

# Experimenting with generative algorithmic design using bamboo

Natalia Porley Vignola

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,  
Universidad de la República, Montevideo, Uruguay  
[arg.natalia.porley@gmail.com](mailto:arg.natalia.porley@gmail.com)

**Abstract.** This article arises as an analysis of the practical group work carried out in the course within the framework of our Master's Degree in Architecture, and seeks to comprehend and expand on the logic and dynamics that underlie the digital paradigm and the incorporation of algorithmic practices as possible design generators (Centro de Integración Digital (CID), 2022). By quantitatively and experimentally delving into the knowledge acquired in the course, we integrate the experience of parametric design from a scientific point of view through a process of searching for and solving problems. Our team explored the possibilities that generative algorithmic design offers us when working with a natural material namely bamboo, as a contribution to the mix between digital and bio-sustainable materials. Exploring the approach that digitalization offers us as designers and the role that we are called to play as architects of this time.

**Keywords:** Digital architecture with bamboo, Parametric approach to design, Experimentation with digital design, Creating generative algorithm.

## 1 Introducción

En medio de sucesión de giros digitales los arquitectos nos enfrentamos a muchos retos, entre los cuales los vertiginosos cambios tecnológicos, la gran necesidad de innovar y la presión por la mejora continua en el rendimiento de los edificios, están generando un cambio o un desplazamiento de paradigma en la Arquitectura con la adopción del diseño basado en BIM (Aksamija, 2016). Asistimos a una búsqueda o redescubrimiento de nuestras capacidades para vincularnos con el diseño a través de aspectos multidisciplinares y de herramientas muy tecnificadas, o también por lo totalmente opuesto, a través de las manos y la producción low tech.

En los cursos de posgrado se generan espacios donde con el "juego" y la "experimentación" se puede profundizar en la tecnología de diseño digital y en

nuestro caso de estudio, experimentar con la combinación de lo digital con materiales más artesanales o vernáculos como es el bambú rollizo sin procesar.

El diseño paramétrico asistido por computadora ha abierto las puertas a la experimentación con las formas, permitiendo la exploración integral de nuevas posibilidades estéticas condicionadas por aspectos variables y de acuerdo a los parámetros que establezca el material y el diseñador. Con estas herramientas se podrían lograr diseños inteligentes y/o responsivos, capaces de adaptarse a diferentes contextos con la habilidad de brindar respuesta a problemas específicos y soluciones al alcance de todos. (Navarrete, 2014)

El bambú para la construcción acoplado a un desarrollo tecnológico sostenible y amigable con el planeta, puede reemplazar o disminuir el uso de materiales convencionales como el acero y el cemento, abriendo el abanico de posibilidades para la construcción y reduciendo el gran impacto que la industria genera. *Nos brinda importantes beneficios....: menor tiempo de ejecución, confort, diseño, seguridad, menor inversión, durabilidad; todos estos en comparación a los materiales más usados en el sector construcción.* (Gómez et al, 2020). Sumado a que según (INBAR, 2014), el bambú nos puede brindar soluciones prácticas frente al cambio climático y es capaz de darnos estrategias de mitigación, adaptación, restauración del medio ambiente apoyando a la vida creando medios de subsistencia sostenibles. Es ventajosa entonces, su inclusión como material apto para la construcción.

Según Fernandes, Fontana, Laurino, Casañas, & Vila, (2012), es un material eficiente estructuralmente, y lo describen así:

*... sus cualidades de ligereza, resistencia y economía de las estructuras, compuestas por barras longitudinales comprimidas o traccionadas y articuladas en sus extremos o entrelazadas formando superficies curvas o alabeadas,..., se presentan como idóneas para su aplicación en programas temporales o itinerantes y para la rápida solución de espacios habitables en situaciones de emergencia, sin necesidad de la intervención de mano de obra especializada en su proceso de montaje.*

