92, n. May 2017, p. 897–920, 2018.

[2] Nguyen, A. T.; Reiter, S.; Rigo, P. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, v. 113, p. 1043–1058, 2014.

[3].Attia, S. et al. Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. *Energy & Buildings*, v. 60, p. 110–124, 2013.

[4] Parvin, K. et al. Intelligent Controllers and Optimization Algorithms for Building Energy Management towards Achieving Sustainable Development: Challenges and Prospects. *IEEE Access*, v. 9, p. 41577–41602, 2021.

[5]. Shi, X. et al. A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 65, p. 872–884, 2016.

[6]. Huang, Y.; Niu, J. L. Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. *Energy and Buildings*, v. 117, p. 387–398, 2016.

[7] Costa-Carrapiço, I.; Raslan, R.; González, J. N. A systematic review of genetic algorithm-based multi-objective optimisation for building retrofitting strategies towards energy efficiency. *Energy and Buildings*, v. 210, 2020.

[8] Machairas, V.; Tsangrassoulis, A.; Axarli, K. Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, n. 1364, p. 101–112, 2014.

[9] Linczuc, V. C. C.; Bastos, L. E. G. Otimização multiobjetivo orientada ao desempenho térmico para o projeto de edificações de baixo consumo de energia na Região Sul do Brasil. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, p. 509–529, 2020.

[10] Murugan, P.; Kannan, S.; Baskar, S. NSGA-II algorithm for multi-objective generation expansion planning problem. *Electric Power Systems Research*, v. 79, n. 4, p. 622–628, 2009.

[11] Ishibuchi, H. et al. Evolutionary many-objective optimization by NSGA-II and MOEA/D with large populations. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, v. 1, n. October, p. 1758–1763, 2009.

[12] Ciardiello, A. et al. Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design. *Applied Energy*, [s. l.], v. 280, n. October, p. 115984, 2020.

[13] Ascione, F. et al. Building envelope design: Multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. *Energy*, v. 174, p. 359–374, 2019.

[14] Albatayneh, A. Optimisation of building envelope parameters in a semi-arid and warm Mediterranean climate zone. *Energy Reports*, v. 7, n. November, p. 1–23, 2021.

[15] Triana, M. A.; Lamberts, R.; Sassi, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.

[16] INMETRO. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais Inmetro, 2018.

[17] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR

#### IV Jornada de doctorado del programa TAEU. 2021

15220: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[18] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[19] Peel, M. C; Finlayson, B. L; McMahon, T. A. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol. Earth Syst. Sci, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

## Estrategias de climatización pasivas y semi-pasivas para viviendas en clima cálido-húmedo.

Ignacio Alejandro Guzmán-Hernández<sup>a</sup>, Fidel Franco González<sup>b</sup>, Joan Lluís Zamora i Mestre<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de tecnología en la arquitectura, ETSAB, UPC; <sup>b</sup>Departamento de física, ETSAB, UPC  
ignacio.alejandroguzman@upc.edu

La presente investigación se centra en tratar de resolver problemas relacionados con el confort higrotérmico para viviendas en clima cálido-húmedo, tratando de implementar sistemas pasivos y/o semi-pasivos de climatización y deshumidificación del ambiente. Se proponen una serie de estrategias sugeridas por la bibliografía revisada y se evalúa su desempeño empleando software de simulación y modelos matemáticos detallados.

**Palabras clave:** sistemas pasivos, deshumidificación, confort higrotérmico, vivienda social, cálido-húmedo

### 1. Introducción

A pesar de que el confort higrotérmico es uno de los temas más estudiados en la arquitectura, existen algunas deficiencias en específico en climas cálido-húmedos, donde existe cierto vacío de estrategias de climatización pasivas o de bajo consumo energético. Se calcula que entre un 20% y un 40% de la energía consumida en los hogares es para sistemas de refrigeración, calefacción, deshumidificación o ventilación mecánica [1].

El tema del confort en espacios interiores es de vital importancia, ya que en la actualidad los humanos pasamos alrededor del 80% de nuestros días en espacios interiores [2] y hasta un 65% en nuestras viviendas [3]. Y no solamente es importante para nuestra comodidad, el confort higrotérmico tiene consecuencias en nuestra calidad de vida [4] y en nuestra motivación y capacidad de producción [5], siendo la combinación de altas temperaturas y alta humedad las peores para dichas capacidades.

Existen también otros problemas que son ocasionados por los altos niveles de humedad en el ambiente, como por ejemplo de salud. Se ha demostrado que a niveles superiores del 70% de humedad relativa en el interior de las edificaciones, prolifera la reproducción en microorganismos, como ácaros, hongos, protozoarios y algunas bacterias y virus [6], aumentando el riesgo de contraer o empeorar enfermedades respiratorias, tales como el asma [7]. Tan solo en Europa, se calcula que cada año mueren alrededor de 186 personas al año, a causa de enfermedades relacionadas con los altos niveles de humedad en el interior de las viviendas [8]

### 2. Caso de estudio

Se utiliza una vivienda social “tipo” en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, en el sureste de México, como caso de estudio.



Figura 1. Ubicación geográfica de Villahermosa, Tabasco

La temperatura promedio es de 25.3°C, con máximas promedio entre 35 y 40°C y mínimas promedio entre 21.5 y 19°C. La humedad relativa anual es de 81%, con máximas mensuales de 86% y mínimas de 70%. La velocidad del viento promedio es baja, al no estar cerca de la costa, con un valor promedio de 2.75 m/s. Las lluvias son abundantes durante todo el año, aunque se acentúan en los meses de septiembre y octubre. Las precipitaciones anuales son de 1960 mm.

### 3. Metodología

Se modela la vivienda dúplex dentro del software y se ajustan los valores y materiales tal cual se han construido las viviendas, al igual que la configuración de los usuarios de la vivienda.

Se divide la metodología en dos partes, la primera empleando modelos de simulación con el software Designbuilder, primero utilizando los parámetros de la vivienda actual, fungiendo como modelo base de simulación (MBS), y posteriormente modificando algunas variantes sugeridas por una revisión de la bibliografía, siendo seleccionadas:

Tabla 1. Estrategias pasivas seleccionadas

Código	Estrategia	Variación
Sim.01	Altura de cubiertas	Intervalos de 10cm hasta los 50cm
Sim.02	Falso plafón	30-50-70cm
Sim.03	Aislante térmico	PB, PA, PB+PA
Sim.04	Protección solar	Alerones y voladizos 25,50,75 y 100cm
Sim.05	Proporción ventanas	2:2, 1:3 y 3:1
Sim.06	Temporalidad	24h, cerrado, diurna y nocturna
Sim.07	Ventilación cruzada	Aberturas de 40cm sobre las puertas

Se crean simulaciones diarias, mensuales y anuales de la vivienda variando las diversas estrategias, posteriormente los resultados se comparan con el MBS y se analizan las mejoras porcentuales del confort higrotérmico. Se seleccionan las mejores variaciones y se genera un nuevo modelo de simulación base (NMB), sobre el que se generan las estrategias de la segunda etapa de la metodología.

Dicha segunda parte de la metodología involucra la creación de modelos matemáticos que simulan 3 estrategias semi-pasivas de deshumidificación (Paneles de gel de sílice, geotermia somera y presurización).

Se utiliza la eficiencia reportada en la bibliografía del gel de sílice, que es 35.5% de su peso en agua, con una saturación total alcanzada entre 6 y 12 horas, a una temperatura de 27 grados centígrados.

Para la geotermia somera se calcula primero la temperatura del subsuelo para el caso de estudio a diferentes profundidades, entre 10cm y 1 metro. Posteriormente se calcula la extensión y diámetros recomendados para un correcto intercambio de temperatura entre el terreno y el aire de la vivienda. Por último, se hacen cálculos anuales y de promedios de temperatura y humedad relativa para todas las habitaciones.

En el sistema de presurización se propone una humedad relativa deseada por habitación, y con la misma tubería de la geotermia somera, se obtiene una humedad absoluta en gramos a eliminar por hora, y se divide en el número de pulsaciones que se espera generar en el sistema. Posteriormente se realiza el cálculo de presión requerida para dicho trabajo con las dimensiones establecidas de un tanque presurizador.

#### 4. Resultados

Se presentan a continuación los resultados de la investigación, dividido en los dos apartados de la metodología:

##### a. Simulaciones (primera etapa) i. Sim.01 – Altura de cubiertas

Se analiza el comportamiento de los 5 modelos y sus valores de temperatura, humedad relativa y humedad absoluta; posteriormente se contrastan con los valores del MBS. El mejor comportamiento en cuanto al confort higrotérmico se encuentra con 50cm de incremento de la altura de las cubiertas, con temperaturas rebajadas en promedio 1.60% y la humedad relativa un 4.40%, como se observa en la fig. 2.

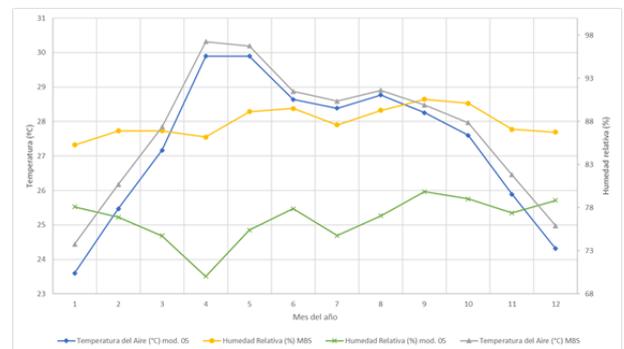


Figura 2. Gráfica simulación sim.01

##### ii. Sim.02 – Falso plafón

Se contrastan los 3 modelos variando las dimensiones del colchón de aire y se compara con el MBS. Como se ve en la fig. 3, existe poca diferencia entre los modelos simulados, pero si gran mejoría en comparación con el MBS, por lo que se elige el modelo de 0.25cm de colchón de aire, con una temperatura descendida de 4.8% y un 8.8% de la humedad relativa.

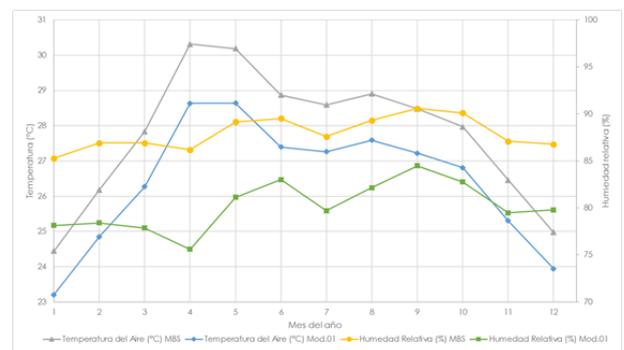


Figura 3. Gráfica simulación sim.02

**iii. Sim.03 – Aislante térmico**

Se analizan los 3 modelos diferentes de aplicación de aislante térmico en muros y techos de la vivienda, los de mejor funcionamiento son con aislamiento en planta alta y obviamente con aislamiento en toda la vivienda, como se muestra en la figura 4.

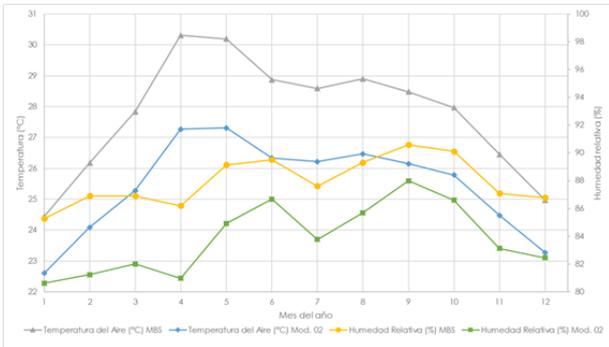


Figura 4. Gráfica simulación sim.03

**iv. Sim.04 – Protección solar**

Se compara el MBS con 3 modelos variando las dimensiones de alerones y voladizos en la fachada de mayor incidencia solar (fachada sur), con mejoras en de la humedad relativa y ligera mejoría de temperatura con el modelo de 1 metro de salientes.

**v. Sim.05 – Proporción de ventanas**

Se modifican las proporciones de las ventanas de barlovento y sotavento para enfatizar efectos de ventilación en el interior de la vivienda (Fig. 5). Los resultados de temperatura y humedad no muestran ninguna mejoría con respecto al MBS, sin embargo, se mejora la tasa de ventilación con el modelo de proporciones 1:3.

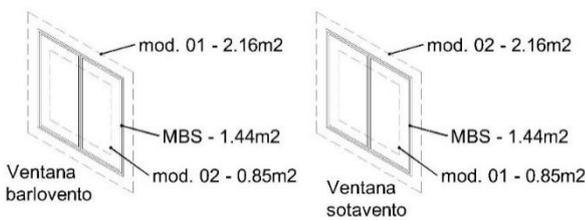


Figura 5. Dimensiones y proporciones de ventanas analizadas

**vi. Sim.06 - Temporalidad**

Los 4 modelos de temporalidad de la ventilación que se comparan son: Ventilación constante (MBS), ventilación cerrada, ventilación nocturna y ventilación diurna. Los mejores resultados se observan con la ventilación constante y la ventilación nocturna, esta última con una disminución semanal del 2.24% de la

temperatura y un 19% de la humedad relativa (Fig. 6), además de que se puede combinar de manera eficiente con los sistemas de deshumidificación.

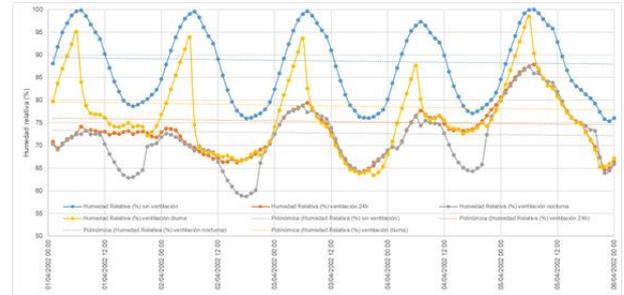


Figura 6. Gráfica simulación 06

**vii. Sim.07 – Ventilación cruzada**

Se analiza el comportamiento simulado de colocar aberturas de 40cm sobre las puertas de la planta alta, tratando de favorecer la ventilación cruzada, y combinándola con diferentes proporciones de ventanas de la sim.05. Se observa una disminución del 1.75% de la temperatura anual promedio y un 13.5% de la humedad relativa promedio, cuando se combina con una proporción de las ventanas 1:3.

**b. Modelos matemáticos (segunda etapa)**

**i. Paneles gel de sílice**

Se realiza utilizando la eficiencia reportada del gel de sílice para temperaturas similares a la del caso de estudio, es decir un 35.5% de su peso en agua. Se hacen modelos utilizando paneles con 1kg de gel de sílice y regenerándolos y replazándolos en diferentes rangos de tiempo: 6 horas, 12 horas y 24 horas. En la Fig. 7 se marca en una franja azul los límites de confort de humedad y en franjas naranjas los rangos de horario de uso de una habitación como ejemplo.

