II JORNADA DE DOCTORADO

TECNOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA, DE LA EDIFICACIÓN Y DEL URBANISMO

LIBRO DE ACTAS

2019

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Departament de Tecnologia de l'Arquitectura

Este libro recoge las actas de la II 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 la EPSEB, Barcelona, el 6 de Junio de 2019.

Durante la jornada se presentaron un total de 9 ponencias, 5 de las cuales se recogen, en forma de artículos, en esta publicación. Desde la Comisión Académica del programa de doctorado queremos dar las gracias a los estudiantes que presentaron sus trabajos y a sus directores. La jornada se desarrolló en un ambiente muy enriquecedor para todos los participantes y fue una magnífica oportunidad para conocer de primera mano la diversidad de temáticas en las que se están desarrollando actualmente las tesis del programa.

Comisión Académica de Programa de Doctorado
Josep Claramunt
David García
Jose Maria González
Ana Maria Lacasta
Jordi Maristany
Adrià Muros
Joan Ramon Rosell
Joan Lluís Zamora

Edición: Ana María Lacasta

ISBN: 978-84-9880-803-2

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

Leila Mashhouri, Ximena Aguirre, Joan Lluís Zamora
Provide safe flooring in housing environments related to elderly 4

José Gabriel Arias, Montserrat Bosch, Joan Ramon Rosell
Proyectos de recuperación de zonas vulnerables con materiales de ciclo cerrado 10

Steven González Zabala, Joan Lluís Zamora
Desarrollo de un instrumento de evaluación multicriterio, para valorar el estado actual del soporte físico de un Polígono de Actividad Económica (PAE). 16

Juan Carlos Calderón-Peñafiel, Mariana Palumbo, Joan Ramon Rosell
Estudio del impacto ambiental de geopolímeros de arcilla 25

Beatriz Arnaiz Barrio, Ramon Sastre, Xavier Gimferrer
DE LA TEORÍA A LA TECNOLOGÍA. De cómo la concepción de la relación Forma - Materia, desde un punto de vista neo-materialista repercute en el proceso de diseño de la Arquitectura Textil. 30

Apply safe flooring in housing environments related to elderly
(Evaluating suitability technologies to absorb impact in the event of a fall)

Leila Mashhouri[a], Ximena Aguirre Suarez[b] , Joan Lluís Zamora i Mestre[b]
[a] Departament de Tecnologia de l'Arquitectura, Programa de Doctorat Tecnologia de l'Arquitectura, de l'Edificació i de l'Urbanisme, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Spain.
[b] Escuela Tecnica Superior de Arquitectura, Master en Estudios Avanzados en Arquitectura, Linea Innovacion Tecnologia en la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-ETSAB), Barcelona, Spain.

Leila_mashhouri@yahoo.com, Leila.mashhouri@upc.edu

Shock absorbing flooring which known as compliant flooring as well is a technology for injury reduction in seniors. It is a type of secure pavement oriented to decrease the hardness of the ground and the impact force applied to the body parts that hit the ground. Consequently such floorings decrease fall-related injury in care homes and play grounds. We investigated 4 types of compliant flooring and 10 types shock absorbing model as they described in their technical sheet, for about one month in a senior home in Barcelona. This research classified in two levels of practical tests directly on floorings in order to compare their housing facility properties and in second level the participants include seniors and staffs of the center were interviewed about the current flooring of the center and proposed compliant floorings. Some of the compliant floorings were collected from gym or sport areas, playground and some vinyl flooring with shock absorption property with different thickness. It is notable to mention that underlay and overlay of the flooring must complete each other. Compliant flooring must be soft in case of fall but stiff enough to not to impair walking.

Keywords: compliant flooring; shock absorption; anti-slip; falls; injury reduction; care homes

1. Introduction

Falls are the second important reason for accidental or inadvertent injury deaths worldwide. With the estimation of 646,000 individuals die annually from falls, making it the second reason for unintentional hurt death, after road traffic injuries. About 37.3 million require medical attention occur each year because of the falls (WHO, 2018). Approximately 50% of old people over 65 falls at least once a year and this rate is about 40% in nursing homes which involves the elderly in long term painful erosive treatment and the high cost of cure. Various methods have been proposed to prevent falls by researchers and investors in this regard. But according to the statistics, these solutions do not seem enough to reduce the number of risks and injuries. Many factors cause a fall and it may happen in any places outdoor or indoor, at any ages and it's an unpredictable issue. For this reason, besides making environment safety to prevent falls, more attention should be paid to reduce the rate of injuries in the event of a fall. **Flooring** is one of the main factors which directly involve injury caused by the fall. This means that the type of flooring has a direct relation to the damage involved. The harder the flooring, the higher rate of the damage, the point is that in this rearch both factors of slippery and shock absorption properties are the most important factors in order to make a safe area for seiors.
This study focuses on evaluating *Shock absorption floorings* available in today Spanish market, include anti-slippery properties(fig.1). Usually, the shock absorption floorings are oriented for kids in outdoor playgrounds, for teenagers in gym and sports areas or even applied in industrial zones to control the weight, impacts or vibration of machines, but exept some few floorings there is not any shock absorbing flooring specific oriented to seniors in order to protect them. In order to prevent injury, that was an idea from the physicians, several methods have been proposed by the researchers. Most of the researches and proposed products are about the wearable accessories (hip protector), fall detection with sensors embedded in the belt, bracelet, and vest or even under the carpet and monitoring the environment using camera and sensors. Many discussions are still open on which methods and techniques are more practical in any place and time.
There are investigations conducted on the flooring and only a few companies as developer the idea, work on such flooring professionally which specifically addresses the issue of the elderly. Proper flooring can be an effective solution to control and prevent risk injury**.** A promising intervention way that is exclusively related to the high-risk environment is to increase the shock/impact absorbance of the floor to attenuate energy in the event of a fall. ***Novel compliant floors (NCF)*** or ***Shock Absorbing Flooring (SAF)*** are a passive intervention method that may protect an individual for many types of fall-related injuries. However, some evidence suggests that number of floors with low stiffness surfaces could impair balance maintenance, thereby increasing the risk of falls (D. Wright, 2012) but unfortunately according to the

author researches there is not any implemented project with such flooring types in Europe and Spain. There are few companies in US and Canada generates such materials and pavements called compliant flooring which unfortuanetly some of them are not active now.

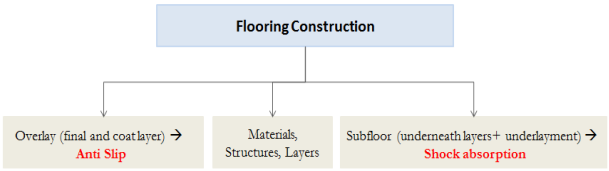


Figure 1. Compliant flooring construction-By author

Biomechanical efficacy evidence shows compliant flooring may reduce fall-related impact forces with the lowest effects on standing and walking equivalent. Clinical effectiveness records indicate that compliant flooring may decrease the severity of injuries, but may increase the number and the risk for falls. Early information suggests that compliant flooring may be a cost-effective method, but may also affect physical requirements for the healthcare staff (Chantelle C. Lachance, 2017).

Aim of this research:

Main Objectives

- The main goal of this research is to **reduce the injury** caused by falling in older adults. It is important to detect and identify the factors that lead to falls.
- To find a standard features as an appropriate material in order to decrease the impact shock. To gain this goal, it is need to evaluate all capabilities of the selected floorings products and desired factors. It is expected that the desired flooring has both stiff surface to avoid disturbing the balance while walking and also has the flexibility and resiliency enough to absorb and reduce the impact force.

Specific Objectives

- Generalizability of the final results on different flooring with regard to function;
- The compare study between flooring types and evaluate different data, help us to extract needed information about the final results;
- By comparing the flooring, we can evaluate the position and quality level of Spanish flooring standards with other countries;
- Provide the proper features of flooring material to manufacturers and companies by compare the usability of different flooring types and make it easier for architects, designers and customers to select;
- Propose a flooring system based on shock-absorption;
- Propose a material to reduce the risk of injury caused by falling and promoting safety and environmental security;
- Reducing the cost of healthcare services and health insurance system for the family;
- Search about similar compliant flooring in Spanish current market which has the capability of using in care homes.

2. Materials and Methodology

Partners

- Flooring manufacturers or distributors
- Real site of elderly housing as a case study
- Devices, tools and methods in order to perform test and the companies that provide us such tools.
- Questionnaires and interview asked from nurses, staffs, seniors, directors, architects, etc.
- International and local Norms and standards (fig. 2- fig. 5).

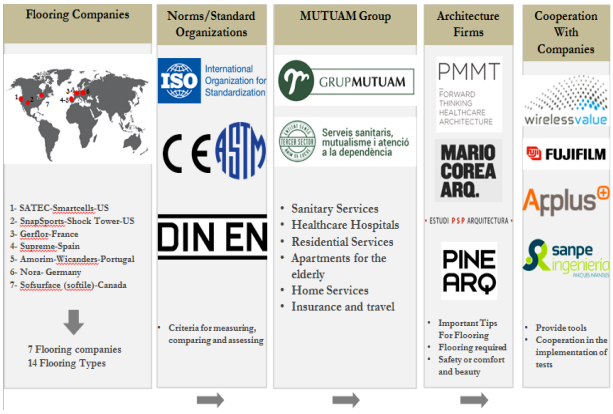


Figure 2. Partners of the research- By author

In this research, some of such shock absorbing and compliant floorings from different countries will be evaluated. The novelity of this research is the focuses on time range with the most probability risk of fall, areas with high risk of fall, activities and users in seniors centers. In the first level we studied the statistical information of falls in one care home (MUTUAM, 2019). In second level the elderlies and the staffs were interviewed. The questions were categorized into two groups of current and proposed flooring. In third level the 14 types of floorings from different companies with shock absorption property were tested by different methods in order to detect the best one as shock absorbing flooring system, safety and comfort while walking (fig. 3, fig. 4). The flooring types selected from different application and materials include caocho, rubber and cork. They

were instelled in Mutuam de Collserola for about one month in an area in order to test and consultations with the elderly and staff of the Collserola center. Because of the final surface of some of the pavements we covered them with a very thin vinyl in order to avoid focusing and confusing participants with the different flooring surfaces. Because flooring surfaces like nursing homes and health centers will never be used roughly. All technical information of each flooring type were analyzed.

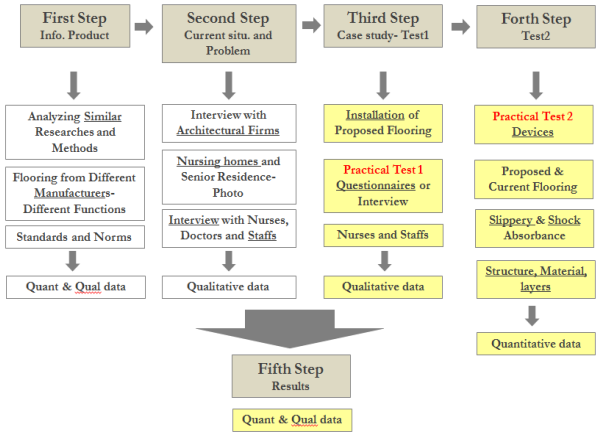


Figure 3. steps of the research- By author

One day activiies of seniors were monitored and the traffic path, shoes, walking styles were evaluated. In addition we analyzed current flooring in different areas of the center to check their slippery according to DB-SUA (Documento de Apoyo al Documento Básico-Código Técnico de la Edificación) Section SUA 1 security against the risk of falls. 1. slipperiness which use as a norm UNE ENV 12633: 2003 (CTE, 2015) in Spain.

- **Data**

We have 3 main data groups:

- Qualitative data is gained by the questionnaire and interviews with different carriers of nurses, staffs, doctors and architects in one of the Mutuam's centers.
- The quantitative data is obtained by practical tests will be executed on pavements.
- Standards and norms defined by international or local organizations .

Two types of questionnaire were defined about the current situation of the pavement and the proposed pavements. Rest of the questions are about general information and statistical data in resent three years of center. The participants in our interviews are older adults, nurses, auxiliaries, cleaning staff and architectural offices with good experiences in desighning such areas (fig. 5).

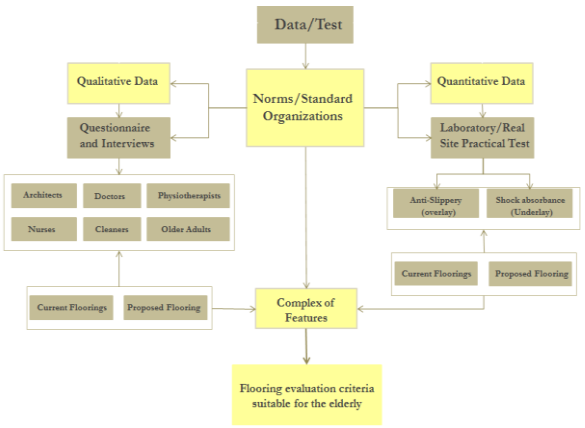


Figure 4. Types of data of the research- By author

Figure 5. 14 flooring types with name and code- By author

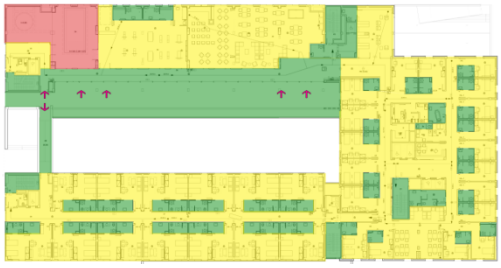
- **Tests on current and proposed floorings**

1. Slip_resistance_testing-UNE ENV 12633: 2003 (tab. 1)

Slip resistance test performed on current flooring of the center by specific pendulum device (fig. 6) demonstrated that, exept the vinyl flooring in gym, parquete in one of the dining room in the first floor the rest of the interior floorings did not pass the standard test and they are not a safe environment for seniors interms of anti-slip.

Table 1. classification of floors according to their slipperiness-ENV 12633:2003- By author

Classification of floors according to their slipperiness	
Slip resistance Rd	Class
Rd ≤ 15	0
15 < Rd ≤35	1
35< Rd ≤45	2
Rd > 45	3



All the areas in all levels of the center were classified according to the defined norm. Here is the second floor of the Mutuam de collserola which classified all the areas with three colors of yellow, green and the red color which respectively described as class one, two and three according to the probability of slipperiness in these areas(Tab. 1).

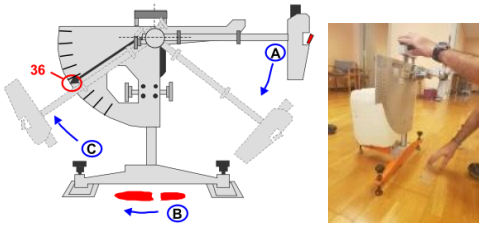


Figure 6. Slip resistance pendulum testing

All areas include stairs, rooms, corridors, bathrooms, lobey, diningroom, gym and, etc.

2. Impact resistance by coefficient of restitution test-ISO 10545-5

The ISO 10545-5: 1998 standard establishes a method for determining the impact resistance of ceramic tiles by measuring the restitution coefficient, we use the evaluation process established in the standard as a guide (fig. 4).

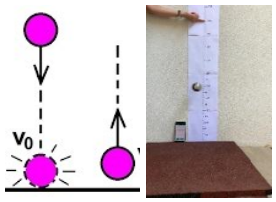


Figure 7. Impact resistance by coefficient of restitution test with metal ball

For the test, a metal ball is dropped from a height *h0*, after hitting a ground without friction, the value of the restitution coefficient *CR* or *e* can be estimated knowing the maximum height *h1* after the first rebound. Presumably, *h0* must be greater than *h1* due to the loss of energy during the rebound process.

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \qquad (1)$$

with the previous images that have a higher rebound height compared to the others. This rebound means the initial potential energy has been transformed into kinetic energy after the impact, without losing the energy by the friction of the air.

3. Visual verification of pressure distribution test-FujiFilms

*Prescale films*_presented by Fujifilm, with different levels of sensitivities and functions can precisely measure pressure, pressure distribution, and pressure balance visually by the color density.

This specific technology is normally used in industrial sectors such as measuring Impact pressure on bumpers, airbags and water jets, Functional testing of equipment for baseball, golf (fig. 8).

