

CUBIERTAS DE BAMBÚ:

CREACIÓN DE ESPACIOS FLEXIBLES
PARA LAS ESCUELAS
DEL FUTURO

Autor | Enrique Reig Navarro

Tutores | José Duran
Juan Pedro Romera



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

Curso 2018 | 2019

TFC | Grado en Fundamentos
de la Arquitectura

Cubiertas de Bambú:

Creación de espacios flexibles
para las escuelas
del futuro.

Autor: **Enrique Reig Navarro**

Tutores: **José Durán Fernández**
Departamento de Proyectos Arquitectónicos

Juan Pedro Romera Giner
Departamento de Proyectos Arquitectónicos

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Trabajo Final de Grado
Curso 2018 | 2019

Universidad Politécnica de Valencia
Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Julio 2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

Resumen

El bambú es un material de alto rendimiento que lleva siglos utilizándose en la arquitectura popular más humilde de Asia y Latinoamérica.

Durante las últimas décadas, debido a los problemas a los que se enfrenta la humanidad, se está poniendo el foco en los materiales naturales de construcción, siendo el bambú el más eficiente. Es por esta razón por lo que cada vez se está desarrollando más tecnología en torno a este material, pudiéndose crear grandes cubiertas con estructuras singulares empleando muy pocos recursos.

Por otro lado, en el ámbito de la educación, se está produciendo un cambio de paradigma en cuanto a la metodología y la configuración de los espacios para el aprendizaje.

A través de cuatro casos de estudio, analizaremos los nuevos espacios que se pueden generar gracias al bambú, los cuales son capaces de crear entornos flexibles que se adaptan muy bien a este cambio.

PALABRAS CLAVE:

#Bambú #Espacio #Educación

#Cubiertas #Sostenibilidad

Resum

El bambú és un material d'alt rendiment que porta segles utilitzant-se en l'arquitectura popular més humil d'Àsia i Llatinoamèrica.

Durant les últimes dècades, a causa dels problemes a què s'enfronta la humanitat, s'està posant el focus en els materials naturals de construcció, sent el bambú el més eficient. És per aquesta raó pel que cada vegada s'està desenvolupant més tecnologia al voltant d'aquest material, podent-se crear grans cobertes amb estructures singulars emprant molt pocs recursos.

D'altra banda, en l'àmbit de l'educació, s'està produint un canvi de paradigma pel que fa a la metodologia i la configuració dels espais per a l'aprenentatge.

A través de quatre casos d'estudi, analitzarem els nous espais que es poden generar gràcies al bambú, els quals són capaços de crear entorns flexibles que s'adapten molt bé a aquest canvi.

PARAULES CLAU:

#Bambú #Espai #Educació

#Cobertes #Sostenibilitat

Abstract

Bamboo is a high performance material that has been used for centuries in the most humble popular architecture in Asia and Latin America.

During the last decades, due to the problems faced by humanity, the focus is on natural building materials, with bamboo being the most efficient. It is for this reason that more and more technology is being developed around this material, being able to create large roofs with unique structures using very few resources.

On the other hand, in the field of education a paradigm shift is taking place in terms of methodology and the configuration of spaces for learning.

Through four case studies, we will analyze the new spaces that can be generated thanks to bamboo, which are able to create flexible environments that adapt very well to this change.

KEYWORDS:

#Bamboo #Space #Education

#Roofs #Sustainability

Índice

1. OBJETIVOS	8
2. INTRODUCCIÓN	
2.1. ORIGEN DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.2. MÉTODO DE TRABAJO	11
3. CONTEXTO	
3.1 EL BAMBÚ EN ASIA Y LATINO AMÉRICA	13
3.2 EL BAMBÚ COMO MATERIAL DEL FUTURO	16
3.3 VIABILIDAD TÉCNICA DEL BAMBÚ	23
3.4 EL ESPACIO BAJO CUBIERTAS	25
4. EL BAMBÚ Y LA EDUCACIÓN DEL FUTURO	
4.1 NUEVOS MÉTODOS DE EDUCACIÓN	32
4.2 REQUISITOS ESPACIALES	35
4.3 INNOVACIÓN DESDE LA SOSTENIBILIDAD	37
4.4 ANÁLISIS DE PROYECTOS DE REFERENCIA	39
4.5 COMPARATIVA DE LOS CASOS DE ESTUDIO	56
5. CONCLUSIONES	57
6. ÍNDICE DE FIGURAS	59
7. BIBLIOGRAFÍA	63

1. Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo son:

-Mostrar las **posibilidades y ventajas ecológicas y técnicas** del bambú como uno de los materiales de construcción del futuro, al mismo tiempo que proporcionar una visión general de su uso en la arquitectura tradicional de Latino América y Asia.

-Estudiar las **posibilidades espaciales que generan las cubiertas de grandes luces** hechas con este material, así como las aplicaciones que pueden tener estos espacios dinámicos.

- Concretar en el **estudio tipológico de escuelas primarias y secundarias**, tomando como referencia diferentes proyectos modelo en Indo China y Sur-Este Asiático.

-Analizar las aplicaciones de las cubiertas de bambú como material que posibilita la **creación de espacios dinámicos que se adaptan al cambio de paradigma en los sistemas educativos tradicionales**.



01. Vocational school in Rudrapur,
Bangladesh
Anna Heringuer 2008

2. Introducción

2.1. Origen de la Investigación

La idea de realizar el TFG sobre la construcción de escuelas de grandes luces con bambú, vino a raíz de dos inquietudes personales que llevo teniendo en la cabeza desde hace algunos años:

Por un lado, en 2015 tuve la oportunidad de realizar unas prácticas de arquitectura durante los meses de verano en una ONG india llamada Educare India. Mi trabajo entre otras cosas, consistía colaborar en el diseño, y la construcción pequeños habitáculos de bambú en una zona de extrema pobreza. Desde el primer momento en el que corté con una sierra la primera viga de bambú y la coloqué en su sitio, me pareció impresionante el potencial de este material, tanto por su ligereza, resistencia y flexibilidad, como por su precio en la zona (increíblemente barato en relación con otros materiales más conocidos para mí, como el ladrillo)

Tras la experiencia y a raíz de un informe que me pidió realizar la ONG, me fui documentando por mi cuenta (debido a que sentía mucha curiosidad), de las posibilidades técnicas del bambú y de los arquitectos más punteros a nivel mundial que trabajan con este material. Cuanto mas investigaba y más conocía, más me fascinaba y más me daba cuenta de la capacidad que tiene el bambú para dar respuesta a muchos de los problemas ambientales y sociales de los años que están por venir.

Por eso creo que es de máxima actualidad el empezar a hablar cada vez más del bambú en la construcción, ya que creo que es bueno que se vaya normalizando y contemplando como una opción más para muchos usos.

Por otro lado siempre he tenido un especial interés por la arquitectura escolar, por los play-grownds, y por los espacios que incitan a la curiosidad y al juego, o, como dijo Peter Zumthor: *“Crear atmósferas de seducción, no de conducción, como un viaje de descubrimientos”*.

Es por eso como, casi sin darme cuenta, al empezar a plantear la estructura de este TFG, fui descubriendo diferentes centros escolares, sobre todo en Asia, muy innovadores en cuanto a sistemas educativos, que, gracias a las posibilidades espaciales que ofrecía el bambú, creaban una serie de entornos dinámicos y estrechamente ligados al exterior y a la naturaleza que nunca antes había visto. Tras darme cuenta de este hecho, empecé a investigar por otro lado sobre la nueva arquitectura para las escuelas del futuro. Descubrí que había un cambio de paradigma que, curiosamente, la creación de espacios de grandes luces bajo cubiertas de bambú, resuelve muy bien.



02. Gajjner, Rajasthan, India 2015

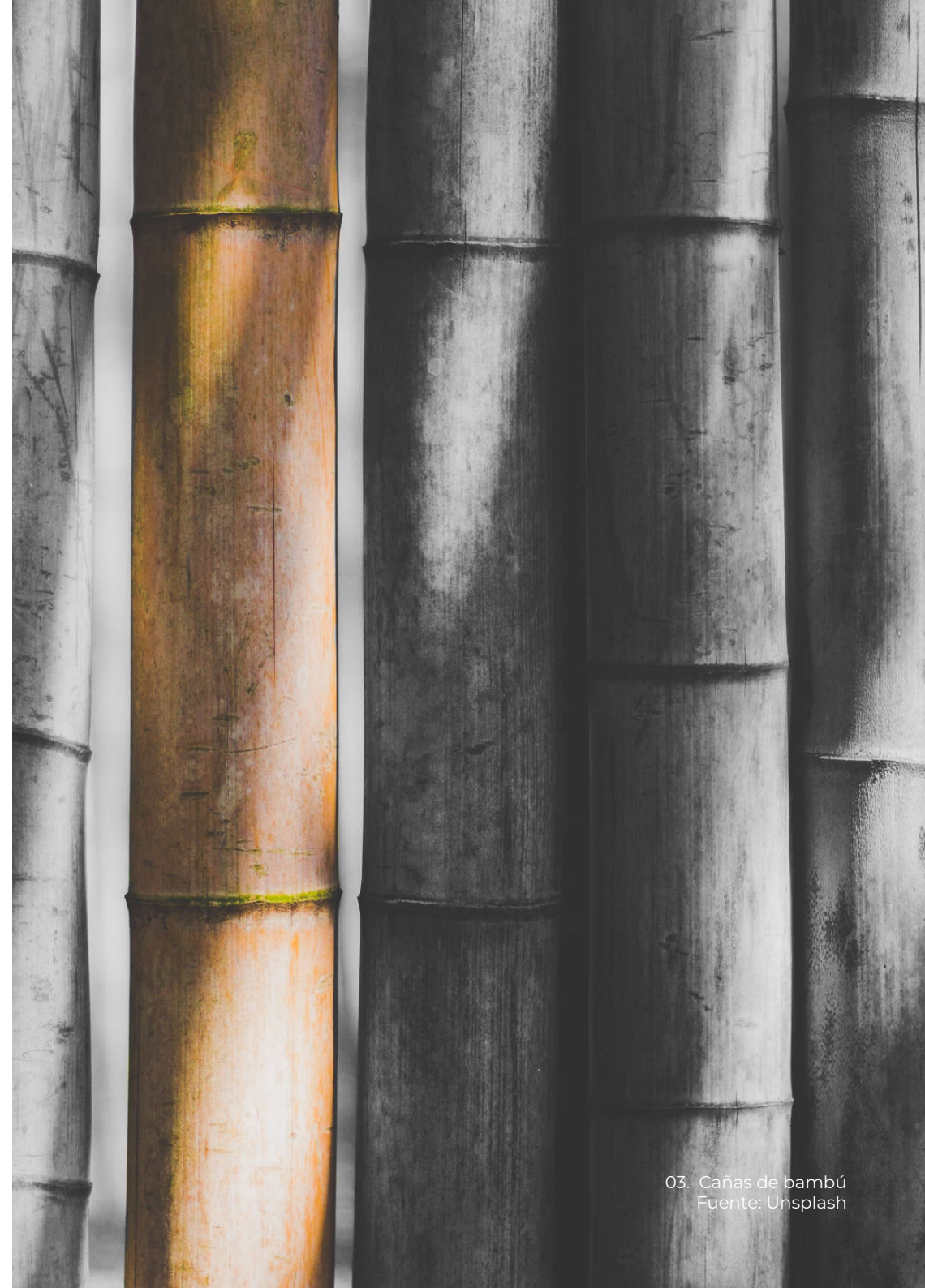
2.2. Metodología de trabajo.