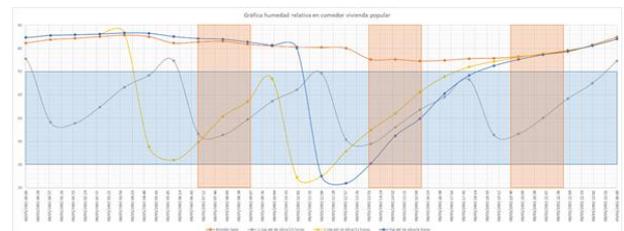


Figura 7. Gráfica paneles de gel de sílice en comedor

Se observa mejoría en la humedad relativa entre un 8% y un 11% diario empleando los diferentes modelos.

**i. Geotermia somera**

Se analizan diferentes profundidades de implementación del sistema, con la finalidad de

encontrar un estrato que favorezca un mayor intercambio térmico en la época más húmeda y calurosa en la superficie del caso de estudio, siendo esta la profundidad de 90 cm. Posteriormente se calcula el diámetro y extensión ideal para dicho intercambio, resultando en 7.5cm y 135 metros respectivamente. El caudal resultante es de 12.72 m<sup>3</sup>/h, que equivale aproximadamente al 50% de cada una de las habitaciones de la vivienda, por lo cual se debe de utilizar solamente en la habitación que se esté utilizando en el momento. Como se observa en las Fig. 8 y 9, la humedad relativa promedio se ve disminuida en un 4%, aunque en momentos puntuales se reduce hasta un 17.5%.

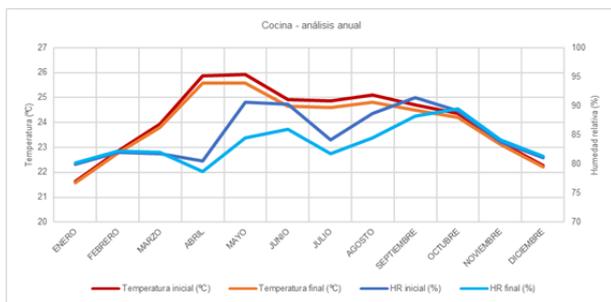


Figura 8. Gráfica promedio anual geotermia somera

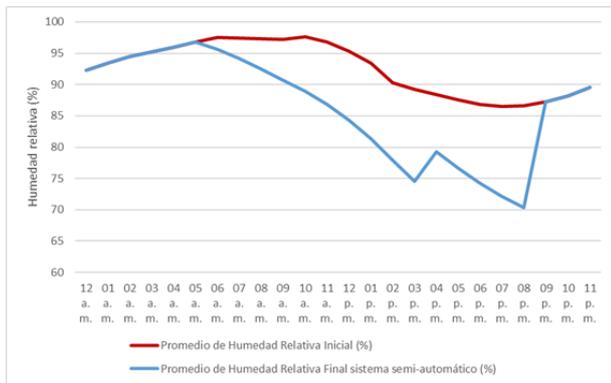


Figura 9. Gráfica diaria geotermia somera

**i. Presurización deshumidificante**

Se realiza un modelo en el que se implementa un sistema de presurización de 1.1 atm a la tubería del sistema de geotermia somera, y se calculan 10 y 20 pulsaciones de presurización, con lo que se calcula la humedad absoluta que se puede condensar con el sistema y se deduce posteriormente la humedad relativa resultante de las habitaciones, logrando reducirla en un 6% y un 10.3% respectivamente en una habitación de la vivienda.

**5. Conclusiones**

Como se esperaba, se ha demostrado con todos los apartados de simulación y cálculo, que ninguna estrategia por sí sola puede servir para crear niveles de

confort en temperatura y humedad, sin embargo se destacan algunas de ellas con efectividades parciales, que ayudan a acercarse a dichos niveles, por lo que se podría combinar varias de ellas, las cuales podrán ser elegidas dependiendo de las condiciones exteriores. Se mencionan algunas a continuación:

- Incremento de las cubiertas de la vivienda de 50cm.
- Colocación de un falso plafon de por lo menos 30cm de colchón de aire.
- Implementación de aislante térmico en la planta alta.
- Modificación de la proporción de las ventanas a un modelo 3:1.
- Protección solar de por lo menos 30cm, en forma de aleros y voladizos en ventanas fachada sur.
- Favorecer la ventilación constante, o la ventilación nocturna, dependiendo de las condiciones exteriores, o para implementar sistemas de deshumidificación durante el día.
- Favorecer la ventilación cruzada para descender niveles de humedad relativa.
- Implementación de geotermia somera para deshumidificación en las temporadas del año con mayores temperaturas y/o humedad relativa, utilización durante el día.
- Implementación de paneles desecantes con gel de sílice en habitaciones de la planta alta, durante periodos de 6 horas, operadas de acuerdo a las necesidades y uso de las habitaciones.
- Implementación de sistema de deshumidificación por presión del aire durante los momentos críticos de temperatura y humedad.

**Agradecimientos**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) por el apoyo económico recibido para la investigación que se presenta, al igual que a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) por permitirme ser parte de esta actividad y ayudar a difundir investigaciones y estudios.

**Referencias**

[1] CEPAL, *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México*, 2018. 2018.

[2] Manzano-Agugliaro, F., et al., *Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort*. 2015. 49: p. 736-755.

[3] Nelson, W.C., W. Ott, and J.P. Robinson, *National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): Use of*

- nationwide activity data for human exposure assessment.* 1994, Maryland Univ., College Park, MD (United States). Survey Research Center.
- [4] Choi, J.-H., et al., *Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines.* 2012. **46**: p. 167-175.
- [5] Cui, W., et al., *Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance.* 2013. **68**: p. 114-122.
- [6] Arundel, A.V., et al., *Indirect health effects of relative humidity in indoor environments.* Environmental health perspectives, 1986. **65**: p. 351-361.
- [7] Andersen, I. and J. Korsgaard, *Asthma and the indoor environment: assessment of the health implications of high indoor air humidity.* Environment International, 1986. **12**(1-4): p. 121-127.
- [8] Braubach, M., D.E. Jacobs, and D. Ormandy, *Environmental burden of disease associated with inadequate housing.* World Health Organization, 2011.

## Vertex Pavilion. Deployable Arches Structure with Triangular Section.

O. Avellaneda<sup>a</sup>, M. Mendoza<sup>b</sup>, D. Peñab<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Associate professor. ETSAB. Polytechnic University of Catalonia.

<sup>b</sup>Senior Lecturer, Nottingham Trent University

<sup>c</sup>Lita - Polytechnic University of Catalonia.

omar.fabrisio.avellaneda@upc.edu

The research study presented in this paper focused on the potential of scissor-like deployable structures with straight bars to create compact, light and cost-effective solutions for temporary shelters and emergency architecture. The design and construction process included parametric design; various scale model prototypes and a final 1:1 scale prototype. The 'Vertex' structure is comprised of three triangles made up of 27 scissor-like straight bars. When unfolded the triangles scissor-like bars deploy to create three arches. The arches are joined to each other at ground level and secured in place using three bases. Finally, the arches' stability is secured at the upper level by the tension force of the textile membrane. The fabrication process included both conventional fabrication and assembly of materials as well as the use of 3D printing and laser cutting technology. The assembly of the 1:1 prototype was carried out in one hour. Each triangle weights 9 kg, and the entire structure including the bases and the textile is 70kg. The prototype was fabricated and tested by the MArch Architecture students and Lab at Nottingham Trent University, as part of a workshop on deployable structures conducted by the SMiA (Structural Morphology in Architecture) Research Group.

**Keywords:** deployable structures, parametric design, digital fabrication, active geometry

### 1. Introduction

Deployable structures and in particular scissor-like structures have a great potential for emergency architecture. However, most of the design proposals, to present date, have only been explored regarding their conceptual and morphological design. Thus leaving out the crucial research on the effective fabrication and erection which is also vital in emergency architecture. Furthermore, there are very few examples of scale 1:1 prototypes that can attest the efficiency of these structures. Our research group strongly believes in using scale 1:1 prototypes to gain a full understanding of the potential and structural efficiency of these structures.

Deployable structures with articulated straight bars have a particular advantage over other deployable systems, comprised by straight bars they can reach a more compact closed configuration than many other deployable structures and which ultimately makes them more effective for storage and transportation.

The design of the vertex pavilion was part of Omar Avellaneda's doctoral research which focused on deployable structures and limited movement control. The research proposed the parametric design of a deployable arch and possible groupings and configurations for different architectural applications.. One of the main research areas of interest of the Structural Morphology in Architecture SMiA - research group is to develop a holistic understanding and design of deployable structures, from their

conceptual design inception to the thorough exploration of their fabrication and erection. One of the key explorations developed in our research group is through iterative model making at different scales and this is based on the knowledge and experience that an increase of tension on the articulated elements and bars is directly proportional to the increase of scale

The 'Vertex' structure was proposed a a pilot prototype for emergency and temporary architecture. The prototype was fabricated and tested by the MArch Architecture students and Lab at Nottingham Trent University, School of Architecture Design and Built Environment as part of a workshop on deployable structures conducted by the SMiA (Structural Morphology in Architecture) Research Group.

The 'Vertex' pavilion was comprised of three deployable arches. Each deployable arch was made up of 27 straight scissor-like units. When unfolded the triangles scissor-like units deployed to create three arches. The arches were joined to each other at ground level and secured in place using three bases. Finally, the arches' stability was secured at the upper level by the tension force of the textile membrane. The fabrication process included both conventional fabrication technology as well as the use of 3D printing and laser cutting technology. The assembly of the 1:1 prototype was carried out in one hour. Each triangle weights 9 kg, and the entire structure including the bases and the textile is 70kg.

## 2. Arch Design

Deployable structures with articulated straight bars have the possibility to group and create triangular, square and hexagonal modules. If the joint in the pair of bars is symmetrical (at their midpoints), the kinetic directionality of the groupings of more than one pair of bars will be linear. If the joint of the pair of bars is asymmetric (eccentric from their midpoint) the kinetic directionality of the grouping of more than one pair of bars will be curved with the possibility of creating synclastic and anticlastic groupings.

The main rationale behind the design of the 'Vertex' prototype was to explore a scissor-like deployable module that could be used in a versatile and flexible way to construct different geometric configurations and for different shelter solutions. During the research explorations, the use of a membrane component was proposed; first, to provide shelter and second, to provide stability to the structure, this also led the proposal of deployable arches.

The most common deployable arches are those formed by square modules and hexagonal modules. And the least common or less explored are the arches with triangular modules. Triangular arches have two advantages over those of square and hexagonal modules. The first is that each deployable module consists of fewer articulated bars. And the second is that the triangular section of the deployable modules is more stable than the square and the hexagonal ones.

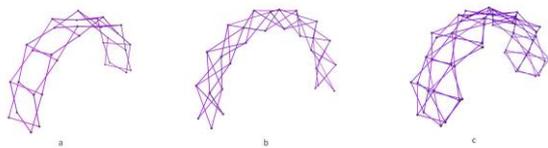


Fig. 1 (a) Deployable arch with square module. (b) Deployable arch with triangular module. (c) Deployable arch with hexagonal module.

With the use of Rhinoceros software, and Grasshopper plugin, the design was parameterized. The arch of triangular section was formed by a pair of straight symmetrical bars, and two pairs of asymmetric straight bars as illustrated in figure 1. To give movement to the group of straight bars, symmetric and asymmetric, The kinetic properties of both symmetric and asymmetric bars were analyzed circumscribing each pair of bars. The points of intersection between circles as the bars rotate inside the circumference provided the basis for the parametric modelling of the structure and its motion using Grasshopper.

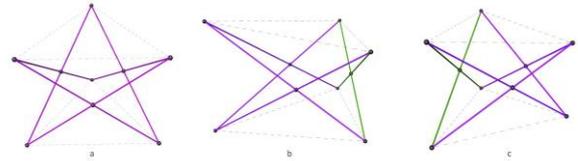


Fig.2 Deployable module with triangular section. (a) Symmetric units. (b) Symmetrical inner unit and asymmetrical units. (c) Symmetrical external unit and asymmetrical units.

The deployable module of the triangular section was grouped linearly in the direction of the curvature given by the asymmetry of its bars. The union of the pairs of asymmetric scissors of the module, form a crest or deformed peak that indicates the direction of the curvature of rotation. The repetition of the module in the direction of the curvature forms a spatial deployable arch. The number of modules to form a deployable arch will depend on the asymmetry of the module.

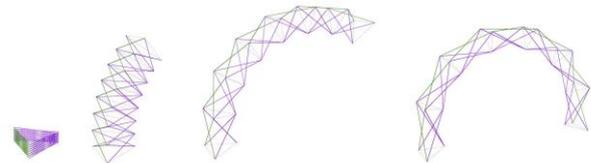


Fig.3 Deployable arch. Deployment process.

Two possible arch configurations were explored according to the position of the asymmetric bars. Both would deploy to create the same curve, but with different morphology. The first configuration was with the asymmetric pair of bars along the intrados of the arch, thus creating an inner ridge as illustrated in Fig. 4a ; and the second one was with the asymmetric bars along the extados of the arch, thus creating an external ridge as illustrated in Fig. 4b.

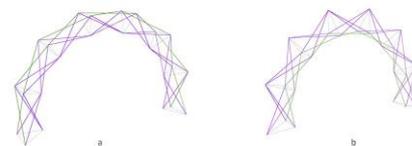


Fig.4 (a) Deployable arch with crest inside. (b) Deployable arch with crest outside.

The arch selected for the construction of the prototype the first configuration where the asymmetric pair of bars along the intrados of the arch. This configuration was selected because the position of the symmetrical bars on the outside of the arch were in the ideal position to serve as anchoring points for the membrane.

Throughout all deployment stages the system has only one degree of freedom, so blocking a single module is enough to block the movement of the entire system. The next step was the construction of a scale model, where the movement and deformations of the bars were tested. Articulated double layer joints were also explored. Using digital manufacturing techniques for its construction.



Fig.5 Scale model using digital manufacturing techniques.

### 3. Prototype Construction

The deployable arch is itself rigid and stable in its fully open stage but not practical in isolation to form a sheltered space. But insufficient to form a habitable space. The objective was to look for a grouping of modules that would configure a sheltered space and that at the same time would provide structural stability and erection efficiency. A central and symmetric grouping was selected to guarantee the stability of the entire system. Three arches were grouped at 120 ° forming an equilateral triangle in plan. This grouping offered more rigidity and stability to the system was fully deployed.

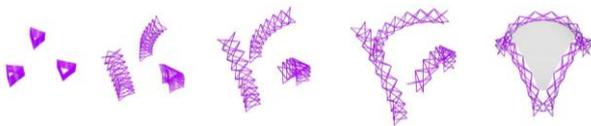


Fig.6 Vertex pavilion morphology. Deployment process.

Once the digital design of the prototype was completed the computer model was also used to carry out a basic structural analysis of the possible deformations of the bars during deployment. The following and most important step was to fabricate and erect the scale 1:1 prototype.

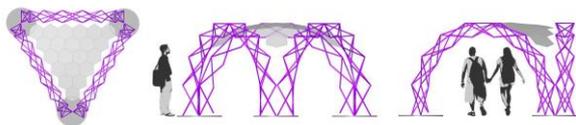


Fig.7 Vertex pavilion with fabric. Views.