El ejercicio propuesto por el curso tuvo como objetivo pensar y desarrollar un algoritmo proyectual, que pudiera materializarse en una serie de modelos con las tecnologías disponibles en el laboratorio. (Centro de Integración Digital (CID), 2022). El objetivo buscado en el trabajo, es el de profundizar de forma cuantitativa y experimentalmente en los conocimientos adquiridos en el curso Informática Aplicada a la Arquitectura en el marco de la Maestría en Arquitectura en su encuadre tecnológico, a través de la exploración con las tecnologías digitales para la generación de diseños con materiales naturales. Y explorar el rol que debemos desempeñar como diseñadores/arquitectos ante la propuesta planteada, reflexionando sobre los efectos que las nuevas herramientas tienen sobre el proceso compositivo.

Según A. Tedeschi, como es citado por (Massimiano, 2015), en el diseño paramétrico la forma no sería definida ni definitiva a priori, ella no surge del gusto del arquitecto ni de aplicación simplista del silogismo forma-función. Esto

nos permitiría mantener un alto grado de apertura a los cambios externos, tanto por parte del proyecto como por parte del diseñador, ya que la forma sería una incógnita (concepto formulado por Sergio Musmeci), que permanecería oculta durante las etapas iniciales de configuración de parámetros y componentes, para luego ser reveladas al diseñador sólo al final del proceso. Cambiando la relación entre el diseñador y su creación, implicándose una imprevisibilidad ante el resultado final, pasando a ser el proceso lo fundamental.

## 2 Metodología

El objetivo del curso fue introducirnos al pensamiento computacional. El ejercicio presentado en éste trabajo resume las propuesta de profundización e intenta un acercamiento consciente al diseño paramétrico. La metodología utilizada abarca tres fases.

En la fase inicial se abordó una investigación de carácter exploratoria. La estrategia a seguir fue la de sistematizar el conocimiento actual con relación al diseño digital o paramétrico y del bambú como material para la construcción.

La segunda fase de la investigación se realizó por experimentación proyectual y su posterior materialización de prototipos mediante impresora 3D. En nuestra investigación se utilizó el método experimental como un conjunto de técnicas para adquirir conocimientos y para corregir e integrar estudios previos.

Para la resolución del problema planteado utilizamos la metodología propuesta por el método del Machine Learning (Kelleheret al, 2015), aplicado a nuestra área de trabajo. Este método propone seis pasos como proceso de análisis y de resolución de problemas:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Comprensión del problema enfrentado | Understanding the matter |
| 2. Comprensión de los datos            | Data Understanding       |
| 3. Preparación de los datos            | Data Preparation         |
| 4. Modelado digital                    | Modeling                 |
| 5. Evaluación                          | Evaluation               |
| 6. Modelado 3D                         | Deployment               |

El primer punto fue desarrollado en la primera parte del trabajo llamada investigación exploratoria, con un proceso de sistematización de los conocimientos y de reflexión activa.

Los puntos siguientes se esquematizan en las figuras a continuación.



Figura 1. Proceso de análisis de proyectos con metodología de Machine Learning, Fuente: (Elaboración propia)

En base a la metodología del ML se construye el flujograma de trabajo para nuestra propuesta.

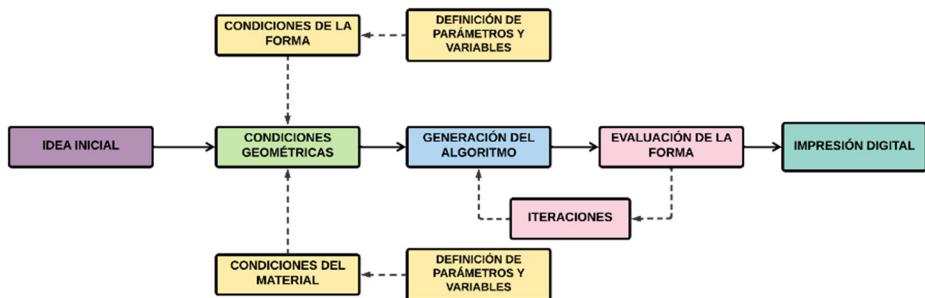


Figura 2. Flujo de trabajo propuesto. Fuente: (Elaboración propia)

Se desarrolló en grupo un “algoritmo” con los programas Rhinoceros® y Grasshopper® para el diseño de una cubierta formada por una malla poligonal 3D cuya estructura de soporte la conforman uniones impresas y barras de bambú.