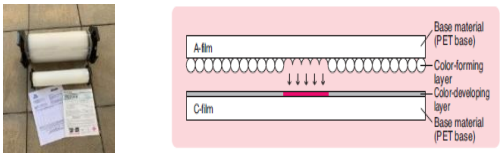


Figure 8. Visual verification of pressure distribution test with metal ball and prescale Fujifilm-4LW

With this test we try to use a different method which can be visually distinguished the same result (Fujifilm, 2019) . the final sheet will be scaned and analized by spacific software called FPD-8010E (fig. 9).

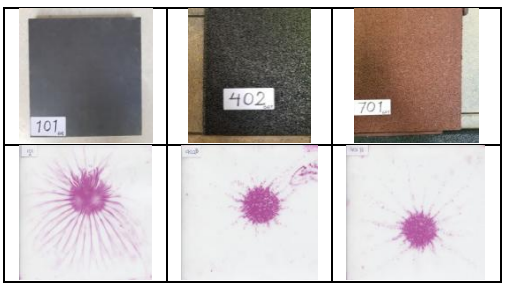


Figure 9. Result of prescale Fujifilm pressure distribution- By author

- **A-film:** Base material (PET base) coated with a color-forming material
(microcapsules)
- **C-film:** Base material (PET base) coated with a color-developing material (fig. 8)

4. HIC meter Wireless Impact Test-1177-2018 Norm

This European standard specifies a method to determine the impact attenuation of the playing surface. It defines a " Head injury criterion -HIC" for the surface, which represents the upper limit of its effectiveness in reducing head injuries when game equipment is used in accordance with EN 1176 (Sanpeingenieria, 2019).

Figure 10. HIC meter Wireless Impact Test-1177-2018- By author

For each flooring new data (temperature, material, wheight ...) must me added in Ludometer software (fig. 10). The floorings under test was hit with the metal head provided with the instruments of the test equipment from different drop heights. Signals emitted by the accelerometers of the test head are processed during each impact, to determine the severity derived from the measured impact measure, defined as the head injury criterion (HIC), and to determine the acceleration peak of (gmax) experienced.

For our case study (nursing homes, residences, hospitals) the application of these floors is not adequate, so we must cover them with other material that can guarantee the properties of easy cleaning, anti stains, which allows moving wheelchairs easily, etc. This may affect the result of the test.

3. Conclusions

- There are many methods in order to fall detection and fall protection in elderly. But each has weaknesses that make the elderly unwilling to use them;
- Many of the care homes are interested in this research in order to using such compliant flooring to make their centers more secure and comfortable for older adults and staff as well;
- There are many manufacturers that produce and provide compliant floorings but many few of them oriented directly to the elderly which some of them have been out of the cycle of production and no longer operate in the market;
- It is possible to find tests and technologies applied to this situation;
- As an architect we believe that in order to satisfy and secure the elderly, laboratory tests or simulating methods are not enough and we must know about older people opinion directly about their demands of the environment.

4. Acknowledgment

The authors would like to express gratitude to the MUTUAM group and Collserola center for their invaluable consultations and engagement with the research project who provides the access to some of its buildings to develop the campaign of tests. Thanks of Josep Ballester - Health Area Director of Mutuam, Rafael Angel- Head of Mutuam maintenance and supply service of Mutuam, Ezequiel Martinez-Director of Collserola center, Noemi Sech (Coordinator of Nursing) and, Merce Quintana. Thanks to the flooring companies that offered their products to carry out research. The manufacturers include SATECH(*Samartcells*), Sofsurfaces(*softile*), Supreme floors, Wicanders, Snapsports, Nora, Gerflor. Here we have to thank theose companies that provided us with their professional technology and devices include APPLUS with pendulum device specificly Manuel Luque (Technical Responsible), Sanple company with the HIC meter wireless, specially David Santos (Director Técnico - Ingeniero Civil), Josep Riera (QBM - Quality by Measurement) who patiently support us in using and analyzing the prescale method of fujifilm.

Bibliography

Chantelle C. Lachance, M. P. (2017, February 6). Compliant flooring to prevent fall-related injuries in older adults: A scoping review of biomechanical efficacy, clinical effectiveness, cost-effectiveness, and workplace safety. *PLOS ONE*, 1-23. doi:10.1371/journal.pone.0171652

CTE, C. T. (2015). *codigotecnico*. Retrieved 08 2019, from http://www.codigotecnico.org, http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2015-1/DccDBSUA.pdf

D. Wright, A. &. (2012). The influence of novel compliant floors on balance control in elderly women—A biomechanical study. *CIHR IRSC, 43*(4), 1480-1487. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21545881

Fujifilm. (2019). *Prescale*. Retrieved from Fujifilm: https://www.fujifilm.com/products/prescale/prescalefilm/

MUTUAM. (2019). *serveis-residencials-Centre Residencial Mutuam Collserola*. Retrieved 08 2019, from mutuam.cat: https://www.mutuam.cat/serveis-residencials/residencies-gent-gran/centre-assistencial-mutuam-collserola

Sanpeingenieria. (2019, May 06). Retrieved September 2019, from Sanpe Ingeniería | Parques Infantiles: https://www.sanpeingenieria.es/ , https://www.sanpeingenieria.es/sanpe-es-acreditada-por-enac-para-el-uso-de-la-nueva-normativa-de-parques-infantiles/

WHO. (2018, January 16). *World Health-Falls*. Retrieved September 05, 2018, from http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs344/en/

Proyectos de Recuperación de Zonas Vulnerables con Materiales de Ciclo Cerrado.

Caso de Estudio: La Nueva Barquita, Cuenca del Río Ozama, República Dominicana.

José Gabriel Arias[a], Montserrat Bosch[b], Joan Ramon Rosell[b]
[a] Universidad Autónoma de Santo Domingo UASD, Laboratorio de Materiales EPSEB – GICITED-UPC.
[b]Laboratorio de Materiales EPSEB – GICITED-UPC.
Universidad Politécnica de Cataluña; Av. Diagonal 649, 08028 Barcelona, España.
arq.jgabriel_arias22@arquitecto.com

El apartado de la Tesis en curso que presentamos en este documento, recoge los trabajos realizados hasta la fecha en cuanto a la comparación, identificación de opciones y/o alternativas para la inclusión de materiales de ciclo cerrado provenientes de la gestión de residuos de la construcción en obras de urbanización en República Dominicana, con el objetivo de que los espacios a intervenir puedan convertirse en sumideros de residuos.

La necesidad de esta investigación se fundamenta en una realidad constatada: la carencia de planificación en los aspectos de inclusión de técnicas y materiales que velen por el cuidado del medioambiente en los recientes proyectos de infraestructura social en República Dominicana. Para identificar, analizar y evaluar todos los procesos hemos centrado la investigación en el Proyecto "Nueva Barquita" 2016, una actuación de rescate de las zonas vulnerables en orillas del río Ozama en Santo Domingo.

Durante estas fases de la investigación, nos hemos apoyado en distintas referencias sobre la política de gestión de residuos en Cataluña y otros países europeos que manejan de manera positiva los mismos, así como en experiencias con métodos y aplicaciones que incorporan un porcentaje significativo de materiales alternativos provenientes de residuos y del reciclaje y que dan, como resultado, la mitigación del impacto ambiental del sector de la construcción.

Palabras clave: Crecimiento demográfico en Santo Domingo, vulnerabilidad por crecidas de río, gestión de residuos, materiales de ciclo cerrado.

1. Introducción

La federación internacional de la Cruz Roja, define "Vulnerabilidad" como la capacidad disminuida para resistir, hacer frente y recuperarse a efectos de los peligros producidos por la naturaleza y las causas humanas. [1]

Desde el año 2016 el estado dominicano está creando proyectos habitacionales para desplazar a moradores residentes en zonas de riesgo y vulnerabilidad por su superpoblación y cercanías a orillas de ríos, para posteriormente recuperar los antiguos asentamientos mediante el planeamiento de obras de infraestructuras públicas.

En el estudio de algunas de las memorias de estos proyectos hemos encontrado que la concepción de los mismos carece de planificación en los aspectos de inclusión de técnicas y materiales que velen por el cuidado del medioambiente. Este es el motivo por el que esta tesis se centra en identificar, aportar y añadir soluciones sostenibles a partir de la gestión de los residuos de la construcción y en convertirlos en materiales reciclados. Para ello nos apoyamos en; referencias, técnicas, bases de datos, y experiencias a las que tenemos acceso en un entorno de investigación como el del programa de doctorado que estamos cursando.

El objetivo principal de esta investigación es analizar las posibles alternativas constructivas y el uso de materiales de ciclo cerrado provenientes de las acciones del reciclaje y la reutilización, y determinar aquellos que puedan aplicarse en intervenciones urbanas con problema de inundaciones o vulnerables a los efectos de crecida de ríos y daños colaterales.

El planeamiento urbano, así como la gestión de los residuos, deberían ser agentes claves contra la vulnerabilidad en los casos de sobrepoblación en asentamientos irregulares. La hipótesis de este trabajo determina: "que las intervenciones de infraestructuras y obras de urbanización para el rescate de los espacios urbanos vulnerables, puede realizarse con materiales reciclados y de ciclo cerrado, que reducen el impacto medioambiental, y pueden convertir dichas infraestructuras en sumideros de residuos". Si se verifica la hipótesis, ésta sería un punto de partida a aplicar en el Proyecto de recuperación del espacio a orillas del río Ozama, y

como prueba piloto en otros proyectos de la misma envergadura.

2. El Proyecto (La Nueva Barquita)

"La Nueva Barquita" es un proyecto habitacional para la reubicación de unas 5.500 personas de un total de 7.677 según la revista Archivos de arquitectura Antillana que, en su momento las restantes no fueron realojadas porqué sus viviendas estaban situadas 6 metros por encima del nivel del río Ozama en donde las aguas no llegan a subir. Estas viviendas, básicamente asentamientos irregulares de autoconstrucción, se encuentran en la actualidad separadas del cauce del río por un cordón o muro construido para señalizar y determina las zonas de la ribera en donde se plante construir un parque fluvial para no pueda ser ocupada nuevamente.[2]

Figura 1. Antiguo asentamiento de La Barquita, Santo Domingo Este, Fotografía. José Arias 2017

El proyecto cuenta con una serie de edificaciones de servicios, tales como: salón multiusos, guarderías infantiles, 74.000 metros cuadrados para áreas de recreo en las que se incluyen plazas, parques, canchas de básquet y baseball, además de 3.500 metros cuadrados para parques infantiles, 180 locales comerciales, iglesia, dependencias policiales y fiscalía, tanque de almacenamiento de agua potable, alcantarillado, depuradora de agua residuales, cableado soterrado, y la planificación de sembrar unos 54.000 árboles una vez concluida la demolición de las viviendas en Santo Domingo Este. Todo este ambicioso proyecto lo llevará a término la Unidad Ejecutora para la Readecuación de la Barquita y entornos URBE[3], según:

- Ubicación: Riberas del Río Ozama, Santo Domingo Norte.
- Inversión: 87 Millones de Dólares.
- Área de Construcción: 53 hectáreas
- Personas Reubicadas: 5.500 moradores
- Creación: Proyecto de Infraestructura Habitacional. Gobierno de la República Dominicana 2016

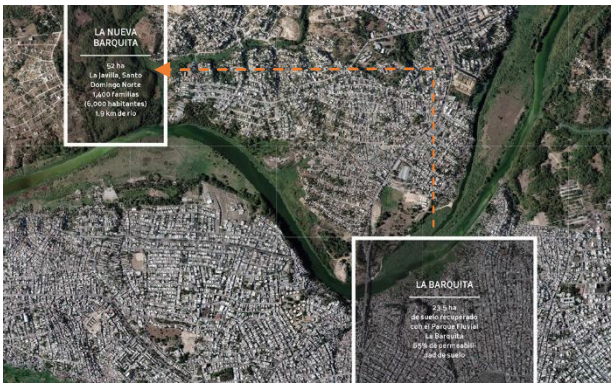


Figura 2. Reubicación de la Nueva Barquita desde orillas de Santo Domingo Este a Santo Domingo Norte. Fuente: Revista Arquitecto Online.

El proyecto se desarrolló, en su momento, desde el punto de vista humano, y se planteó la formación de nuevas comunidades para su inserción en el nuevo modelo de vivienda, con el compromiso de generar o producir infraestructuras y los equipamientos necesarios que cumpliesen con la realidad socioeconómico y diesen a su vez respuesta a requisitos de calidad medioambiental.

La licitación para estas ejecuciones se realizó mediante concurso. Con la revisión de las partidas del proyecto, disponibles como documentación pública en el portal electrónico de la URBE, pudimos comprobar la ausencia de la inclusión de materiales reciclados con el agravante de la realidad que suponía la gran cantidad de residuos y escombros que iba a generar el derribo la La Vieja Barquita.

Figura 3. Instalaciones la Nueva Barquita. Edificios de apartamentos. Fotografía. José Arias 2017

3. Gestión de los residuos de la construcción y la demolición

La propuesta para insertar materiales de origen reciclado en los proyectos de recuperación de zonas vulnerables en la República Dominicana está sujeta, obviamente, a un cambio estructural en la gestión de los residuos de la construcción y la demolición en el país, ya que, a día de hoy, éstos se manejan de manera informal.

Según un estudio integral de los desechos sólidos en la ciudad de Santo Domingo, Distrito Nacional, en el año 2006, de las 1.529 toneladas al día que se generaban, sólo 33 eran seleccionadas en origen/fuente para ser recicladas, mientras que 69 toneladas iban destinadas a vertedero, lo que supone apenas 102 toneladas (6,7%) del residuo generado susceptible de ser reciclado. Fig. 4. [4]

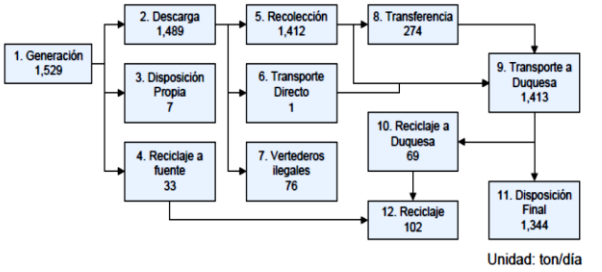


Figura 4. Gráfico de Flujo de los Residuos Generados en Santo Domingo, RD. 2006

A día de hoy el panorama de la gestión de los residuos sólidos es desconsolador debido a que, más de 10 años después, no se ha producido ningún cambio significativo que permita analizar o definir la movilidad o gestión de los residuos de la construcción o demolición en el gran Santo Domingo. Tampoco en el resto del país, que aún se encuentra en un estado de mayor descontrol sin ningún punto o destino final definido para este gran volumen de residuos que además són de características y composición muy variable.

Actualmente, durante las actuaciones de demolición en el país, podemos encontrar residuos de madera, fibras, cerámicos, hormigón, aplacados de yeso y demás materiales amontonados y sin clasificar según su género. Esto se produce con aquellos residuos que disponen de poco valor para una sociedad carente de técnicas o conocimientos para el aprovechamiento y posterior prolongación de la vida util de los materiales. Ver Fig. 5.

Figura 5. Escombros de demolición de una construcción de tipo comercial y habitacional. Sector la Caleta, Santo Domingo Este. Fotografía. José Arias 2017

En cambio, los materiales como el metal, los plásticos y los elementos de baño, así como puertas y ventanas son manejados por un mercado informal, en el que se revenden a precios asequibles en ciertos puntos de la ciudad, en lo que puede llegar a considerarse la única R de Reutilización (Reducir, Reutilizar, Reciclar).

4. Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en República Dominicana versus Cataluña.

Según un censo aplicado en marzo de 2013 por la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), de la República Dominicana, [5] en el área a reubicar de la vieja barquita existían unas 1876 viviendas. Dado que, según el proyecto reubicado en otra localidad, La Nueva Barquita es ese espacio y sus inmediaciones anteriores se debía crear espacio público de calidad, la pregunta inmediata era ¿Que fue o cual fue el destino final de los residuos generados durante estas demoliciones?

La pregunta quedó sin respuestas de parte de las autoridades, aunque si de los mismos moradores que fueron los que se encargaron de sacarle un beneficio económico a todo aquello a lo que encontraron valor mientras que el resto de residuos fueron a parar como relleno a los vertederos.