This work was carried out with the support of the model and manufacturing laboratory of the School of Architecture of Nottingham Trent University. In this space the students had the opportunity to mechanize the wood to make the bars of the arches and build the joints with PVC tubes for the initial tests. The

construction of the arches and the final erection of the structure was made in the courtyard of the School of Architecture, Arkwright Building.

The first prototype was built with unions made in a traditional way with PVC tubes, guaranteeing the axes of movement so that the structure did not lose fluidity in its change of shape. The second and final prototype was developed with pieces designed and printed in 3d. During this process, each of the pieces was manufactured and the three independent arches that made up the final structure were built. For each finished arch, tests of movement, stability and verification of breaking of each wooden bar were made. All to guarantee the stability and rigidity of each arch.



Fig.7 Manufacturing and assembly process.

Work was also done on the design pattern and sewing of the lycra-type textile membrane that was used to cover the structure. This pattern was previously designed in Grasshopper calculating a tension tolerance that allowed us to install the lycra-type membrane with an admissible tension without breaking. The pieces or pattern made in lycra included metal eyelets along the perimeter of the membrane and spaced at 50cm. These points are the tension anchors between the fabric and the structure in wood. It was necessary to design a support base for the arches. With the weight of the bases we guarantee the stability of the structure and the non-intervention in the field.



Fig.8 Bases for arches and fabric pattern.

The assembly of the final structure was carried out in 5 hours, taking into account 2 assembly steps. The first step was to draw the geometry of the prototype in the terrain, and install each of the arches in the reference points. First, the core was installed and the stability of each arch was verified. Once an arch was fully deployed and its span checked the motion of the arch was blocked with a steel bar and the arch was anchored to its timber base. The second step was the installation of the membrane using the inner ends of the symmetrical bars of each arch as anchors for the membrane.



*Fig.9 Vertex Pavilion.*

The prototype was adapted to enter the competition and exhibition of the Expo IASS 2019 form & force. The dimensions of the bars and the numbers of modules were adapted to comprise a structure of nine triangular section modules and the bases were redesigned with a polygon pattern. The installation time was 30 minutes including the bases and 10 minutes in the disassembly. The prototype weighted 70kg and covered an area of 12 square meters.



*Fig.10 Vertex Pavilion. Presented at the LASS Expo 2019 Form & Force*



*Fig.11 Vertex Pavilion. Presented at the LASS Expo 2019 Form & Force*

#### 4. Conclusions and future research

The experience of building prototypes at an intermediate scale of deployable structures has proved very effective to further understand the kinetic behaviour of these structures but most importantly it has become a very powerful tool to teach the synergies between form and force in the design and construction of complex structures. The change of scale, the design of the joints, the mechanical behavior of the prototype, its weight, the interfaces from the digital to the physical models and the prototype were very important steps to gain a more holistic understanding of the kinetic behaviour of the structure. Although proposed as low-cost prototype, the use of optimum materials were considered and we are thankful for the funding that NTU provided.

Perhaps the most valuable learning during this exercise was the exploration and analysis using different scale models/prototype. Physically verify the results obtained from the theoretical analysis FEA (Finite Element Analysis) with that of the small scale model and the final 1:1 prototype proved that at a small scale deformations or displacements are imperceptible. To have control of the real or approximate weight of the structure, joints, and other components. When changing the scale, it is more difficult to control the movement of the structure, so it is necessary to propose motion control systems and different sections and in some instances different materials for the articulations.

Deformations and torsion of the bars. The passage of the working models to a prototype of intermediate scale, forces to verify dimensions of the elements,

materials and design of unions. The deployable structure system requires the design of its joints. Unions that with custom designs to avoid displacement of the bars and decrease deformations.

The SMiA research group sees it necessary to make the leap from digital designs and small scale models to the fabrication and construction of 1:1 prototypes.. It is in these academic exercises where you can advance more in the development and solutions of new challenges and opportunities to create more versatile and creative scissor-like deployable structures with articulated straight bars.

### 5. References

[1] M. Mendoza, O. Avellaneda, D. Peña, Learning by doing: Fostering creativity in the teaching and learning of deployable structures in architectural education. Creativity in Structural Design Proceedings of the IASS Annual Symposium. Boston USA, 2018.

[2] O. Avellaneda, "Deployable Structures System, Hexagonal X-frame. Three Case Studies" ARCHI DOCT, 14 February, v. 4, n. 2, p. 41-56. 2017.

[3] A Fuller Explanation, The Synergetic Geometry of R. Buckminster Fuller, Amy C. Edmondson, Birkhauser, 1987. ISBN 978-0-8176-3338-7. Stuttgart

[4] New Proposal for Transformable Architecture, Engineering and Desing. In honor of Emilio Perez Piñeros. 18th, 20th september 2013. Abstract book. Felix Escrig & Jose Sanches. Sevilla. Spain. ISBN: 978-84-939565-3-0

[5] Modular, ligero, transformable: un paseo por la arquitectura ligera móvil. Félix Escrig Pallarés. Universidad de Sevilla, 2012. ISBN: 97884472142

[6] <https://smia-experimental.com/> - Structural Morphology in Architecture research group of the University Polytechnic of Catalonia.

## Definir la luz

Ainara Bilbao Villa<sup>a</sup>, Adrián Muros Alcojor<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Tecnología de la Arquitectura, ETSAB, UPC  
ainara.bilbao@upc.edu

El medio de expresión natural del proyecto de Arquitectura y, por ende, el de la iluminación arquitectónica artificial es principalmente gráfico y visual, pero no es el único: la expresión verbal puede constituir una herramienta de gran utilidad para la concepción y comunicación del proyecto.

Para que esta comunicación verbal sea efectiva se requiere imprescindiblemente de una terminología precisa de forma que se pueda hacer uso de un vocabulario propio, ligado a las cualidades de la luz en tanto que conformadora de espacio, que permita comunicar y concebir el proyecto de iluminación de manera eficaz.

**Palabras clave:** iluminación artificial, terminología, comunicación verbal, conceptualización, arquitectura

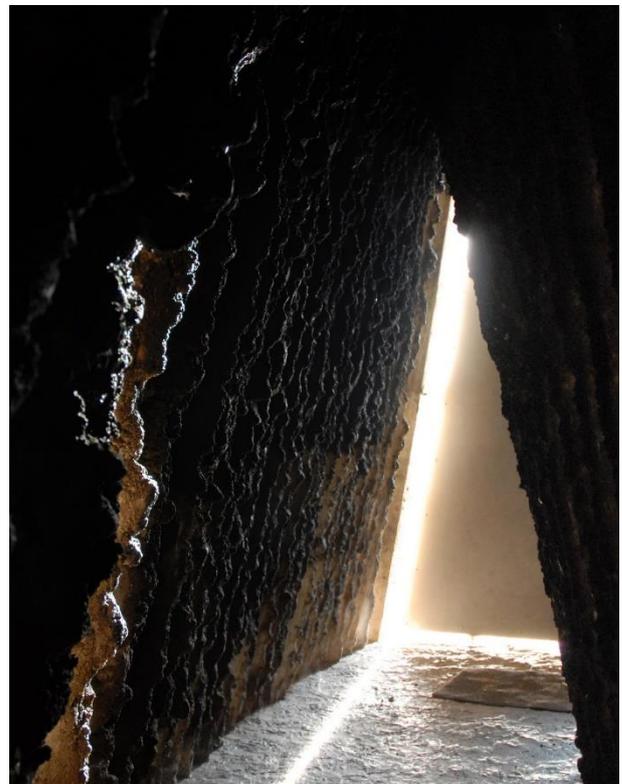
### 1. Introducción

Toda comunicación efectiva precisa de un código común claramente definido y compartido por las partes implicadas en el acto de comunicarse.

A lo largo de la historia se han desarrollado tanto un léxico propio como un conjunto de expresiones verbales especialmente asociadas a la descripción del espacio arquitectónico y que se relacionan con una definición clara que facilita la comunicación efectiva entre personas formadas en las diferentes disciplinas ligadas a la Arquitectura.

En el caso de la iluminación arquitectónica artificial, sin embargo, no es así. En tanto que materia compartida con disciplinas más técnicas, predominan en el vocabulario ligado a la iluminación arquitectónica términos de carácter claramente tecnológico y cuantitativo. La concepción espacial requiere sin embargo de un enfoque no sólo cuantitativo sino especialmente cualitativo en el tratamiento de la luz. Tal y como dice Rasmussen “lo importante no es la cantidad de la luz: lo importante es cómo cae la luz” [1].

Sin embargo, al tratar de verbalizar estos aspectos cualitativos, nos encontramos con una gran ausencia de términos claros que ayuden a comunicarlos. Esto induce a la utilización de términos no codificados, subjetivos y muchas veces poéticos. Dichos términos, en el mejor de los casos evocativos y en el peor demasiado vagos, no son en su mayoría suficientemente definidos como para establecer una comunicación eficaz entre el emisor y el receptor del mensaje.



*Figura 1. Luz como configuradora de espacio arquitectónico en su interacción con la superficie. Imagen de SEIER+SEIER vía Wikipedia commons*

Se constata pues, la necesidad de una terminología clara que relacione de forma unívoca un término o expresión verbal con su imagen visual correspondiente.

La identificación de esta situación es el germen del que surge el tema de mi tesis doctoral, actualmente en proceso, que centrada en la relación entre términos e imágenes, pretende contribuir a subsanar las carencias detectadas en torno a la terminología empleada para la

comunicación y concepción de la iluminación en el proyecto arquitectónico.

## 2. Estado del arte

Descartando las publicaciones de enfoque puramente técnico y cuantitativo, y centrándonos en las publicaciones referentes a la calidad de la luz, hallamos que la producción no es tan extensa.

Existen sin embargo aportaciones en las que se vislumbra un deseo de establecer lo que llamaremos parámetros lumínicos. En el contexto matemático se llama parámetro a una variable que aparece en una ecuación cuyo valor se fija a voluntad. En el contexto que nos ocupa también se definirá *parámetro lumínico* como una variable que consideraremos en el proyecto y cuyo valor podrá el arquitecto fijar en función del objetivo. Es decir, podremos incidir sobre el valor de los parámetros para obtener un cierto resultado del proyecto de iluminación.

En su artículo “Lighting as an Integral Part of Architecture” (Iluminación como parte integral de la Arquitectura) [2], el arquitecto y lighting designer Richard Kelly estableció en 1952 tres categorías elementales de iluminación: *focal glow*, *ambient luminiscence* y *play of brilliants*, que han sido traducidos y adaptados en castellano como *luz para ver*, *luz para mirar* y *luz para contemplar* [3].

En el mismo artículo, Kelly estableció las cualidades básicas de la luz que condicionan el proyecto de iluminación: *intensidad*, *brillo*, *difusión*, *color espectral*, y *dirección*.

Por ello, y a pesar de su brevedad (se trata de un artículo de apenas seis páginas), “Lighting as an Integral Part of Architecture” es un documento fundamental en cuanto a la conceptualización teórica sobre el proyecto de iluminación arquitectónica, ya que fija por primera vez los parámetros cualitativos de la iluminación artificial en el contexto arquitectónico.

Aproximadamente una década más tarde Abe Feder, quien procedía del ámbito de la iluminación escénica, identificó en “Atmosphere and Lighting” [4] otra serie de cualidades de la luz en relación con el objeto capaces de provocar una reacción en el observador: *visibilidad*, *forma*, *naturalismo* y *estado dinámico*.

A finales de siglo XX se publicarán documentos más extensos sobre el papel de la iluminación en la arquitectura. Destaca especialmente “Perception and

lighting as formgivers for architecture” (Percepción e iluminación como conformadoras de la arquitectura) [5] de William C. Lam, quien propone un nuevo proceso de diseño basado en la percepción y en la definición de los objetivos cualitativos a satisfacer. Para ello identifica los parámetros lumínicos, en su mayoría cualitativos, que influyen sobre las necesidades biológicas y visuales de las personas. Dichos parámetros son según Lam: *cantidad*, *dispersión*, *tipo espectral*, *rendimiento cromático*, *direccionalidad*, *geometría*, *polarización*, *número y tipo de fuentes* e *información*.

Estas aportaciones marcarán un punto de inflexión en el modo de entender la luz en el contexto arquitectónico. Se desmarcan del enfoque puramente cuantitativo prevalente hasta el momento y abrirán una nueva vía a los enfoques cualitativos de la luz que se realizarán con posterioridad.

Así, Skarlatou [6], al estudiar diferentes efectos lumínicos y su uso en el proyecto de iluminación por parte de un grupo de diseñadores identifica los siguientes parámetros: *dirección y posición de la fuente de luz*, *geometría de la distribución de luz*, *perspectiva lumínica*, *uso de la abstracción en la composición lumínica* y *relaciones sintácticas entre superficie y fuente*.

Chudinova [7] destaca la *distribución* como parámetro principal identificando distintos métodos de realizar dicha distribución de luz en el espacio: *reflexión direccional*, *dispersión*, *enfoque*, *sombreado*, *filtrado a través de color*, *apantallamiento*.

Wänström, también pone en relieve la distribución de la luz en su estudio sobre la percepción visual de los límites espaciales [8], destacando cuatro cualidades de la luz: *brillo*, *patrones*, *ritmo* y *topografía* (entendida como relación de alturas en la posición de las luminarias en el espacio).

Destacan también reflexiones teóricas del lighting designer Hervé Descottes en su obra “Ultimate Lighting Design” [9], en el que antes de explicar algunos de sus proyectos, identifica los parámetros de iluminación a considerar en el proyecto. Se trata de: *iluminancia*, *luminancia*, *color y temperatura*, *altura*, *densidad*, *dirección y distribución*.

Así mismo, el método PERCIFAL para el análisis espacial perceptivo de color y luz, desarrollado por Arnkil et al. [10] establece los siguientes parámetros de definición cualitativa: *nivel lumínico*, *distribución lumínica*, *sombras y manchas de luz*, *brillo* y *reflexiones especulares*, *color de la luz*, *color de la superficie*, y *la interacción con objetos, espacio y personas*.

La revisión de la literatura nos lleva pues a constatar la existencia de unos conjuntos de parámetros básicos a tener en cuenta a la hora de definir una cierta configuración lumínica. Si bien los parámetros no son exactamente coincidentes en los diversos autores presentan grandes similitudes al poner el acento en los aspectos cualitativos y formales de la luz.

### 3. Hipótesis

Los parámetros citados en la literatura conforman un marco que permite ordenar los términos que nos ayudan a describir el proyecto de iluminación arquitectónica. A través de la definición de los valores que toma el proyecto para cada uno de estos parámetros configuradores, podemos comenzar a plantear una comunicación ordenada y clara de conceptos.

La tesis en la que trabajo propone que es posible acotar y definir unos parámetros básicos sobre los que se puede trabajar para definir las características cualitativas formales de la iluminación artificial arquitectónica, definiendo un valor para cada uno de esos parámetros.

Así se podrían relacionar las combinaciones de valores con una cierta formalización lumínica. Es decir, la combinación de distintos valores paramétricos lleva a la obtención de un determinado espacio lumínico formal y, viceversa, se deben dar todos o la mayoría de los valores indicados para poder conseguir una cierta solución formal de la iluminación arquitectónica.