A lo largo de este trabajo se ha realizado un análisis general sobre el bambú como material de construcción del futuro.

Se ha puesto el foco (dentro de toda la gran casuística y las enormes posibilidades de este material), en las cubiertas de grandes luces, ya que generan espacios realmente singulares, que son muy difíciles y costosos económicamente de conseguir con los materiales de construcción tradicionales.

Al haber una conexión directa entre los espacios dinámicos que se generan bajo cubiertas de bambú, y los espacios idóneos para los nuevos métodos educativos que se están instaurando, se ha realizado un estudio tipológico analizando algunas de las escuelas más innovadoras en métodos educativos que utilizan este tipo de arquitectura como medio para una enseñanza más personalizada, libre, y conectada con el entorno.

Es decir, se ha realizado una investigación de lo general a lo particular centrándonos en casos muy concretos para así obtener conclusiones relevantes.



3. Contexto

3.1 El Bambú en Asia y Latinoamérica:

El bambú como material de construcción presenta un largo recorrido. Se utiliza desde hace siglos en zonas donde crece en abundancia como son Sud y Centro América, África, y especialmente, el Sud-Este Asiático. Debido a su bajo coste, y a que es muy fácil de obtener, siempre ha tenido un papel de material “menor o secundario”, por detrás de otros materiales como la piedra, o la madera.

En Asia se le relaciona mucho más con el culto y veneración, de hecho muchos de los palacios más importantes de China e Indonesia utilizan esta planta como ornamento y para la construcción de las cubiertas de sus templos. Por el contrario en África y América nunca se ha llegado a dotar de ese uso, sino que ha presentado un papel más práctico y funcional.



04. "Batak", construcción tradicional Indonesia

Indonesia, es quizás el país en el que más desarrollado y extendido se encuentra el uso del bambú. La arquitectura popular de este archipiélago, contiene una amplia gama de construcciones realmente impresionantes construidas con esta caña de manera artesanal. Lejos de limitar el tamaño de las edificaciones, incluso en las viviendas de las familias más humildes, la arquitectura popular se recrea con las posibilidades del bambú, creando estructuras con formas orgánicas y a menudo tamaños desproporcionados y sobrecogedores.



05. "Ijuk", vivienda tradicional indonesia
Mar de Toba, Sumatra 1976

En muchos de los países en los que podemos encontrar bambú en estado salvaje, se posee una larga tradición en la construcción de estructuras de este material mediante métodos artesanales desarrollados y perfeccionados durante generaciones. Este hecho ha dado lugar a un amplio abanico de métodos de construcción característicos, además de una gran variedad y riqueza de tipologías, y soluciones constructivas locales.

Al mismo tiempo, a parte de su uso en la construcción, el bambú tiene multitud de aplicaciones diferentes en otros ámbitos de la vida rural de estos países. Un ejemplo es el caso de la agricultura, donde está muy extendida su utilización para el levantamiento de invernaderos, conductos de irrigación, y almacenes agrícolas. El caso de la artesanía y el mobiliario es el mismo. Los miembros de bambú se seccionan longitudinalmente de manera que dan lugar a largas tiras flexibles que se pueden entrelazar entre sí, obteniendo una gran ligereza y consistencia, es por eso que también es muy común en la construcción enrejados, colmenas de gran tamaño, fachadas ventiladas, utensilios domésticos etc...

Su rápida velocidad de crecimiento, su facilidad de procesamiento y mantenimiento, y sus propiedades resistentes, hacen que esté ligado y sea muy popular en las arquitecturas más humildes de estas regiones que, curiosamente, son las que tienen las tasas más altas de crecimiento de población del mundo, y por lo tanto, hay una mayor necesidad de construcción de viviendas. Un ejemplo de su popularidad debido a la necesidad de viviendas, es el caso de Bangladesh, donde el 70% de las casas, están hechas de bambú.



06. Construcción de la estructura de bambú de un 'right hat', vivienda tradicional de la isla de Sumba, Indonesia

Otra de las razones por las que resulta enormemente práctico para la construcción en muchas de estas áreas, es el hecho de que sea considerado un material antisísmico. Debido a su flexibilidad, las estructuras hechas con bambú absorben las vibraciones del terreno sin producir rotura, minimizando los daños materiales y humanos, ya que, en muchas de las zonas donde más se utiliza, presentan un riesgo sísmico muy elevado. Un ejemplo de la valía de este material se pudo demostrar en Costa Rica durante el abril de 1991, cuando se produjo un terremoto de 7.5 puntos en la escala de Richter y, únicamente se mantuvieron en pie 20 casas construidas con bambú.

Además de para la construcción de edificios, en Asia, el bambú tiene una larga historia como material de andamiaje. Actualmente en China (el principal país en el que se ha empleado para este uso), se encuentra prohibido en la construcción de edificios de más de seis plantas. Aún así, continua siendo la forma de andamiaje más utilizada en Hong Kong para la edificación de muchos de sus rascacielos, puesto que, como afirman sus defensores, si se ensambla correctamente, estos andamios son tan resistentes como los de acero.

Sin embargo es llamativo que en algunos países de Latinoamérica como Colombia, el bambú se encuentra en la lista de especies protegidas a pesar de abundar y crecer en grandes extensiones. En Colombia pese a contar con enormes áreas de selva tropical en peligro de deforestación, y de estar muy arraigado el bambú en la arquitectura de los pobres, no se permite su plantación y venta como material de construcción. Este hecho lleva años provocando quejas y controversia por muchos arquitectos de estas zonas, que lo achacan a la corrupción. Algunos se ven obligados a obtener el bambú de manera ilegal, o a comprarlo en el exterior.



07. Vivienda en Puebla
Ciudad de Cuetzalan, México



08. Earthen School Tipu Sultan Merkez
Jar Maulwi, Pakistan



09. Skyline de un poblado de "Hight hats"
Isla de Sumba, Indonesia



10. Pagaruyung Palace
Sumatra, Indonesia

3.2. El bambú como material de futuro:

3.2.1 La planta del bambú

El bambú es una planta que pertenece al género de las gramíneas, es decir, es una hierba como puede ser la caña de azúcar, el maíz, o el arroz. Crece de fuera hacia dentro, y la "Lagina" (pared celular exterior), se va fortaleciendo con los años hasta convertirse en una estructura con tanta dureza como la madera, pero mucha más flexible y liviana, este proceso de endurecimiento puede tardar entre 5 y 7 años dependiendo de la especie.

Los bambúes salvajes crecen en todos los continentes a excepción de Europa y la Antártida, desde 51° al norte del ecuador, hasta 47ª al sur de este.

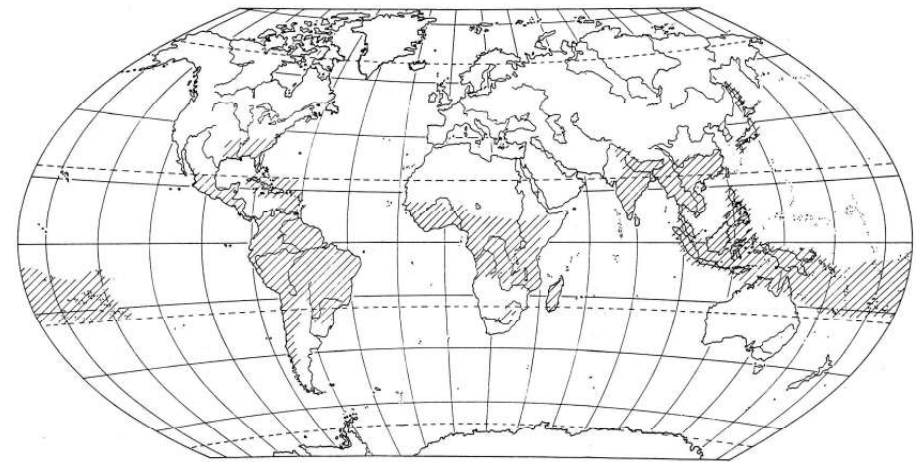


11. Oso panda en un bosque de bambú en China
Fuente: Unsplash

Como se aprecia en el mapa, la distribución mundial del bambú es muy amplia. La mayoría de las especies se localizan en zonas cálidas con humedades superiores al 80%, en bosques nublosos tropicales, y en suelos arcillosos y con mucha agua. Algunas especies crecen también en climas secos de zonas semi-áridas de India y Africa, o en alturas superiores a los 4000 metros, a las faldas del Himalaya. En China y Japón también existen especies que pueden aguantar hasta temperaturas de varios grados bajo 0.