En Cataluña, un proceso así era posible antes de la entrada en vigor de la Ley de Residuos 9/2008, pero no actualmente, ya que actualmente se dispone de múltiples instrumentos que podrían servir de modelo para República Dominicana. Por ejemplo, el "Estudio y Plan de gestión de los residuos de la construcción y demolición" [6] el cual consta de procedimientos de tipificación de materiales, y realización de acciones para identificar la generación y minimización de los residuos producidos en obras y demoliciones.

Este estudio contempla ademas la prevención de residuos, escombros y materiales que puedan ser reutilizados "in situ", lo que podríamos considerar como un acto coherente en la reducción de generación de residuos o el detenimiento de que los mismos vayan a parar a lugares inadecuados y sin posibilidad de reutilización o reciclaje.

El análisis de los procedimientos actuales de gestión de residuos en Santo Domingo muestra como éstos se limitan, en cuanto a los requisitos de demolición de obras, a la cumplimentación de unos formularios, administrados por el Departamento de Planeamiento Urbano del Ayuntamiento, en el caso de estudio, de Santo Domingo Este. En dichos formularios se hace énfasis al aporte de planos catastrales y fotos del inmueble, y a partir de esta información se extienden las licencias y se realiza el pago de unas tasas. En todo el procedimiento no existe cláusula alguna de responsabilidad de los residuos generados, ni sobre la separación en origen, ni sobre destino del vertido, lo que demuestra una debilidad institucional y la necesidad de hacer ajustes en dicho sentido.

Al hacer la comparación en el ámbito legislativo con la comunidad de Cataluña además de algunos países de la Unión Europea (UE), se refleja la distancia evidente entre las leyes y normativas en relación al ordenamiento y gestión de los residuos sólidos, así como los de la construcción y la demolición. Ver Fig. 6.

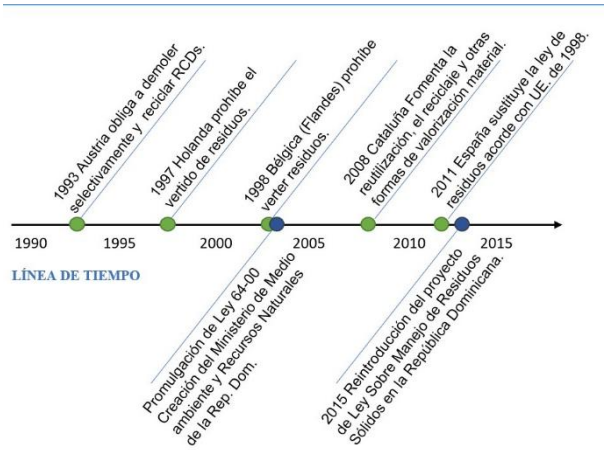
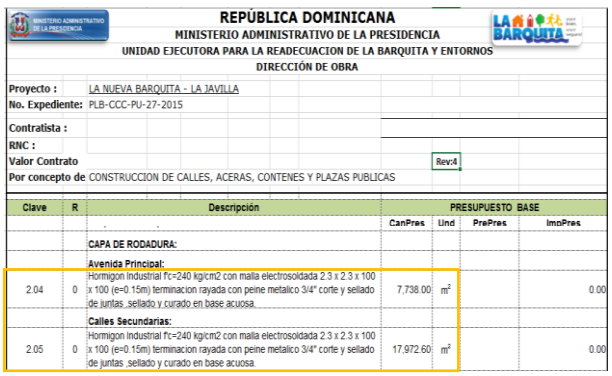


Figura 6. Línea de tiempo, "Legislaciones sobre gestión de residuos países europeos vs República Dominicana. (Elaboración propia: José G. Arias C. 2018) Fuente: Fuente: Symonds, & quot; Construction and Demolition waste management, Cámara de Diputados de la Republica Dominicana, BOE 181, BOE 262.

5. Referencias aplicables al caso de estudio "La Nueva Barquita"

Una vez analizada la situación normativa y de contorno de la gestión de los residuos en República Dominicana, hemos trabajado en la búsqueda de soluciones, alternativas, propuestas y experiencias exitosas desde Catalunya. Se realizó una primera gestión con el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC) que nos permitió el acceso a la base de datos BEDEC. Esta base, sobre la que trabajan todos los proyectos relacionados con las distintas administraciones de Catalunya, consta de unos 825.000 elementos de construcción, que abarcan desde la ingeniería civil y la edificación, así como urbanismo y rehabilitación. El BEDEC proporciona los precios de referencia de productos genéricos y partidas de obra, así como sus condiciones técnicas, y lo que la hace especialmente interesante: información ambiental del producto en cuanto a energía embebida y a emisiones asociadas. Esta base de datos permite, por lo tanto, presupuestar un proyecto no sólo económicamente si no también calculando su impacto ambiental [7].

A partir del acceso, aprendizaje y uso de esta base de datos, hemos podido seleccionar y analizar un conjunto significativo de partidas de obra asimilables a las que relaciona el Proyecto la Nueva Barquita y evaluarlas medioambientalmente. El objetivo era identificar el impacto ambiental de cada una de las partidas para, a partir de la búsqueda de alternativas, identificar aquellas que podían asimilarse a otras con menor impacto ambiental, fuese por una reducción de la energía embebida, o por el uso de materiales de origen reciclado. Fig. 7



REPÚBLICA DOMINICANA
MINISTERIO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA
UNIDAD EJECUTORA PARA LA READECUACION DE LA BARQUITA Y ENTORNOS
DIRECCIÓN DE OBRA

Proyecto : LA NUEVA BARQUITA - LA JAVILLA
No. Expediente: PLB-CCC-PU-27-2015
Contratista :
RNC :
Valor Contrato Rev:4
Por concepto de CONSTRUCCION DE CALLES, ACERAS, CONTENES Y PLAZAS PUBLICAS

Clave	R	Descripción	PRESUPUESTO BASE			
			CanPres	Und	PrePres	ImpPres
		CAPA DE RODADURA:				
		Avenida Principal:				
2.04	0	Hormigon Industrial f'c=240 kg/cm2 con malla electrosoldada 2.3 x 2.3 x 100 x 100 (e=0.15m) terminacion rayada con peine metalico 3/4" corte y sellado de juntas ,sellado y curado en base acuosa.	7,738.00	m²		0.00
		Calles Secundarias:				
2.05	0	Hormigon Industrial f'c=240 kg/cm2 con malla electrosoldada 2.3 x 2.3 x 100 x 100 (e=0.15m) terminacion rayada con peine metalico 3/4" corte y sellado de juntas ,sellado y curado en base acuosa.	17,972.60	m²		0.00

Figura 7. Extracto de partida. Utilización de Hormigón Industrial = 25.71,60 m^3 en la Construcción de calles, aceras, y plazas públicas. Fuente: URBE

Del listado de partidas seleccionadas, se pudo observar el potencial y el margen de mejora que la incorporación de técnicas y avances tecnológicos en el sector de la construcción podían aportar. Sirva de ejemplo la partida de hormigón Industrial, con un total de 25.710,60 m3 y que puede dosificarse con áridos de origen reciclado. Fig. 8.

Figura 8. Hormigón estructural con áridos reciclados = 20% según acuerdo legal y legislativo. 21/1992

Fuente: https://metabase.itec.cat/vide/es/bedec

Las ventajas y beneficios que comporta la substitución de las partidas del proyecto La Nueva Barquita por las alternativas que se extraen del BEDEC son múltiples.

- El uso de reciclados reduce los impactos por extracción de áridos
- La valorización de los residuos como materia prima promueve su gestión
- Las obras se convierten en sumidero de residuos más que como generadores
- La infraestructura necesaria para convertir residuos pétreos en áridos es asequible y capaz de ubicarse en la propia obra.
- Si la gestión del residuo se hace adecuadamente, es posible utilizar áridos reciclados tanto en el hormigón en masa (lo más habitual) como en el hormigón armado (como ya sucede en España, con unos porcentajes limitados)
- Las aportaciones a vertedero se reducen, con lo que los impactos asociados al sector también son menores.

Una segunda referencia ha sido el proyecto "Boscarró Norte" promovido por el Institut Català del Sol INCASOL (Instituto Catalán del Suelo), en colaboración con la Agencia de Residuos de Cataluña y la empresa ZICLA.

Este proyecto es un ejemplo práctico de proyecto de urbanización en el que se han substituido todas las partidas posibles o se han propuesto alternativas a las del BEDEC, bajo la premisa de incorporar todos los materiales provenientes de reciclados posibles.

Hemos estudiado y analizado el proyecto "Boscarró Norte", (realizado entre 2007 y 2010) y podemos considerar que es un ejemplo de "gran sumidero de residuos" gracias a que una gran parte de sus partidas, incluyendo el mobiliario urbano, está constituida con porcentajes de reciclados. Ver Tabla. 1 y Fig. 9

Tabla 1. Productos y/o materiales introducidos en el proyecto

Materiales y/o Producto	Composición o Porcentaje de reciclado
BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS	100% de áridos reciclados
PIEZAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PARA PAVIMENTO, ACERAS,	12% de áridos reciclados
TUBOS DE HORMIGÓN ALCANTARILLADO	10% de áridos reciclados
ARQUETAS DE HORMIGÓN PARA TELECOMUNICACIONES	10% de áridos reciclados
ARENISCA, ARENAS	100% de áridos reciclados
GRABA	100% de áridos reciclados
TUBOS DE PLÁSTICO PARA ALCANTARILLADO	40% de PP reciclado
TUBOS CORRUGADOS DE PLÁSTICO PARA ELECTRIFICACIÓN	40% de PE reciclado
TUBOS DE PLÁSTICO PARA RIEGO	40% de PE reciclado

Boscarró Norte:

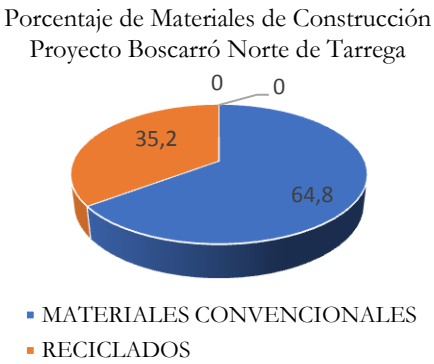


Figura 9. Gráfica donde se representa Porcentaje de partidas reciclados utilizados en el proyecto Boscarró Norte, de Tárrega, Cataluña (José Arias, 2019) Fuente: INCASOL

6. Conclusiones

La investigación realizada hasta el momento evidencia que, para llegar a aplicar los conceptos y la implementación de materiales con porcentajes reciclados, es necesario cumplir con una serie de requisitos:

- identificación de futuros residuos en fase previa de proyecto
- deconstrucción frente a derribo
- clasificación de residuos en obra
- selección y gestión adecuada
- creación de plantas de procesamiento de residuos
- legislación que vele por todo el proceso
- Incentivos y promoción por parte de la administración a proyectos "ejemplares".
- Difusión y publicación de buenas prácticas
- Formación de los profesionales y empresas del sector

Los resultados de esta investigación deberían arrojar opciones y alternativas para que estos proyectos puedan cumplir con las fases necesarias y permitan la inclusión en sus partidas de materiales de ciclo cerrado. Los proyectos de urbanización para el rescate de zonas vulnerables como es el caso de La Nueva Barquita, pueden y deberían ser propuestas que lideren el cambio en la gestión de los RCD en República Dominicana y es lo que queremos evidenciar con los resultados que se están obteniendo además de las intervenciones gráficas y aplicables que formarán parte de las próximas actuaciones a realizar.

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT) de la República Dominicana, que a través del departamento de Becas Internacionales nos permite realizar esta investigación y reforzar así la formación profesional dominicana.

Luego a cada una de las entidades que nos han dado el apoyo y material necesario para poder seguir adelante en nuestra investigación, en especial al ingeniero Alfredo Balmaceda, co-fundador de ZICLA quien desde nuestro TFM nos ha dado la mano, a Sonsoles Letang Jimenez del Institut Català del Sol (Incasòl) y a Gloria Diaz del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC), permitiéndome ambas presentar el avance de nuestro proyecto en febrero del 2018.

Finalmente, a la Unidad Ejecutora para la Readecuación de la Barquita y Entornos (URBE) por facilitarnos documentaciones graficas requeridas, así como cedernos varias entrevistas a propósito del proyecto de nuestro caso de estudio, y a cada de una de las personas que nos brindan el apoyo en este trayecto de nuestra vida.

Referencias

[1] International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), Definición de Vulnerabilidad. Disponible en: https://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/que-es-un-desastre/que-es-la-vulnerabilidad/

[2] Revista Archivos de Arquitectura Antillana, Dosier La Nueva Barquita. AAA060. disponible en: https://aaamag.com.do/coleccion/dossier/la-nueva-barquita#fb0=1

[3] Unidad Ejecutora para la Readecuación de la Barquita & Entornos, URBE. "Proyecto la Nueva Barquita 2016". Disponible en: Phttp://urbe.gob.do/proyectos/lnb/

[4] Flujo de los Residuos Generados en Santo Domingo, RD. Estudio del Plan de Manejo Integrado de Desechos Sólidos en el Distrito Nacional, Santo Domingo de Guzmán 2006.

[5] La Barquita: mudanzas que transportan cambios. Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), de la República Dominicana. 2016. disponible en: https://www.diariolibre.com/actualidad/ciudad/la-barquita-mudanzas-que-transportan-cambios-JF4430182

[6] Estudio y plan de gestión de los residuos de la construcción y demolición. Agencia de residuos de Cataluña. 2014. disponible en: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/runes_i_altres_residus_de_la_construccio/estudi_de_gestio/pla_gestio.pdf

[7] (Xavier Casademont 2017) "Conocer y operar con el banco BEDEC: personalización de parámetros" [Departamento de Bancos de Datos ITEC] [Sección Informativa]

[8] INCASOL "Inclusión de productos reciclados en proyectos ejecutivos de obras" Proyecto de urbanización del sector industrial Boscarró Norte, Tàrrega". 2018.

Desarrollo de un instrumento de evaluación multicriterio, para valorar el estado actual del soporte físico de un Polígono de Actividad Económica (PAE).

Steven González Zabala[a], Joan Lluís Zamora i Mestre[b]
[a]Doctorando, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona Tech; [b]PhD. Prof. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona Tech; LITA - UPC. Laboratori d' Innovació i Tecnologia a l'Arquitectura.
steven.gonzalez@upc.edu

El objeto de esta investigación es desarrollar un instrumento de evaluación multicriterio aplicable a la valoración del estado del soporte físico de un PAE mediante la creación de un índice de valor (InHABind), que permita establecer de manera rápida, fiable y eficiente la situación actual de su infraestructura física y de servicios frente a los parámetros y exigencias presentes, para así orientar a la programación de un plan de actuaciones de mejora más acertado para su actualización a corto y mediano plazo acorde a las políticas industriales europeas. Para esta ocasión se presenta la metodología utilizada para la construcción del instrumento de evaluación a partir del modelo de discretización RCPI que permite establecer los indicadores de evaluación técnica a nivel de cualidad y cantidad sobre la infraestructura de servicios de los polígonos industriales, que involucran la inspección técnica como componente principal.

Palabras clave: polígonos industriales, evaluación multicriterio, soporte construido.

1. Introducción

El boom de la construcción y la burbuja inmobiliaria ocurridos durante finales de la década de los noventa y principios del dos mil, propició la generación de una sobre oferta de suelo industrial y la construcción de polígonos industriales en pequeñas poblaciones y municipios españoles, realizando operaciones de ocupación del suelo agrícola para convertirlo en oferta de techo industrial, no previendo en muchos casos las partidas presupuestales para el mantenimiento y actualización de la infraestructura física y de servicios para los polígonos ya existentes. (Fig.1)

Figura 1. Estado actual. Polígono del Sud Est, Polinyà. 2018. (Fuente: autor).

El final de este ciclo ha dado lugar a polígonos antiguos sin actualización y a polígonos nuevos subocupados. Según datos de la Diputación de Barcelona (DIBA) en la actualidad el 40% del suelo industrial catalán se encuentra desocupado y más de la mitad del techo industrial está conformado por polígonos con superficies menores a 5 hectáreas, con un 50% del total en situación de completa obsolescencia. [1]. Esta situación sumada al cambio de los modelos de producción y fabricación gracias a la globalización, la deslocalización de las industrias y la tercerización de las actividades, han generado que las áreas productivas de los municipios denominadas hoy polígonos de actividad económica (PAE) necesiten urgentemente planificar actuaciones a corto y mediano plazo para su dinamización y mejora física.

