

## La lógica de la forma: parámetro de sustentabilidad en el diseño estructural

### The logic of form: sustainability parameter in structural design

Soledad Aráoz 

Cátedra de Estructuras 1, Instituto de Tecnología, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina

saraoz@herrera.unt.edu.ar

#### RESUMEN

Esta ponencia explora dos discursos académicos significativos. Uno pronunciado por Eduardo Torroja en 1960 y otro, por Manuel Elices Calafat en 2004, que plantean la relación entre Forma, Estructura y Materia. Torroja analiza cómo los materiales han determinado históricamente la lógica de la forma estructural, mientras que Elices Calafat anticipa un futuro donde la forma pueda dictar el material gracias al desarrollo de materiales compuestos e inteligentes. En un contexto de cambios acelerados, acentuados por el avance de la inteligencia artificial, la enseñanza de las estructuras presenta nuevos desafíos. Esta ponencia propone un enfoque pedagógico para la enseñanza del diseño estructural que enfatiza la comprensión del fenómeno tensional y proporciona herramientas para adaptarse a las innovaciones con un sentido crítico y con conciencia ambiental.

#### ABSTRACT

Teaching structures in architecture presents several challenges. This is because structural and constructive design is often considered separate from architectural design. This presentation explores two significant academic discourses. One by Eduardo Torroja in 1960 and another by Manuel Elices Calafat in 2004, which address the relationship between Form, Structure, and Material. Torroja analyzes how materials have historically determined the logic of structural form, while Elices Calafat anticipates a future where form can dictate material thanks to the development of composite and intelligent materials. In a context of rapid changes, accentuated by the advancement of artificial intelligence, this presentation proposes a pedagogical approach to teaching structural design that emphasizes understanding the tensional phenomenon and provides tools to adapt to innovations with critical thinking and environmental awareness.

**PALABRAS CLAVE:** arquitectura - enseñanza – innovación - nuevos materiales

**KEYWORDS:** architecture - teaching – innovation - new materials

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 30/08/2024 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 22/11/2024

#### INTRODUCCIÓN

En 1960, Eduardo Torroja, un ingeniero maestro del diseño estructural, sintetizó en un discurso académico reflexiones sobre cómo los materiales han determinado históricamente las formas de las estructuras más emblemáticas del mundo. Desde los robustos arcos de piedra hasta los esbeltos puentes

de acero, la elección del material ha sido un factor determinante en la configuración de las formas estructurales. Sin embargo, en el mundo actual, marcado por avances vertiginosos en materiales compuestos y tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, vislumbramos la posibilidad de diseñar el material para dar vida a la forma ideada por el arquitecto o ingeniero, abriendo posibilidades inéditas en el diseño estructural.

Jean Piaget, en su reflexión sobre la educación, destacó la necesidad de formar personas capaces de crear cosas nuevas, no simplemente de repetir lo que han hecho otras generaciones (Piaget, 1972). Por tanto, la formación universitaria no puede limitarse a impartir paquetes cerrados de información. Debe proporcionar a los futuros profesionales herramientas conceptuales y metodológicas que les permitan adaptarse a un mundo donde el conocimiento se renueva rápidamente y la información es abundante.

En este contexto de cambio acelerado y avances tecnológicos, acentuados por el avance de la inteligencia artificial (IA), al que se suman crecientes retos ambientales, la enseñanza del diseño estructural debe centrarse en cultivar mentes críticas y creativas, capaces de innovar, cuestionar y aplicar conocimientos de manera sustentable. Es crucial formar arquitectos que no solo comprendan la lógica de la forma, sino que también puedan adaptar y aplicar principios estructurales en un entorno de constante cambio, preferentemente alineados con los principios de sustentabilidad.

En este sentido, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas ofrecen un marco esencial para la educación arquitectónica contemporánea. Objetivos como el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) subrayan la importancia de construir infraestructuras resilientes y sostenibles. Estos objetivos destacan la necesidad de preparar a futuros arquitectos y diseñadores estructurales para enfrentar desafíos globales, utilizando enfoques innovadores que promuevan la sostenibilidad ambiental y social.