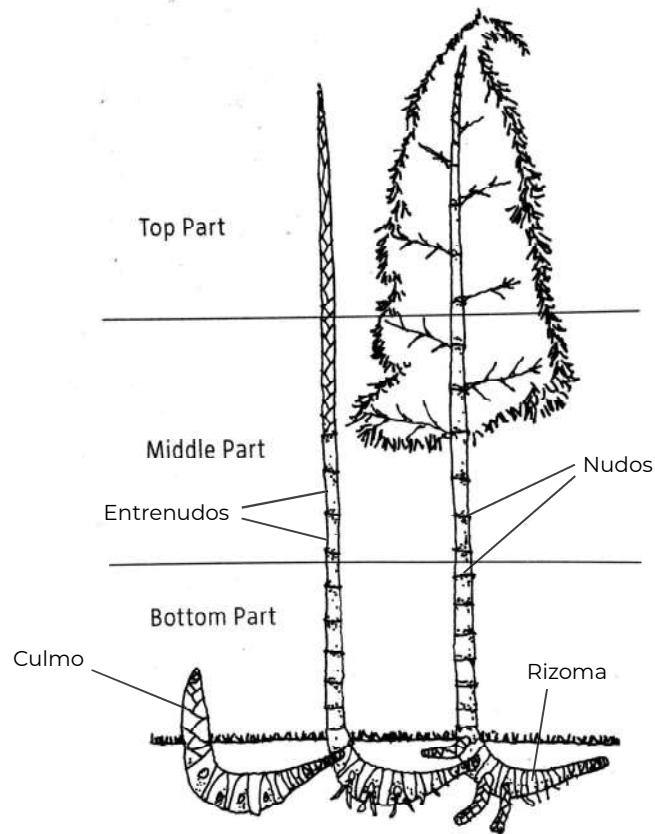
Existen aproximadamente 1200 especies de bambú, de las cuales 750 se encuentran en Asia y 450 en América, sobre todo en Brasil.

Se estima que en el mundo hay unas 37 millones de hectáreas cubiertas de bosques leñosos de bambú dando lugar a múltiples ecosistemas: 10 millones en Latinoamérica, 9 millones en India, 6 millones en China, y el resto en África, y en el Sur-Este Asiático.



12. Mapa de distribución mundial del bambú según:
Bambú, the Gigant Grass, National Geographic 1980

El bambú se caracteriza por tener todos los nudos y entrenudos del tallo adulto comprimidos en el culmo (brote) desde que nace la planta. En su crecimiento, únicamente se estiran los entrenudos hasta alcanzar su altura definitiva. Los tallos crecen directamente desde el rizoma (tallo subterráneo). Los rizomas se expanden en todas direcciones formando redes tridimensionales. Los tallos se encuentran muy juntos de manera que constituyen arbustos de bambúes.



13. Esquema de la planta del Bambú
Fuente: Building with bamboo

Pocos años después de alcanzar su altura definitiva (que puede variar entre 5 y 30 metros), los culmos empiezan a lignificar (endurecerse) poco a poco, hasta que se produce un bloqueo en las fibras conductoras resultando una consistencia similar a la madera, es entonces cuando es apto para su uso en construcción. Las especies más comunes y aptas para la construcción de edificios son la "Guadua", procedente de Colombia, y el "Mosso", de China.

Los bambúes son una de las plantas con el periodo de floración más misterioso de la naturaleza. El florecimiento de muchas de sus especies es gregario, es decir, florecen al mismo tiempo en todo el continente, o incluso el mundo, como si estuvieran todas las plantas conectadas. Este fenómeno sigue siendo un gran misterio para los científicos. La floración se produce una vez en la vida de la planta, ya que posteriormente, la planta muere pudiendo generar desastres en la economía de algunas regiones.



14. Flor del Bambú
Fuente: Unsplash

3.2.2 El bambú y la sostenibilidad

Durante los últimos tiempos, el cambio climático, y otros problemas de la era contemporánea, como el aumento de los desastres naturales, o la superpoblación, están haciendo que en muchas regiones, se ponga en foco de atención hacia los materiales de construcción tradicionales como el bambú, ya que el sector de la construcción es uno de los más contaminantes y dañinos para el medio ambiente.

El bambú presenta una de las velocidades de crecimiento más rápidas de la naturaleza. Muchas de las especies crecen en torno a 12 cm por día, aunque excepcionalmente, algunas de ellas pueden llegar a los 5cm por hora (es decir, 1.2m al día). Puede cultivarse una y otra vez en el mismo lugar, debido a que crece de la misma raíz tras cortarse los tallos y hasta que llega la floración, lo que convierte al bambú en una interesante alternativa en zonas donde existe el problema de la des-forestación.

A pesar de que en los últimos años se ha exagerado un poco sobre el papel del bambú en la sostenibilidad, el bambú presenta grandes efectos positivos para el medio ambiente. Estos efectos se pueden resumir en los siguientes:

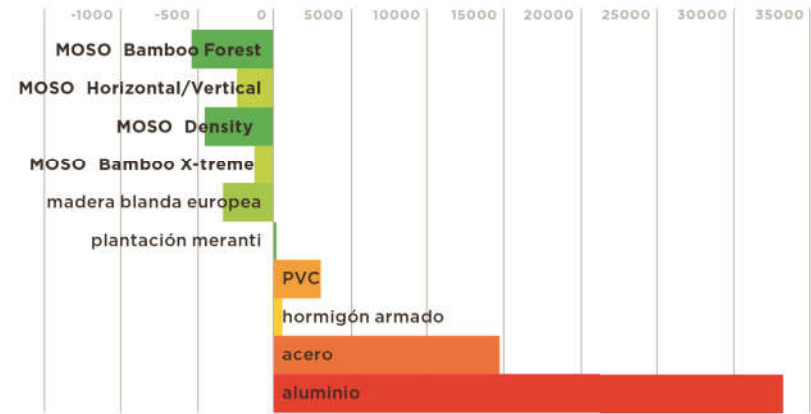
- **1. Es idóneo para la producción de energía por biomasa:** El bambú es un recurso natural de rápido crecimiento. Al no contaminar y no dejar residuos no biodegradables, resulta muy fácil de reciclar y de convertirlo en fertilizante para la producción de energía. Puede producir mucha más biomasa seca por hectárea por año que el eucalipto (el árbol más utilizado para este uso).



15. Bambúes y flor de loto | Fuente: Unsplash

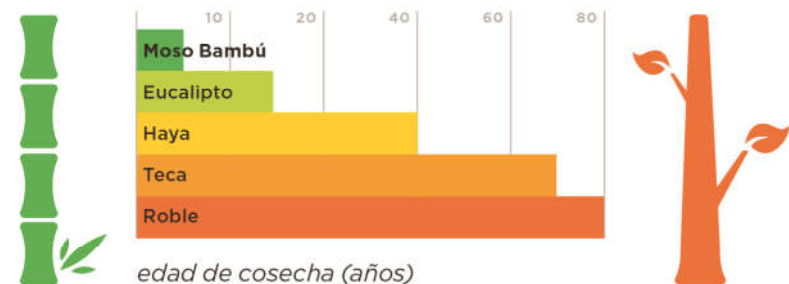
- **2. Retención de agua:** Por ejemplo, una hectárea de la sub-especie *Guadua angustifolia*, puede retener hasta 30000 litros de agua, lo que previene la desertización.
- **3. Reducción de la erosión:** Las grandes raíces que posee el bambú, fruto de las marañas de rizomas que forman bajo tierra, producen una densa red que sostiene la tierra, y que previene el desprendimiento del terreno y la erosión por lluvias e inundaciones.
- **4. Equilibra de la temperatura:** Gracias a la acción de sus hojas, los bosques de bambú reducen la temperatura del aire mediante la evaporación del agua, lo que colabora a equilibrar y suavizar las temperaturas.

- **5. Des-forestación:** El bambú es un material renovable que presenta una velocidad de crecimiento muy elevada, además requiere de menor espacio y recursos para crecer que las maderas tradicionales. Por ejemplo, en Costa Rica se construyen todos los años más de 1000 viviendas de bambú que se cultivan en una plantación de unas 60 hectáreas de superficie. Para obtener madera suficiente necesaria para construir el mismo número de casas, se necesitarían 500 hectáreas de bosque tropical en peligro de extinción.
- **6. Energía primaria:** La ligereza que posee, la facilidad en su transporte y almacenaje, y el poco tratamiento que necesita para su uso en la construcción, hacen que el posea una huella ecológica muy baja en comparación con otros materiales. Además, todos estos factores contribuyen en que sea muy barato de obtener, incluso más que las maderas locales.
- **7. Emisiones de CO2:** Al tener una superficie mucho menor, y a pesar de que tiene muchas menos hojas que los árboles, en proporción, el bambú absorbe un 30% más de CO2 que estos.



huella CO2 sobre el ciclo de vida completo (kg CO2 eq/m³ material)

16. Gráfica comparativa de la huella de CO2 del bambú
Fuente: moso.eu



17. Gráfica comparativa del crecimiento del bambú
Fuente: moso.eu

3.2.3 Características físicas

Según dijo Frei Otto en el libro *Bambus-Bamoo* durante su etapa como director del Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart: *“Es muy probable que la construcción con bambú se vuelva más popular en los próximos años por varias razones: Por un lado, debido a la rápida velocidad en la que está disponible, lo que facilita el mantenimiento, por el drástico aumento de la población en el mundo, y por las propiedades favorables que tiene el material como: la alta resistencia a la tensión, o la facilidad de procesamiento que posee”*.