Figura 2. Configuración lumínica en 'Minna no Mori' Gifu Media Cosmos de Toyo Ito, iluminado por Kaoru Mende (Lighting Planners Associates).

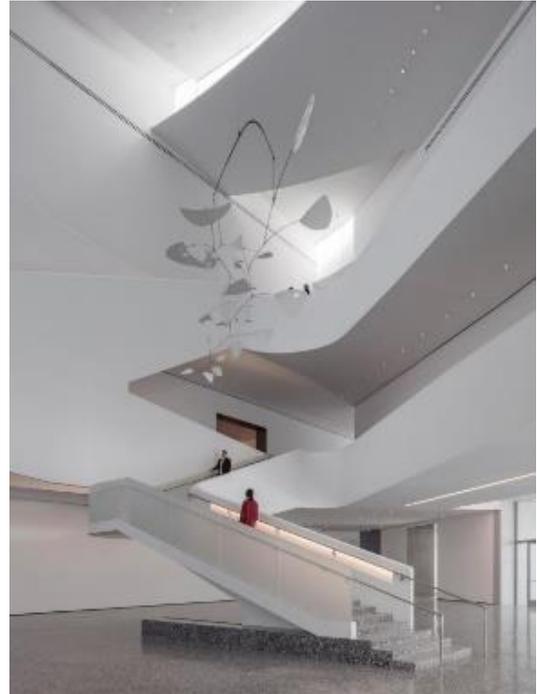


Figura 3. Configuración lumínica en museo Nancy and Rich Kinder Steven Holl, iluminado por Hervé Descottes (L'Observatoire International).

De ese modo, hallando un término que defina los distintos valores, se podrán utilizar dichos términos para describir una cierta configuración formal lumínica desde sus aspectos cualitativos y utilizar esta capacidad descriptiva para comunicar las intenciones a priori del proyecto.

### 4. Objetivos

Se pretende establecer una serie de herramientas que puedan ser aplicadas en la concepción del proyecto de iluminación arquitectónica de forma que se obtengan los resultados cualitativos formales deseados, y que permitan a la vez comunicar de forma unívoca las intenciones de proyecto mediante términos que tengan asociado un significado común tanto para el emisor como el receptor del mensaje. El objetivo final sería la definición de una terminología propia como herramienta de comunicación y concepción del proyecto de iluminación.

Para ello se plantean los siguientes subobjetivos:

- definir los parámetros lumínicos de proyecto sobre los que se puede actuar para obtener el resultado lumínico pretendido.
- definir los valores de cada parámetro, así como las posibles combinaciones de valores de distintos parámetros por los que se obtienen determinados resultados visuales.

- recopilar un glosario visual que represente los distintos resultados visuales que se desean alcanzar
- recopilar un glosario verbal que designe los diferentes valores de los principales parámetros lumínicos cualitativos.

El resultado esperado es un léxico verbal en correspondencia con un diccionario visual de los conceptos ligados a los parámetros y valores identificados.

### 5. Metodología para la extracción de términos e imágenes

Para la identificación de los términos a emplear se tomará una muestra de publicaciones donde se describan verbalmente proyectos de iluminación ya realizados. Tomando como banco de datos textos donde se utilice el lenguaje verbal para la comunicación del proyecto a posteriori se identificarán los parámetros más relevantes descritos, así como los términos empleados para la descripción de cada parámetro.

La muestra para la extracción léxica se limitará a publicaciones periódicas especializadas en iluminación artificial arquitectónica, escritas en castellano, publicadas en España y no ligadas directamente a una marca comercial concreta. Quedan pues fuera de la muestra para la extracción léxica las publicaciones de marcas comerciales, que aun siendo en su mayoría interesantes y rigurosas, suelen centrarse más en aspectos cualitativos y de definición técnica de las luminarias empleadas.

Según estas premisas se han seleccionado tres publicaciones especializadas: la revista *Lightecture*, la revista *iCandela* y la revista *Luces CEI*, esta última publicada por el Comité Español de Iluminación.

Se establece además un límite temporal, por lo que sólo se emplearán descripciones de proyectos redactados a partir de 2019, fecha de la última actualización relativa al Código Técnico de la Edificación, que incluye el documento básico HE 3 de eficiencia energética en iluminación.

El corpus a analizar es extenso y el tiempo necesario para un análisis manual es inviable, por lo que actualmente se están investigando herramientas de extracción léxica automática que partiendo de textos digitalizados permitan identificar los términos más empleados para describir la luz artificial en el espacio arquitectónico.

Se estima que la terminología extraída será extensa y será necesario un análisis de la misma para, en primer lugar, clasificar los términos extraídos según los parámetros de configuración lumínica que describen, y posteriormente, identificar si existe una jerarquía de relevancia entre dichos parámetros. Así se pretende discriminar entre parámetros esenciales y complementarios para la descripción del proyecto de iluminación. Esto permitirá acotar el campo de investigación, trabajando sólo con los términos ligados a parámetros esenciales, y dejando abiertas futuras líneas de investigación ligadas a los parámetros complementarios.

La extracción de imágenes se realizará mediante selección manual de las imágenes incluidas en las publicaciones de los proyectos descritos en el corpus empleado para la extracción léxica.

### 6. Metodología para la validación de las relaciones términos verbales/imágenes visuales

Una vez confeccionado el conjunto de terminología y el conjunto de imágenes, la siguiente fase de la investigación consistirá en establecer y validar una relación entre cada término y su correspondiente imagen visual.

Siguiendo las indicaciones del departamento de Estadística e Investigación Operativa de la Facultad de Matemáticas y Estadística de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), se ha realizado un primer esbozo del proceso adecuado para realizar la validación indicada.

En primer lugar, un reducido grupo de expertos establecerá la relación entre términos e imágenes. Para ello se tomarán las imágenes preseleccionadas y se identificarán para cada imagen los términos que designan los valores que toman para cada uno de los parámetros esenciales. Así los parámetros lumínicos configuran las “variables categóricas” de la clasificación y los términos definirán los “niveles” que pueden darse dentro de cada categoría.

Dadas varias imágenes se establecerá el nivel que muestran dichas imágenes para cada una de las variables categóricas analizadas. Se darán por válidas las relaciones en las que exista acuerdo para al menos un 75% del grupo de expertos.

Una vez confeccionada esta primera relación, se validará mediante encuestas a estudiantes y profesionales de la arquitectura y la iluminación.

Las encuestas realizadas a estudiantes y profesionales se analizarán por separado, ya que derivado del tipo de perfil podrían darse resultados diferentes que es interesante analizar.

Los datos obtenidos se analizarán utilizando la estadística descriptiva. Con los términos validados se elaborará el léxico verbal y visual que se pretende conseguir.

## 7. Conclusiones

Aunque la investigación que se presenta está aún en una fase inicial, los pasos realizados hasta el momento apuntan a que será posible recopilar un amplio conjunto de términos útiles para la descripción cualitativa formal de la luz.

Una vez clasificados y definidos dichos términos en forma de diccionario visual y verbal, se pretende que este diccionario se convierta en una herramienta de comunicación, concepción y análisis que será presentada primero en el ámbito docente para que sea aplicada por los arquitectos en formación.

Se espera que pueda ser una herramienta que ayude al alumno en su concepción de proyectos de iluminación durante su formación. Una vez completada dicha formación, estos mismos arquitectos podrán tomar las herramientas adquiridas y aplicarlas en su ejercicio profesional, contribuyendo a la extensión de una terminología común.

Como en toda investigación es necesaria una labor de limitación del tema de estudio, por lo que quedan abiertas muchas cuestiones que se plantean al rededor del tema de la tesis.

## Referencias

- [1] Rasmussen, Steen E. *La experiencia de la arquitectura: sobre la percepción de nuestro entorno*. Barcelona: Reverte, 2004, pág. 158.
- [2] Kelly, Richard. "Lighting as an Integral Part of Architecture." *College Art Journal*, vol. 12, no. 1, 1952, pp. 24–30. JSTOR, www.jstor.org/stable/773361. Visitado el 21 Apr. 2020.
- [3] Ganslandt, Rüdiger, and Harald Hofmann. "Cómo planificar con luz." Madrid: Erco, 2009, pág 24.
- [4] Feder, Abe. "Atmosphere and Lighting." *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, vol. 6, no. 3, Nov. 1965, pp. 66–68, doi:10.1177/001088046500600314.
- [5] Lam, William M. *Perception and lighting as formgivers for architecture*. New York: McGraw-Hill, 1977.
- [6] Skarlatou, A-Z. *Light effects in the design process: a theoretical investigation of designers' perceptions of light effects and an empirical study of how they use them in architectural lighting design*. Diss. UCL (University College London), 2011.
- [7] Chudinova, V. G., and O. R. Bokova. *Possibilities of Architectural Lighting to Create New Style*, vol. 262, 2017. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1088/1757-899X/262/1/012147.
- [8] Descottes, Hervé. *Architectural lighting: designing with light and space*. Princeton Architectural Press, New York, 2011.
- [9] Wänström Lindh, Ulrika. *Light shapes spaces: experience of distribution of light and visual spatial boundaries*. Doctoral dissertation. University of Gothenburg, HDK School of Design and Crafts. Gothenburg, 2012.
- [10] Arnkil, Harald, et al. "PERCIFAL: Visual analysis of space, light and colour." *AIC 2011, Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences, Midterm Meeting of the International Colour Association*, Zurich, Switzerland, 7–10 Junio 2011.

## Retos en el patrimonio para un futuro sustentable

Mariana Esponda Cascajares<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Coordinadora del Programa de Conservación, Azrieli School of Architecture, Carleton University, Canadá  
mariana.esponda@carleton.ca

La evolución del concepto patrimonio en las últimas décadas está ocasionando un cambio de mentalidad para proteger, de una forma más eficiente e inclusiva, la herencia cultural de las sociedades. La extensión del campo de salvaguarda -vinculando de manera indisoluble los elementos tangibles a los intangibles y apreciando las interacciones del hombre con su entorno- puede ser un elemento conciliador para generar una protección holística del patrimonio y poder así adaptarlos a nuevos usos sustentables. El propósito de este artículo es identificar los variados desafíos que presenta el siglo XXI para el patrimonio desde el turismo masivo, presiones urbanas y densificación, nuevas tecnologías, ausencia de mano de obra cualificada, negligencia y falta de mantenimiento oportuno, escasez de recursos, conflictos bélicos y los desastres naturales (cambio climático, terremotos e incendios). Como caso de estudio se expone el incierto destino de la casa modernista Strutt House en Canadá y las posibilidades de reutilizar este edificio para un beneficio ambiental.

**Palabras clave:** retos en el patrimonio, movimiento moderno, reutilización de edificios en Canadá, futuro sustentable y paisaje cultural.

### 1. Introducción

Hace unas décadas el concepto de patrimonio se refería solamente a monumentos de la antigüedad, incluyendo edificios del siglo XIX, pero actualmente este término se ha transformado y abarca a un conjunto no sólo mayor en tipologías (edificios religiosos, industriales, hospitales, comerciales, sitios arqueológicos, etc.) estilos arquitectónicos, épocas y culturas. Además, mucho más variado e incluyendo diferentes realidades de la sociedad y de contextos geográficos.

Este paradigma incluye desde el patrimonio natural al cultural, apreciando tradiciones, objetos, lenguajes, conocimientos y usos sociales. Estos referentes (Fig. 1) -tangibles e intangibles- son indisolubles de la herencia cultural, expresan valores compartidos y sirven para unificar a los pueblos/sociedades con su entorno específico.



*Figura 1. Intersección de valores tangibles e intangibles. Desde la antigüedad, la fruta llamada jaggery es considerada como un elemento sagrado, e indispensable como uno de los ingredientes para la preparación de los morteros en la construcción de templos de la India y Myanmar.*

### 2. Retos en el siglo XXI

Debido a que el conjunto de estos importantes elementos son expresiones vitales de una cultura, la preservación del patrimonio debe buscar un equilibrio entre tradición y modernización. Actualmente, uno de los cambios en la mentalidad que está generando nuevos retos es el término de inclusividad donde no se debe valorar más al edificio que a los habitantes que lo usan o usarán; esta es otra modificación que ocurre en el patrimonio. En este momento, para cualquier intervención, se debe implicar a todos los miembros de la comunidad, observando qué elementos valoran (históricos, artísticos, tecnológicos, estéticos, usos, innovación) de su patrimonio y poder así reutilizar los espacios para futuros usos. Es decir, vincular los elementos físicos (edificios y lugar) con el significado y su uso.

Los desafíos que actualmente persisten en la salvaguarda del patrimonio son muy complejos y variados, e incluyen desde el turismo masivo, el desarrollo urbano sin límites, la pérdida del “saber construir con técnicas tradicionales”, la extracción de recursos y materiales, los conflictos bélicos, y los desastres naturales como el impacto del cambio climático, terremotos e incendios. [1] Estos fenómenos crean retos no sólo para la oportuna conservación del patrimonio, sino para su gestión cultural y para la adaptación de nuevos usos en una sociedad en constante cambio.

Es importante destacar que uno de los grandes retos en el patrimonio es aprender de las soluciones anteriores, y valorar qué intervenciones están funcionando con el paso del tiempo. En los últimos años, se ha comprobado que no es recomendable

utilizar técnicas inadecuadas y no reversibles, como fue el extensivo uso del hormigón armado (Fig. 2) en la segunda mitad del siglo XX para reforzar edificios de mampostería. Especialmente en zonas sísmicas se observan mayores daños, debido a que este material modifica el comportamiento estructural de los edificios. [2]



Figura 2. Convento de Huaquechula, Puebla, México. Daños en la bóveda de crucería ocasionados por el sismo de septiembre 2017. La parte superior del campanario fue intervenido, erróneamente, con hormigón armado.

Pero a pesar de que el patrimonio es crucial, en términos de transferir identidad cultural para futuras generaciones, de favorecer la cohesión territorial y del crecimiento económico, su valor y significado, aún en el siglo XXI, no es entendido en todo su potencial. Otro de los mayores desafíos en el patrimonio es la constante destrucción de edificios -ya sean catalogados o no como patrimonio- y reemplazados por nuevos edificios, extendiendo las ciudades cada vez más.

Los edificios y el sector de la construcción son responsables de más de un tercio del consumo de energía mundial y casi de un 40 % de las emisiones de bióxido de carbono. Con base en estos datos, la reutilización de edificios existentes debería jugar un papel decisivo para reforzar el cambio de mentalidad y lograr los objetivos para un futuro más sustentable.