Se trata de explorar cómo estos principios pueden integrarse en la enseñanza del diseño estructural. Se analizarán los discursos de Eduardo Torroja y Manuel Elices Calafat, quienes, en diferentes épocas, abordaron estos desafíos y anticiparon un futuro en el que la forma y la materia se redefinen mutuamente. Finalmente, se presentará un enfoque pedagógico que busca preparar a los estudiantes para un futuro marcado por la sostenibilidad y la innovación tecnológica, en consonancia con los ideales de Piaget sobre una educación crítica y creativa.

## METODOLOGÍA

Para abordar este trabajo se hará referencia a un par de discursos pronunciados en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid por Eduardo Torroja Miret y Manuel Elices Calafat, ambos ingenieros que hicieron aportes significativos al campo de la ingeniería estructural y la ciencia de los materiales, respectivamente:

1. La Evolución de las Formas Estructurales, en relación con sus Materiales, a lo largo de la Historia de la Construcción”, al dar inicio al año académico 1960-1961, Torroja Miret. (9 de noviembre de 1960).
2. *Los gozos y las formas. Reflexiones sobre la estética de las formas estructurales*”, de Elices Calafat, inaugurando el año académico 2004-2005 (27 de octubre de 2004).

Eduardo Torroja Miret (1899 -1961) fue un ingeniero estructural oriundo de Madrid, España, pionero en el diseño de estructuras de hormigón armado y pretensado. Se destacó por la innovación en el uso de materiales y formas estructurales contribuyendo significativamente al desarrollo de la industria de la construcción en la primera mitad del siglo XX. Promovió la investigación y aplicación de innovaciones técnicas en estructuras de hormigón. En su exposición, analiza cómo los materiales de construcción han influido en la evolución de las formas estructurales a lo largo de la historia. Destaca varios puntos clave:

- **Materiales y Formas en la Historia:** Examina cómo diferentes materiales, desde la piedra y la madera hasta el hierro y el hormigón, han determinado las formas estructurales ya que sus propiedades influyen en las posibilidades y limitaciones del diseño estructural.
- **Innovaciones y Avances:** Aborda cómo los avances en la tecnología de materiales han permitido nuevas formas y estructuras. La introducción del hierro y el acero en la construcción de puentes y edificios más altos y resistentes. El hormigón armado combinó la resistencia a la compresión del hormigón con la resistencia a la tracción del acero, permitiendo formas más libres y audaces en la arquitectura moderna.
- **Relación entre Material y Forma:** Enfatiza la relación intrínseca entre ambos, fundamentando que la comprensión de esta relación es esencial para el diseño estructural eficiente.
- **Perspectivas Futuras:** Torroja destaca la evolución de las estructuras tensadas de mucho mayores dimensiones que las conocidas hasta entonces, que utilizan cables y membranas para crear formas ligeras y eficientes. Resalta su gran flexibilidad y eficiencia en el uso de materiales, y el potencial de ser aún más innovadoras con el desarrollo de nuevos materiales.

Manuel Elices Calafat (1938) es ingeniero y físico español, catedrático de Ciencias de los materiales e investigador. Promociona la carrera de Ingeniería de Materiales. En el discurso que se presenta reflexiona sobre la estética de las formas estructurales. Este se divide en varias secciones: Los gozos: Explora el placer que los, artistas, científicos y aún místicos encuentran en las formas. Este gozo puede surgir del deseo de imitar la naturaleza, de entender su función estructural, o de una experiencia mística. La neurofisiología del gozo también se discute, destacando cómo nuestras predisposiciones neuronales y bagaje cultural influyen en nuestra percepción de las formas.

- **Las formas estructurales:** Analiza dos enfoques principales en la creación de formas estructurales:
- **Naturalismo:** Basado en la imitación de las formas naturales, destacando cómo la naturaleza ha sido una fuente inagotable de inspiración para arquitectos e ingenieros.
- **Funcionalismo:** Centrado en la creación de formas óptimas basadas en su función estructural, donde la eficiencia estructural y la economía de materiales son los principios rectores.
- **La materialización de las formas:** Aborda cómo históricamente los materiales dictaban la forma estructural pero cómo, con los avances en materiales compuestos e inteligentes, se posibilita diseñar materiales que se adapten a las formas ideadas por arquitectos e ingenieros.