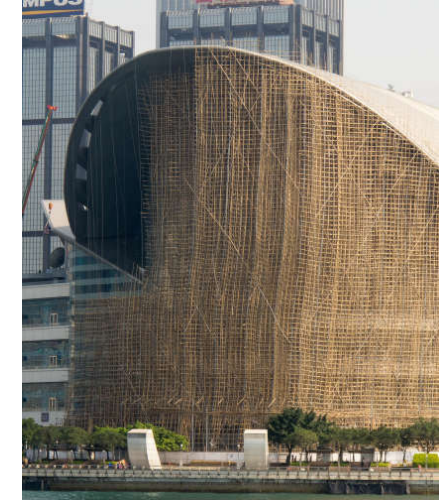
Poco a poco se está empezando a entender y a investigar las técnicas de trabajo de este material, con el fin de facilitar su aceptación como una alternativa viable a los materiales de construcción modernos y comunes.

El bambú posee una alta resistencia a la tracción (presenta valores similares al acero), una excelente resistencia a compresión (dos veces la del hormigón), una gran ligereza y facilidad para el transporte, un índice de elasticidad muy elevado, gran facilidad de mantenimiento y puesta en obra, y una considerable resistencia al fuego (al ser hueco presenta un gran riesgo a ser inflamado, pero la capa exterior de la corteza contiene una gran concentración de silicio, lo cual convierte al bambú en un material no muy inflamable).

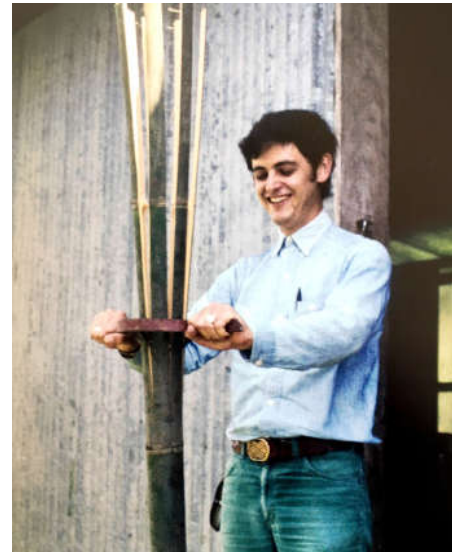
Al crecer de exterior a interior, la parte exterior es más resistente, al contrario de lo que pasa con la madera (la corteza exterior es más porosa y blanda que la interior). Este hecho provoca que en algunos sentidos sea un material más estable para la construcción, aunque por lo general no posee una superficie completamente recta (prácticamente la totalidad de los tallos son irregulares).



18. Unión atornillada de 6 barras de bambú



19. Grandes andamios de bambú en Hong Kong



20. Herramienta para cortar el bambú
Fuente: Building with bamboo



21. Tejas en cubierta de bambú
Fuente: Building with bamboo

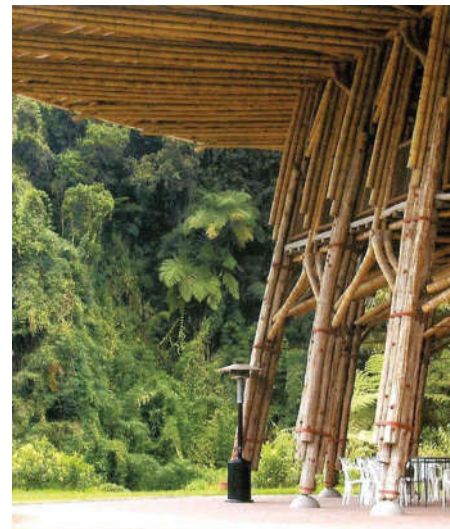
Aunque en Europa y EEUU no existe ninguna regulación específica para el uso del bambú en la construcción (cosa que dificulta los trámites de homologación y de aprobación cuando se utiliza en obras), los estudios y los cálculos que se toman como referencia, son los que se realizaron en su día para el Pabellón ZERI, del maestro del bambú colombiano Simón Veléz, durante la EXPO de Hannover en el año 2000. Estos cálculos se aceptan y son reconocidos por los principales organismos y autoridades de control en la construcción.

El pabellón ZERI se diseñó y construyó para aumentar la visibilidad, y tratar de disminuir los prejuicios históricos contra el uso de bambú en la construcción. Podemos decir que consiguió su objetivo, puesto que tras la expo, marcó un punto de inflexión atrayendo la atención de numerosos arquitectos e ingenieros europeos, que pusieron el foco fascinados por las propiedades de este exótico material. Tras este hecho, a través de los pabellones construidos para la World EXPO de 2010 en Shanghai, se pudo confirmar el reconocimiento que hoy en día posee el bambú en todo el mundo, como material de construcción ecológico y de alto rendimiento.

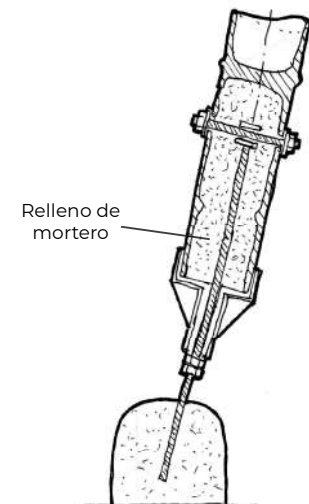
Simón Vélez creó también hace 35 años un sistema novedoso en su momento, que consiste en rellenar con mortero la parte vacía del bambú en la parte donde pasan los tornillos que unen las piezas en las articulaciones. Este sistema ha supuesto una revolución en las posibilidades arquitectónicas de bambú, permitiendo que se pueda ejecutar cada vez estructuras más grandes y complejas, y que se puedan calcular digitalmente.



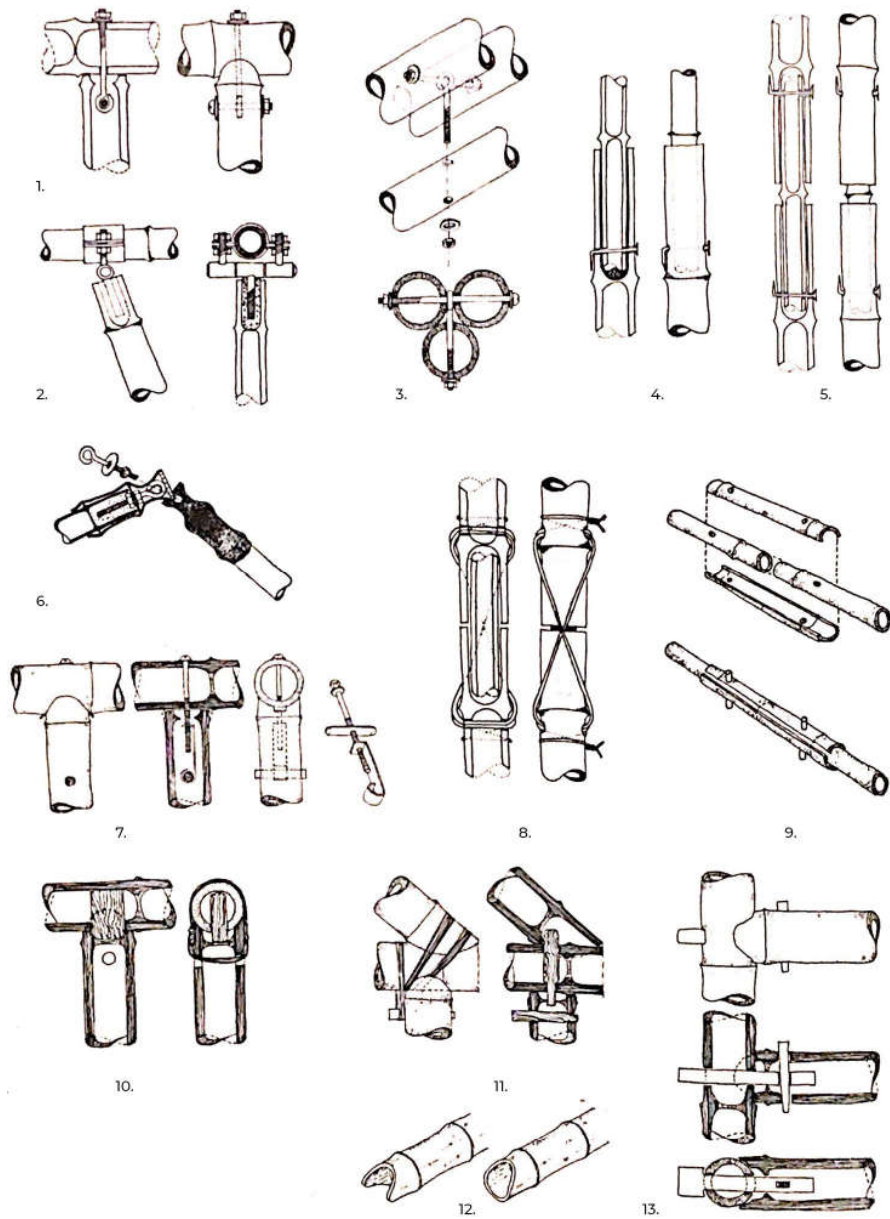
22. Pabellón ZERI para la Expo de Hannover año 2000



23. Zoom del pabellón ZERI



24. Ejemplo del sistema de uniones de Simón Vélez. Elaboración propia



Un gran factor a favor del uso del bambú para la construcción en algunas zonas, es el hecho de que las estructuras de Guadua y Mosso (géneros de bambú procedentes de Latinoamérica y China respectivamente), absorban las vibraciones de los terremotos mientras que las estructuras de hormigón se desmoronan, esto ha facilitado la idea de que cada vez más, se considere el bambú como un material de construcción seguro en zonas de riesgo sísmico.