El ejercicio nos permitió acercarnos a la definición de las formas manejando las variables de manera independiente, al poseer incidencia directa en las distancias, la formalización de los nudos, los diámetros del bambú utilizados y demás condicionantes tanto de la forma como del material.

En la última fase se realizó el análisis de la información obtenida mediante el enfoque metodológico propuesto, la investigación exploratoria y la experimentación proyectual.

Luego se extrajeron conclusiones y reflexiones sobre lo experimentado.

### 3 Resultados

El trabajo práctico se realizó en grupo, en el que se definió generar mediante la exploración de las formas, una cubierta cuya estructura resistente involucrara el bambú. El diseño inicial buscado fue una cubierta cuya geometría fuera totalmente parametrizable y cuya estructura de soporte se conformara por una malla poligonal 3D de barras de bambú unidas con elementos “uniones”, cuyo diseño también fuera variable según otros parámetros que se desprenderían del diseño elegido para el nodo o unión.

#### 3.1 Definición de parámetros y variables

Una vez definido el resultado final buscado, nos centramos en diseñar el proceso en el cual nos adentraríamos. En la búsqueda de la estructuración de las relaciones entre los parámetros que definen los elementos objeto de diseño y la relación que existe entre ellos. De forma que, controlando las variables y las propiedades que pueden ser modificadas, pudimos verificar los resultados en tiempo real con el objetivo de optimizar el resultado final. El resultado obtenido es en general responsivo a las condiciones establecidas previamente, generando un algoritmo con el cual pudimos explorar la forma y adaptar el diseño a las condiciones del material con el que decidimos trabajar.

Al considerar el material bambú, nos planteamos las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son los parámetros limitantes en el diseño con bambú?  
¿Cómo trabajar con materiales naturales?

Las interrogantes que nos planteó el tipo de estructura elegida, fueron:

¿Cuáles parámetros son decisivos para la forma buscada?  
¿Existen limitaciones en la forma estructural?

En cuanto al diseño del conector o unión entre las barras de bambú, nos preguntamos:

¿Cómo trabaja estructuralmente un nodo?  
¿Cuál es el sistema o tipo de unión que mejor se adapta a nuestros requerimientos?

#### 3.2 Condicionantes para la definición de la forma. Conocer la forma

Las mallas espaciales son entramados de barras dispuestas en las tres direcciones del espacio, que soportan y transmiten esfuerzos de tracción o de

compresión, nunca flexión. Derivan del principio de triangulación de las celosías planas. A. Graham Bell fue un pionero en el estudio y utilización de las mallas en el ámbito ingeniería aeronáutica, hacia el 1900 realizó una torre tetraédrica para conseguir mayor resistencia con el menor peso y Buckminster Fuller fue pionero en introducir las mallas al ámbito arquitectónico, creando mallas espaciales geodésicas de grandes dimensiones.

Las mallas espaciales se clasifican en dos grandes grupos según la cantidad de capas que las forman. En primer lugar están las mallas formadas por una sola capa, son delgadas y tal como las membranas obtienen su resistencia a través de su geometría espacial. Y por otro lado, las mallas formadas por dos o más capas que se generan añadiendo unidades espaciales en diagonal formando poliedros o por uniones en planos verticales. Estas en su conjunto presentan resistencia a la flexión por lo que no necesitan curvarse. (Basset, s.f.)