Los textos proporcionan una base teórica sólida para explorar cómo la relación entre material y forma ha evolucionado y cómo esta relación puede ser utilizada para promover la sustentabilidad y la innovación en la enseñanza del diseño estructural. Para estructurar el análisis se utilizarán tres dimensiones clave surgidas en los discursos de Torroja y Elices Calafat:

- **Comprensión Histórica:** Utilizando el discurso de Torroja, se analiza cómo los materiales han determinado históricamente las formas estructurales, proporcionando un contexto histórico que es esencial para entender las limitaciones y posibilidades del diseño estructural.
- **Perspectiva Estética y Funcional:** A través del discurso de Elices Calafat, se explora la estética de las formas estructurales y cómo la imitación de la naturaleza y la funcionalidad han influido en el diseño. Esto ayudará a apreciar que en la definición de la forma no solo importa la perspectiva estructural, sino otras que resultan de la complejidad del hecho arquitectónico.
- **Innovación y Futuro:** A partir de ambos discursos se presenta cómo los avances en materiales compuestos e inteligentes están cambiando la relación entre material y forma, permitiendo nuevas posibilidades en el diseño estructural. Por esto se debe fomentar una mentalidad innovadora en los estudiantes que parta del conocimiento profundo de la lógica de la forma y de los factores que contribuyen a su eficiencia estructural.

Para ilustrar los puntos discutidos en los discursos se utilizan ejemplos de edificios y estructuras modernas que incorporan materiales avanzados y diseño biomimético; materiales innovadores desarrollados en laboratorios o bien inspirados en la naturaleza; modelos didácticos para el análisis del comportamiento estructural como los utilizados en la primera cátedra de Estructuras de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) para promover la comprensión del trabajo estructural de lo deformatorio a lo tensional, como sugiere Torroja, en las asignaturas Estructuras 1 y Arquitectura en Zona Sísmica.

## DESARROLLO

La Enseñanza de Estructuras en las facultades de Arquitectura

”Ahora se puede calcular, algo que durante más de cuarenta años fue imposible.

Yo no he esperado a que se pudiera calcular para construirlas”

(Frei Otto, citado en Molina León, 2020)

Cómo enseñar Estructuras en Arquitectura fue motivo de discusión frecuente en los simposios de enseñanza, durante la década de 1960. Las nuevas tecnologías y materiales, junto con los nuevos programas arquitectónicos con formas y dimensiones inéditas para las edificaciones sugerían la necesidad de un cambio en la metodología de enseñanza. En esta línea de cambio estaban, cuanto menos, las universidades de Harvard, Londres y Stuttgart (Jacobsen, 2005)

En esos debates se criticó el énfasis exclusivo en el cálculo y se acordó que el arquitecto, como creador de su proyecto, es responsable de la concepción de la forma espacial y, en paralelo, del planteo de la estructura portante. Esto implica que el arquitecto debe comprender el comportamiento de las diferentes formas estructurales para poder plantear la más adecuada y que luego sea verificada si es necesario con el cálculo que realice el ingeniero. Mientras mayor sea el ajuste entre la forma estructural imaginada y las hipótesis que luego posibiliten su dimensionado, mejor será el resultado.

Las facultades de arquitectura latinoamericanas, que estaban surgiendo y consolidándose luego de desprenderse de las facultades de ingeniería, pudieron aprovechar estos cambios. Fue el caso de la facultad de arquitectura de Zulia en Maracaibo, Venezuela, donde la organización y definición de sus programas de estudio y la conformación de un cuerpo docente, nutrido por profesores extranjeros generó, además de la pluralidad de voces, vínculos con universidades del mundo que beneficiaron a la región. Se vincularon con referentes del diseño estructural como Pier Luigi Nervi, Fritz Leonhard y recibieron la visita de otros de la talla de Frei Otto, Richard Buckminster Fuller y Curt Siegel. (Jacobsen, 2005)

En este marco, el gobierno alemán financió un programa de becas de formación a jóvenes profesores de facultades de Latinoamérica, bajo la dirección de Siegel. Uno de los becarios seleccionados fue el Arq. Horacio Saleme, docente de la FAU de la UNT quien, al hacerse cargo de la cátedra de Estructuras 1 en los años 80, revisó métodos y contenidos para adecuar la enseñanza al perfil del arquitecto. La enseñanza pasó del mero estudio de Estática, abstracto y sin relación con el diseño, al dictado conjunto de aspectos estáticos y resistentes, la simplificación de los procesos de dimensionamiento y al uso de modelos físicos que evidencien el comportamiento estructural (Fig. 1 y 2). Se puso el acento en el proceso de diseño estructural unido al del diseño arquitectónico.