Es interesante comentar que la disposición y localización en ejemplares de la misma especie, puede ocasionar variaciones de las características físicas a lo largo de los tallos. Por ejemplo, los bambúes que crecen en laderas inclinadas y en terrenos con poca agua, son más resistentes a la compresión que los que crecen en zonas planas y húmedas, por lo tanto, serán más fuertes e idóneos para su uso en la construcción al ser de tejido más denso, y poseer mayor contenido en fibra.

Gracias a los avances y al hecho de cada vez se entienda mejor como aprovechar al máximo las posibilidades del bambú, existe una gran variedad y tipos de uniones adaptadas a multitud situaciones. Dependiendo del grado de especialización de los trabajadores y del presupuesto de la obra, se pueden combinar diferentes materiales generando detalles realmente singulares como los que tenemos en la imagen de la izquierda.

25. Detalle de diferentes tipos de uniones con bambú
Fuente: Building with bamboo

3.3. Viabilidad técnica del bambú.

3.3.1 Viabilidad en Europa y EEUU:

Hasta que no se dio a conocer a finales del siglo XX, el bambú se utilizaba únicamente en Europa y EEUU como material para muebles y decoración. A pesar de que (influenciados por la tradición japonesa), se empezó a utilizar el bambú laminado para la construcción de pisos y suelos, no existía ningún tipo de tradición para su uso estructural.

En EEUU y Europa las plantaciones de bambú para la construcción, no existen (aunque si para la obtención de biomasa). Las mejores opciones para construir con bambú en estos países es importando Guadua de Latinoamérica, o Moso y Dentricamalus de Asia. Actualmente este tipo de bambús de miembro grueso, se están empezando a utilizar sobre todo en Alemania e Italia.

Si bien transportar bambú desde Colombia o Indonesia puede considerarse un costo innecesario de energía. Se ha de tener en cuenta que la cosecha, el procesamiento, el almacenamiento, y el transporte, requieren de mucha menos energía que la madera. Tanto es así, que por lo general se considera que la huella ecológica del bambú importado es menor que la de las maderas autóctonas.

Otro factor que influye a parte del ambiental, es el económico. Durante los últimos años se ha empezado a realizar pequeñas plantaciones de Mosso (procedente de China), en Luisiana y Oregón (EEUU). Pero tras las primeras experiencias, se ha podido comprobar que aún así, resulta más barato importar bambú de China, que el coste de plantar y procesarlo localmente.



26. Carpintero cortando tallos de bambú
Fuente: Unsplash

3.3.2 Ventajas y desventajas:

3.2.2.1 Ventajas:

- **1.** El bambú **crece extremadamente rápido**, y se puede utilizar como material para la construcción de cuatro a siete años después de haberse plantado.
- **2.** Es un material **liviano y flexible**, presentando una relación muy baja entre masa-flexibilidad comparado con la madera. Este hecho provoca que los edificios de bambú tengan muy buen comportamiento frente a terremotos.
- **3.** Presenta un **alto rendimiento** siendo 3,3 veces superior al de la madera. Representa una alternativa eficaz para evitar la des-forestación.
- **4.** Los **costes de procesamiento, almacenamiento y transporte son muy bajos**.
- **5.** La capa exterior rígida presenta una **resistencia a la tensión muy elevada**, con valores similares a los del acero.
- **6.** El bambú tiene una energía primaria muy baja, por lo tanto la **huella ecológica es mínima**.
- **7.** El bambú laminado presenta una **resistencia extrema a la abrasión**.

3.2.2.2 Desventajas:

- **1.** Los bosques de bambú **pueden dañar ecosistemas delicados** si no se planta adecuadamente.
- **2.** El **comportamiento estructural del bambú puede variar** mucho dependiendo de la especie, de la localización, de agentes atmosféricos, edad...
- **3.** Al igual que la madera, es **sensible al ataque de hongos e insectos**, así que debe ser tratado para evitar que se dañe.
- **4.** El bambú es **vulnerable a los rayos ultravioleta y la lluvia**, por lo tanto debe tener protección.
- **5.** La sección cónica de los bambúes pueden **cambiar de diámetro** a lo largo de la longitud del tallo.
- **8.** Los perfiles presentan una **tendencia al agrietamiento**, lo que puede complicar la ejecución de las juntas y uniones.
- **9.** **Rara vez los tallos crecen totalmente rectos**.
- **10.** Los **permisos de construcción y los cálculos estructurales son difíciles de obtener** en Europa y EEUU, ya que todavía no existen regulaciones oficiales.

3.4. El espacio bajo cubiertas de bambú.

“Yo diseño la cubierta, y luego lo que viene debajo de ella. En países donde llueve mucho, usted tiene que construir techos con grandes voladizos, como en la arquitectura china o indonesia. Aprender acerca de la arquitectura en Indonesia fue algo radical en mi vida... Sus enormes techos de bambú están contruidos sin ningún tipo de restricción ni reserva. Influenciado por el Modulor de Le Corbusier, siempre pensé que un techo o una habitación no podía exceder de cierta altura. Pero en Indonesia, la gente pobre construye techos de 10 o 15 metros de altura con sus propias manos. Es una especie de afirmación cultural para crear algo grande, una especie de exhibicionismo sin presumir” Cita de Simón Vélez en el libro *“Grow your own house”*.

Su flexibilidad junto con su gran resistencia hacen del bambú un súper material, y son factores clave que permiten crear espacios y estructuras impensables con los materiales de construcción tradicionales. Al ser tan maleable y necesitar mano de obra relativamente poco especializada, provoca que se disparen las posibilidades, y se puedan crear espacios realmente singulares y espectaculares con muchos menos recursos y mano de obra.

La arquitectura tradicional unida con las nuevas técnicas constructivas y avances, dan lugar a numerosas formas singulares, y a espacios dinámicos adaptados a múltiples usos. Además, al ser un material que se trabaja en seco, muchas de estas construcciones espectaculares pueden ser efímeras y temporales, como la iglesia temporal de Simón Vélez en Risaralda, Colombia.

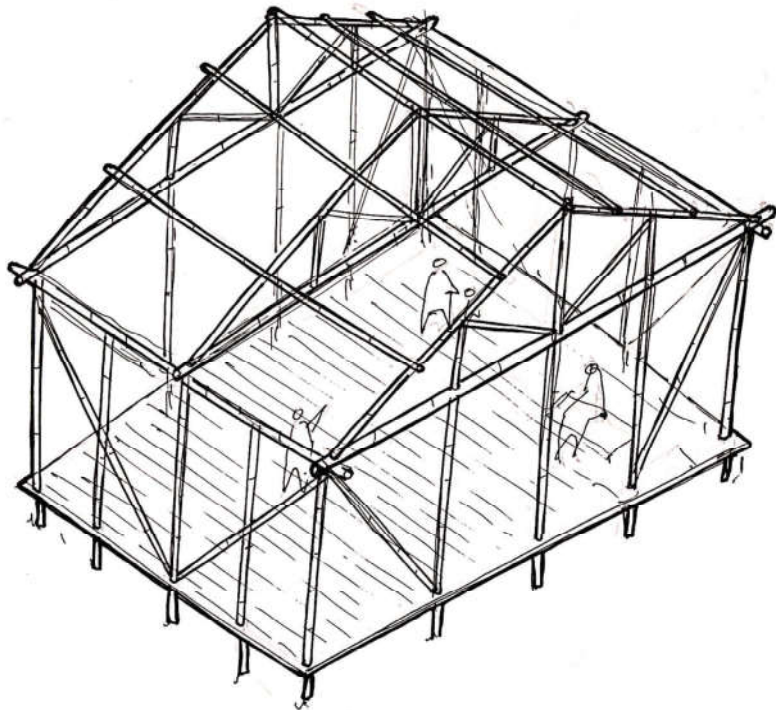


27. Iglesia temporal de Pereira
Risaralda, Colombia.
Simón Vélez 2002

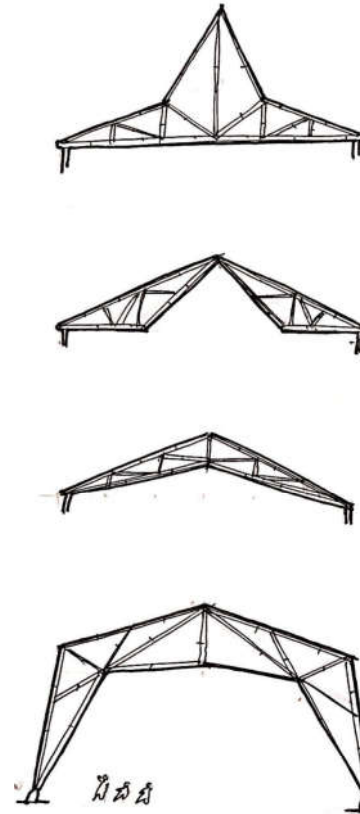
Algunas de las técnicas que permiten construir espacios de grandes luces bajo cubiertas de bambú ligeros, fáciles de transportar, y sostenibles son las siguientes:

3.4.1 Estructuras porticadas, celosías:

Es el sistema constructivo más conocido, permite crear estructuras similares a las de madera en viviendas y pequeños edificios.