Diversas entidades público-privadas han venido desarrollando iniciativas para reactivar, promover e impulsar el sector de la industria como motor económico del país, aprovechando las favorables condiciones geográficas y de comunicaciones que presenta la comunidad autonómica de Cataluña. Estas iniciativas de reindustrialización van dirigidas a promover la competitividad de las implantaciones en este territorio europeo y para ello es preciso

mejorar el estado físico del suelo productivo, en específico, las áreas industriales y logísticas, como parte esencial del tejido productivo del territorio; tal es el caso del Pacto Nacional para la Industria (PNI) [2] con el encargo a CIMALSA del Plan de Impulso y Modernización de los sectores industriales y logísticos [3] o los Programas para la modernización de polígonos en sus dos ediciones promovidos por la Diputación de Barcelona [4].

Para llevar a cabo correctamente estas iniciativas es importante disponer de una diagnosis contrastada y desarrollar aquellas actuaciones con una ratio coste/beneficio más elevada. Disponer de una herramienta consensuada que permita saber cuáles son las características físicas, técnicas y ambientales de cada polígono a la hora de ofrecer un emplazamiento adecuado a las empresas que quieren instalarse dentro del territorio catalán.

Inspección y diagnosis técnica

Las técnicas actuales de inspección y diagnosis técnica en áreas industriales están dirigidas principalmente a evaluar edificios y zonas con valor patrimonial para adecuarlos y reconvertirlos a otros usos diferentes al industrial mediante operaciones de cambios de actividad y uso o para rescatar aquellos espacios en estado de deterioro y/o abandono que son representativos para la identidad científica, tecnológica e industrial de una sociedad. [5]

Además no existe una normativa específica para la inspección y evaluación técnica y funcional de polígonos de uso industrial como conjunto; ya que las *Inspecciones Técnicas de Edificios* (ITE)[6], solo están referidas a la evaluación del estado actual de edificaciones de vivienda, quedando totalmente excluida la inspección técnica de edificaciones destinadas al uso exclusivo de la actividad industrial, solo exigiéndoles el certificado de eficiencia energética de edificios siempre y cuando se vendan o alquilen a un nuevo propietario o arrendatario a excepción de las partes destinadas a talleres y procesos industriales. Existe también el *Informe de Evaluación del Edificio* (IEE)[7], Modelo que permite valorar a modo de inspección organoléptica el estado de conservación del edificio teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa vigente sobre accesibilidad universal y el grado de eficiencia energética; pero solo están obligados a realizarla, los propietarios de edificios con independencia de su antigüedad, cuando pretendan solicitar ayudas públicas para realizar obras de conservación, de accesibilidad universal o eficiencia energética.

Metodologías de evaluación

Aunque actualmente existen ya algunas metodologías de evaluación sobre los PAE's (Tabla.1), ninguna propone una herramienta que permita evaluar las condiciones técnicas de los espacios comunes destinados a alojar la actividad industrial, la mayoría fundamentan su funcionamiento solo a resolver las carencias y necesidades actuales mediante recolección de datos o son el impulso de una iniciativa particular de un municipio.

TIPO	TÍTULO
Análisis DAFO	Programa Mentor PAE. (DIBA, 2011)
	Diagnósis de los PAE. (AMB-UPIC, 2016)
Benchmarking	Benchmarking internacional de modelos de gestión de los polígonos. (PwC, 2017)
Check List	Centres de serveis de proximitat als polígonos d'activitat económica. (DIBA, 2011)
Sistemas de información	SIPAE. Sist.de información de polígonos de actividad económica. (Pacte Nacional per la indústria, 2019)
Innovación social en eventos	Jornada Impuls Polígons (Pimec, 2015)
	Jornada REfabriCAT. (LITA-UPC, 2017 y 2019)
Rehabilitación	La urbanització i edificació dels polígons industrials a Catalunya. Estat actual i reptes de rehabilitació. El cas de Mataró. (Serra, 2013)
Evaluación	Els teixits edificat: Transformació i Permanencia. (Díaz,C et al,1993)
Multicriteria	MIVES. Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles. (Viñolas et al, 2009)
	ICADA. Base para un índice de calidad acústica global de la arquitectura interior. Aplicación alos espacios comerciales urbanos. (D'Aula, 2011)
Otros estudios	Quaderns 09, Polígons d'activitat económica. (AMB, 2017)
	Arquitectura y urbanismo industrial: diseño y construcción de plantas, edificios y polígonos industriales. (De Heredia, 1981)
	Patrons urbanistics de les activitats econòmiques. Regió Metropolitana de Barcelona. (Font, A. et al, 2012)
	Bussiness Improvement Districts. (Stanford, 2016)
	Torna la industria. Estan preparades les ciutats? (DIBA, Buhigas, M. 2014)
	Análisis, descripción y caracterización de los polígonos industriales de la AMB. (Barceló, M. 2018)
	Guía de buenas prácticas ambientales. Polígonos industriales (Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra, 2004)
	Libro de estilo: Sectores de Actividad Económica (SAE). (Incasol, 2007)

Tabla 1. Recopilación de los principales estudios y metodologías desarrollados para la evaluación de PAE`s. (Fuente: autor)

Así pues, cualquier iniciativa de mantenimiento y actualización de la infraestructura de soporte a la actividad industrial se ve obstaculizada por dos factores principales:

a. Falta de unificación de criterios de evaluación. [8]

b. Existencia de un vacío normativo frente a la inspección y diagnosis

técnica.

2. Objetivo

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar una herramienta que permita valorar la situación actual del soporte físico del PAE a partir de información actualizada y de alta especificidad técnica a modo de diagnosis, que posibilita establecer una correcta caracterización y posicionamiento (*ranking*) del PAE dentro del sistema de actividad económica y así poder formular estrategias a futuro para su implementación y mejora. (Fig.2)

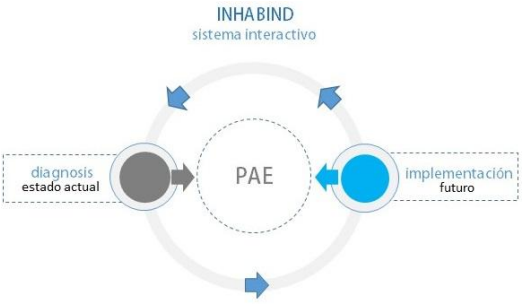


Figura 2. Esquema conceptual de funcionamiento de la herramienta InHABind. (Fuente: autor).

3. Planteamiento

Esta herramienta técnica de valoración global que denominaremos InHABind (término apropiado a la investigación que hace referencia a los requerimientos y exigencias espaciales y físicos que debe alcanzar un PAE para alojar la actividad industrial) evalúa técnicamente los polígonos industriales de una manera rápida y fácil mediante el establecimiento de una serie indicadores a modo de parámetros de estandarización referidos a los aspectos físicos, ambientales y técnicos, que permitirán a los actores implicados crear estrategias para su intervención a corto y mediano plazo.

InHABind se basa en el funcionamiento de las metodologías multicriteria para la toma de decisiones con criterios múltiples MCDM (*multiple - criteria decisión making*) [9], en específico en el método AHP (*analytic hierarchy process*) [10] en el que se establece un índice para la toma de decisiones complejas elaborado a partir de su estructura jerárquica en forma de árbol de toma de decisiones permitiendo la simplificación y así abordar problemas complejos de una forma simplificada y sistémica (Fig.3), ya que introduce factores cualitativos, cuantitativos y de pluralidad de percepción por parte de los diferentes agentes involucrados.[11]

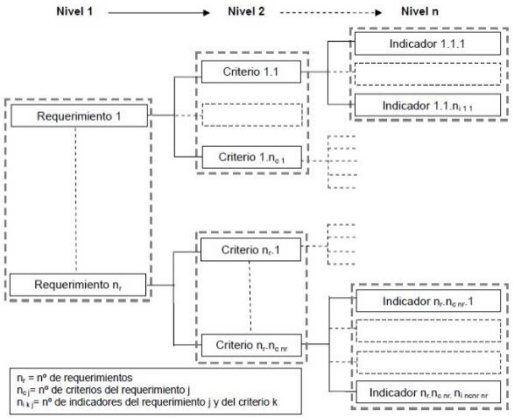


Figura 3. Árbol de toma de decisiones genérico, extraído del manual metodológico MIVES. (Fuente: https://deca.upc.edu/es/proyectos/mives/ficheros/aplicacion-v1/mivesmanual.pdf). 5 de julio de 2017.

4. Desarrollo

InHABind toma como referencia las investigaciones más relevantes en este campo realizadas por la UPC que se sitúan alrededor del Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones de Sostenibilidad, MIVES [12] que mide el grado de sostenibilidad de un material o proceso mediante la obtención de un índice de valor; su aporte principal está en la claridad y objetividad en los procedimientos para la valoración y al desarrollo del programa informático que permite realizar valoraciones de sostenibilidad desde diferentes ámbitos. Ejemplo de ello es su aplicación en la tesis doctoral ICADA: Índice de Calidad Acústica De Arquitectura interior [12], donde se evalúa el nivel de confort acústico de un espacio interior mediante un método matricial de síntesis numérica que permite incluir múltiples variables al estudio del confort acústico.

Específicamente, InHABind toma de la metodología multicriteria MIVES y su aplicación informática, la flexibilidad y operatividad para incorporar y evaluar de manera sencilla los indicadores propios del problema a resolver, posibilitando para este caso, la valoración global de la infraestructura

física y de servicios de cualquier tipo de PAE sin importar su año de construcción y su condición física de acuerdo a los estándares exigidos por la industria actual.

A continuación, se establecen comparativos y paralelismos entre los estudios de caracterización y de clasificación desarrollados por diversos agentes que han participado en los procesos de dinamización y mejora de las áreas industriales. (Tabla.2)

AGENTE / ENTIDAD	DENOMINACIÓN
Antonio Font Arellano	Áreas Especializadas Industriales (Sectores)
Miquel Barceló INNOPRO	Polígonos de Actividad Económica (PAE)
	Distrito Industrial Innovador (DII)
CIMALSA	Sector de Activitat Industrial y Logística (SAIL)
Generalitat de Valencia	Área industrial
AMB	Polígonos de Actividad Económica (PAE)
	Actividades económicas
	Ejes y corredores viales
	Coronas metropolitanes
INCASOL	Sectores de Actividad Económica (SAE)
DIBA	Polígonos de Actividad Económica (PAE)
Instituto Vasco de Estadística	Polígonos Empresariales
Coordinadora Española de Polígonos Empresariales	Polígono Empresarial de Calidad
Green Building Council España	VERDE DU Polígonos

Tabla 2. Diversidad en la denominación de las áreas industriales de acuerdo con las diversas entidades orientada a la clasificación de polígonos. (Fuente: autor).

El estudio comparativo anterior determina el planteamiento de la estructura que define el método jerárquico de la herramienta InHABind y permite la comprobación de una serie de indicadores a modo de requisitos, que otorgan funcionalidad y calidad a la actividad industrial, con el fin de poder categorizarlos: Basic PAE, Advanced PAE y Smart PAE. (Fig.4).

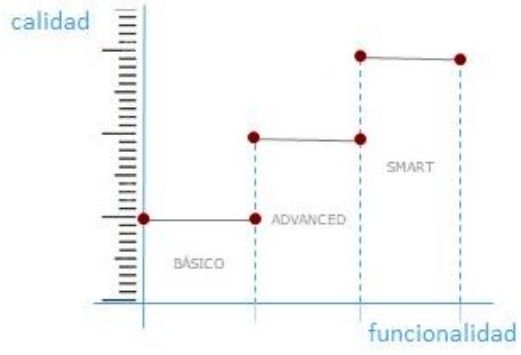


Figura 4. Proceso jerárquico de categorización PAE. (Fuente: autor).

InHABind utiliza un sistema de evaluación escalonado (no lineal) que permite posicionar al PAE dentro de determinada categoría, ya que incorpora escalas de valoración numérica a los parámetros de evaluación establecidos a manera de requisitos mínimos para cada una de ellas, posibilitando a los agentes en todo momento establecer acciones de consolidación y/o mejora. (Fig.5)

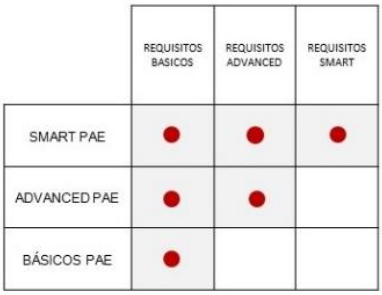


Figura 5. Categorías PAE y cumplimiento de requisitos. (Fuente: autor).

5. Validación

La comunidad PAE está conformada por todos los agentes que participan en la gestión de un PAE: agentes públicos, y privados, agentes certificadores de calidad, técnicos expertos y usuarios; todo ellos son los encargados de validar las diferentes alternativas mediante procesos reiterativos de participación en los que se escoge y prioriza las actuaciones de dinamización y mejora sobre el PAE, permitiendo de manera viable aprovechar mejor la destinación de los recursos previstos para ello. Este proceso involucra una serie de pasos propios de una metodología multicriteria:

- Delimitación de la decisión
- Propuesta de alternativas
- Funciones de valor
- Asignación de pesos
- Verificación y contraste (reajuste)

6. Exigencias operativas

Para que la herramienta pueda ser un sistema dinámico (actualizable) y robusto es necesario dotarla de una serie de propiedades y características que garantizaran su operatividad en todo momento, permitiendo realizar un diagnóstico técnico fiable al 100% del PAE a evaluar: eficiencia, flexibilidad,

sencillez, confiabilidad, economía, capacidad de *customización* y fácil interpretación de resultados. Para su elaboración se ha establecido un plan de trabajo que prevé 5 fases hasta su finalización:

- Fase exploratoria
- Fase de desarrollo
- Fase de análisis
- Fase aplicativa
- Fase de difusión

Actualmente la investigación se encuentra finalizando la etapa de desarrollo con la elaboración del primer prototipo de la herramienta para ser testeado en el caso de estudio seleccionado.

7. Fase Exploratoria: Construcción del Modelo de discretización RCPI.

A través de las campañas técnicas realizadas sobre el polígono industrial del Sud-Est de Polinyà, mediante convenio realizado entre el LiTA y el Departamento de Promoción Económica del Ayuntamiento (octubre, 2017), se realiza la formulación del modelo RCPI que implementa la estructura jerárquica para la toma de decisiones de las metodologías MCDM-AHP: Requisitos (R), Criterios (C), Indicadores (I), para establecer las relaciones físicas entre el PAE y los demás elementos que participan dentro del sistema de actividad económica industrial y logística. Además, se ha incorporado un nivel intermedio llamado Parámetros (P) que dotará exactitud a la hora de hacer la discretización del problema técnico a evaluar y establecer el diagnóstico del PAE.

A continuación, se definen las variables para la construcción del modelo RCPI, (Fig.6):

Relaciones:

- Urbanidad: relación del municipio con su entorno de referencia.
- Vialidad: relación del PAE con el tejido urbano del municipio.
- Edificación: estado de los elementos que se soportan en el PAE.
- Sostenibilidad: impacto en el medio ambiente de las funciones desarrolladas en el soporte físico común.

Requisitos: exigencias para la competitividad y el crecimiento industrial a futuro.

Criterios: capacidades funcionales y de calidad que debe tener un PAE.

Parámetros: aspectos técnicos susceptibles a la medición y valoración.

Indicadores: expresan la unidad de medición.

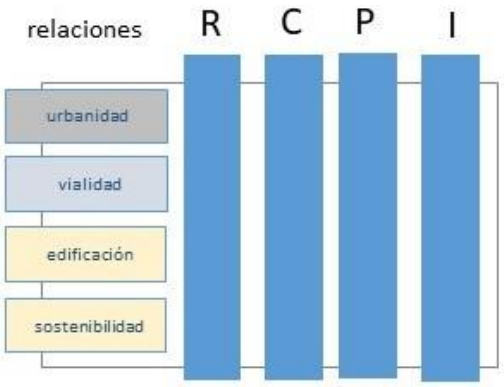


Figura 6. Variables del modelo RCPI.