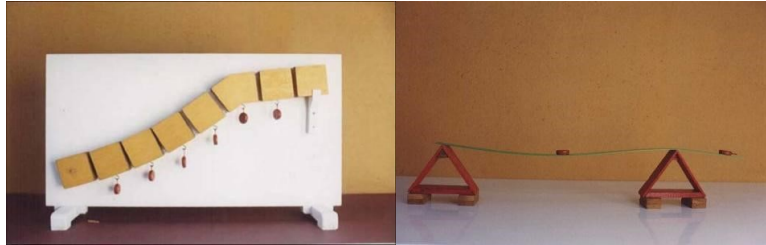


Fig. 1 y 2: Modelos didácticos "De lo deformatorio a lo tensional de Estructuras 1

*Fuente: Arq. Horacio Saleme.*

Este cambio metodológico se aplicó al dictado de la electiva Arquitectura en Zonas Sísmicas para facilitar la comprensión de la acción sísmica en los edificios (Fig. 3 y 4) y a los proyectos de investigación liderados por el Arq. Saleme. Se investigó materiales y técnicas apropiadas para regiones de mediana y alta sismicidad. En especial se abordó el estudio del bambú como material estructural, por sus propiedades físicas y tecnológicas y por ser amable con el ambiente. Se innovó al incorporar en estas investigaciones a estudiantes de grado que, a través del diseño y construcción de modelos en escala 1:1, lograron la comprensión del comportamiento de la estructura portante y la vivencia de configurar un espacio arquitectónico (Fig. 5).



Fig. 3 y 4: Maquetas para estudio de la acción sísmica en los edificios. Electiva Arquitectura en Zonas Sísmicas.

*Fuente: Arq. Horacio Saleme y Arq. Soledad Aráoz.*



Fig. 5: Prototipo estructural en bambú. Taller experimental.

*Fuente: Arq. Horacio Saleme.*

### Los Materiales y su Impacto en el Diseño Estructural

A la luz de las diferentes posturas que Torroja y Elices Calafat presentan en sus discursos acerca de la relación forma y material veremos que la comprensión del comportamiento estructural de lo deformatorio a lo tensional se hace imprescindible. Eduardo Torroja aborda cómo se da el proceso de evolución entre un tipo estructural y otro. Torroja explica que cuando se descubre un nuevo material tiende a utilizarse

aplicando los mismos criterios que para los materiales ya conocidos. La innovación se produce a medida que se descubren y exploran nuevas posibilidades y potencialidades de esos materiales. Se podría sintetizar el proceso en los siguientes puntos:

1. Uso Inicial conforme lo conocido
2. Experimentación y Observación: A medida que se adquiere más experiencia con un material, se comienzan a experimentar con nuevas formas y técnicas. Se observa cómo el material se comporta bajo diferentes condiciones y cargas, identificando sus limitaciones y potencialidades.
3. Innovación y Desarrollo de Nuevas Formas: Con el tiempo, la experimentación y la observación conducen a innovaciones en el diseño estructural. Por ejemplo, el desarrollo del hormigón armado permitió a los ingenieros combinar la resistencia a la compresión del hormigón con la resistencia a la tracción del acero, lo que resultó en la creación de formas más libres y audaces, como las estructuras de cáscara delgada.
4. Optimización y Refinamiento: Una vez que se han desarrollado nuevas formas estructurales, se trabaja en optimizarlas y refinarlas. Esto implica mejorar la eficiencia del material, reducir costos y aumentar la durabilidad y sostenibilidad de las estructuras. Torroja menciona cómo las estructuras tensadas, que utilizan cables y membranas, representan un ejemplo de esta evolución hacia formas más ligeras y eficientes.

Este proceso de evolución, según Torroja, es un ciclo continuo de aprendizaje y adaptación, donde cada nuevo descubrimiento abre la puerta a nuevas posibilidades en el diseño estructural.