La malla elegida para el trabajo está formada por dos capas paralelas entre sí conformando tridimensionalmente figuras pentaédricas de base cuadrangular, en donde la malla superior es mayor que la inferior, conformándose así una malla octaédrica.

Para la materialización de la malla 3D se utiliza el componente SpaceTruss1.

Una condicionante de diseño de las mallas doble capa, es la relación entre el espesor y la luz, que suele ser entre 1/18 a 1/25, (Basset, s.f.). Otros autores establecen la relación del espesor de la malla entre el largo del módulo de la misma, tal que se encuentre entre 0.5 y 1. Especificando que para relaciones inferiores se provocarían esfuerzos excesivos en las barras diagonales y para relaciones mayores a 1, la excesiva esbeltez provocaría esfuerzos de pandeo muy grandes (Cavia, 1993). Estas proporciones son a modo orientativo, ya que las dimensiones finales de la malla se deben desprender del cálculo estructural, que en éste caso de estudio no se aborda.

Los elementos componentes de la malla son las barras y los nudos. Las barras son por lo general realizadas por elementos huecos para aligerar el peso conservando el momento de inercia alto. Los nudos deben en teoría, ser completamente articulados para permitir el libre giro.

Para la unión entre nodo y barra se utilizan diversos conectores dependiendo de los materiales utilizados, el sistema elegido y la estética buscada. Pueden ser abrazaderas, espigas, vástagos, clavijas o varillas roscadas, también hay sistemas que permiten el ensamble de la barra en el nodo.

La superficie base a la que se adapta la malla octaédrica, se definió como totalmente parametrizable, determinándose que los datos de entrada definieran el espaciado de los puntos de la curva generatriz de la superficie, la altura de dicha curva y la altura del punto inicial. La curvatura en el eje z se puede variar mediante un control deslizante multidimensional. El resultado final es la definición de la superficie, y las divisiones generadas paramétricamente en los ejes R y V.

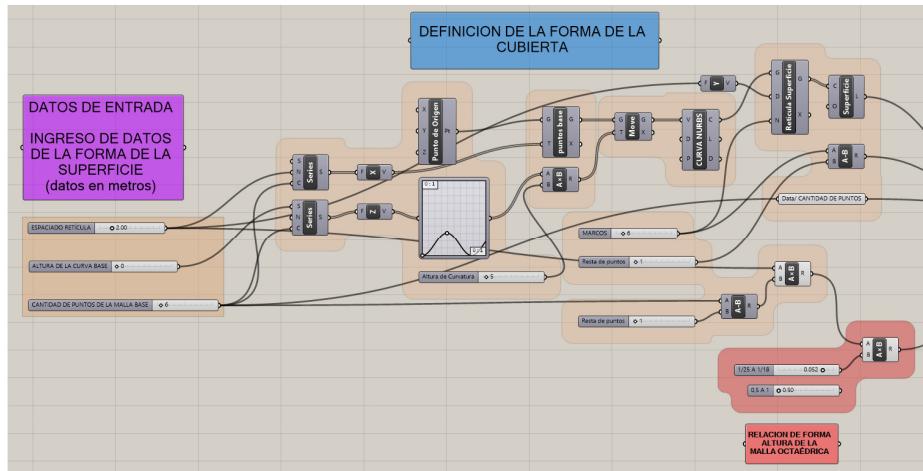


Figura 3. Definición de la Forma. Fuente: (Palma et al, 2022)

### 3.3 Condicionantes que nos presenta el material

Las limitaciones que encontramos con el bambú, surgen de las características del material desarrollado en la información sistematizada en el trabajo.

Una vez definida la especie de Bambú a utilizar en la estructura, se relevaron sus características geométricas para poder definir de qué sector de la planta obtendremos el material para realizar nuestras barras, su diámetro externo, el ancho de su pared y la distancia promedio entre nudos. Elegimos los tramos más rectos del sector de la base y verificamos cuál era la longitud máxima utilizable que podíamos encontrar. Estas son las condiciones de ingreso, datos que debimos recabar e ingresar al algoritmo.