Por los recursos asignados actualmente a la investigación no es viable, por el momento, asumir la totalidad de la diagnosis sobre el PAE, pero tampoco se descarta realizarla en un futuro. Por tal motivo la investigación se limitará al estudio de la relación de *Vialidad* (infraestructura urbana) (Fig.7), para la evaluación física, técnica y medioambiental del soporte físico común del polígono industrial.

Figura 7. Relación de Vialidad. Polígono del Sud-Est, Polinyà. 2018. (Fuente: autor).

InHABind solo evaluará aquellos aspectos del PAE que son susceptibles de mejora o modificación por parte de los agentes del

PAE. Así mismo, no tendrá en cuenta los parámetros otorgados por localización geográfica ya que son difíciles de mejorar por la gestión política, económica y territorial que esto conllevaría, entorpeciendo el funcionamiento de la herramienta; por lo tanto, serán tratados como externalidades.

8. Fase de desarrollo

Fase en la que se encuentra actualmente la investigación, en la cual se contrastan y verifican con la normativa técnica actual los parámetros de evaluación planteados para su estandarización y posterior valoración por parte de los agentes dentro de una escala de medición pública y consensuada.

Es importante mencionar que los parámetros que utiliza InHABind provienen específicamente de necesidades establecidas con anterioridad por los diferentes agentes y lo que pretende la herramienta es otorgar rigor técnico a la evaluación física, técnica y medioambiental del soporte físico del PAE mediante el uso de indicadores y funciones de valor numérico que apoyan la percepción de la problemática actual.

Ajustes: InHABind V.1.0

Es el resultado de los ajustes a las variables del modelo RCPI anterior, mediante la acotación del campo de evaluación y la incorporación de dos variables más: fuentes de obtención de información y funciones de valor, que proporcionan a la herramienta la capacidad de predecir diferentes escenarios a manera de hipótesis permitiendo simular su impacto a futuro. (Fig.8)

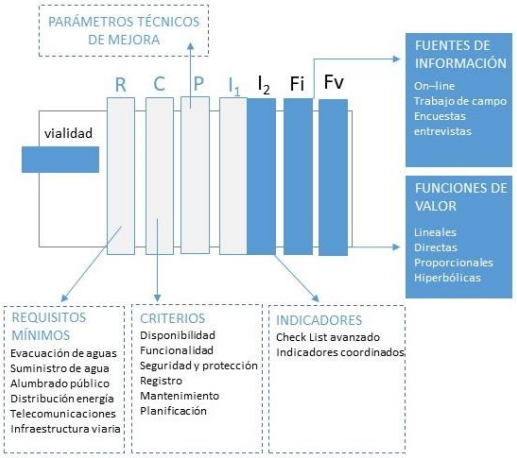


Figura 8. Variables de la herramienta InHABind V.1.0. (Fuente: autor).

Requisitos mínimos (R): se entiende por requisitos mínimos aquellos parámetros a nivel de infraestructura, indispensables para el desarrollo de la actividad industrial dentro del PAE: Red de saneamiento, Red de suministro de agua, Red de alumbrado público, Red de suministro energético, Red de telecomunicaciones y Red de infraestructura viaria. (Fig.9)

Figura 9. Requisitos mínimos de infraestructura de servicios para la producción industrial. 2019. (Fuente: diversos autores). [13]

Estos requisitos son el resultado del contraste de parámetros inicialmente planteados en el modelo RCPI con los parámetros realizados por diferentes entidades al tratar de definir los ámbitos de actuación para la dinamización y mejora de los PAE's; como los incorporados recientemente en el SIPAE [14] o en el Plan de mejora de polígonos de la DIBA. (Fig.10)

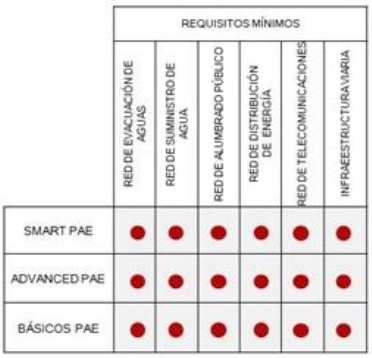


Figura 10. Requisitos mínimos, InHABind V.1.0. (Fuente: autor).

Criterios (C): se incorporan 6 criterios de calidad de lectura directa: disponibilidad, funcionalidad, seguridad y protección, registro, mantenimiento y planificación.

Parámetros técnicos (P): solo se tienen en cuenta los parámetros técnicos susceptibles a mejora.

Indicadores (I): se incorporan 2 tipos de indicadores de fácil medición, *Check List* avanzado e indicadores coordinados sujetos a unidades de medición, que permiten conocer el estado de preexistencia del PAE.

Fuentes de información (Fi):

Para el abastecimiento de la herramienta se tomarán datos suministrados por 3 tipos de fuentes que garantizan la seguridad y fiabilidad de la información aportada. Se clasifican en:

- Fuentes directas o fuentes *on-line* correspondientes a sistemas de datos o aplicativos que permiten su consulta directa y se encuentran en constante actualización.

- Fuentes indirectas: trabajo de campo, encuestas y entrevistas.

Para dotar de agilidad operativa a la herramienta, se ha decidido emplear solo las fuentes directas tipo on-line por su estabilidad, solidez y proximidad con la percepción de los evaluadores. Las fuentes indirectas, trabajo de campo, encuestas y entrevistas serán de uso restrictivo y solo se utilizarán cuando sea difícil acceder o comprobar la información obtenida por fuentes directas, ya que demandan recursos de tiempo y personal capacitado para su gestión.

Las principales fuentes *on-line* utilizadas para la elaboración de la herramienta son:

- Sistema de Información de Polígonos de Actividad Económica – SIPAE

- Portal de Polígonos y Empresas del Vallès Occidental [15],

- Portal SIG del Ayuntamiento de Polinyà [16]

- Portal de Google Traffic Conditions [17]. (Fig.11)

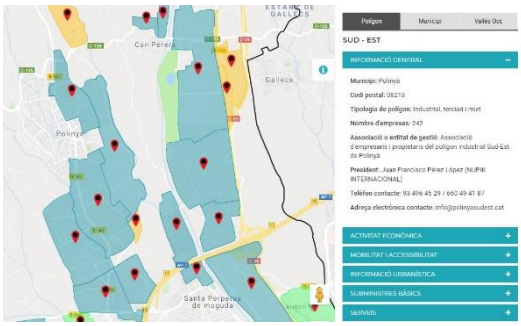


Figura 11. Imagen extraída del portal polígonos del Consell Comarcal del Vallès Occidental. (fuente: http://poligons.ccvoc.cat/#/poligon/POL_02). 5 de junio de 2019.

Funciones de valor y asignación de pesos (FV), (etapa en desarrollo):

Los juicios de valor se realizan a partir de datos obtenidos de fuentes de información directa, estos garantizan fiabilidad y estabilidad en el tiempo; tienen carácter lógico y permiten cuantificar y posicionar al PAE, a manera de *ranking*, dentro de la categoría correspondiente; permitiendo así que el administrador u operador del PAE escoja y priorice las actuaciones sobre la infraestructura física y de servicios mediante la construcción de propuestas que pueden ser procesadas por la herramienta de manera instantánea.

Para la herramienta se han definido de 4 tipos de funciones de valor: lineales, directas, proporcionales e hiperbólicas. Su modo operativo viene de verificar la pre existencia con los indicadores avanzados tipo *Check List* permitiendo al técnico evaluador asignar un valor dentro de las funciones establecidas para cada parámetro. (Fig.12)

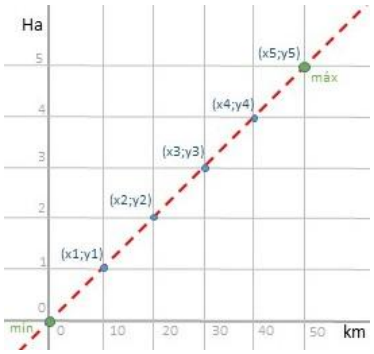


Figura.12. Gráfica de la función lineal donde se indica la asignación de valor por parte del técnico evaluador al parámetro de despliegue de la red viaria. Ejemplo teórico. (Fuente: autor).

Posteriormente se realiza la asignación de pesos, a modo de valor numérico, de cada parámetro técnico de evaluación de la herramienta, como resultado de la pluralidad de percepciones de los agentes que intervienen en el PAE; permitiendo en todo momento, el contraste de opiniones mediante mecanismos de participación.

Este proceso a modo de matriz de priorización, orientará y definirá la actuación de mejora para su posterior implementación dentro del espacio físico común. (Fig.13)

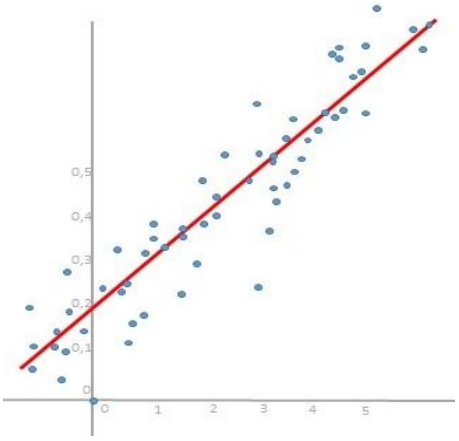


Figura.13. Ejemplo teórico de los Juicios de valor realizados por parte de los agentes que participan en la evaluación. (Fuente: autor).

Es importante conocer que, si dentro de los parámetros evaluados alguno exige algún tipo de modificación o recalculo, este será considerado en una versión posterior de la herramienta a modo de ajuste.

10. Conclusiones

La situación actual de la actividad industrial en general nos ha permitido entender que, así como los procesos industriales para la producción (procesos que por lo general ocurren al interior de las naves y parcelas industriales) exigen métodos sistemáticos y objetivos para su evaluación continua bajo estándares de calidad; debe existir también un sistema de evaluación continua, a modo de inspección y diagnosis técnica del PAE (ITP) que evalué el estado actual de su infraestructura física y de servicios respecto a las necesidades técnicas espaciales que requiere la industria actual y del futuro; solo así se podría garantizar un sistema coordinado de la actividad económica industrial y logística dentro del territorio.
El trabajo elaborado hasta el momento para el desarrollo del instrumento de valoración multicriterio InHABind ha permitido establecer que para orientar y jerarquizar las orientaciones propuestas por la comunidad PAE y mediar anticipadamente el impacto de las intervenciones programadas a partir de la evaluación de la idoneidad técnico –funcional del PAE, es necesario crear e incorporar una serie de procesos que otorgan un orden lógico a la metodología para el funcionamiento operativo de la herramienta: procesos de categorización, consulta de fuentes de información y procesos de validación.

10.1 Proceso de categorización y consulta de fuentes de información

De la identificación previa de las características físicas, técnicas y medio ambientales propias del PAE objeto de estudio, mediante revisión documental, inspecciones organolépticas y entrevistas con los principales agentes de la comunidad PAE; se pudo determinar la necesidad de realizar un proceso de categorización de los PAE`s como punto de partida en el proceso de valoración, permitiendo establecer los parámetros e indicadores de calidad propios a cada categoría, ajustándolos a la realidad de la evolución de la industria y a los espacios productivos de la economía de Cataluña. Así mismo, este proceso de categorización determinó el tipo, uso y restricción de las fuentes de información y consulta para la obtención de datos fiables a la hora de incorporarlos en la valoración del estado actual del soporte físico del PAE.

10.2 Proceso de validación

Es necesario que exista un proceso de validación posterior a la categorización, que posibilite la graduación y jerarquización de los criterios a través de procesos reiterativos de la herramienta, posibilitando que los parámetros de cada categoría sean evaluados continuamente por la comunidad PAE, permitiendo en cualquier momento, corregir, modificar o redirigir la decisión tomada. Aunque la herramienta involucra la toma de decisión incluyendo la pluralidad de los agentes es necesario la existencia de la figura de un tutor técnico o coordinador de cabecera del PAE para su control y monitoreo.

Referencias

[1] Pumares, R. (2017). Diagnosi del problema i visió holística de la dinamització i millora dels PAE. Jornada REfabriCAT.2017(1: 25, enero: ETSAV-UPC, Sant Cugat del Vallès). Monográfico. Cataluña. 2017. p. 17-21. Recuperado de: http://www.refabricat.net/e2017/#publicacions

[2] Pacte Nacional per a la Indústria. Biblioteca de Catalunya - Dades CiP. Barcelona, juliol de 2017. http://empresa.gencat.cat/web/.content/actualitat/documents/arxius/Pacte_nacional_industria.pdf

[3] Jarque, F. (2019). El Pla d'impuls i modernització dels sectors industrials i logístics a Catalunya. Jornada REfabriCAT.2019. (2: 30, enero: ETSAV-UPC, Sant Cugat del Vallès). Monográfico. Cataluña. 2019. p. 17-26.

[4] Diputació de Barcelona: Programa complementari de modernització de polígons, 1.a edició (2017) i 2.a edició (2018). https://www.diba.cat/es/web/petitsmunicipis/modernitzacio-depoligons#poligons2

[5] Capel, H. (1996). "La rehabilitación y el uso del patrimonio histórico industrial". Documents d'anàlisi geogràfica, núm. 29, pp. 19-50. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado de http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/22641/1/123847.pdf

[6] Decret 67/2015, de 5 de maig, per al foment del deure de conservació, manteniment i rehabilitació dels edificis d'habitatges, mitjançant les inspeccions tècniques i el llibre de l'edifici. Recuperado de https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/d/2015/05/05/67

[7] Real decreto legislativo 7/2015 de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de Suelo y rehabilitación Urbana. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. Recuperado de http://www.boe.es/boe/dias/2015/10/31/pdfs/BOE-A-2015-11723.pdf

[8] López, F (2011). "La regeneración de áreas industriales". Madrid, España: Sepes Entidad Estatal de Suelo. (p. 94-95)

[9] Vincke, P. (1992). "Multicriteria Decision-Aid". UK: John Wiley & Sons Inc.

[10] Saaty, R. (1987)." The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used". Math modeling. Vol 9, Nº 3-5, pp 161-176. UK: Pergamon Journals Ltd. Recuperado de https://core.ac.uk/download/pdf/82000104.pdf

[11] Grajales, A.; Serrano, E.;Hahn Von-H, C. (2013*). "Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación"*. Artículo Luna Azul, Nº 36, 295: Universidad de Caldas.

[12] Viñolas, B.; Cortés, F.; Marques, A.; Josa, A. & Aguado, A. (2009). "Manual Mives. Modelo integrador de valor para evaluaciones sostenibles". Recuperado de https://deca.upc.edu/es/proyectos/mives/ficheros/aplicacion-v1/mivesmanual.pdf

[12] D'Aula, E. (2011). "ICADA, Base para un Índice de Calidad Acústica Global de la Arquitectura Interior, Aplicación a los espacios comerciales urbanos". Tesis doctoral UPC y Àrea de Comerç de la Diputación de Barcelona. Recuperado de http://upcommons.upc.edu/handle/2117/94581.

[13] figuras extraídas en su orden de: http://www.poligonosindustrialesasturias.com. 5 de junio de 2019. http://www.presaibanez.com/actividad/infraestructuras-hidraulicas/redes-de-abastecimiento. 5 de junio de 2019. https://www.esmartcity.es/2018/06/08/alcoy-avanza-ciudad-inteligente-sistema-de-alumbrado-publico-basado-iot-big-data-tecnologia-led. 5 de junio de 2019. https://www.ajuntamentimpulsa.cat/es/comienza-el-tendido-de-la-fibra-optica-en-los-poligonos-industriales-de-santpedor.aspx. 5 de junio de 2019. https://www.leonoticias.com/especiales/poligonos/poligono-industrial-villaquilambre-20190322164058-nt.html. 5 de junio de 2019.

[14] Pacte Nacional per a la Indùstria. (2019). SIPAE. Recuperado de http://empresa.gencat.cat/ca/treb_ambits_actuacio/industria/sipae/

[15] Consell Comarcal del Vallès Occidental. Portal polígons i empreses del Vallès Occidental. Recuperado de http://poligons.ccvoc.cat/#/

[16] Ayuntamiento de Polinyà. Portal SIG. Recuperado de http://oslo.geodata.es/polinya/

[17] Google Maps. Recuperado de: https://www.google.com/maps/place/Polinyà,+Barcelona/@41.5464817,2.1575828,17z/data=!4m5!3m4!1s0x12a4bfc24d6ef5f9:0x27b95975ecccd987!8m2!3d41.5560111!4d2.1597595!5m1!1e1.