Elices Calafat en su discurso no se centra específicamente en la evolución de un tipo estructural a otro, sí destaca la importancia de aprender de la naturaleza y de la experiencia acumulada para innovar en el diseño estructural. Este enfoque, como el de Torroja, implica un proceso de observación, experimentación y adaptación. Destaca dos enfoques en la creación de la forma:

- **Naturalismo:** basado en la imitación de las formas naturales. Elices Calafat destaca cómo la naturaleza ha sido una fuente inagotable de inspiración para arquitectos e ingenieros. Las formas naturales, como las conchas, los huesos y las estructuras vegetales, han influido en el diseño de estructuras eficientes y estéticamente agradables. La biomimética, que es la ciencia que estudia la naturaleza como fuente de inspiración para nuevas tecnologías, juega un papel crucial en este enfoque. Incluye en este grupo a Wright, Alvar Aalto, Utzon y se detiene en la obra de Gaudí, con sus soluciones estructurales originales y la utilización de técnicas tradicionales de construcción. Es interesante el uso de las catenarias para lograr un diseño eficiente de sus estructuras (Fig. 6 y 7).





Fig. 6: Modelo colgante con pesos colocados estratégicamente para diseñar la Sagrada Familia.

Fuente: Alejandro Fernández Jiménez en <https://gaceta.rsme.es/abrir.php?id=1582>.



Fig. 7: La Sagrada Familia es una montaña con un faro. La forma de las torres es la unión de la gravedad con la luz.

Fuente: Manuel Elices Calafat.

- **Funcionalismo:** centrado en la creación de formas óptimas basadas en su función estructural. Elices Calafat argumenta que la eficiencia estructural y la economía de materiales son los principios rectores de este enfoque. Las formas estructurales se diseñan para soportar cargas específicas de la manera más eficiente posible, minimizando el uso de materiales y maximizando la resistencia. Ejemplos de este enfoque incluyen las estructuras de puentes y edificios modernos, donde la forma sigue estrictamente la función. El ingeniero ubica en este grupo las obras de Torroja (Fig. 8) y Nervi.



Fig. 8: El Hipódromo de la Zarzuela. Eduardo Torroja.

Fuente: Ana Amado en <https://www.archdaily.cl/cl/797811/clasicos-de-arquitectura-hipodromo-de-la-zarzuela-carlos-arniches-molto-plus-martin-dominguez-plus-eduardo-torroja>

- Convergencia de Funcionalismo y Naturalismo: Cuando los problemas planteados son similares, las soluciones suelen ser similares aún sin haber tenido la intención de imitar a la naturaleza. Cita el caso del edificio Edificio 30 St Mary Axe, de Norman Foster y su similitud no sólo formal sino también funcional con unas esponjas marinas llamadas vítreas. Ambos tienen una forma aerodinámica materializada en un exoesqueleto que genera un tubo central por donde circulan, en las esponjas, el agua y los nutrientes y en el otro caso, el aire que regula el confort térmico del edificio (Fig. 9).



Fig. 9: Edificio 30 St Mary Axe.

Fuente: Nigel Young- Foster + Partners.

<https://www.archdaily.cl/cl/933612/edificio-30-st-mary-axe-foster-plus-partners>

Para Elices Calafat, naturalismo y funcionalismo no están tan distanciados ya que la imitación es un ingrediente muy importante para concebir la forma y, en el fondo, sólo podemos imitar a la naturaleza. El atractivo del naturalismo radica en que sugiere la posibilidad de una buena integración entre forma y función. La naturaleza siempre busca la economía de recursos: lograr más con menos y para eso se ciñe a una estricta lógica formal que permita el uso de la menor cantidad de material. En arquitectura e



ingeniería, las cubiertas y carpas de Frei Otto, son ejemplo de superficies mínimas (Fig. 10). También se destaca por la importancia que le asigna a la experimentación en la arquitectura (Fig. 11).



Fig. 10: La "Tanzbrunnen", cubierta minimal diseñada por Frei Otto (Colonia 1957).