28. Ejemplo de espacio bajo estructura porticada
Elaboración propia



29. Otras configuraciones posibles
Elaboración propia

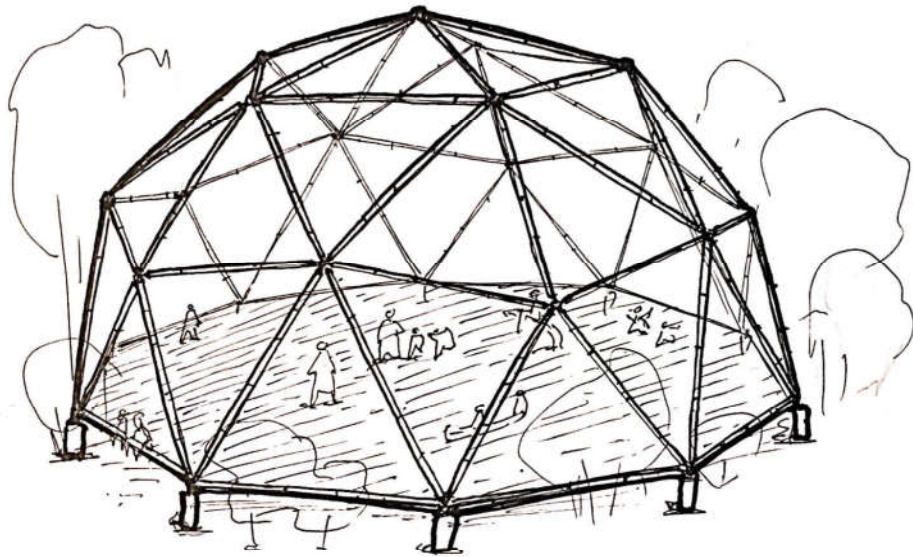


30. Sport City Oaxaca, Mexico
Rootstudio

En grandes luces presenta un gran abanico de posibilidades y de detalles constructivos. Al poseer una resistencia a tensión similar al acero, es ideal para la construcción de cerchas y estructuras trianguladas.

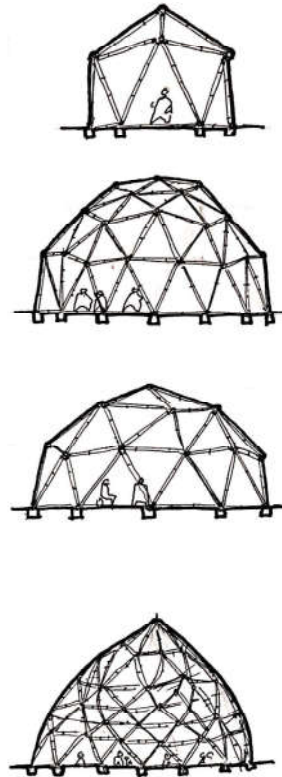
3.4.2 Cúpulas:

Es un tipo de estructura que, aunque no tiene mucho recorrido en su construcción con bambú, se está haciendo cada vez más popular. En países como México, por ejemplo, se utiliza mucho para eventos y construcciones efímeras.

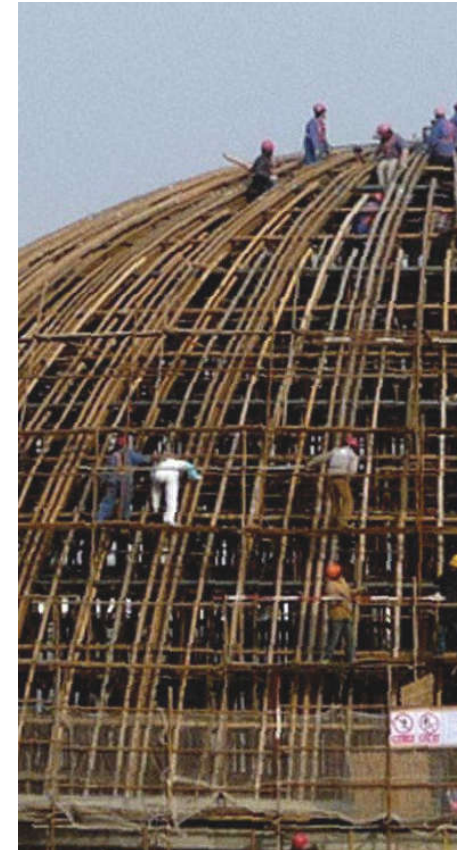


31. Ejemplo de espacio bajo domo geodésica
Elaboración propia

Al mismo tiempo, numerosos estudios están desarrollando nuevas técnicas que permiten su uso para edificios públicos con grandes luces, como pueden ser pabellones deportivos, salas de exposiciones o auditorios. Se generan espacios más ligeros y naturales.



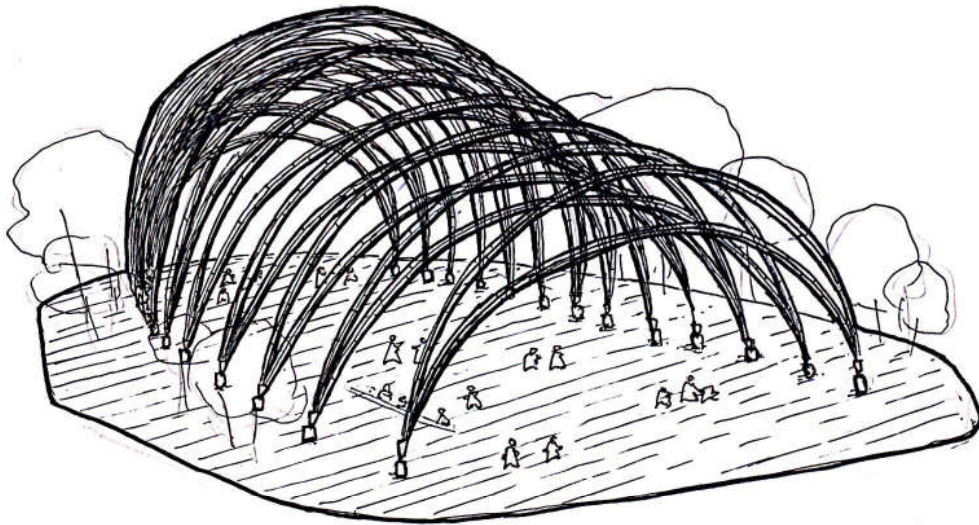
32. Otras configuraciones posibles
Elaboración propia



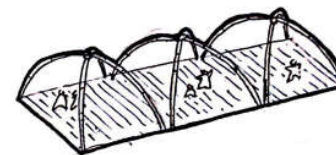
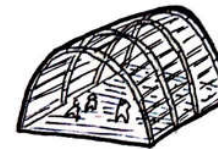
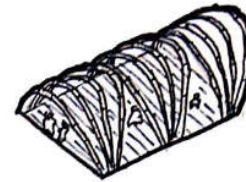
33. Pabellón de India EXPO 2010
Simón Vélez

3.4.3 Arcos:

Es muy difícil curvar las cañas gruesas de bambú para conseguir formar arcos estables. Sin embargo, mediante la unión de numerosos tallos finos, se pueden formar vigas y pilares más flexibles y maleables aptos para formar una gran variedad de arcos.



34. Ejemplo de espacio bajo arcos de bambú
Elaboración propia



35. Otras configuraciones posibles
Elaboración propia

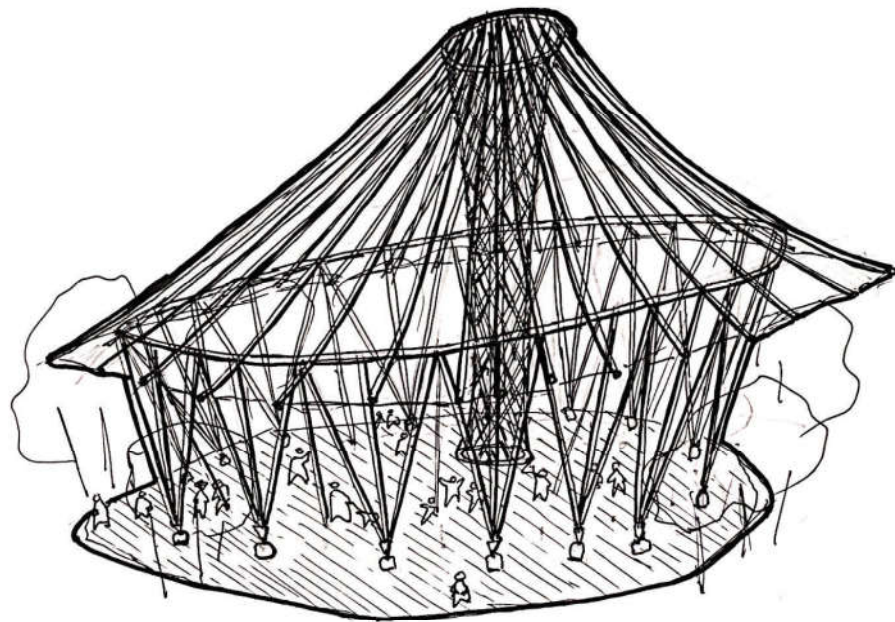


36. Naman Retreat Resort, Vietnam
Vo Trong Nghia Architects

Al igual que pasa con otros materiales, la construcción de arcos de bambú genera esfuerzos laterales. Estos esfuerzos han de compensarse mediante refuerzos a modo de contrafuertes para conseguir más estabilidad.