Estudio del impacto ambiental de geopolímeros de arcilla

Calderón-Peñafiel J.C.[a], Palumbo M.[b], Rosell J.R. [a]
[a] Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Campus Sud, Barcelona, Spain;
[b] Departament d'Enginyeria Química, Universitat Rovira i Virgili, Av. Paisos Catalans 26, Tarragona, Spain.
juan.carlos.calderon@upc.edu

En los últimos años, la problemática ambiental ha impulsado la investigación de materiales alternativos que ayuden a aminorar el impacto derivado de la construcción. En este contexto, los materiales alcalinamente activados se han presentado como una alternativa interesante a materiales convencionales que incorporan gran cantidad de energía. A diferencia de trabajos previos, el objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto ambiental incorporado de bloques experimentales de arcilla "geopolimerizada", tomando en cuenta su resistencia a la compresión y comparándolos con ladrillos de arcilla cocida y bloques de tierra comprimida (BTC). Para la fabricación de los bloques experimentales de arcilla "geopolimerizada" se usó arcilla natural, no expuesta a procesos previos de deshidroxilación, con un contenido de 49% en peso de caolinita y un activador alcalino basado en NaOH. En el proceso de fabricación, las mezclas fueron expuestas a temperaturas que oscilaron entre 80 y 120ºC durante 2 a 24 horas. Los ladrillos experimentales de arcilla "geopolimerizada", con la formulación adecuada, alcanzaron resistencias a la compresión superiores a 20MPa con una reducción del 80-90% del impacto ambiental en comparación con los ladrillos comunes de arcilla cocida.

Palabras clave: geopolímeros de arcilla, activación alcalina, resistencia a la compresión, impacto ambiental, análisis del ciclo de vida.

1. Introducción

La energía ha sido y es el principal recurso para la fabricación de materiales modernos. Durante siglos, las materias primas naturales se han transformado en productos procesados invirtiendo cada vez más energía y produciendo mayores impactos ambientales. Hoy, la actividad en el sector de la construcción representa una grave amenaza para el medio ambiente. Consume la mayoría de los recursos naturales y es responsable del 30% de las emisiones de dióxido de carbono [1]. Desde su construcción hasta su demolición, los edificios consumen el 40% de la energía producida en todo el mundo [2].

Para la reducción del impacto ambiental inherente a la construcción, es importante reducir no solo la demanda de energía operativa sino también su energía incorporada, eligiendo con precisión los materiales de construcción [3]. En este contexto, el creciente énfasis en la conservación y protección del medio ambiente ha impulsado la búsqueda de alternativas para reemplazar los materiales que incorporan grandes cantidades de energía.

Por otra parte, la resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más importantes de los materiales de construcción [4]. Por tanto, el desafío ha sido (y sigue siendo) desarrollar materiales resistentes con un menor costo ambiental. En este sentido, los geopolímeros se presentan como una alternativa a los materiales convencionales de construcción, ya que ofrecen características de resistencia sobresalientes con menor energía incorporada [5].

Este estudio se centró en la evaluación del impacto ambiental incorporado de bloques experimentales de arcilla fabricados mediante procedimientos análogos a la geopolimerización. Geopolimerización es el término utilizado para referirse a la reacción química que ocurre cuando se mezclan aluminosilicatos con activadores alcalinos concentrados (o menos comúnmente con ácidos), generalmente hidróxidos alcalinos, que forman una nueva red molecular y un nuevo material: "geo-polí-mero" [6]. Para la fabricación de geopolímeros se utilizan aluminosilicatos (materias primas ricas en Al_2O_3 y SiO_2). Estos materiales juegan un papel importante como fuentes de iones Al^{3+} y Si^{4+}. Comúnmente es preferible que la fuente de aluminosilicatos esté compuesta por más del 70% de alúmina y sílice en fase amorfa[7].

Así, para la fabricación de geopolímeros se han utilizado diferentes tipos de materia prima. Las más utilizadas hasta la fecha son las cenizas volantes, la escoria de alto horno y otros materiales ricos en aluminosilicatos altamente reactivos. Los geopolímeros fabricados a partir de estos materiales precursores generalmente tienen un rendimiento mecánico sobresaliente con bajo impacto ambiental[8].

La arcilla también es una fuente alternativa de aluminosilicatos para la fabricación de geopolímeros.

En la mayoría de los casos, se la somete a un proceso previo de alteración térmica que amplifica las características reactivas naturales del material. Este es el caso del metacaolín, caolín calcinado a temperaturas que oscilan entre 550 y 700°C [9].

Los estudios sobre geopolimerización de arcilla natural no calcinada son escasos porque los aluminosilicatos en arcillas crudas son menos reactivos que en arcillas calcinadas. Sin embargo, la alta disponibilidad de arcilla justifica su estudio como fuente de aluminosilicatos en la fabricación de geopolímeros. Si bien existen múltiples investigaciones previas sobre "activación alcalina" de arcillas, en ninguna se consideró el impacto ambiental incorporado de los materiales precursores en el diseño y la selección de formulaciones y métodos de fabricación.

Esta investigación se centró en la evaluación del impacto ambiental causado por la fabricación de bloques experimentales de arcilla geopolimerizada, fabricados en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona. Se utilizó la resistencia a la compresión como unidad funcional y se compararon los datos obtenidos con los de materiales de construcción de arcilla comúnmente utilizados: ladrillos cocidos y bloques de tierra comprimida (BTC).

2. Materiales y métodos

La arcilla (Clay BEIG PEN/F) suministrada por *Argiles Colades S.A., de La Bisbal d'Empordà*, (Girona-España) fue el material base que se utilizó como fuente de aluminosilicatos inorgánicos. Las composiciones químicas obtenidas por análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la arcilla (expresado en %)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	TiO_2
59.87	22.87	6.33	0.02	1.04
CaO	**K_2O**	**P_2O_5**	**MgO**	**Na_2O**
0.73	1.38	0.06	0.61	0.32

El tamaño de partícula fue igual o inferior a 125µm y fue determinado mediante análisis del tamaño de partículas por difracción láser (ADL). Como material de relleno se utilizó arena (arena silícea –estándar– L-105115, suministrada por Àrids per a la Indústria i la Depuració, S.L., Barcelona), con el objetivo de mejorar la trabajabilidad de las mezclas. Su contenido de SiO_2 fue ≥ 98,5% y su tamaño de partícula inferior a 250µm.

Para propiciar la reacción química que da paso a la geopolimerización se usó una solución alcalina. Esta se preparó usando agua desionizada (conductividad eléctrica σ = 5,49 uSm-1), gránulos de hidróxido de sodio NaOH y, en algunos casos, Na_2SiO_3. Se preparó una solución alcalina disolviendo gránulos de NaOH en agua desionizada (con una concentración molar que varió entre 5M y 10M). La solución se mezcló durante 5 minutos a 2000 rpm usando un agitador magnético y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 24 horas en recipientes herméticos. En algunas mezclas, se añadió Na_2SiO_3 después del tiempo de enfriamiento siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

La arcilla y la arena fueron mezcladas durante 2 minutos a 140 rpm usando un mezclador de mortero automático. Luego, se añadió la solución alcalina y se mezcló todo durante cinco minutos adicionales a 285 rpm. La mezcla se colocó en moldes de acero inoxidable de 4x4x16cm y se expuso a temperatura según cada caso. Las mezclas se retiraron del horno, se desmoldaron y se dejaron enfriar. Luego de estar expuestas a 25°C y a 60% de humedad relativa durante 14 días, las probetas fueron sometidas a ensayos de resistencia a compresión. Para los ensayos de resistencia a la compresión, se realizaron pruebas en todas las muestras (con 6 réplicas de cada muestra) y se utilizaron como referencia las normas UNE-EN (196-1, 772-1, 12390-3, 1015-11 y 12390-4).

El impacto ambiental incorporado de los bloques experimentales de arcilla geopolimerizada se midió utilizando la metodología de evaluación del ciclo de vida (ACV). El objetivo del ACV era doble. Primero, evaluar qué combinación de las composiciones y los procesos de producción probados en el laboratorio, simultáneamente, tuvieron un mejor desempeño ambiental y mecánico. En segundo lugar, evaluar los impactos ambientales asociados a la producción de bloques experimentales en comparación con productos de construcción de arcilla existentes, como ladrillos de arcilla cocida y bloques de tierra comprimida (BTC). Por lo tanto, el alcance del análisis ACV se limitó al proceso de producción, teniendo en cuenta los impactos asociados con las materias primas utilizadas en cada caso y la energía consumida durante el proceso de producción. La energía consumida durante el proceso de producción se estimó bajo la hipótesis de que los bloques experimentales se fabricaron a escala industrial. Estas estimaciones se basan en la producción industrial de ladrillos calcinados pero están adaptados a las temperaturas y tiempos necesarios para garantizar la geopolimerización de los bloques experimentales en

el laboratorio. Para determinar los impactos ambientales asociados se utilizó el modelo del sistema de punto de sustitución en la base de datos 3.4 de Ecoinvent. Los resultados obtenidos se expresaron utilizando el método de ponderación ReCiPe (puntos finales). En la Tabla 2 se observan las formulaciones de las muestras que obtuvieron los mejores resultados. Las mezclas GEO-B se fueron expuestas a 80ºC durante 24h, las mezclas P06-03 y P06-04 fueron expuestas a 110ºC durante 7 y 24 horas respectivamente, las muestras P07 fueron expuestas a 100ºC durante 4 horas.

Tabla 2. Cuadro de mezclas de las muestras que obtuvieron los mejores resultados

Muestra	Arcilla	Arena	Agua	NaOH	Na_2SiO_3
GEO-B01	1.00	1.00	0.30	0.12	0.00
GEO-B02	1.00	1.00	0.30	0.06	0.00
P06-03	1.00	1.00	0.30	0.12	0.08
P06-04	1.00	1.00	0.30	0.12	0.08
P07-01	1.00	1.00	0.30	0.12	0.08
P07-04	1.00	1.00	0.30	0.12	0.08

3. Resultados

Los resultados del análisis del comportamiento ambiental de los bloques de arcilla geopolimerizada se presentan en el gráfico de la Fig. 1. Las diversas mezclas y métodos de fabricación que se incluyeron en el análisis se compararon en cuanto a su impacto ambiental (eje y) y resistencia a la compresión (eje x). Los resultados se presentan utilizando los puntos totales del método de ponderación ReCiPe para facilitar la comparación. Las formulaciones óptimas, es decir, aquellas formulaciones a partir de las cuales no es posible mejorar uno de los parámetros sin empeorar uno de los otros dos, constituyen la frontera de Pareto. Estas se resaltan utilizando marcadores más oscuros en el gráfico de la Fig. 1.

Se encontró que 3 formulaciones experimentales son óptimas (marcas más oscuras en la Fig. 1). El impacto ambiental que se toma en cuenta incluye dos fuentes principales: el impacto incorporado de las materias primas y el impacto del uso de energía durante la fabricación. Se encontró que el primero era más significativo que el último, siendo la mayor parte del impacto debido a los aditivos utilizados (NaOH y Na_2SiO_3). De las soluciones óptimas, GEO-B02 es la muestra que presenta el menor impacto ambiental, ya que se produce a 80ºC e incorpora bajas cantidades de NaOH (3% de peso seco). Sin embargo, también es la muestra en la frontera de Pareto con menor resistencia a la

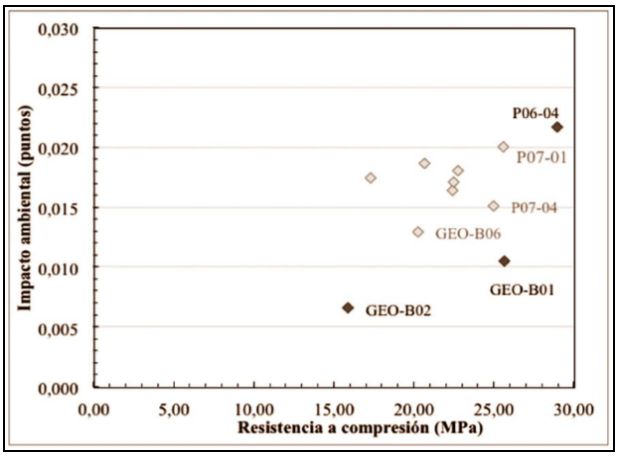


Figura 1. Comparación del impacto ambiental en relación a la resistencia a compresión de las diferentes muestras analizadas.

compresión (15.9MPa). GEO-B01 es la muestra que tiene un rendimiento más equilibrado, ya que su impacto ambiental sigue siendo bajo y su resistencia a la compresión es de 25.8MPa, lo que es más alta que el promedio de ladrillos de arcilla cocida. La muestra P06-04 es la que tiene la mayor resistencia a la compresión (29MPa) y también el mayor impacto ambiental. Con respecto a GEO-B01, la resistencia a la compresión se incrementa en un 11% y el impacto ambiental en un 52%. Las principales diferencias en el proceso de producción entre las muestras GEO-B01 y P06- 04 fueron la adición de Na_2SiO_3 en la mezcla y el cambio de temperatura de 80ºC a 110ºC. Los resultados muestran que la mejora de las propiedades mecánicas no está vinculada con un aumento del impacto ambiental incorporado, lo que demuestra el interés en integrar el análisis ACV desde las etapas iniciales en el diseño del material.

En la Fig. 2, se exponen las formulaciones de los bloques de arcilla geopolimerizada de acuerdo su contenido de aditivos (eje X) y a su energía incorporada (eje y). El tamaño de las burbujas corresponde a la resistencia a la compresión; Las soluciones óptimas se destacan en naranja. Los resultados muestran que la energía incorporada depende en gran medida del contenido de aditivos. Es notable que dos de las soluciones óptimas (GEO-B02 y P06-04) sean soluciones extremas, con el contenido más bajo y más alto de aditivos y el impacto ambiental más bajo y más alto, respectivamente. Esto revela el rol que desempeñan los aditivos en el impacto ambiental de las muestras.

En la Fig. 3 se compara la cantidad total de aditivos (eje x) con la resistencia a la compresión (eje y). El tamaño de las burbujas corresponde al tiempo de exposición a temperatura: parámetro que se

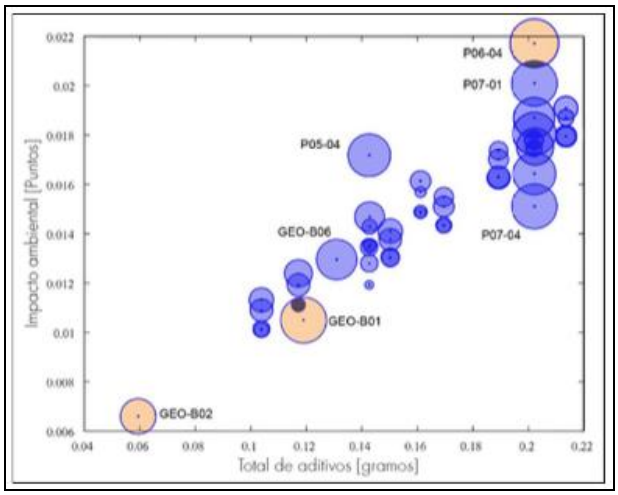


Figura 2. Efecto de la dosificación de aditivos sobre el impacto ambiental.