La especie de bambú elegida para realizar el trabajo grupal fue *Bambusa tuloides*, una especie naturalizada en este territorio nacional, que puede alcanzar entre 6 y 10 metros de altura y su diámetro varía entre 2 y 5 cm. El sector entrenudo puede llegar a variar entre los 25 a los 40 cm de largo. Sus propiedades estructurales son buenas, mejor aún que las de maderas como el pino y el eucalipto, con una densidad estimada 860 kg/m<sup>3</sup>, según (Fernandes et al, 2012).

Los ejemplares utilizados para realizar el trabajo fueron cortados con una edad entre 2 y 3 años. Se eligieron los sectores de la base de la caña que poseía un largo total de 4 metros. El diámetro medio en la base alcanzó los 2,6 cm y el espesor promedio de la pared del culmo de 7mm. Estos datos se ingresaron en el algoritmo.

Con relación a su resistencia mecánica, como en éste trabajo no abordamos el cálculo estructural, asumimos que el material que elegimos posee características aptas para el uso estructural.

Los largos de cada barra, es uno de los condicionantes del diseño que deben verificarse, ya que la especie de bambú y la edad de corte de los ejemplares obtenidos, determinan los tamaños de barra máximos a manejar en la estructura. En el algoritmo se listó el largo de cada tramo. La información obtenida en primera instancia responde a los largos entre eje y eje de nodo. Esta información fácilmente al ser procesada, puede brindar los datos necesarios para determinar si los parámetros de dimensiones que se manejan deberían ser ajustados o no.

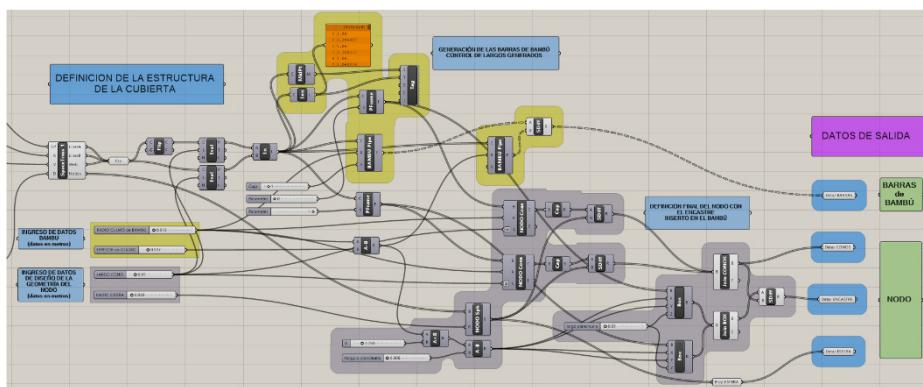


Figura 4. Definición de la Estructura de la cubierta. Fuente: (Palma et al, 2022)

Para la confección del nodo, consideramos un diseño simple que pudiera realizarse en impresión 3D y que la unión con el material respondiese a las características de la especie utilizada cuyos datos fueron introducidos en el algoritmo. El método de unión entre el bambú y el nodo se realizó mediante la introducción de una planchuela del nodo dentro del culmo de bambú y su cementado.

### 3.4 Resultado logrado

El algoritmo final generado, fue el resultado de la inclusión de las variables encontradas, que surgen del estudio del material, de las condicionantes de la forma de la estructura buscada y de la definición de las relaciones entre ellas. Esto nos llevó a entender las lógicas de funcionamiento del pensamiento computacional y las lógicas propias del software utilizado. A comprender como son afectados cada uno de los parámetros al introducir variaciones, sobre todo

al considerar las características particulares de un material natural que afectan el resultado final.