Fuente: *Atelier Frei Otto Warmbronn.*

<https://www.archdaily.cl/cl/763659/12-cosas-que-no-sabias-sobre-frei-otto-premio-pritzker-2015>

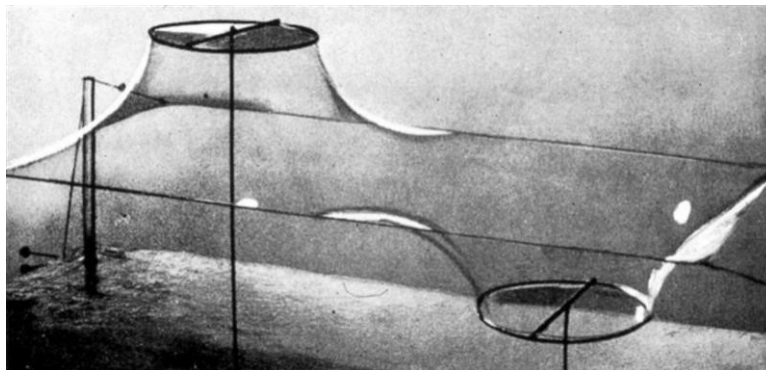


Fig. 11: Experimentación con pompas de jabón.

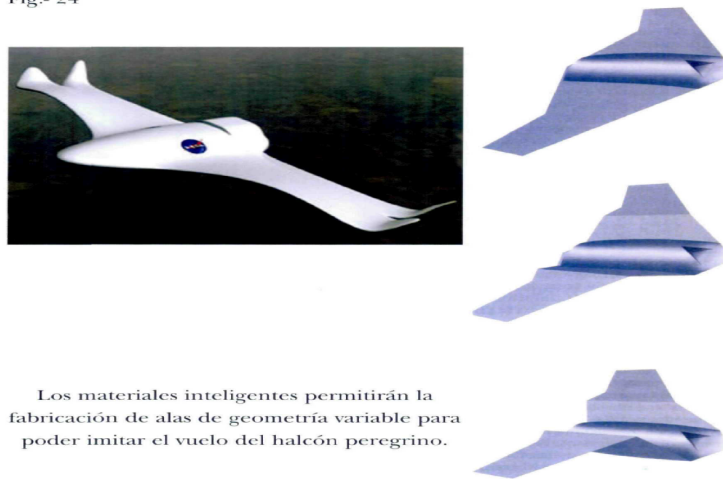
Fuente: [https://www.archdaily.cl/cl/763636/pritzker-2015-frei-otto-y-la-importancia-de-la-experimentacion-en-la-arquitectura?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.cl/cl/763636/pritzker-2015-frei-otto-y-la-importancia-de-la-experimentacion-en-la-arquitectura?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

En cuanto a la materialización de las formas, Elices Calafat coincide con Torroja en que históricamente los materiales condicionaron la forma estructural según sus propiedades mecánicas y disponibilidad. Así se distinguen *formas* fruto de materiales que soportan compresión (*pilares, arcos, bóvedas y cúpulas*), las surgidas de materiales que sólo soportan tracción (*los tensores y las mallas*) y las que son consecuencia del trabajo a tracción o compresión de la madera y el acero.

Luego, con el surgimiento de materiales compuestos, fue posible diseñar materiales que se adapten a las formas ideadas por arquitectos e ingenieros. Este cambio representa una inversión en la lógica tradicional del diseño estructural. Antes, los materiales "se obtenían", pero ahora se pueden "crear" en función de la forma y las necesidades de la estructura. El hormigón armado constituye un antecedente fundamental, ya que permite diseñar la pieza estructural disponiendo el material según las solicitaciones.

Elices Calafat anticipó en 2004 que se avanza hacia el diseño de materiales inteligentes, es decir materiales *sensibles* y *activos*, capaces de detectar y adaptarse cambiando su forma o respuesta ante determinados estímulos. Esta evolución en la ciencia de los materiales es impulsada por necesidades de ramas de la ingeniería, como la aeronáutica, donde las formas deben responder a propiedades mecánicas muy exigentes (Fig. 12).

Fig.- 24



Los materiales inteligentes permitirán la fabricación de alas de geometría variable para poder imitar el vuelo del halcón peregrino.

Fig. 12: Materiales inteligentes en la fabricación de alas de geometría variable que imitan el vuelo del halcón peregrino.

*Fuente: Manuel Elices Calafat*

Sea cual sea el punto de partida, es innegable la interdependencia entre la forma y el material. Nuestro estudio del bambú como material de construcción, bajo la dirección del Arq. Saleme, nos permitió, en investigación, docencia y extensión, resultados importantes. Parte de ellos están reunidos en “Tipos Estructurales Apropriados para las Arquitecturas de Bambú”, una publicación de lo que se conoce como Proyecto Bambú (Fig. 13). Esta experiencia, con sus fundamentos y métodos, puede ser aplicada a otros materiales y enriquecida con los aportes de nuevas tecnologías.