### 3. Patrimonio en Canadá

Posiblemente sea una sorpresa para algunos que Canadá es la única nación del grupo G7 (organización

de líderes de algunas de las economías más grandes del mundo: Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido y Estados Unidos) que no tiene una ley de protección para su patrimonio. [3] La designación a los edificios históricos como patrimonio canadiense no los protege -de que en un futuro próximo- sean destruidos, simplemente ese reconocimiento como sitio histórico les da un **valor conmemorativo**. Estas importantes lagunas existen en el sistema de protección a nivel federal. Estos edificios no están bajo jurisdicción provincial, por lo que las 1300 propiedades patrimoniales que posee el gobierno federal no tienen protección legal.<sup>1</sup>

Desafortunadamente, esta falta de protección, en la legislación, alienta la demolición del entorno construido (patrimonio o no) a través de un sistema de impuestos que incentiva la destrucción en lugar de la reutilización. [4]

En las primeras dos décadas del siglo XXI, Canadá ha derribado 23% de sus edificios históricos en zonas urbanas y 21% en áreas rurales.[5] Esta proporción de destrucción es perturbadora en términos de pérdida del patrimonio cultural y en el aumento de residuos ambientales. La tipología de edificios más afectados son iglesias y construcciones industriales.

Las causas de destrucción, específicamente en Canadá, varían desde negligencia debido a la falta de mantenimiento y abandono, incapacidad de las autoridades municipales de hacer cumplir o reforzar leyes que protejan el patrimonio, presiones por el aumento del valor del suelo y los desastres naturales debido al impacto del cambio climático. Las mayores amenazas son el aumento del nivel del mar, la descongelación de capas permanentes de hielo, la erosión en las costas y el aumento de niveles de precipitación y de temperatura.

Sin embargo, como se menciona en el libro “*Building Resilience*” (2016) hay pocos recursos para los que una muestra representativa de individuos, organizaciones y gobiernos en Canadá puedan consultar las mejores prácticas en la modernización o rehabilitación de los edificios existentes. [6]

Continuando con los retos actuales, la relación entre sostenibilidad y conservación del patrimonio está comenzando a ganar fuerza.<sup>2</sup> Y, a partir de los últimos

<sup>1</sup> Los derechos civiles y de propiedad en Canadá - incluyendo la protección del patrimonio- están bajo la jurisdicción exclusiva de los gobiernos de las provincias y territorios. Desde su creación en 1973, el National Trust ha trabajado con todos los niveles del gobierno para fomentar

la adopción y mejora de la legislación *The Historic Sites and Monuments Act*.

<sup>2</sup> Como ejemplo, el reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático de las Naciones Unidas explica la importancia en rehabilitar los edificios existentes para

años, adaptar el patrimonio está contribuyendo a crear un entorno construido sostenible y hará que las comunidades sean más resilientes. La necesidad de adaptar los edificios existentes es, incluso, más importante que hace medio siglo cuando se produjo una gran crisis medioambiental.

En 2015, la comunidad del barrio *Old Ottawa East* me solicitó que con mis alumnos del programa de conservación de Carleton University, (Fig. 3) propusiéramos nuevos usos al edificio Deschatelets. Este edificio construido en 1885 por la Orden de San José y los misioneros Oblates (institución más antigua en Ottawa) desde 1848 tuvo un rol fundamental en la evolución de la ciudad, en especial, el establecimiento de iglesias, escuelas y posteriormente la Universidad de Ottawa. La designación de atributos históricos de este edificio incluye la fachada principal, el ala posterior construida para su capilla en 1950 y el corredor de árboles que conectan la zona verde con la calle principal.

Desafortunadamente por presiones urbanas, desde 2016 que los misioneros vendieron el edificio, esta zona se ha desarrollado masivamente, hasta la fecha se han construido más de 3500 viviendas. Durante estos cinco años, el edificio de Deschatelets se encuentra abandonado, observando cómo las partes que no tenían ninguna protección eran demolidas. Pero en septiembre de 2020, [7] después de una gran batalla política entre consejeros municipales, miembros de la comunidad y el grupo promotor se aceptó demoler el ala donde se encontraba la iglesia (Fig. 4) a pesar de estar protegida. La excusa fue la dificultad en adaptar un espacio existente a los nuevos usos.

Como se aprecia en una de las propuestas de mis alumnos de conservación, ellos sí pudieron imaginar este espacio y convertirlo en sala de multiusos para la comunidad.



*Figura 3. Edificio Deschatelets. Re-adaptación de uso como centro comunitario. Propuesta en 2016 por Lori Chan, Mimi Gagne y Summer Bourgon. Carleton University*



*Figura 4. Durante el verano de 2021 se demolió el ala posterior de la iglesia del Edificio Deschatelets, a pesar de estar protegida. Notese la cantidad de toneladas de materiales de desperdicio.*

#### 4. Otro caso de estudio canadiense Strutt house- Búsqueda de equilibrio entre patrimonio natural y cultural.

La relación entre cultura y naturaleza es única y depende por completo de la perspectiva que cada sociedad tiene respecto a estos valores y a su interrelación. El no reconocer estas perspectivas ha dado lugar a decisiones de conservación inapropiadas. Desafortunadamente, un ejemplo de esta mala interpretación de valores y enfoques puede ser el incierto destino de la casa modernista Strutt House, ubicada en el Parque Natural de Gatineau, en Quebec, Canadá.

La casa Strutt tiene la designación como edificio “reconocido” como patrimonio federal (FHBRO), pero como he explicado, anteriormente, esto no la protege de una futura demolición. Esta casa construida por James W. Strutt, en 1955, incluye geometrías complejas y estructuras de bajo peso que se integran sensiblemente en el entorno natural del Parque de Gatineau. Este es el principal espacio verde al norte de Ottawa con una extensa biodiversidad, una amplia gama de hábitats protegidos y cinco ecosistemas valiosos; es considerado como área natural protegida de importancia nacional, cubre un total de 36,131 hectáreas y recibe alrededor de dos millones de visitantes cada año. Este parque fue creado en 1938 por el esfuerzo de Percy Sparks. Desde 1958 es administrado por la Comisión Nacional de la Capital (NCC).

El arquitecto Strutt contribuyó notablemente al desarrollo de la arquitectura canadiense, explorando estructuras innovadoras, con su interés en geometrías no ortogonales -diseñando, hasta donde se sabe, el primer paraboloide hiperbólico de madera en Canadá. Además de esta estructura de madera de cedro que

---

combatir el cambio climático, mediante la reducción del consumo de energía y las emisiones de carbono de los edificios.

define una de sus características más prominentes, su forma geométrica de rombo sigue una cuadrícula repetitiva, los 360 grados de encristalamiento que enmarcan y permiten las vistas hacia el bosque y sus consideraciones medioambientales, hacen que esta casa tenga un rendimiento pasivo muy eficiente debido a la iluminación natural y ventilación cruzada.



Figura 5. Casa Strutt, 2010 integración con el entorno del Parque de Gatineau.

La casa de la familia Strutt (Fig. 5) se adapta a los contornos de la colina a través de dos plataformas, superior e inferior, que se asientan ligeramente sobre pilotes anclados a pilares triangulares de hormigón fijados al lecho de la roca. Cada esquina está en voladizo, dando la sensación de ligereza y que flota. Un núcleo de bloques de hormigón se eleva como mástil central de la casa para soportar las ocho secciones interconectadas de la cubierta hiperbólica. El núcleo tiene al frente una chimenea que divide las áreas públicas de las privadas, todos los demás soportes estructurales son postes de cedro rojo 2x6 pulgadas, así como la cancelería y celosías exteriores. Strutt uso materiales económicos, con un ensamblaje lógico y las geometrías del diseño están altamente estandarizadas, debido a esto se construyó en sólo 6 semanas por menos de \$15,000 dólares.

Después de que James Strutt falleciera en 2008, su casa estuvo abandonada durante tres años y sufrió un deterioro significativo. Los principales problemas eran la filtración de agua provocando daños en la carpintería, ausencia de sellado en algunas juntas y la presencia de sal en los paneles exteriores de madera. Es importante enfatizar que, en un clima como el de Canadá (Fig.6), nunca se deben subestimar los efectos de la naturaleza y las fuertes variaciones de temperatura (veranos de 40 grados centígrados e inviernos de hasta menos 40 grados). En 2011, NCC compró la propiedad con la intención de demoler la casa y recuperar el espacio para el parque de Gatineau protegiendo su biodiversidad y las especies en riesgo.



Figura 6 y 7. Análisis de los deterioros que presenta la Casa Strutt después de encontrarse por una década sin uso. Mis alumnos de Carleton University estudiaron diversas soluciones de intervención y protección. Nótese la ejecución del parabolóide hiperbólico de madera.



En 2017, durante la celebración de los 150 años de la fundación de Canadá, se decidió promover la importancia de este espacio modernista y la Casa Strutt fue visitada por más de 30,000 personas en sólo 6 meses. Esto fue otro evento traumático para una estructura diseñada con uso residencial y no para turismo o eventos de gran escala. La estructura se desplomó 4 pulgadas, la cubierta hiperbólica presentó filtraciones de agua y muchos de los paneles de protección solar están podridos. (Fig. 7)

Posteriormente, las campañas de concientización a diferentes sectores de la comunidad, por parte de expertos en patrimonio, la *Fundación Strutt* -en especial Titania Truesdale- y el apoyo del *Getty Institute*, al otorgar en 2015 una subvención para crear el Plan de Conservación y Mantenimiento de la casa Strutt, [8] han sido fundamentales para la defensa, prevención de su demolición por parte del NCC y planificación para su futura conservación.

Después de varias propuestas con mis alumnos de la Escuela de Arquitectura de Carleton University, presentamos un nuevo enfoque para cambiar la estrategia de valorar e integrar de manera más efectiva las características naturales y culturales del Parque de Gatineau, mediante la aplicación del concepto de paisaje cultural. Éstos tienen la peculiaridad de estar en constante cambio por sus valores culturales, sociales, económicos, psicológicos, espirituales,

históricos y ecológicos. [9] Se debería estudiar el Parque de Gatineau como un todo en lugar de una serie de elementos separados. No podemos entender y gestionar su entorno natural a menos de que comprendamos la cultura humana que lo ha moldeado. Y aquí se incluye el significado que tiene la Casa Strutt actualmente.

Más que proponer una protección estática, la Casa Strutt sugiere una solución más dinámica. Algunas de las soluciones que los estudiantes propusieron fue una reutilización como residencia de artistas-académicos o un centro de investigación para la ecología del parque. [10]

La base de mis conocimientos y pasión por la recuperación y reutilización de edificios existentes se debe a mis estudios como arquitecta tanto en México, como a mi doctorado en Construcción y Restauración por la UPC, en Barcelona, y a mi desarrollo profesional como restauradora de patrimonio. Es importante señalar que mi labor, como coordinadora del único programa en licenciatura desde 2009, que se especializa en conservación y sustentabilidad que existe en Canadá, es transmitir a las futuras generaciones y concientizar a la comunidad del gran valor histórico y cultural que posee este país.

## 5. Conclusiones

En Canadá, como en otras partes del mundo, el reconocimiento de la arquitectura moderna como patrimonio es un fenómeno bastante nuevo y, como consecuencia, se han perdido grandes ejemplos por presiones urbanas, negligencia y desinterés en sus valores y retos tecnológicos (durabilidad, funcionalidad, adaptabilidad, obsolescencia, experimentación). Este es otro de los desafíos que en el siglo XXI tenemos que superar para proteger, de la mejor manera, la riqueza y diversidad de la arquitectura del siglo XX.

Mi pasión por el patrimonio me ha hecho analizar diferentes casos de estudio, en Canadá y en otras partes del mundo, para poder enfrentarnos a los retos contemporáneos y adaptar los edificios existentes a las exigencias actuales del cambio climático, mejorar la eficiencia energética, reutilizar los materiales, así como

la seguridad, accesibilidad y habitabilidad. Sin olvidar el respeto de los valores y las prácticas tradicionales.

La identificación oportuna de los retos y riesgos existentes en el siglo XXI informará cómo involucrar a las comunidades y qué estrategias son las oportunas para mitigar y adaptar el patrimonio para su salvaguarda. De este modo se podrá reducir la huella ecológica de los costes medioambientales debido a las inadecuadas demoliciones.

## Referencias

- [1] Boshier, L.; Kim, D.; Okubo, T.; Chmutina, K.; Jigyasu, R.; Dealing with multiple hazards and threats on cultural heritage sites: an assessment of 80 case studies in Disaster Prevention and Management. 2019.
- [2] Esponda, M. (2004). PhD thesis, "Assessment of the Reinforced Concrete in the Restoration of Historical Buildings, Mexico & Spain" Universidad Politécnica de Cataluña.
- [3] <https://archive.nationaltrustcanada.ca/issues-campaigns/legal-protection>
- [4] Denhez, M.; Grafton, K. Federal tax policy incentivizes demolition over reuse. In Option Politique-Elaboration de politiques/Environment. 2021 Juin.
- [5] <https://archive.nationaltrustcanada.ca/issues-campaigns/top-ten-endangered/worst-losses-archive#ON>
- [6] Building Resilience. Practical Guidelines for the Sustainable Rehabilitation of Buildings in Canada. Federal Provincial Territorial Ministers of Culture and Heritage in Canada. 2016.
- [7] <https://heritageottawa.org/news/deschatelets-building-heritage-ottawa-urges-against-demolition-chapel-wing>
- [8] Strutt House, Conservation Plan. Fondation Strutt Foundation. 2017
- [9] Smith, J. Definition and Assessment of Cultural Landscapes of Heritage Value on NCC Lands. December 2004.
- [10] Esponda, M. Between Cultural and Natural Heritage: Conservation of a Modernist House in a Natural Park. 12th International Do.co.mo.mo Conference Proceedings, Finland. 2012

## Análisis de pérdida de función observada por sismo en infraestructura hospitalaria

Alicia Rivera-Rogel<sup>a</sup>, Albert Albareda<sup>a</sup>, David García<sup>a</sup> y Rodrigo Retamales<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento Tecnología en la Arquitectura, Barcelona

<sup>b</sup> Consultor en Ingeniería Sísmica y Estructural, Seismic Intelligence SpA, Santiago de Chile  
alicia.rivera@upc.edu

El desempeño sísmico de componentes y sistemas no estructurales (elementos arquitectónicos, equipos eléctricos y mecánicos, sistemas distribuidos y contenidos, entre otros), juega un papel fundamental en la continuidad de función de infraestructura crítica y estratégica durante e inmediatamente después de eventos sísmicos severos. Los daños de componentes y sistemas no estructurales son los principales causantes de las pérdidas de función y económicas de las infraestructuras hospitalarias. Este artículo describe el análisis de diecisiete casos de hospitales localizados en países tales como Estados Unidos, Taiwán, Turquía, Chile, Italia, España, Ecuador y México, entre otros; afectados por eventos sísmicos con magnitudes de momento  $M_w$  entre 5.1 y 8.8. Se presenta un análisis de causalidad entre el nivel de daño estructural y no estructural, el grado de pérdida de capacidad de función experimentado y la demanda sísmica observada en las estructuras analizadas, en términos de derivas máximas promedio de entrepiso y aceleraciones absolutas máximas promedio de piso. A partir de los análisis de observaciones de desempeño sísmico se concluye que las demandas sísmicas que desencadenan daños no estructurales en estructuras sin diseño sísmico no estructural, y la consiguiente pérdida de función durante un sismo, corresponden a aceleraciones absolutas de piso del orden de 0.16g y derivas de entrepiso del orden de 1‰.