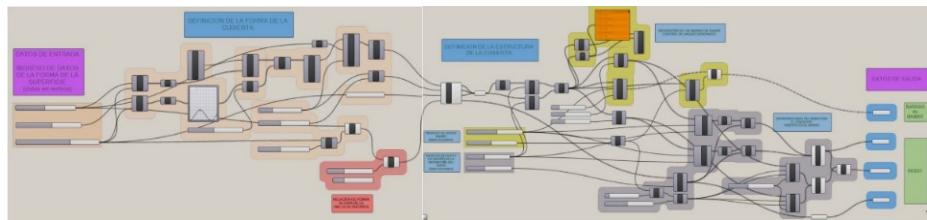


Figura 5. Algoritmo final. Fuente: (Palma et al, 2022)

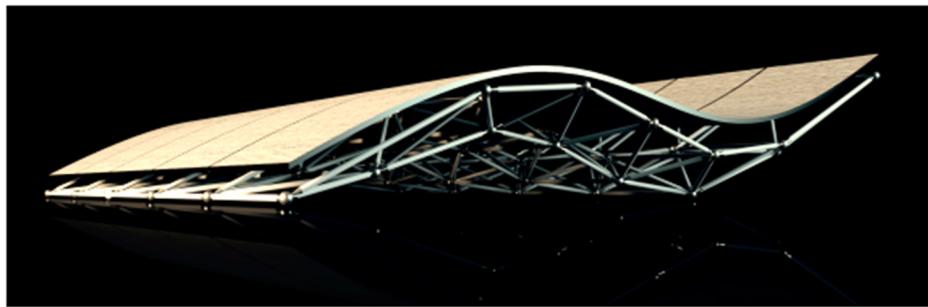


Figura 6. Cubierta. Resultado final. Fuente: (Palma et al, 2022)

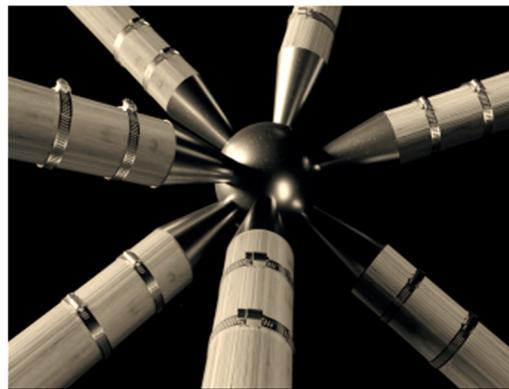


Figura 7. El nodo. Fuente: (Palma et al, 2022)

Luego de llegar a la definición de lo buscado, se realizaron impresiones digitales de los nodos para generar una maqueta de un sector de la estructura

y una maqueta a escala 1:1 de uno de los nodos. Al ser una cubierta curva, la variabilidad entre los nodos era relevante. La serie de impresiones realizadas en el Centro de Integración Digital de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, llevaron a realizar ajustes en el algoritmo hasta obtener el final deseado.

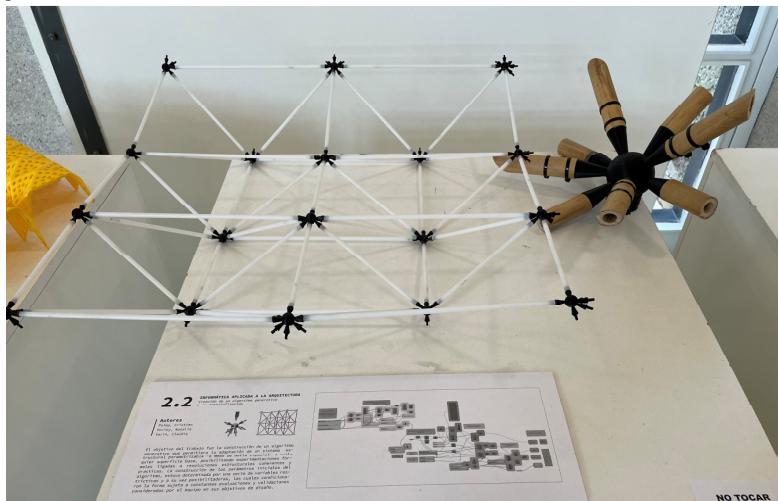


Figura 8. Presentación del trabajo grupal en exposición CID Abierto agosto 2022.