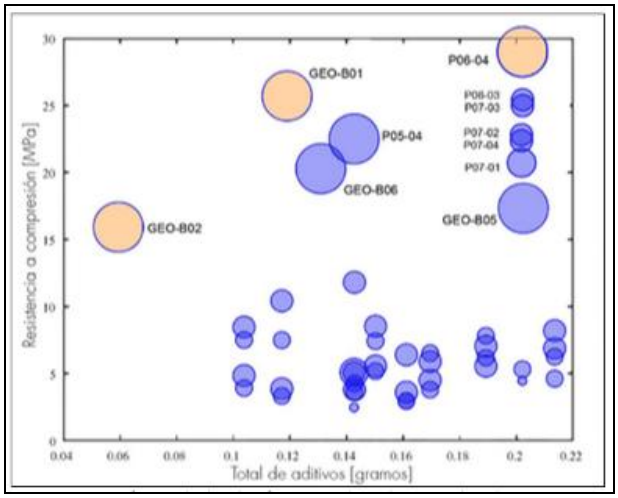


Figura 3. Efecto de la dosificación de aditivos sobre la resistencia a la compresión.

encontró que tuvo una influencia significativa en los resultados. Las muestras se dividen en dos grupos: las burbujas más pequeñas representan las muestras expuestas a temperatura durante 2, 4 y 7 horas y corresponden a las muestras con resistencias a la compresión inferiores a 15MPa. Estas caen en la parte inferior del gráfico. Las burbujas más grandes, que son las que se exponen a temperatura durante 24 horas, se ubican en la parte superior del gráfico (>15MPa). Todas las soluciones óptimas están en este segundo grupo. Solo cinco muestras expuestas a temperatura menos de 24 horas mostraron una buena resistencia a la compresión (P07-01 a P07-04 y P06-03). Esto se debe al menor contenido de agua de estas muestras.

Las mezclas y los métodos de fabricación óptimos se compararon con productos de construcción similares en el mercado por ser fabricadas a base de arcilla, es decir, un ladrillo de arcilla cocida promedio y un bloque de tierra comprimida (BTC). Para esta comparación, la unidad funcional se normalizó con la resistencia a la compresión para comparar el impacto de las unidades del material que ofrecen el mismo rendimiento (es decir el impacto ambiental de un muro macizo que soporta 200 kg/mL).

En los resultados que se muestran en la Fig. 4, el impacto ambiental (eje y) se divide en cuatro categorías: salud humana, ecosistema, agotamiento de recursos y cambio climático (con respecto a puntos finales de ReCiPe). Para cada categoría, se distinguen los impactos correspondientes a las materias primas (barras sólidas) y al consumo de energía durante la fabricación (barras rayadas).

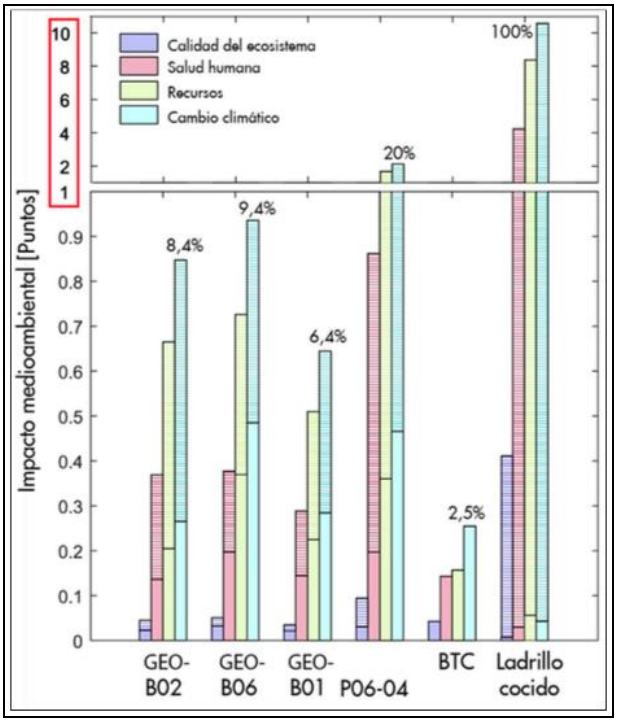


Figura 4. Impacto ambiental de un muro macizo que soporta 200kg/mL.

Por unidad funcional el bloque de tierra comprimida (BTC) fue la mejor opción ambiental. Sin embargo, la resistencia mecánica, notablemente más baja, implicaría muros de gran espesor que representarían un problema en lugares en donde se necesita optimizar el área de construcción y/o soportar grandes cargas. El impacto ambiental de ladrillos cocidos es el más alto. Por lo tanto, cualquiera de las formulaciones óptimas de los bloques de arcilla geopolimerizada sería una mejor opción que el ladrillo común de arcilla cocida.

4. Conclusiones

Mediante el análisis del impacto ambiental se determinó que los bloques experimentales de arcilla geopolimerizada presentan bajos niveles de energía incorporada en comparación con bloques de arcilla cocida. El uso de materiales de arcilla geopolimerizada se traduce en una reducción del 80% al 94% del impacto ambiental en comparación con los ladrillos de arcilla cocida.

El bloque de tierra comprimida (BTC) fue el material con menor impacto ambiental de la comparativa hecha con el ladrillo cocido, sin embargo, su resistencia es baja (3-4MPa).

También se observó que la mejora en el rendimiento mecánico de los bloques de arcilla polimerizada no esta necesariamente vinculada a un aumento en su impacto ambiental, lo que demuestra la importancia de incluir el análisis de este parámetro en una etapa temprana en el diseño del material. Se podría obviar el uso de Na_2SiO_3 o controlar la temperatura y el tiempo de exposición para reducir aún más el impacto ambiental. Es importante señalar que, en comparación con los materiales de construcción fabricados a temperaturas superiores a 1000°C, los ladrillos experimentales de arcilla geopolimerizada requieren una temperatura diez veces menor (80°C - 100°C), alcanzable incluso con energía solar.

Mediante los resultados del análisis del impacto ambiental se confirma la hipótesis de esta investigación: los principios de geopolimerización pueden ser aplicados a la fabricación de materiales de arcilla natural, incrementando notablemente su desempeño mecánico (25-30MPa) con una gran reducción de los niveles de impacto ambiental en comparación a los ladrillos de arcilla cocida (80-94%).

Agradecimientos

Este estudio ha sido apoyado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) – Ecuador, el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y la *Universitat Rovira i Virgili* (URV) (FJCI-2016-28789). Los autores desean agradecer el apoyo financiero del Ministerio de Economía y Competitividad español BIA2017-83912-C2-1-R, RTI2018-093849-B-C33 (MINECO / FEDER) y CTQ2016-77968 (MINECO / FEDER)) y el Agencia Estatal de Investigación (BIA2017-88401-R). Los autores desean agradecer al Gobierno catalán por la acreditación de calidad otorgada a sus grupos de investigación (2017SGR1758 y 2017 SGR 1409).

Referencias

[1] Sinha, R., Lennartsson, M., & Frostell, B. (2016). *Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study*. Building and Environment, pp. 104, 162–171.

[2] Thormark, C. (2006). *The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building*. Building and Environment, 41(8), 1019–1026. p. 1025.

[3] Cabeza, LF, Barreneche, Miró, L., Morera, JM, Bartolí, E, & Fernández, A. Inés. (2013). *Low carbon and low embodied energy materials in buildings: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23, 536–542. p. 538

[4] Komnitsas, K. A. (2011). *Potential of geopolymer technology towards green buildings and sustainable cities*. Procedia Engineering, 21, 1023–1032.

[5] Davidovits, J. (2015). *Geopolymer, Chemistry and Applications*. (J. Davidovits, Ed.) (4th ed.). Saint-Quentin: Institut Géopolymère.

[6] Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2009). *Geopolymers. Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. CRC Press, Woodhead Publishing, Great Abington, Cambridge, UK.

[7] Liew, Y. M., Heah, C. Y., Mohd Mustafa, A. B., & Kamarudin, H. (2016). *Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review*. Progress in Materials Science, 83, 595–629. p. 597

[8] Passuello, A., Rodríguez, E. D., Hirt, E., Longhi, M., Bernal, S. A., Provis, J. L., & Kirchheim, A. P. (2017). *Evaluation of the potential improvement in the environmental footprint of geopolymers using waste-derived activators*. Journal of Cleaner Production, 166, 680–689.

[9] Wan, Q., Rao, F., & Song, S. (2017). *Reexamining calcination of kaolinite for the synthesis of metakaolin geopolymers - roles of dehydroxylation and recrystallization*. Journal of Non-Crystalline Solids, 460, 74–80.

DE LA TEORÍA A LA TECNOLOGÍA. De cómo la concepción de la relación Forma - Materia, desde un punto de vista neo-materialista repercute en el proceso de diseño de la Arquitectura Textil.

Beatriz Arnaiz Barrio, Ramon Sastre i Sastre, Xavier Gimferrer Vilaplana
beatriz.arnaiz@upc.edu

El estudio y la observación de procesos naturales, y la aplicación de ciertos conceptos y comportamientos dinámicos comprendidos, interiorizados, y planteados como analogías posibles en lo no-viviente, permite concebir la materia como algo vivo, no como acto de fe, sino como posicionamiento metodológico. Desde esta concesión de las teorías neo-materialistas, se plantean cuestiones que inciden en el planteamiento del proceso de diseño. Se concibe la materia como elemento auto-organizado, en vez de como un elemento pasivo. De esta manera, la relación con la materia debe establecer una doble dirección, a través de un ensamblaje más complejo, olvidar el esquema jerárquico desde el que el humano ejerce una imposición sobre lo no-humano.
La arquitectura ligera, y en concreto la arquitectura textil, debido a la naturaleza de sus materiales y su funcionamiento estructural, ya parte de la necesidad de un proceso de diseño que disiente radicalmente del conocido en la arquitectura convencional. Para alcanzar el nivel de eficiencia característico de la arquitectura ligera es necesario partir del material, conocerlo y explotar su potencial. Descubrir la forma que emerge de su naturaleza, que adopta.
Se plantea un discurso teórico que aplicado a la tecnología utilizada en las tensoestructuras ofrece un punto de partida para un proceso de diseño más coherente con su naturaleza.

Palabras clave: Morfogénesis, Materia, Diseño, Tensoestructuras, Nuevos Materialismos.

1. Introducción

Desde la observación y el estudio de las formas de la naturaleza (o de la vida), las formas del conocimiento (o de la ciencia) y las formas de la belleza (o del arte), es posible establecer analogías que permiten comprender y profundizar, adoptar y adaptar conceptos, planteamientos y procesos transversales, utilizando herramientas propias del desarrollo digital presente.

2. Procesos naturales

Los procesos naturales son los que existen de manera natural o son producidos por la naturaleza, en vez de ser causados por el ser humano. Los procesos que se califican de espontáneos, se auto-generan gracias a su propia fuerza que impulsa este proceso. Por el contrario, si aplicamos energía para producir un proceso que carece de dicho esfuerzo impulsor interno, no puede denominarse espontáneo. [1] Si observamos y analizamos los procesos naturales, e incorporamos la dinámica y los movimientos y formas que se auto-generan, se desprende que un criterio primordial en ellos es la eficiencia. Cuando se aplica energía externa para generar procesos no espontáneos, se obvia la inercia propia de la materia, y se pierde esa eficiencia. En muchos casos se le impone a la materia pasar por unos procesos que, si bien son capaces de asumir al coste de la energía externa aplicada, desde luego no optimizan las propiedades y los procesos que la materia por sí sola generaría. Si estos procesos propios se analizaran y se aprovecharan, estaríamos caminando hacia la eficiencia.

Esta fuerza impulsora propia de los procesos naturales es denominada entropía. Es una magnitud indicativa del grado de desorden de un sistema. La entropía puede considerarse un parámetro del caos. Se plantea una nueva forma de entender el caos, no como desorden, sino como lo que no se puede predecir y describir. Los descubrimientos físico-matemáticos del último siglo brindaron la Teoría del Caos, la cual plantea una forma diferente de observar la naturaleza, ya que abarca los sistemas complejos y dinámicos que son muy sensibles a variaciones. Esta teoría habla entre otras cosas de los sistemas no lineales, y de la geometría fractal, otro de los más relevantes campos de estudio del siglo pasado.
La idea de entropía llama la atención en el mundo teórico-artístico, siendo seductora la idea de definir una cierta tendencia al equilibrio a partir del caos.
La tecnología digital y las ciencias metafísicas, han profundizado en las investigaciones sobre los procesos y dinámicas naturales, y esto ofrece una nueva perspectiva desde la que mirar estos procesos. La arquitectura, y la tecnología de la que se nutre, están en el camino de adaptación a este nuevo paradigma. Concretamente en la arquitectura textil, que es uno de los campos de desarrollo más recientes en el mundo de la arquitectura, las formas generadas tienen una estrecha relación con las formas naturales, el proceso de generación y búsqueda de la forma con la morfogénesis natural, y el estado de equilibrio

en el que encuentran su estabilidad las estructuras tensadas con el equilibrio natural dinámico de las estructuras naturales.

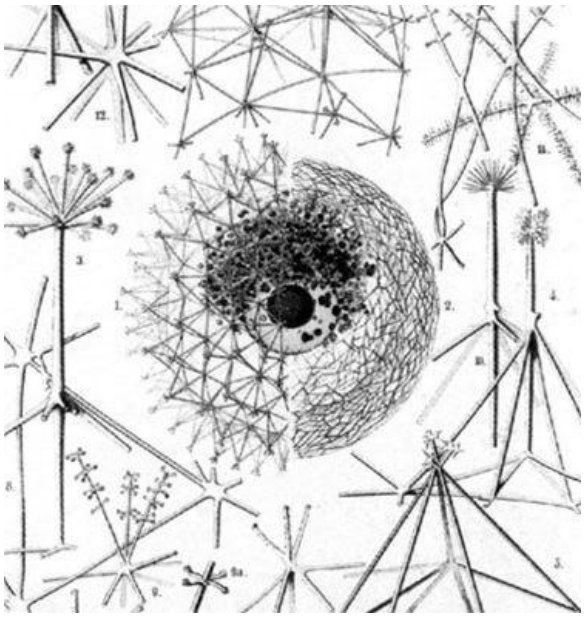


Figura 1. Dibujo de Ernst Haeckel

Por todas estas analogías posibles, es necesario posicionar la mirada desde un lugar de análisis y observación, aprovechamiento y optimización de los potenciales ligados a la materia y a los procesos propios de la misma, para generar estructuras que tengan como criterio principal en su funcionamiento y materialidad, la eficiencia. Así como los procesos y las formas de sistemas naturales nos muestran esta cualidad al observarlos y estudiarlos.

3. Analogías entre lo vivo y lo no-vivo

Los seres vivos están formados por células, realizan funciones vitales como nacer, crecer, alimentarse, respirar, reproducirse, relacionarse, vivir. Se califica de viviente lo que tiene organización propia para vivir, en contraposición a lo inanimado. La vida es propia de la materia dinámica.

Los seres no vivos son aquéllos que no cumplen funciones vitales, son seres abióticos o sin vida. Por ejemplo una piedra no puede reproducirse ni alimentarse, no nace y no muere, carece de vida. Se califica como no-viviente a la materia. Ésta tiene propiedades intrínsecas. La materia es y tiene su propio espacio. Toma forma en el espacio. Está compuesta de átomos. Estos componentes atómicos poseen energía o inercia a partir de la cual se genera el movimiento y la tendencia al reposo, que también se puede traducir en una tendencia al equilibrio. La materia existe por sí misma, tiene carácter objetivo. Sus propiedades son inmanentes, la constituyen, no fueron creadas.

Los comportamientos dinámicos de lo viviente, pueden ser planteados analógicamente en lo no-viviente, permitiendo concebir la materia como *algo vivo*, no como acto de fe, sino como posicionamiento metodológico.

Las analogías que se pueden establecer entre lo vivo y la materia son de gran impacto en el campo del diseño, y por ende en el de la arquitectura y la tecnología. Conceptos como morfogénesis, autopoiesis, estados de equilibrio, pueden ser tomados de otros campos –sean la biología, la sociología, la geología, la física, la matemática, la filosofía- para reinterpretarlos en los procesos de diseño en los que se busca la eficiencia y cuyo sujeto de partida ha de ser la materia.

La materia no debe tomarse como una sustancia sometida. El diseño no debería basarse en el dominio ejercido sobre un material. Se busca un proceso simbiótico, colaborativo, no despótico. No se establece un equilibrio real forzando la materia a funcionar en contra de su naturaleza (sus propiedades, su comportamiento, su potencial, características), ese estado de equilibrio forzado estará tendiendo a cambiar su posición hasta conseguirlo, estará empleando mucha más energía de la necesaria solamente en luchar contra su propia posición. En estructuras de equilibrio tensado esta idea es más que evidente, pero en estructuras hiperestáticas como son la mayoría de las construcciones, también es absolutamente válida. Si el criterio para la aplicación de una materia u otra fuera la eficiencia, y no el económico y el ególatra, la arquitectura de hoy en día daría lugar a modos de vida en mayor consonancia y simbiosis externa (con el entorno) e interna (interacción introspectiva).