**Palabras clave:** componentes y sistemas no estructurales, desempeño sísmico, hospitales, vulnerabilidad, modelo predictivo

### 1. Introducción

Los desastres naturales ocurridos en el mundo en los últimos 20 años han cobrado la vida de por lo menos 1.3 millones de personas. De estos desastres naturales, los terremotos han sido la causa del 56% del total de víctimas [1]. Adicionalmente, los terremotos han demostrado ser una de las causas más importantes de pérdidas físicas, económicas y funcionales en las edificaciones, producto del limitado o inexistente diseño y detallamiento sísmico de componentes y sistemas no estructurales. En este sentido, los hospitales deben estar en pleno funcionamiento para proteger la vida de pacientes, visitas y profesionales de la salud que se encuentran dentro de ellos, así como para brindar atención médica de emergencia. La pérdida de la función, incluso por un corto período de tiempo, puede ser vital para pacientes críticos. A pesar de la importancia de estos edificios, muchos hospitales han resultado severamente dañados e incluso colapsados durante eventos sísmicos recientes.

Eventos sísmicos como San Fernando (1971), México (1985), Northridge (1994), Kobe (1995) y Chi-Chi (1999), han marcado un antes y un después en los criterios de diseño sísmico de hospitales, modificando las normativas sísmicas de referencia internacional. Como ejemplo se tiene al emblemático Hospital Olive View en California (1971) y al Hospital Benito Juárez en México (1985). En este último hospital se produjo la muerte de 561 personas. Dichos establecimientos

de salud, situados en California y Ciudad de México, respectivamente, presentaron daños estructurales extenso y completo, respectivamente [2-3]. Asimismo, en otros casos como los terremotos de Hawái de 2006 [4], Chile de 2010 [5], Nueva Zelanda de 2011 [6-7] y en eventos sísmicos recientes, como el de Ecuador de 2016 [8] y el de México de 2017 [9], se evidenció que, a pesar que los elementos estructurales alcanzaron un desempeño sísmico satisfactorio en la mayoría de los hospitales, la pérdida de la función fue causada por daños en componentes y sistemas no estructurales, puntualmente en falsos techos, particiones, revestimientos, caída de escombros, colapso de instalaciones y vuelco de equipos, entre otros. En consecuencia, la evidencia empírica resalta la importancia que tienen los componentes y sistemas no estructurales en el desempeño sísmico de infraestructura hospitalaria.

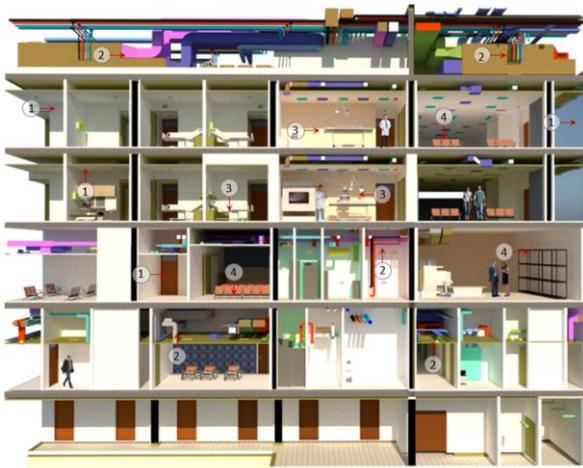
Actualmente, existen varios estudios sobre el comportamiento estructural de los edificios en general y de los hospitales en particular [10]. No obstante, para los componentes y sistemas no estructurales, existe información limitada sobre el efecto de sus daños en la pérdida funcional en edificios esenciales durante y después de terremotos. Estudios recientes continúan mostrando que el daño a componentes y sistemas no estructurales está asociado a intensidades sísmicas más bajas que las requeridas para causar daño estructural [11-12]. Recientemente se ha realizado una amplia investigación sobre la vulnerabilidad sísmica de componentes y sistemas no estructurales, incluidos sistemas

de falsos techos [13-20], tabiques interiores y exteriores [21-24], y sistemas de tuberías [25-28].

En este estudio se presentan y analizan las demandas sísmicas actuando sobre 17 estructuras, el comportamiento sísmico de sus componentes y sistemas no estructurales, y sus correlaciones con el grado de pérdida de función de la infraestructura de salud. Los 17 casos de estudio considerados fueron afectados por eventos sísmicos con magnitudes de momento  $M_w$  entre 5.1 y 8.8, incluyendo instalaciones de salud ubicadas en Estados Unidos, Taiwán, Turquía, Chile, Italia, El Salvador, Perú, España, Ecuador y México. Se propone un modelo predictivo del nivel de pérdida funcional como baja o nula, temporal y permanente, en función del detallamiento sísmico de los componentes y sistemas no estructurales.

## 2. Componentes y sistemas no estructurales de edificios hospitalarios

En esta investigación, la clasificación de los componentes y sistemas no estructurales de hospitales se basa principalmente en la propuesta de FEMA E-74 [29] y del documento “Hospital safety index: guide for evaluators” de la Organización Mundial de la Salud [30]. La clasificación considera: elementos arquitectónicos, instalaciones, equipamiento médico y contenidos. La Figura 1 ilustra conceptualmente las cuatro categorías de componentes y sistemas no estructurales en una infraestructura hospitalaria.



1. Elementos arquitectónicos; 2. Instalaciones; 3. Equipamiento médico; 4. Contenidos

Figura 1. Representación conceptual de componentes y sistemas no estructurales de un hospital

Las siguientes son cada una de las cuatro categorías consideradas:

1. Elementos arquitectónicos. Corresponden a elementos y sistemas no estructurales que

pertencen intrínsecamente al edificio, incluidos falsos techos, particiones, revestimientos, parapetos, acristalamientos, marquesinas, puertas y escaleras, entre muchos otros. Se clasifican en interiores y exteriores, según su ubicación en el edificio.

2. Instalaciones. Esta categoría incluye equipos de sistemas críticos y sistemas distribuidos. Los equipos de sistemas críticos corresponden a equipos eléctricos y de comunicaciones, ascensores y montacargas, equipos de climatización como calderas, hornos, bombas y enfriadores, entre otros. Los sistemas distribuidos incluyen sistemas de extinción de incendios y otros elementos como tuberías (agua potable, aguas residuales, etc.), bandejas de cables (para electricidad, comunicación, etc.) y ductos de climatización.
3. Equipamiento médico. Comprende un gran número de aparatos, instrumentales, accesorios, material y otros artículos similares para el diagnóstico, prevención, control y tratamiento, utilizados en todas las especialidades de un hospital. En otras palabras, abarca todos los elementos destinados a uso médico, incluyendo servicios y gases médicos. Servicios médicos tales como: i) Servicios Asistenciales (Unidades de Cuidados Intensivos UCI, Hospitalización, Hospital de Día, Emergencias, Quirófanos, etc.); ii) Servicios Centrales de Diagnóstico y Tratamiento, Diagnóstico basado en imágenes (Rayos X, Tomografía Computarizada, Resonancia Magnética, Ecografía, Endoscopía, Diálisis, Radioterapia, etc.); iii) Servicio de Análisis y Medicación (Laboratorios, Farmacia, almacenamiento refrigerado como Bancos de Sangre y medicamentos); y iv) Servicios Generales y de Apoyo (Esterilización, Morgue y Autopsias, Cocina, Lavandería, etc.). Gases médicos comprende los sistemas de suministro y reserva de gases medicinales tales como oxígeno, aire médico, vacío médico, óxido nítrico, nitrógeno y dióxido de carbono, entre otros.
4. Contenidos. Elementos no médicos ubicados dentro del edificio (incluso de forma permanente) y que no son instalaciones. Se incluyen en esta categoría estanterías pesadas y ligeras, materiales peligrados, equipos informáticos y de comunicación, mobiliario, accesorios, adornos y similares.

### 3. Modelo predictivo

El nivel de daño experimentado por un elemento o un conjunto de elementos (tanto estructurales como no estructurales) se clasifica en diferentes estados de daño (por sus siglas en inglés, DS Damage States). Se han definido cinco estados de daño, de acuerdo con la clasificación de HAZUS [31] tales como: sin daño o nulo (DS<sub>0</sub>); leve (DS<sub>1</sub>); moderado (DS<sub>2</sub>); extenso (DS<sub>3</sub>) y completo (DS<sub>4</sub>).

#### 3.1 Daño estructural

El nivel de desempeño sísmico de la estructura en relación con el daño estructural de un edificio se clasifica como [32-33]:

- Daño nulo (DS<sub>0</sub>). No presenta daño visible; los sistemas estructurales se encuentran totalmente operativos.
- Daño leve (DS<sub>1</sub>). Ocupación inmediata. El daño global de la estructura es menor. No se esperan degradaciones de la resistencia ni de la rigidez de la estructura.
- Daño moderado (DS<sub>2</sub>). Control de daños. Este nivel de daño requiere tiempos de reparación mínimos y la interrupción del funcionamiento como un medio parcial para proteger equipos y contenidos valiosos cuando el costo del diseño para ocupación inmediata es excesivo.
- Daño extenso (DS<sub>3</sub>). Seguridad de la vida. Daños significativos en la estructura, no obstante, todavía existe un margen de seguridad respecto al colapso estructural. Algunos elementos estructurales pueden verse severamente afectados. Sin embargo, el riesgo de afectación a la vida de los ocupantes se espera que sea bajo. Es posible reparar la estructura.
- Daño completo (DS<sub>4</sub>). Prevención de colapso. El riesgo de que los ocupantes resulten heridos es alto debido a la caída de escombros. La estructura no es reparable técnicamente y no es segura para volver a ser ocupada; una réplica puede provocar su colapso.

#### 3.2 Daño no estructural

El nivel de desempeño sísmico de la estructura en relación con el daño estructural de un edificio se clasifica como [32-33]:

- Daño nulo (DS<sub>0</sub>). No presenta daño visible; los sistemas de la infraestructura hospitalaria se encuentran totalmente operativos.

- Leve (DS<sub>1</sub>). Operativo - Habitable: Los equipos y los contenidos están generalmente seguros; sin embargo, pueden no operar debido a fallas mecánicas o por la falta de otros servicios.
- Moderado (DS<sub>2</sub>). Ocupación Inmediata - Habitable: No hay peligro para la vida humana. Los sistemas, en general, permanecen operativos, siempre que la energía esté disponible; sin embargo, se requieren reparaciones menores. Varios elementos arquitectónicos, mecánicos y eléctricos están dañados.
- Extenso (DS<sub>3</sub>). Seguridad de vida - Acceso restringido en algunas zonas: El nivel de riesgo para la vida humana es bajo. No se esperan bloqueos en las rutas de salida, pero existe acumulación de escombros. El uso de las instalaciones en determinadas zonas de la edificación es restringido.
- Completo (DS<sub>4</sub>). Cerca del colapso - Entrada prohibida: El nivel de riesgo para la vida humana es elevado. Se presentan daños severos en elementos no estructurales y la mayoría de los sistemas de emergencia se encuentran fuera de servicio. El hospital no se encuentra operativo (funcional).

#### 3.3 Relación entre estados de daño y pérdida de función en infraestructuras hospitalarias

Se presenta la relación entre los estados de daño y los efectos en la pérdida de función en una infraestructura hospitalaria.

- i. Pérdida de función baja y/o nula (PFB). Infraestructura hospitalaria completamente funcional durante e inmediatamente después de eventos sísmicos. Interrupciones mínimas durante el proceso de reparación.
- ii. Pérdida de función temporal (PFI). Interrupción significativa de los servicios debido a problemas asépticos. Infraestructura hospitalaria fuera de servicio por un par de días o semanas.
- iii. Pérdida de función permanente (PFP). Se espera la interrupción del funcionamiento normal de la infraestructura hospitalaria debido a razones de seguridad. Infraestructura hospitalaria fuera de servicio por un par de semanas, meses o en forma indefinida.

La Tabla 1 muestra la relación del desempeño sísmico estructural y no estructural en la pérdida de función en infraestructuras hospitalarias. En la tabla se presenta solamente la esquina superior derecha dado que, de

acuerdo con la experiencia, en general el daño no estructural se inicia antes que el daño estructural.

Tabla 1. Efectos de los comportamientos sísmicos estructurales y no estructurales sobre la pérdida de función de los establecimientos de salud. Adaptado de [31,34]

		Desempeño Sísmico No Estructural				
		DS <sub>0</sub>	DS <sub>1</sub>	DS <sub>2</sub>	DS <sub>3</sub>	DS <sub>4</sub>
Desempeño Sísmico Estructural	DS <sub>0</sub>	PFB	PFB	PFB	PFT	PIF
	DS <sub>1</sub>	-	PFB	PFB	PFT	PIF
	DS <sub>2</sub>	-	-	PFT	PFT	PIF
	DS <sub>3</sub>	-	-	-	PIF	PIF
	DS <sub>4</sub>	-	-	-	-	PIF

PFB Pérdida de función baja o nula; PFT Pérdida de función temporal; PIF Pérdida de función permanente  
 DS<sub>0</sub>: Nulo/No Daño, DS<sub>1</sub>: Leve, DS<sub>2</sub>: Moderado, DS<sub>3</sub>: Extenso, DS<sub>4</sub>: Completo

### 3.4 Análisis

El análisis de las demandas sísmicas que desencadenan los diversos grados de daño no estructural en los 17 hospitales estudiados se presenta en las Figuras 2 y 3. La demanda sísmica se caracteriza mediante la deriva de entrepiso promedio y la aceleración absoluta máxima de piso promedio. La Figura 2 muestra el nivel de daño no estructural observado en los 17 hospitales, típicamente estructurados con materiales frágiles como mamposterías de relleno sin dilataciones efectivas. En la figura se observa que, las demandas sísmicas que desencadenan los distintos niveles de daño en componentes y sistemas no estructurales (daño leve), corresponde para aceleraciones de piso del orden de 0.16g y deformaciones de entrepiso del orden de 1.0‰.

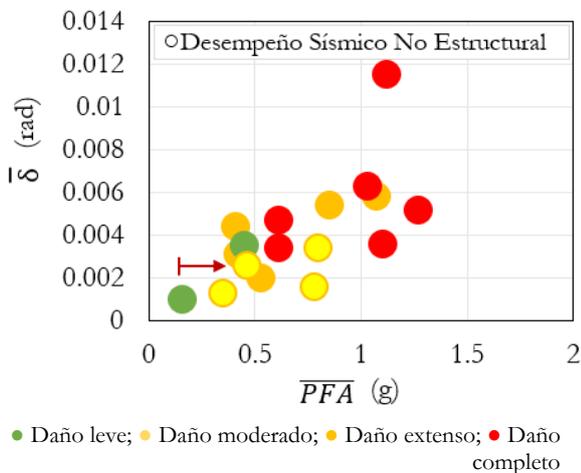


Figura 2. Respuesta observada 17 Hospitales (Condición Actual Real)

A fin de conocer la demanda sísmica causante de los

distintos grados de daño no estructural en infraestructura hospitalaria, se propone una herramienta predictiva. La estimación del daño se efectúa utilizando curvas de fragilidad disponibles en bases de datos [29,30] y documentos de pruebas experimentales o métodos analíticos. Las acciones sísmicas han sido estimadas a partir de acelerogramas registrados en las estaciones sismológicas más cercanas a los hospitales estudiados. La herramienta automatizada es calibrada comparando los daños observados en los casos reales con los estimados usando la herramienta propuesta, obtenidos de evaluar las curvas de fragilidad disponibles para las demandas sísmicas estimadas. La herramienta ha sido validada con los pesos encontrados mediante la metodología de calibración propuesta en este estudio. Los detalles de la herramienta se pueden encontrar en [35].