Fuente elaboración propia

### 3.5 Discusión

Lo obtenido en el ejercicio experimental, nos resultó muy significativo en el sentido que logramos verificar que a través de la práctica y la investigación es posible obtener conocimientos prácticos sobre la arquitectura paramétrica o digital, profundizando en los desafíos y oportunidades que nos puede brindar. Se pudo constatar que la disponibilidad de información y de herramientas existentes en la red, facilita materializar diseños con complejidades antes no pensadas, abriendo un vasto campo para el diseño arquitectónico y colaborativo.

Descubrimos que el bambú como material, sustentable y biodisponible surge como un material perfecto para la experimentación con estructuras constituidas por celosías. Además, el diseño algorítmico proporciona espacio para la variabilidad del bambú y para cambios de diseño incluso durante la construcción, a través de la modificación en el ingreso de variables en la configuración digital. (Osmond, Stamm, & Vahanvati, 2022) Ésta hibridación generando diseño digital a través de un material natural, requirió profundizar en el conocimiento y estudio de las distintas especies de bambú, sus características particulares y específicas y su comportamiento estructural.

Entendemos que la comprensión de las geometrías utilizadas y los materiales es imperativa a la hora de diseñar, ya que, conociendo las condicionantes y sus relaciones, la definición del resultado puede ser correctamente ajustado en la producción digital de las formas y a su materialización, a través de la impresión con tecnología digital 3D. Pero siendo siempre el objetivo final buscado en cada proyecto, el diseño de un sistema de relaciones entre los diferentes elementos que lo componen, expandiendo así nuestro modo de operar como arquitectos/diseñadores.

Ahora bien, estos giros digitales nos plantean un nuevo lenguaje desde donde podremos repensar y desarrollar nuestro rol de diseñadores/arquitectos. Observamos que el acto de diseñar muta de canales para desarrollarse ahora desde lo cibernetico procesando modelos analíticos mediante el análisis de datos. Esto lo debemos recibir y percibir como una expansión de nuestras capacidades y de nuestra responsabilidad. El arquitecto debe asumir ahora su nuevo rol aprendiendo a controlar la tecnología, a manejarla, a aprovecharla, integrando los procesos de iteración y juego y asumiendo que las restricciones no son obstáculos sino motores del propio diseño.

El diseño a través del juego nos ayuda a la automatización del pensamiento computacional, a la elaboración a través de las retroalimentaciones iterativas y los procesos de análisis y de resolución de problemas. Podremos trascender la mera búsqueda de la complejidad espacial para adoptar lo multidisciplinario que puede ser nuestro trabajo como diseñadores. Con ello, podremos acercarnos digitalmente a las tradiciones artesanales, a materiales con características variables, al diseño que maneja a favor la variabilidad y que contribuye a la sostenibilidad de nuestro entorno, generando experiencias más ricas y diversas. Llevando a la arquitectura más allá de los límites impuestos anteriormente.

El diseño se abre, se expande, el arquitecto adquiere el rol de sistematizador de conocimientos buscando lo performativo por sobre lo meramente gráfico representativo.

Por lo que nos compete ahora interpelarnos, definir el rol que queremos desempeñar en esta época digital y signada por el cambio climático y la escasez de recursos renovables.

Se abre ante nosotros un vasto universo para explorar.

Debemos tomar partido en esta nueva forma de pensar la arquitectura, ya no más pensada en términos mecánicos, sino en términos ciberneticos y sistémicos tal como Ortega expone (Ortega, 2017), para convertirnos en diseñadores totales.