El hábitat humano también debe ser entendido como un ecosistema, y aquí ya no desde una analogía o una metáfora sino desde una realidad en la que los habitantes somos seres vivos, y establecemos relaciones con la materia y las formas que nos rodean.

En esa interacción los elementos arquitectónicos tienen un papel importante.

En el libro *Historia de las Filosofñias Materialistas* de Pascal Charbonnat (profesor e investigador en epistemología en el IREPH, Université de Paris Ouest), publicado en 2007, se describen diferentes afirmaciones de la materia dentro del ámbito de la filosofía materialista:

"El materialismo es una idea y un ideal de la materia, donde ésta es concebida como plenamente capaz de engendrar y de elaborar los diferentes modos del ser."

"La materia deviene consciente de su libertad."

La materia como elemento auto-organizado, auto-determinado, adquiere sus propias formas. Con respecto a la materia, se entiende el concepto de

forma, como el producto que responde a un proceso (que será llamado *morfogénesis*). En el concepto de forma como producto, se atiende al momento en que esa forma se genera, el momento en el que se concibe esa forma o una materia adquiere esos límites y cualidades. Después esta materia desarrolla una *vida*, es decir, se desarrolla en el tiempo, manteniendo en mayor o menor medida dichos límites y cualidades. Así, la forma es dinámica –cuando no se trata de la abstracción geométrica sino material- y responde al devenir de la materia.

Adoptar conceptos y generar discursos a partir de investigaciones en otros campos, como en este caso aportaciones de la filosofía, es absolutamente enriquecedor y revelador. Sobre esta transdisciplinareidad que debe introducirse en el camino de la investigación, rompiendo barreras, y nutriéndose unos campos de los logros de otros, P. Charbonnat afirma:

"Este materialismo actual ha de invitar a los filósofos a convertirse en científicos, y viceversa, para que las compartimentaciones nocivas entre los ámbitos del conocimiento desaparezcan. Trabajará así en el esclarecimiento final del problema del origen, es decir, en la conquista clara de una materia consciente y segura de su libre necesidad" [2]

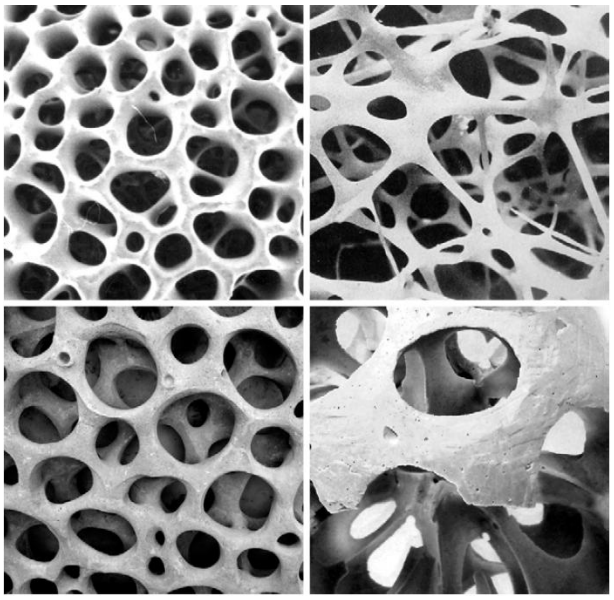


Figura 2. Comparación de geometrías: radiolario visto al microscopio, microfotografía de estructura ósea, detalle de la cúpula de la Casa Museo de Salaguti (Carlos Salazar Gutiérrez) y prototipo de escayola de Maria Mallo. [3]

4. Materia: elemento auto-organizado

La materia toma formas. Pero también puede formar tomas. Disentir. [4]

Se concibe la materia como elemento auto-organizado en vez de como elemento pasivo. De esta manera, la relación con la materia debe establecer una doble dirección, a través de un ensamblaje más complejo, olvidar el esquema jerárquico desde el que el humano ejerce una imposición sobre lo no-humano. Esta nueva relación con la materia significa un descubrimiento, el establecimiento de una simbiosis en los procesos de diseño y en la percepción y las relaciones con la materia. Es el sujeto protagonista de la búsqueda de la forma en el diseño, del encuentro del estado de equilibrio, de la optimización y de la meta de la eficiencia. Se trata de establecer un vínculo de doble dirección con la materia. La simbiosis, y no la competencia, es el principal factor que impulsa el proceso evolutivo, y la responsable de que siga siendo posible la vida en la tierra. [5]

El neomaterialismo concibe la materia con capacidad de agencia. Tiene la capacidad de auto-transformarse y auto-organizarse, deshaciéndose de la creencia de que los humanos únicamente pueden ser agentes libres, autodeterminados. Desde este planteamiento, tampoco los humanos pueden dominar y controlar la naturaleza y la materia como entes pasivos. [6]

Tener en cuenta la materia como algo vivo no es una creencia que genere una empatía por lo inanimado. Es un planteamiento que ayuda a partir de otro lugar, desde otro origen para generar ideas y desarrollar conceptos que se alejan del tradicional posicionamiento antropocentrista. Supone el cambio de esquema en el que se sitúa el pensamiento común actual, que se basa en entender los materiales como elementos pasivos, que son manejables y manipulables bajo las órdenes de la no-materialidad de la mente humana. Cambiar este planteamiento permitiría el entendimiento de otros sistemas ajenos a lo humano, y a lo que entendemos como vivo, que se auto-organizan, se relacionan, y se generan, de manera independiente. Sería entonces cuando es posible establecer una relación más compleja con este mundo material, en el que hay diferentes agencias, humanas y no-humanas, formando parte de un ensamblaje complejo.

Un sistema complejo auto-estructurado, a mayor o menor escala. La arquitectura es una escala intermedia entre lo humano y lo urbano, dentro del alcance infinito de las escalas micro y macro. Todas ellas, sin ser intervenidas por el humano, funcionan organizadas en sistemas que tienden a la eficiencia en varios planos diferentes. A nivel geométrico (patrones fractales), a nivel estructural (mínimo peso y esfuerzo), a nivel vital (optimizando los ciclos vitales), a nivel bioclimático (en consonancia con el medio), etc. Lo que los humanos no somos capaces de percibir o entender, es parte de ese concepto que denominamos caos, y que ya no es lo que no tiene orden, sino el funcionamiento de estos sistemas complejos auto-estructurados que no se han llegado

a comprender. La relación que se ha establecido desde el ámbito humano con el mundo *material y natural* ha sido desde una jerarquía que no permite ampliar los límites del conocimiento, pues el dominio, implica una relación de poder desde la que se niega lo que lo sometido puede ofrecer. El diseño es una práctica en la que se trabaja la relación entre ese ámbito humano y lo material, y cambiar el modo de establecer esa relación supone un nuevo paradigma en el diseño y en la interacción en esa red de actores humanos y no-humanos, establecer relaciones diferentes con la materia y sus formas.

Para el diseño la materia es el elemento tangible desde el que se revelan las formas. El planteamiento teórico neo-materialista es muy rico en ideas que pueden ser llevadas a través de esa transdisciplinareidad a los procesos de diseño, y a los procesos para generar arquitectura.

Como punto de partida en el diseño o en la búsqueda de formas, es la materia la que desde sus cualidades y propiedades se comporta de una manera u otra. De la misma manera que se insta a un estudio y análisis de las formas de la naturaleza para encontrar patrones, descubrir el funcionamiento, el sistema que generan dichas formas; es primordial un estudio de la materia con la que se trabaja. Conocer el potencial y el comportamiento de la materia es la etapa inicial para poder desarrollar un proceso de diseño que tenga como línea transversal el criterio de la eficiencia. La materia guarda la *esencia* de las posibles formas óptimas.

5. Proceso de diseño Arquitectura Textil

En la arquitectura textil, el proceso de diseño parte de la *búsqueda de forma*. Este descubrimiento de la forma ocurre cuando se llega a un equilibrio estable entre las fuerzas de cada elemento. Estos elementos tienen propiedades características asociadas a su materia, y comportamientos frente a dichos esfuerzos. En esta arquitectura, es clave como participan elementos con grandes aptitudes para equilibrarse bajo grandes esfuerzos de tracción, y otros preparados para soportar esfuerzos a compresión. Cada elemento se posiciona en el sistema estructural en el lugar óptimo para absorber la fuerza que es capaz de asumir optimizando su potencial, dadas las propiedades de su materia.

Al dejar a los elementos del sistema auto-organizarse, se llega a soluciones más eficientes, tanto por la repartición de tensiones, como por la mínima masa. Al colocarse un elemento en la posición en la que soportará un determinado esfuerzo, no necesita estar reforzado, o tener más masa o magnitud por si hay sobreesfuerzos de otro tipo. De esta manera se disponen los elementos con su materialidad óptimos para el esfuerzo que van a desempeñar en su posición de equilibrio. Cuando el sistema está montado, es él el que se estructura en la posición última que será el resultado del diseño. No serviría en estos casos dibujar una forma y después otorgarle materialidad, el proceso es radicalmente contrario.

Esa posición última o forma final, es asimismo flexible. Es suficientemente estable, pero no tan rígida como para no aceptar cierta variabilidad en las coordenadas de cada punto cuando se presenta una fuerza externa mayor. Por ejemplo, cuando sopla viento muy fuerte, o se produce una acumulación de nieve sobre la superficie de membrana, el sistema estructural permite un cierto movimiento. Si la búsqueda de la forma se ha realizado exitosamente, el sistema volverá a su forma final, una vez haya desaparecido la sobrecarga, ya que ésa es su posición de equilibrio óptima.

Tras descubrir su forma, las estructuras textiles se calculan para dimensionar sus elementos con las cargas máximas que se prevén según la zona en la que se ubican. Esto quiere decir que están preparadas para no colapsar aunque aparezca una sobrecarga propia de la zona en la que se sitúan, cubriendo siempre la seguridad necesaria propia de un elemento arquitectónico.

En el desarrollo de la técnica de las tensoestructuras, se ha estudiado cada vez más el material textil, se han desarrollado membranas con más capacidad de resistencia, ligereza, autolimpiado, etc. Todavía se sigue ejerciendo dominio sobre el material en su proceso de fabricación –hacia la explotación de su potencial, aunque también dentro del marco económico y empresarial- pero el proceso de diseño plantea un cambio de mentalidad absoluta para quien proyecta.

Es necesario realizar un proceso de observación, experimentación y análisis para descubrir las tendencias de los materiales y los sistemas que se componen, explorar para encontrar la eficiencia, realizando las iteraciones necesarias hasta llegar al máximo potencial que los materiales ofrecen.

Las maquetas, en la arquitectura textil, son elementos de exploración del material y sus formas muy reveladores. Actualmente existen herramientas digitales que reproducen el proceso de *formfinding* emulando la respuesta del material en cuestión para obtener las formas.

Ambos métodos, digital y analógico, aportan situaciones y conclusiones diferentes, pero esta exploración formal, material y estructural es parte imprescindible del proceso de diseño. Es una comprobación del sistema estructural, del equilibrio, es la manera de hallar la forma real para después traducirla a un lenguaje técnico. Es imperativo atravesar la exploración física, y dejar que sea el modelo el que revele su posición y su configuración.

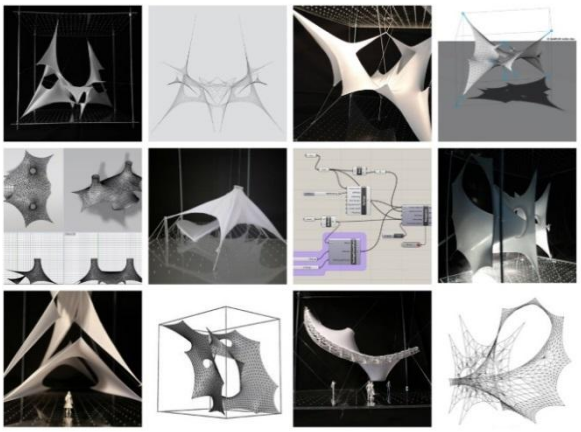


Figura 3. Imagen de modelos 3d y físicos obtenidos de: Grasshopper-Kangaroo workshop: Flexible Matter – Experiments with analogue and digital form-finding of membranes, Amsterdam, 2015, by Ioanna Symeonidou.

En estos procesos de experimentación con la forma, en los que se trabaja mediante modelos e incluso prototipos, se revelan las capacidades del sistema a nivel estructural y formal. Estos hallazgos son transportables a escala real, pasando por el proceso de cálculo y teniendo en cuenta el despiece y patronaje, la fabricación y el montaje en el mismo proceso de diseño.

La arquitectura, dentro de ese juego de escalas micro-macro, en el que se repiten los patrones de organización de sistemas formales y funcionales, puede ser considerada como un sistema más. Los productos arquitectónicos pueden considerarse metafóricamente como organismos. Ese planteamiento de la materia como elemento vivo, es posible extrapolarlo a las construcciones. Las estructuras ligeras, que adoptan soluciones eficientes, son un ejemplo en el que esta analogía puede resultar muy evidente. Se auto-organizan, se estructuran en su búsqueda de equilibrio estable, son flexibles y adaptables. Ese dinamismo, adaptación y autodeterminación, son propios de organismos *vivos*.

Concebir las tensoestructuras como organismos nos permite asumir el carácter dinámico de todo sistema estructural, la adaptabilidad del sistema funcional, y la belleza de las formas surgidas por sí mismas. Esta metáfora orgánica, supone desarrollar desde otro punto de vista el proceso de diseño, supone una atención diferente a lo que puede ofrecer el material con el que se trabaja, formal y estructuralmente. El lugar del diseñador transmuta al lugar del descubridor, del experimentador ávido de toparse con nuevas reacciones, y desentrañar desde su análisis el funcionamiento del sistema en cuestión. Se genera una simbiosis entre el que proyecta y lo proyectado, un intercambio entre actores humanos y no-humanos. Y el producto es un sistema capaz de interrelacionarse con un entorno *vivo*, desde su *viva* materialidad.

6. Conclusiones

La arquitectura textil, afortunadamente, se está extendiendo cada vez más, y en ella se plantean retos en los que hay que cambiar el planteamiento del proceso de diseño arquitectónico, así como la interacción que permite la arquitectura. La transdisciplinareidad significa transitar caminos de investigación que están llenos de descubrimientos, compartir el conocimiento además de producirlo. Se premia sólo la producción, y es necesario sacar provecho de todo lo producido para aplicar ese conocimiento. Reproducir el conocimiento. Nutrir los procesos de diseño, así como se nutren de la experimentación, del respeto por el material, sus propiedades y sus formas, y de la búsqueda de la eficiencia, que ofrece resultados altamente atractivos en su funcionamiento estructural y estético.

Contando con herramientas digitales cada vez más desarrolladas, que permiten trabajar con sistemas complejos, es posible profundizar, experimentar y descubrir nuevas formas y procesos que el mundo material revela. Esto supone tener un campo virtual sobre el que trabajar las formas que son descubiertas al observar, analizar y experimentar con la materia *viva*.

Referencias

[1] Prieto Méndez, B.T. Entropía, la fuerza impulsora de los procesos naturales. Técnica Industrial 269, Mayo-Junio 2007. *http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/29/37/a37.pdf*

[2] Rodríguez Pardo, J.M. La imposible inmanencia del materialismo. El Catoblepas, revista crítica del presente. N100. Junio 2010. *http://nodulo.org/ec/2010/n100p19.htm*

[3] Mallo Zurdo, M. Tesis doctoral: Sistemas Radiolarios, Geometrías y Arquitecturas Derivadas. ETSAM, UPM, 2015.

[4] Rowan, J. Boserman, C. Rocha, J. La materia contraataca: una tentativa objetológica. Obra Digital N9. 2015.

[5] Sobre autopoiesis, simpoiesis, bacterias y más cosas, al hilo de "¿Qué es la vida?" de Lynn Margulis. Blog Arquitectura Contable. *https://arquitecturacontable.wordpress.com/2018/01/14/sobre-autopoiesis-simpoiesis-lynn-margulis/#more-2670.*

[6] Palacio, M. Neo-materialismo: ¿un retorno de la metafísica en la nueva filosofía de la naturaleza? Libro Neo-materialismo. 2018.