La Figura 3 muestra que los componentes y sistemas no estructuras, rehabilitados, pueden verse afectados con daño leve para aceleraciones de piso superiores a 0.50g y para deformaciones de entrepiso del orden del 2.0‰.

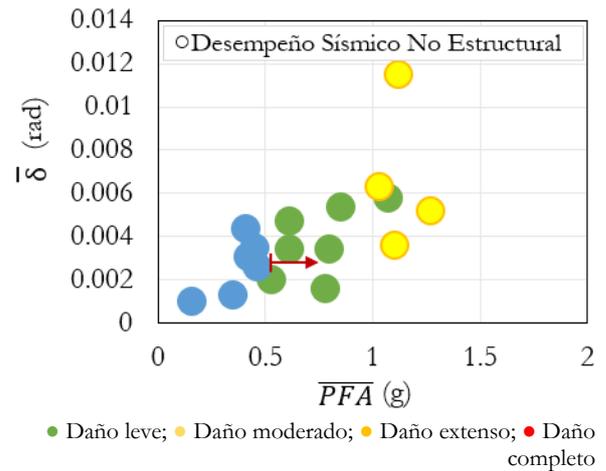


Figura 3. Respuesta Simulada 17 Hospitales (Condición Diseño/Rehabilitación No Estructural)

Por otro lado, en la Figura 4 se simula la incorporación de un sistema de aislación sísmica de base en la estructura, considerando componentes y sistemas no estructurales sin (o limitada) consideración de diseño sísmico. Se observa que los hospitales podrían exhibir daño leve durante el evento sísmico para demandas sísmicas de hasta 0.16g. Si se diseña o rehabilitan sísmicamente los componentes no estructurales, se lograría un nivel de desempeño completamente operativo durante e inmediatamente después de eventos sísmicos con magnitudes de momento  $M_w$  entre 5.1 y 8.8.

Finalmente, el modelo predictivo permite estimar las pérdidas de operación considerando varios escenarios

sísmicos y niveles de detallamiento sísmico de los componentes estructurales y no estructurales. Se demuestra que la rehabilitación sísmica convencional de componentes estructurales y no estructurales no permite alcanzar la continuidad de función ininterrumpida en la mayoría de los casos de estudio. Solo la rehabilitación sísmica que considera el aislamiento sísmico de base con un alto estándar sísmico para el refuerzo no estructural permite lograr la continuidad de las operaciones. Lo mismo aplica para el diseño de estructuras nuevas.

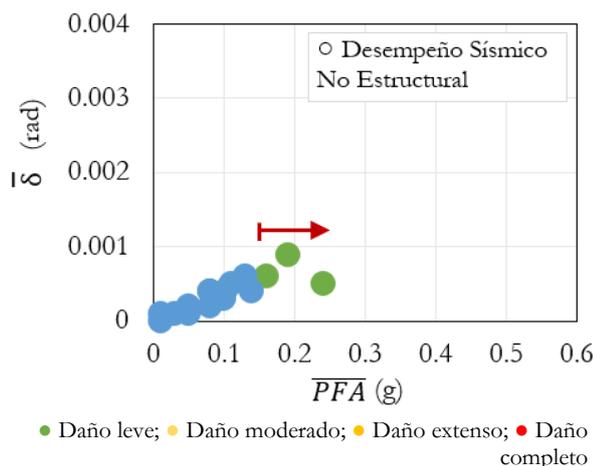


Figura 4. Respuesta Simulada 17 Hospitales (Aislación Sísmica, Sin Diseño No Estructural)

#### 4. Conclusiones

Se ha efectuado el análisis de las demandas sísmicas que detonan la pérdida de operación durante e inmediatamente después de eventos sísmicos. De acuerdo con lo observado, las pérdidas de función se encuentran fundamentalmente asociadas a daño no estructural, el que se produce a bajas demandas sísmicas, antes que el daño estructural. La información procesada se ha utilizado para calibrar un modelo predictivo del desempeño sísmico de infraestructura hospitalaria, que puede ser utilizado para determinar el desempeño sísmico esperado de edificios nuevos y de edificios existentes sometidos a proceso de rehabilitación. De los resultados de esta investigación se pueden extraer las siguientes conclusiones principales:

1. La armonización de la respuesta sísmica estructural y no estructural resulta vital.
2. Componentes y sistemas no estructurales frágiles sensibles a deformaciones pueden presentar pérdidas de operación para deformaciones de entrepiso del orden de 1.5‰.
3. Componentes y sistemas no estructurales con diseño sísmico pueden presentar pérdidas de operación para deformaciones de entrepiso del orden del 2.0‰.

4. Pérdida de función durante eventos sísmicos se puede observar para aceleraciones de piso del orden de 0.16g.
5. Los sistemas de aislamiento sísmico de base permiten alcanzar demandas máximas menores a las que pueden causar pérdidas de operación, pero requieren ser acompañados de diseño sísmico no estructural y de un estricto control de derivas de entrepiso de la estructura.
6. Los edificios del futuro deberán ser sostenibles y resilientes.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo financiero otorgado a la primera autora mediante la beca doctoral concedida por parte de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) del Gobierno de la República del Ecuador.

#### Referencias

- [1] CREAD/UNISDR [2018] “Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017”, Technical Report, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters and United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Belgium and Switzerland.
- [2] Johnston, R. G. and Strand, D. R. [1973]. Olive View Hospital (24, 25, 26). In L. M. Murphy. (Coord.), San Fernando, California, Earthquake of February 9, 1971, National Oceanic and Atmospheric Administration, and the Earthquake Engineering Research Institute, Washington D.C., pp. 255-292.
- [3] PAHO [2000a] “Principles of Disaster Mitigation in Health Facilities”, Pan American Health Organization, Washington, D.C.
- [4] Chock, G., Robertson, I., Nicholson, P., Brandes, H., Medley, E., Okubo, P. ... and Holmes, W. [2006] “Compilation of Observations of the October 15, 2006 Kiholo Bay (Mw 6.7) and Mahukona (Mw 6.0) Earthquakes, Hawai’i”. Earthquake Engineering Research Institute.
- [5] Minsal [2010] “Reconstrucción Red Hospitalaria”, Ministerio de Salud de Chile, Santiago, Chile.
- [6] EERI [2011] “The M 6.3 Christchurch, New Zealand, Earthquake of February 22, 2011”, Special Earthquake Report, Earthquake Engineering Research Institute.
- [7] Jacques, C. C., McIntosh, J., Giovinazzi, S., Kirsch, T. D., Wilson, T., and Mitrani-Reiser, J. [2014] “Resilience of the Canterbury Hospital System to the 2011 Christchurch Earthquake”, Earthquake Spectra, 30(1): 533-554.
- [8] Nikolaou, S., Vera-Grunauer, X., Gilsanz, R.

- (Eds.). [2016] “GEER-ATC Earthquake Reconnaissance: April 16, 2016, Muisne, Ecuador”, Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association, Rep. GEER-049, 1.
- [9] ROMACO [2017] “Reporte de Inspección Visual Post-sísmica de las condiciones físicas del inmueble denominado Hospital de Gino-Obstetricia en el Centro Médico Nacional La Raza”, Construcciones, Mantenimiento y Proyectos ROMACO S.A. de C.V., Ciudad de México, México.
- [10] Perrone, D., Aiello, M. A., Pecce, M., and Rossi, F. [2015] “Rapid visual screening for seismic evaluation of RC hospital buildings”, *Structures*, 3: 57-70.
- [11] O’Reilly, G.J., Perrone, D., Fox, M., Monteiro, R., and Filiatrault, A. [2018] Seismic assessment and loss estimation of existing school buildings in Italy. *Eng Struct* 168(1):142–162.
- [12] Sousa L, Monteiro R [2018] Seismic retrofit options for non-structural building partition walls: impact on loss estimation and cost-benefit analysis. *Eng Struct* 161:8–27.
- [13] Badillo-Almaraz, H., Whittaker, A.S., Reinhorn, A.M., Cimellaro, G.P. [2006] Seismic fragility of suspended ceiling systems. Report MCEER-06-0001.
- [14] Magliulo, G., Pentangelo, V., Maddaloni, G., Capozzi, V., Petrone, C., Lopez, P., Talamonti, R. and Manfredi, G. [2012] “Shake Table Tests for Seismic Assessment of Suspended Continuous Ceilings”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10: 1819-1832.
- [15] Pournali, A., Dhakal, R., MacRae, G.A., Tasligedik, A.S. [2017] Fully-floating suspended ceiling system: experimental evaluation of structural feasibility and challenges. *Earthq Spectra* 33:1627–1654.
- [16] Fiorino, L., Bucciero, B., & Landolfo, R. [2019] “Evaluation of seismic dynamic behaviour of dry-wall partitions, façades and ceilings through shake table testing”, *Engineering Structures*, 180: 103-123.
- [17] Brandolese, S., Fiorin, L., & Scotta, R. [2019]. Seismic demand and capacity assessment of suspended ceiling systems. *Engineering Structures*, 193, 219-237.
- [18] Soroushian, S., Rahmanishamsi, E., Jenkins, C., & Maragakis, E. M. [2019]. Fragility analysis of suspended ceiling systems in a full-scale experiment. *Journal of Structural Engineering*, 145(4), 04019005.
- [19] Qi, L., Kurata, M., Ikeda, Y., Kunitomo, K., & Takaoka, M. [2021]. Seismic evaluation of two-elevation ceiling system by shake table tests. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 50(4), 1147-1166.
- [20] Zhou, T., Wang, X., Liu, W., Zhang, Z., Ma, B., & Tan, W. [2021]. Shaking table tests on seismic response of discontinuous suspended ceilings. *Journal of Building Engineering*, 43, 102916.
- [21] Davies, R., Retamales, R., Mosqueda, G., Filiatrault, A., & Allen, D. [2012]. Effects of cold-formed steel framed gypsum partition walls on the seismic response of a medical facility. *Proceedings of the Twenty-First International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, October 24-25, St. Louis, Missouri, USA.
- [22] Retamales, R., Davies, R., Mosqueda, G., and Filiatrault, A. [2013] “Experimental seismic fragility of cold-formed steel framed gypsum partition walls”, *Journal of Structural Engineering*, 139(8): 1285-1293.
- [23] Petrone, C., Magliulo, G., and Manfredi, G. [2014] “Shake table tests for the seismic assessment of Hollow brick internal partitions”, *Engineering Structures*, 72: 203-214.
- [24] Tasligedik, A. S., Pampanin, S., and Palermo, A. [2015]. Low damage seismic solutions for non-structural drywall partitions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(4), 1029-1050.
- [25] Tian, Y., Filiatrault, A., and Mosqueda, G. [2014] Experimental seismic fragility of pressurized fire suppression sprinkler piping joints. *Earthquake Spectra* 30(4):1733–1748.
- [26] Tatarsky, M., and Filiatrault, A. [2018]. Seismic response Petrone, C., Magliulo, G., and Manfredi, G. [2014] “Shake table tests for the seismic assessment of Hollow brick internal partitions”, *Engineering Structures*, 72: 203-214.
- [27] Tasligedik, A. S., Pampanin, S., and Palermo, A. [2015]. Low damage seismic solutions for non-structural drywall partitions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(4), 1029-1050.
- [28] Perrone, D., Filiatrault, A., Peloso, S., Brunesi, E., Beiter, C., & Piccinin, R. [2020]. Experimental seismic response evaluation of suspended piping restraint installations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(4), 1499-1524.
- [29] FEMA [2012] “FEMA E-74: Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage”, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [30] WHO/PHO [2015] “Hospital safety index: Guide for evaluators” World Health Organization and Pan American Health Organization, Vol. 2.
- [31] FEMA [2012] “HAZUS-MH 2.1: Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model”, Technical Manual. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency, Mitigation Division, Washington, D.C.
- [32] FEMA [2000] “FEMA 356: Prestandard and

Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

- [33] ASCE [2017] “ASCE/SEI 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings”, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA.
- [34] Boroschek, R., and Retamales, R. (2004). Guidelines for vulnerability reduction in the design of new health facilities, Washington, D.C., PAHO/World Bank.
- [35] Rivera-Rogel, A. [2020] “Metodología para evaluación rápida de susceptibilidad de pérdida de función por sismos en infraestructura hospitalaria”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

## AUR Architectural and Urban Resilience. Competencia resiliencia en arquitectura: desarrollo de competencias en estudiantes universitarios.

Patricia Torres Sánchez<sup>a</sup>, Óscar Alberto López Bátiz<sup>b</sup>

Tecnológico de Monterrey, México<sup>a</sup>, Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED<sup>b</sup>,  
patriciatorres@tec.mx

Este trabajo reporta la vinculación académica de estudiantes de la carrera de Arquitectura del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey y AUResilience, iniciativa docente que tiene como finalidad desarrollar investigación aplicada para la mitigación del riesgo y la construcción de resiliencia a través de la cultura de prevención, aplicando la metodología +1. +7. +30. -365 a través de innovación centrada en las personas en condición de vulnerabilidad.

El ejercicio se llevó a cabo los años 2020 y 2021, en 3 Unidades de formación diferentes a través de clases magistrales, asesorías y aplicación de la metodología +1. +7. +30. -365 mediante una repentina, con la construcción de un escenario futuro local basado en la información obtenida por el análisis local que arrojó el Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres de México. Los proyectos resultantes junto a las reflexiones obtenidas, sumados a la experiencia de más de 5 años con ejercicios similares, permitieron definir, desarrollar y medir la competencia y subcompetencias de Resiliencia en Arquitectura, así como validar la aplicando la metodología de +1. +7. +30. -365 y el proceso de innovación centrado en las personas en condición de vulnerabilidad. Teniendo como resultado académico, un ejercicio replicable y escalable, de innovación educativa enfocado en el Aprendizaje Basado en Retos para el Desarrollo de Competencias Transversales.

**Palabras clave:** Arquitectura, resiliencia, vulnerabilidad, competencia, educación, innovación

### 1. Introducción

La tierra es un planeta vivo en constante transformación, producto de su propia naturaleza y la interacción con el ser humano, este último contribuyendo con sus decisiones al acelerado cambio climático de los últimos años. Como resultado de esto, existe un creciente impacto negativo del paso de los fenómenos naturales en territorios inusuales.

El ser humano también ha experimentado esta transformación, en gran medida asociado al desarrollo tecnológico y su interacción con todos los aspectos de la vida de las personas [1].