## Referencias

Aksamija, A. (2016). *Integrating Innovation in Architecture. Design, Methods and Technology for Progressive Practice and Research*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

- Basset, L. (s.f.). Mallas espaciales. Valencia: Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universitat Politècnica. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16498/Mallas%20espaciales.pdf?sequence=3>
- Cavia, P. (1993). Revista de Edificación. Las mallas espaciales y su aplicación en cubiertas de grandes luces, 7-15. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/83568427.pdf>
- Centro de Integración Digital (CID). (2022). Informática aplicada a la Arquitectura. Presentación del curso. (Diapositiva 4). Retrieved from [https://eva.fadu.edu.uy/pluginfile.php/144821/mod\\_resource/content/3/2106\\_10%20IAA%20Presentaci%C3%B3n%20del%20curso.pdf](https://eva.fadu.edu.uy/pluginfile.php/144821/mod_resource/content/3/2106_10%20IAA%20Presentaci%C3%B3n%20del%20curso.pdf)
- Centro de Integración Digital (CID). (2022). Informática aplicada a la Arquitectura. Presentación del ejercicio final. (Diapositiva 12). Retrieved from [https://eva.fadu.edu.uy/pluginfile.php/146840/mod\\_resource/content/1/Presentaci%C3%81n%20del%20ejercicio%20de%20cierre.pdf](https://eva.fadu.edu.uy/pluginfile.php/146840/mod_resource/content/1/Presentaci%C3%81n%20del%20ejercicio%20de%20cierre.pdf)
- Fernandes, C., Fontana, J. J., Laurino, P., Casañas, V., & Vila, V. (2012). Estructuras livianas. Como respuesta a programas temporales diseñadas con materiales sustentables. Montevideo: Comisión Sectorial de Investigación Científica-CSIC de la UdeAR.
- Gómez, H., Rodriguez, S., & Ramal, R. (2020). EL BAMBÚ: Una solución ecológica sustentable como material de construcción., Rev. Tzhoecoen. Vol. 12(2), 253-262. Retrieved from <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/1264>
- INBAR. (2014). El bambú: un recurso estratégico para que los países reduzcan los efectos del cambio climático. Informe síntesis de políticas. Retrieved from [https://www.inbar.int/resources/inbar\\_publications/informe-de-sintesis-de-politicas-1-el-bambu-un-recurso-estrategico-para-que-los-paises-reduzcan-los-efectos-del-cambio-climatico-spanish/#:~:text=Si%20se%20reconoce%20como%20un,sobre%20millones%20de%20com](https://www.inbar.int/resources/inbar_publications/informe-de-sintesis-de-politicas-1-el-bambu-un-recurso-estrategico-para-que-los-paises-reduzcan-los-efectos-del-cambio-climatico-spanish/#:~:text=Si%20se%20reconoce%20como%20un,sobre%20millones%20de%20com)
- Kelleher, J., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2015). Fundamentals of Machine Learning for predictive data analytics. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Massimiano, L. (2015). L'approccio parametrico alla progettazione: strumenti e implicazioni metodologiche. La Ricerca Che Cambia, Atti Della Conferenza Del Convegno Nazionale Dei Dottorati Italiani Dell'Architettura, Della Pianificazione, Del Design, a Cura Di L. Fabian, M. Marzo.
- Navarrete, S. (2014, Setiembre). Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación, 49, 63-72. doi:<https://doi.org/10.18682/cdc.vi49>
- Osmond, J., Stamm, J., & Vahanvati, M. (2022). Applying design tools for full-culm bamboo. International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (Nocmat 2022). Pittsburgh. doi:[10.5281/zenodo.6856269](https://doi.org/10.5281/zenodo.6856269)
- Ortega, L. (2017). El Diseñador total. Barcelona: Puente Editores.
- Palma, C., Porley, N., & Varin, C. (2022). Malla espacial adaptativa, algoritmo para estructuras paramétricas. Trabajo no publicado.