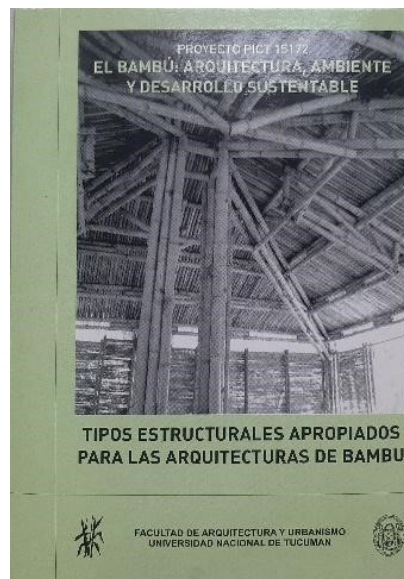


Fig. 13: Libro con los resultados del Proyecto Bambú.

*Fuente: Elaboración propia.*

## CONCLUSIONES

El análisis de los discursos académicos de Eduardo Torroja y Manuel Elices Calafat revela la evolución de los tipos estructurales y anticipa un futuro donde los materiales podrán ser diseñados en función de las necesidades estructurales. Este enfoque plantea desafíos importantes para los futuros profesionales en la búsqueda de desarrollar una arquitectura verdaderamente sustentable.

En este contexto, el enfoque pedagógico ya implementado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT) se presenta como un modelo adecuado para adap-

tarse a los avances tanto en el desarrollo de nuevos materiales como en la creación de nuevas formas resistentes. Este método de enseñanza, que enfatiza la comprensión crítica del comportamiento estructural y la lógica de la forma, valora no solo la eficiencia, sino también la responsabilidad ambiental.

La experiencia con modelos estructurales de bambú, diseñados y ejecutados por los estudiantes, demostró la efectividad de integrar prácticas tangibles y experimentales en el proceso de aprendizaje. Estas prácticas pueden repetirse con bambú u otros materiales en forma de seminarios o talleres específicos, ofreciendo a los estudiantes oportunidades prácticas que también pueden servir como base de datos para futuros algoritmos aplicados en inteligencia artificial.

En resumen, preparar a los estudiantes para enfrentar estos desafíos emergentes es clave para avanzar hacia una práctica arquitectónica innovadora y comprometida con los principios de sostenibilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Elices Calafat, M. (2004). *Los gozos y las formas. Reflexiones sobre la estética de las formas estructurales*. Discurso inaugural del año académico 2004-2005. 27 de octubre de 2004. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, España. Disponible en <https://rac.es/ficheros/doc/f2e83791021daa50.pdf>

Jacobsen, I. (2005). *Entrevista con la profesora Arquitecta Ingrid Jacobsen/ Entrevistado por Marina González de Kauffman Portafolio*. Revista Arbitrada de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia –LUZ ISSN1317. [https://www.academia.edu/7641271/Caracas\\_crisis\\_conceptual\\_o\\_caos\\_urbano](https://www.academia.edu/7641271/Caracas_crisis_conceptual_o_caos_urbano)

Molina León, F. M. (2020). *Arquitectura experimental. Aportaciones experimentales pioneras del trabajo con modelos físicos estructurales 1961-1975* (Tesis doctoral). Universidad de Navarra, Pamplona. Recuperado de [ <https://hdl.handle.net/10171/60677> ]

Piaget, J. (1972). *El pensamiento y la educación*. Editorial Grijalbo.

Saleme, H. et al. (2008). *Tipos Estructurales Apropriados para Bambú*. Ediciones Magna.

Saleme, H. et al. (2009). Hacia una heurística de las estructuras. En Combes, L. (Coord.), *Aportes para la construcción de una currícula modular de una facultad de arquitectura y urbanismo* (pp. 123-138). Buenos Aires: Dunker.

Torroja, E. (1960). *La Evolución de las Formas Estructurales, en relación con sus Materiales, a lo largo de la Historia de la Construcción*. Discurso inaugural del año académico 1960-1961. 9 de noviembre de 1960. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, España. Disponible en <https://rac.es/ficheros/doc/518cd9936a7cffe8.pdf>