Esta situación ha permitido la evolución en el perfil de los alumnos, en cuanto a las capacidades para el acceso y manejo de información, así como en el tipo de problemas que deben enfrentar y la velocidad con la que se desarrolla y surge nueva información. En respuesta “...la oferta educativa debe cambiar de tono, ahora debe orientarse a aplicar procesos de formación mucho más activos, vinculados a la realidad, colaborativos e interdisciplinarios, donde el estudiante enfrente situaciones de la realidad que le permitan poner en práctica de manera integrada conocimientos, habilidades, actitudes y valores” [2].

El aprendizaje basado en retos se considera “... un enfoque pedagógico que involucra activamente al estudiante en una situación problemática real, relevante y de vinculación con el entorno, la cual implica la definición de un reto y la implementación de una solución” [3].

El Modelo TEC21[4] se orienta en procesos de formación activos, vinculados a la realidad y al entorno, colaborativos e interdisciplinarios, donde el estudiante enfrenta situaciones que le permiten poner en práctica de manera integrada conocimientos, habilidades, actitudes y valores, a través de la resolución de Retos como un vehículo para el desarrollo de competencias en los estudiantes.

Por ello, los ejercicios académicos que dan pie a esta investigación, combinan conocimientos del entorno, investigación aplicada, expertise e innovación para crear una experiencia de Aprendizaje Basado en Retos para el Desarrollo de Competencias Transversales a través de la formulación de Escenarios Futuros; que contribuyen también en la transformación y construcción de comunidades sostenibles y resilientes, creando un impacto positivo en la formación de estudiantes de pregrado a temprana etapa de su formación, estimulando el desarrollo de profesionales conscientes de su entorno y la vulnerabilidad de este.

### 2. Competencia resiliencia en arquitectura

AUR Architecture and Urban Resilience, AUResilience [5] tiene como fundamento el proceso colaborativo +1, +7, +30 y -365, que considera como punto de partida la localidad y entorno de las familias mexicanas. Valora los aspectos endémicos de las personas y su entorno en situaciones positivas y adversas.

El proceso considera cuatro etapas que ayudan a conocer y aprender de la vulnerabilidad de un sistema en riesgo y/o agente *afectable*<sup>1</sup>, desde la perspectiva de las personas y el ambiente construido local. Permite entender las prioridades, necesidades y enfoques de los diferentes momentos en una situación crítica. Para construir de manera personal y comunitaria: Seguridad mitigación, capacidad de afrontamiento y *resiliencia*<sup>2</sup>, desde la vivencia de un espacio habitable, a través de la cultura de prevención.

Divide el evento de riesgo en cuatro momentos. Los tres primeros enfocados a la reacción, el último y principal, enfocado a la prevención. Permite visualizar, a través de la simulación de escenarios futuros formulados con información obtenida de los atlas de riesgo, locales y nacionales en México.

Esta experiencia interactiva se enfoca en la prevención y actuar consciente durante situaciones críticas, a través de la generación de ideas, que eventualmente evolucionan en proyectos, de forma complementaria al proceso se integran métodos de *innovación*<sup>3</sup> *social*<sup>4</sup>.

Se ha puesto en práctica con profesionales y estudiantes del Tecnológico de Monterrey, durante los últimos cinco años; obteniendo como resultado, ideas innovadoras para cada momento del proceso; desarrollando un nivel de desempeño básico las competencias de **Resiliencia en arquitectura e innovación**.

La Resiliencia en arquitectura es comprendida desde tres perspectivas: La física a través de la materialidad del espacio, su estructura y elementos arquitectónicos; la experiencia del espacio y su vivencia; y la promoción de la apropiación del conocimiento por parte de la ciudadanía. La intervención tiene como propósito la difusión del conocimiento de manera empática y rigurosa, que explique con claridad los cómo y

porqués de su vulnerabilidad y las acciones para su mitigación. Con el objetivo de reducir el desconocimiento de la vulnerabilidad social y física. Esta se define como:

#### **RA - Resiliencia en arquitectura**

Comprende e identifica la resiliencia en arquitectura para la reacción y prevención ante la vulnerabilidad de un sistema en riesgo y/o *agente afectable*, a través de sus cuatro etapas que incorporan los momentos de diagnóstico, planificación, prevención y acción inmediata en ambientes construidos en situaciones positivas y adversas.

**Subcompetencia RA1 - Resiliencia.** Conceptualiza espacios que fortalecen la resiliencia de las personas y sus entornos ante una amenaza de *agentes perturbadores*<sup>5</sup>. Para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente.

**Subcompetencia RA2 - Diagnóstico y fortalecimiento.** Identifica la vulnerabilidad de un sistema en riesgo, a través de sus cuatro etapas que incorporan los momentos de diagnóstico, planificación, prevención y acción inmediata en ambientes construidos en situaciones positivas y adversas.

**Subcompetencia RA3 - Ambientes construidos.** Proyecta ambientes construidos para la reacción y prevención ante la vulnerabilidad de un sistema en riesgo, a través de dos perspectivas: La física a través de la materialidad del espacio, su estructura y elementos arquitectónicos, y la experiencia del espacio y su vivencia.

**IN – Innovación.** Genera soluciones innovadoras y de valor ante problemáticas del entorno, a través de un proceso cíclico que incorpora la validación y el aprendizaje en situaciones positivas y adversas.

#### **AUR Challenge "our future"**

El ejercicio de repentina denominado AUR Challenge "our future" es un ejercicio de 9 hrs de duración, se ha

<sup>1</sup> **Agente afectable:** Es un sistema compuesto por el hombre y su entorno físico donde puede materializarse un desastre. <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/6/1/images/trpc.pdf>

<sup>2</sup> **ONU. Resiliencia.** Capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos. Asamblea general de las Naciones Unidas, 2016. Desarrollo sostenible: reducción del riesgo de desastres. Pag. 23

<sup>3</sup> **Innovación.** Un proceso de destrucción creativa. Schumpeter en 1939.

<sup>4</sup> **Innovación social.** La **CEPAL** definió la **innovación social** como nuevas formas de gestión, de administración,

de ejecución, nuevos instrumentos o herramientas, nuevas combinaciones de factores orientadas a mejorar las condiciones **sociales** y de vida en general de la población de la región. <https://www.cepal.org/es/temas/innovacion-social/acerca-innovacion-social>

<sup>5</sup> **Agente perturbador:** Acontecimiento que puede impactar a un sistema afectable (población y entorno) y transformar su estado normal en un estado de daños que pueden llegar al grado de desastre; por ejemplo, sismos, huracanes, incendios, etcétera. También se le llama calamidad, fenómeno destructivo agente destructivo, sistema perturbador o evento perturbado. <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/6/1/images/trpc.pdf>

realizado en aulas físicas o digitales del Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, durante los años 2020 y 2021, en 3 Unidades de formación diferentes, asociadas a los modelos educativos de la institución, TEC20 y TEC21. Con la participación de 25 a 30 estudiantes por Unidad de Formación.

La repentina tiene 6 momentos clave: Conocer – Empatizar – Idear – Integrar – Prototipar – Comunicar. Distribuidos con los siguientes tiempos y actividades:

1. **Conocer.** Inmersión a través de la asistencia a conferencias o revisión de videos de los expertos del CENAPRED. 2 horas. Ejercicio individual asincrónico, previo a la reunión en plenaria y la conformación de los equipos.
2. **Empatizar.** 1.5 horas. Ejercicio coordinado por uno o de los expertos de AUResilience donde se hace la presentación de la iniciativa AUResilience, se realiza una revisión de conceptos básico de la resiliencia, se explica a detalle la metodología +1 +7. +30. -365, se dan las pautas de la innovación centrada en las personas y se muestran algunos ejemplos de ejercicios anteriores.
3. **Idear** 1.5 horas. Construcción del escenario futuro formulado con información obtenida de los atlas de riesgo, locales y nacionales en México. Presentación a los estudiantes acompañado de algunos videos del sitio. División del escenario futuro a partir de la metodología +1 +7. +30. -365. Esta actividad concluye con la organización de los equipos y la asignación de momentos del desastre a trabajar por grupo. Ejercicio en equipo sincrónico, durante reunión en plenaria.
4. **Integrar, prototipar y comunicar.** 3 horas. Durante este tiempo los equipos desarrollan proyectos conceptuales, aplicados para los distintos momentos del desastre aplicando la metodología +1 +7. +30. -365; siguiendo el proceso de innovación centrado en las personas. Esta etapa concluye con la preparación de un video o presentación para comunicar sus propuestas. Ejercicio en equipo asincrónico, posterior a la reunión en plenaria.
5. **Evaluación.** 1 horas. Una vez concluido el ejercicio y revisado los proyectos de estudiantes en plenaria. Los estudiantes realizan una autoevaluación para medir las competencias antes citadas.

Las Unidades de formación en las que se midió la competencia posterior al ejercicio de repentina, fue:

-Diseño y construcción de un hábitat efímero Grupo 3 y 4. Asignatura de 10 semanas impartida en septiembre-diciembre de 2020, modelo TEC21. Estudiantes de 3er semestre de la Carrera de Arquitectura.

-Diseño y construcción de un hábitat efímero Grupo 3 y 4. Asignatura de 10 semanas impartida en septiembre-diciembre de 2021, modelo TEC21. Estudiantes de 3er semestre de la Carrera de Arquitectura.

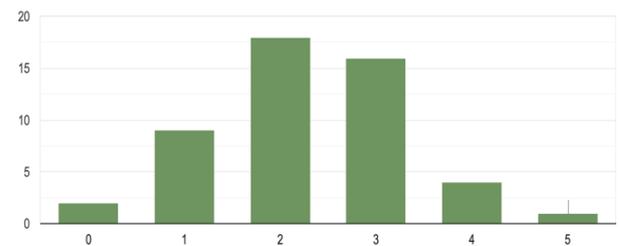
-Proyectos arquitectónicos V. Asignatura de 18 semanas Impartida en agosto-diciembre de 2021, modelo TEC20. Estudiantes de 7mo semestre de la Carrera de Arquitectura.

-Semana i. Impartida en agosto-diciembre de 2021, modelo TEC20. Estudiantes de diferentes carreras y semestres.

### 3. Figuras y tablas

La mayoría de los encuestados no desconocen estas competencias y, en algunos casos, tienen un nivel medio de competencia en estas áreas. Después del ejercicio y como conclusión del proceso, mediante la revisión de los conceptos, la implementación del proceso y la aplicación de la metodología AUResilience, el nivel de percepción mostrado aumentará a través de una autoevaluación del nivel de desempeño de estas competencias y subcompetencias. (Figura 1, 2, 3 y 4).

*\*50 estudiantes de la Unidad de Formación, AR2002B Diseño y construcción de un hábitat efímero, 2020. Nota: Estudiantes de dos grupos trabajando individualmente y colaborativamente en el mismo Reto. Fuente: elaboración propia*



*Figura 1. Encuesta realizada previo al ejercicio académico AUR1. Pregunta: Cómo autoevalúas tu nivel de desempeño en las siguientes competencias y subcompetencias.\**

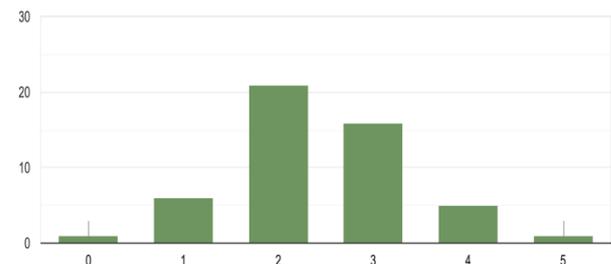


Figura 2. Encuesta realizada previo al ejercicio académico AUR1. Pregunta: *Cómo autoevalúas tu nivel de desempeño en las siguientes competencias y subcompetencias.\**

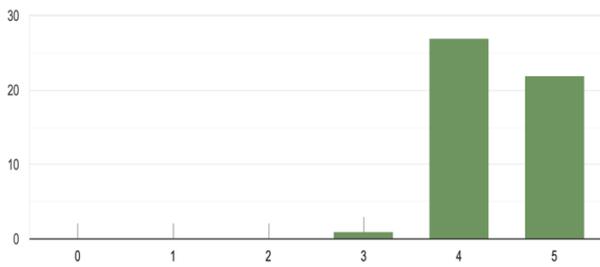


Figura 3. Encuesta realizada posteriormente al ejercicio académico AUR1. Pregunta: *DESPUÉS de participar en el AUR Challenge "our future" cómo autoevalúas tu nivel de desempeño en las siguientes competencias y subcompetencias.\**

Figura 4. Encuesta realizada posteriormente al ejercicio académico AUR1. Pregunta: *DESPUÉS de participar en el AUR Challenge "our future" cómo autoevalúas tu nivel de desempeño en las siguientes competencias y subcompetencias.\**

#### 4. Conclusiones

Los proyectos conceptuales resultantes, aplicados para los distintos momentos del desastre, junto a las reflexiones obtenidas, sumados a la experiencia de más de 5 años con ejercicios similares, permitieron definir, desarrollar y medir la competencia y subcompetencias de Resiliencia en Arquitectura antes citadas, así como validar la aplicando la metodología de +1. +7. +30. -365 y el proceso de innovación centrado en las personas en condición de vulnerabilidad. Teniendo como resultado académico, un ejercicio replicable y escalable, de innovación educativa enfocado en el Aprendizaje Basado en Retos para el Desarrollo de Competencias Transversales.

Cabe mencionar que aun cuando existieron las variantes de: Alumnos de diferentes semestres, de diferentes carreras y/o de diferentes grupos en las 3 Unidades de Formación donde se aplicó el ejercicio de repentina AUR Challenge "our future", los resultaron en todos los casos fueron similares, el desarrollo de las distintas competencias y subcompetencias.

Estos ejercicios académicos que combina la conocimiento del entorno, investigación aplicada, expertise e innovación para crear una experiencia de Aprendizaje Basado en Retos para el Desarrollo de Competencias para los estudiantes y docentes, contribuyen también a la transformación y construcción de comunidades sostenibles y resilientes, creando un impacto positivo en la formación de estudiantes de pregrado a temprana etapa de su formación, estimulando el desarrollo de profesionales conscientes de su entorno y la vulnerabilidad de este.

#### Agradecimientos

Agradecemos profundamente a todos aquellos colegas que han sido parte activa de los proyectos y dinámicas de AUR Resilience Espacio de colaboración transdisciplinar para la construcción de resiliencia, en particular al Dr. Fernando Ramos Galino, por sus enseñanzas y colaboración inicial en el proyecto.

#### Referencias

- [1] Kotliarenco, M. A., Cáceres, I., & Fontecilla, M. (1997). *Estado de arte en resiliencia*. Organización Panamericana de la Salud. p. 5-770.
- [2] Torres Sánchez, P. Ayala Aguirre, F. G. (2018). Capítulo 11. Aprendizaje Basado en Retos (ABR) para el desarrollo de competencias. Metodologías y prácticas para la generación de experiencias significativas, 179.
- [3] Tecnológico de Monterrey (2016). Observatorio de Innovación educativa.
- [4] Tecnológico de Monterrey (2018). Folleto Modelo Tec 21, <http://modelotec21.itesm.mx/files/folletomodelotec21.pdf>
- [5] Torres Sánchez, P (2018). +1, +7, + 30 y -365. 15/09/2021, de AUResilience Sitio web: <https://auresilience.org/>