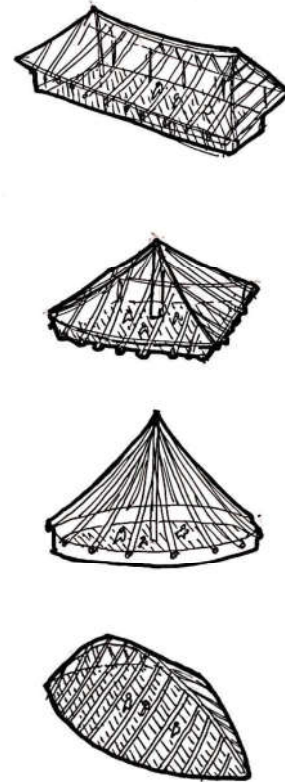
3.4.4 Cubiertas colgadas:

Existe una gran tradición en la construcción de estructuras colgadas en la arquitectura popular asiática. Se lleva siglos utilizando tanto para la construcción de viviendas, como de templos y edificios solemnes, creando espacios muy característicos.

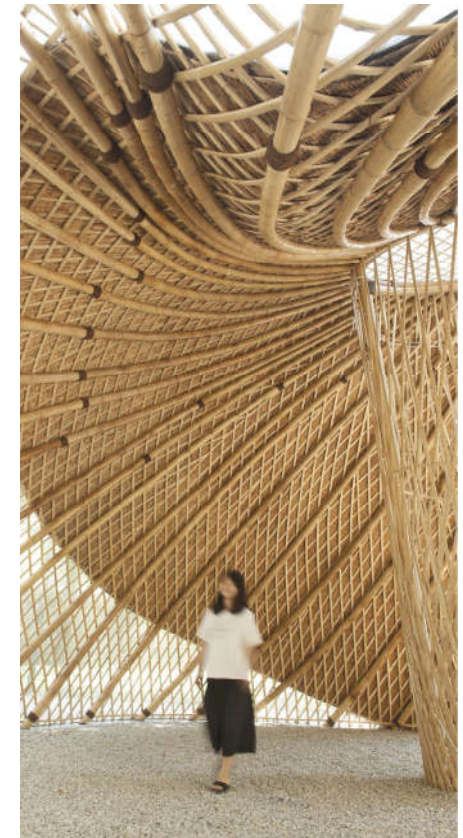


37. Ejemplo de espacio bajo estructura colgada
Elaboración propia

Las cubiertas nervadas sometidas a tensión, se apoyan sobre pilares y vigas de bambú. Gracias a su flexibilidad se crean formas curvas y orgánicas. Actualmente algunos estudios han reinventado este tipo de estructuras enriqueciendo los espacios, como por ejemplo, mediante la utilización de hiperboloides de revolución a modo de pilares centrales que actúan a su vez de lucernarios.



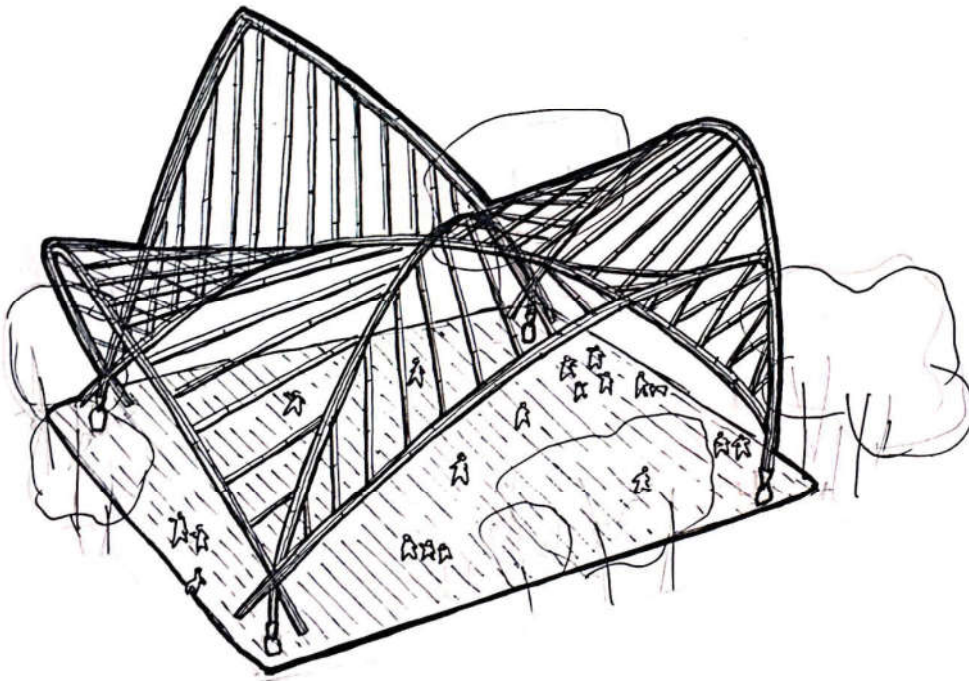
38. Otras configuraciones posibles
Elaboración propia



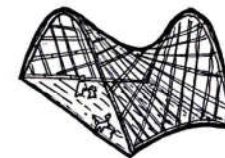
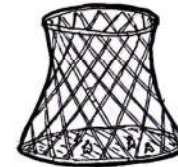
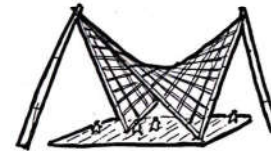
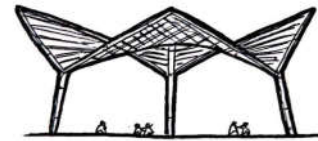
39. Bulletin Pavilion | Pekín, China
SUP Atelier

3.4.5 Paraboloides hiperbólicos:

Históricamente, la construcción de este tipo de formas algorítmicas suele conllevar complejos enconrados a tabla con marañas de armaduras embebidas en el hormigón. Se generan estructuras muy singulares, pero con costes de ejecución muy elevados.



40. Ejemplo de espacio bajo estructura hiperbólica
Elaboración propia



41. Otras configuraciones posibles
Elaboración propia



42. Pabellón Flamingo Bamboo, Vietnam
BambuBuild

La utilización del bambú dispara las posibilidades y abarata mucho los costes en este tipo de construcciones. Al ser un material ligero, flexible, resistente, y en forma de caña, es idóneo para experimentar con estas formas obteniendo unos acabados muy buenos.

4. El Bambú y la educación del futuro

4.1. Nuevos métodos de educación.

A la edad temprana de 5 años, los niños empiezan a tener opiniones propias y a cuestionarse cosas, son pequeños exploradores en aprendizaje constante, que desarrollan sus inquietudes de manera diferente y particular.

Los entornos de aprendizaje del siglo XXI deben ser lugares en los que los alumnos, en esa época tan determinante de su vida, se sientan impulsados para aprender y desarrollarse tanto dentro como fuera de la línea marcada. Durante su estancia en la escuela primaria, debe ser un momento en el que los niños sean educados y animados a curiosear y explorar, se les debe permitir que sigan sus propios pasos, y ayudarles a desarrollar su propia inteligencia y su propia personalidad.

El diseño de las escuelas primarias de hoy deben adaptarse a estas cuestiones, debe reflejar un compromiso poderoso en el cambio de paradigma de la educación primaria. Una reforma que permita a los niños relacionarse con el mundo y con el entorno de manera más fluida, que se fomente una conexión adecuada entre el alumno y el maestro, entre lo individual y lo colectivo. Es necesario proporcionar instalaciones que vinculen a los alumnos con la comunidad, y que equilibren el aprendizaje integral con el seguimiento personalizado (hecho que, según los expertos ha sido una de las mayores causas de fracaso y abandono escolar de las pasadas décadas).

Es por eso que los nuevos entornos de aprendizaje basados en enfoques de diseño innovadores, deben apoyar en impulsar este cambio.



4.1.1 Entrevista a Santiago Doubtfire Pellicer.

Para profundizar un poco más en el tema y tener una visión más global y precisa de este cambio en los sistemas educativos tradicionales, y su relación con la arquitectura verde, hemos realizado una pequeña entrevista a Santiago Doubtfire Pellicer: profesor de métodos educativos innovadores, formador de docentes en la fundación TRILEMA, cooperante en proyectos sociales en España y África, e hijo de Carmen Pellicer Iborra: presidenta de la fundación TRILEMA, pedagoga, reputada escritora, Ashoka Fellow 2016, y una de las mayores expertas en educación tanto en España como en el ámbito internacional.

- ¿Santiago, cuales crees que son las ventajas de educar en ambientes ligados al medio natural?

-Está demostrado científicamente que el aprendizaje al aire libre aporta grandes beneficios en la educación, pero lo que es más importante, mejora la felicidad de los alumnos. Por ejemplo, en los países nórdicos que cuentan con muy buenos sistemas educativos y que presentan tasas de suicidio altísimos, en los lugares alejados de las ciudades que tienen un sistema de educación en constante contacto con la naturaleza, presentan tasas mucho más bajas de suicidio en menores. El contacto con la naturaleza en edades tempranas, mejora la felicidad y la motivación de los alumnos.

Además, si se educa a los niños y niñas de manera que sientan la naturaleza como un bien propio, igual que cualquier otro objeto que aprecien, obtendremos ciudadanos mucho más concienciados con el medio.

Es importante al mismo tiempo, que, en momentos los que existe un gran problema de obesidad y sedentarismo en las sociedades occidentales, se les inculque a los alumnos en el trabajo con la naturaleza, no a costa de ella. En edades tempranas es muy importante que se les incite a explorar el mundo, a curiosear, a correr, a jugar.. Y no hay mejor entorno para ello el natural.

- ¿Que opinas de los espacios abiertos y polivalentes en los centros educativos más innovadores?

-Las aulas diáfanas permiten dar otro enfoque a la educación. Vivimos en una sociedad en constante relación y segmentación entre edades, grupos.. En el sistema educativo español tenemos un problema que resuelven mucho mejor que nosotros algunos países vecinos, y es el que solo haya un profesor en cada aula.

Este problema se debe en parte al tamaño y las configuraciones de las aulas. Al tener espacios de trabajo amplios donde quepan más alumnos y más profesores, podemos crear ritmos de aprendizaje distintos. A pesar de lo que piensa gran parte de la gente de este país, no todos los alumnos aprenden al mismo ritmo.

En definitiva, al tener aulas grandes y diáfanas, tenemos más alumnos en cada clase, con más profesores, con educación más personalizada e individualizada, con más recursos a disposición de los alumnos. De esta manera que cada alumno, desde muy pequeño, empieza a descubrir su propio camino explotando su potencial y su personalidad.

Este nuevo enfoque representa un movimiento global que cada vez está más desarrollado y extendido.

- ¿Que es para ti, y que representa la educación holística?

-Pues siguiendo un poco con el tema de las aulas diáfanas, ya que van en esta línea. El movimiento holístico es una corriente que tiene en cuenta todos los factores en los que educamos a los alumnos.

Es decir, se basa en el principio de que no solo estamos formando alumnos, sino que formamos a personas para que tengan conciencia del medio que les rodea y para que sepan trabajar en equipo. La educación holística trata de conseguir un enfoque transversal en el que el estudiante no solo aprenda el contenido de cada asignatura, sino que lo relacione con lo vivido, con la naturaleza, y con el entorno próximo, de que sea capaz de aplicar las enseñanzas de una materia en otras, de manera que entiendan la verdadera utilidad en la vida diaria de lo que están aprendiendo.

Se les trata animarles a que sean críticos y piensen por ellos mismos, que conozcan el valor del trabajo, y del respeto.

Un ejemplo de esta metodología es el aprendizaje basado en proyectos. Consiste en aplicar lo que se imparte en las clases, a pequeños proyectos de micro-emprendimiento.

Se trata de cambiar la mentalidad de que la escuela es solo un lugar para aprender contenido y pasar de curso en curso. Se trata de, como he dicho, entender que lo que aprendo es útil en la vida real y que se puede cambiar el mundo a través de trabajo y el aprendizaje. Se trata de conseguir educar a gente responsable y de mente abierta, con la confianza y las herramientas para generar cambios en la sociedad.

La educación holística mediante aulas diáfanas y espacios grandes y abiertos a el exterior, trata de conectar a los alumnos con el entorno, las familias, y la sociedad, para que puedan así entender, sentir y empatizar con el mundo real.

4.2. Requisitos espaciales.

Las nuevas escuelas deben basar su diseño en una comprensión e investigación de como aprenden los niños.

Se debe configurar una comunidad específica de enseñanza a través del diseño y de la arquitectura. Muchos centros educativos en todo el mundo ya están empezando a experimentar con métodos pedagógicos alternativos para organizar los espacios y las instalaciones para mejorar el aprendizaje.

Las características espaciales que definen y que aplican estas escuelas innovadoras holísticas, y que permiten la conexión entre la enseñanza y la arquitectura son fundamentalmente las siguientes:

- **1. “Open Studio Learning”**: combinación dentro de la escuela, de diferentes espacios de aprendizaje, cerrados, semicerrados y de planta abierta. Se pretende potenciar la estimulación visual a través de vistas largas. Esta mezcla de espacios cerrados y abiertos permite una mayor flexibilidad para las diferentes formas de enseñanza.
- **2.** Otra de las técnicas que favorecen la flexibilidad del espacio y la estimulación visual a través de la arquitectura, es la utilización de **formas imaginativas** en los edificios con motivos orgánicos y dinámicos.

- **3. Lugares de aprendizaje especializado:** Una de las principales causas de abandono escolar, es que la educación no está lo suficientemente individualizada, y muchas de las inquietudes, motivaciones (que no tienen porque ser las mismas que el resto), quedan obviadas generando falta de integración o de comprensión y frustración. Es importante generar espacios especializados que permitan a cada estudiante encontrar su área de interés, en los que puedan reflexionar, inventar y sentirse a gusto, y que al mismo tiempo estén al alcance de todos, de forma que lo individual y lo colectivo se toquen de una manera dinámica y natural. **Espacios de ruptura** y que apoyen el aprendizaje en proyectos para conectar a los alumnos con el mundo, y permitan desarrollarse libremente.



44. Centro de Educación Ecológica para Niños
Koh Kood, Tailandia, 24H > architecture

- **4. Espacios multifuncionales:** Además de los espacios de aprendizaje especializados, existe la necesidad de zonas de reunión para grupos que sean **flexibles** y que permitan y favorezcan muchos tipos de configuraciones diferentes, esta flexibilidad se puede conseguir aplicando en conjunto diferentes estrategias como:
 - **Elementos móviles:** se pueden utilizar este tipo de sistemas para adaptarse a diferentes escenarios de aprendizaje a lo largo del año, o incluso en diferentes momentos del día.
 - Las partes móviles han de ser **fácilmente configurables**, de manera que los niños y los profesores participen en cambiar el entorno del aula para adaptarlo a diferentes escenarios.
 - Los espacios flexibles han de diseñarse con para obtener un **equilibrio** entre el diseño para el propósito principal, y la flexibilidad total, pensando también en la evolución que este pueda tener con el paso del tiempo.
 - Durante la proyección de un centro escolar flexible, el diseño de la **acústica, de la iluminación**, y de la una estructura que se adapte de las necesidades, es fundamental.



45. Pabellón deportivo de bambú
Payaden International School
Chiang Mai, Tailandia
Chiangmai Life Architects 2017

4.3. Innovación desde la sostenibilidad.

-4.3.1 Las escuelas verdes:

A lo largo de los últimos años, y siguiendo la estela de la revolución en la manera de entender la educación, se ha ido instaurando una nueva tipología de centros de educación primaria y secundaria: Las denominadas “Escuelas Verdes”.

Estas escuelas se fundamentan en los principios del ecologismo, y presentan una serie de características comunes:



46. Aula en Inle Heritage Private School
Inle Lake, Shan State, Myanmar

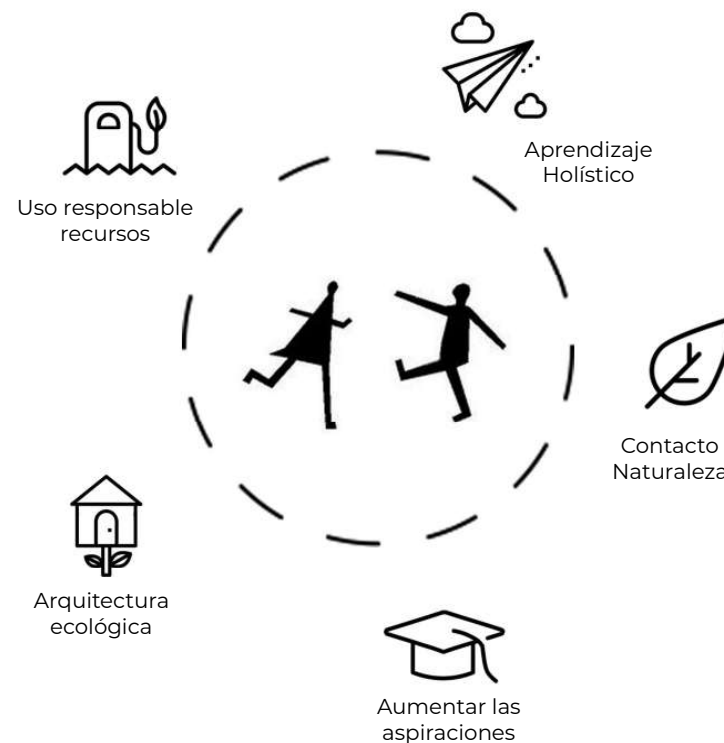
- **1.** Se mantienen firmes en la creencia de que los niños necesitan estar en **contacto directo con su entorno natural** para crecer como seres humanos equilibrados conscientes de lo que les rodea. Se pretende educar así en estos valores con el fin de formar a ciudadanos responsables.
- **2. Se vincula el diseño y la arquitectura ecológica, al aprendizaje.** Los alumnos deben ser capaces de entender su lugar dentro del entorno local y la sociedad: tanto construido como natural, proporcionándoles una base de conocimiento a partir de la cual los alumnos pueden mirar más lejos.
- **3.** Se intenta que los niños adquieran y desarrollen conocimientos constructivos de las instalaciones y sistemas energéticos del mismo edificio escolar, lo que les permite **hacer un uso más responsable de los recursos.**
- **4.** Hacer que el diseño sostenible de la escuela y el paisaje exterior sean parte de círculo escolar y del día a día a día del centro, contribuyendo a proporcionar a los alumnos una **experiencia de aprendizaje holística** (el objetivo de este sistema innovador, es el de alentar a los niños para que tengan más confianza en si mismos, fortaleciendo así su personalidad, identidad e independencia, y el emprendimiento en el entorno más próximo).
- **5.** La creencia de que al contribuir conscientemente a un futuro sostenible y en comunidad, se **aumentan las aspiraciones de los alumnos** para mejorar el mundo.

Aunque es una corriente extendida y conocida en muchas partes del mundo, es en Asia donde se encuentran algunas de las más innovadoras. Curiosamente muchas de estas escuelas aprovechan el potencial del bambú para crear espacios y estancias que favorecen este cambio de mentalidad en la educación.

Se podría decir que las escuelas verdes tratan de utilizar el diseño ambientalmente sensible, y las posibilidades espaciales de construir con bambú y otros materiales naturales, como vehículo para fomentar las bases esta filosofía y de conectar a los alumnos con el entorno.

El auge de este tipo de centros educativos innovadores en Asia es tal, que durante los últimos años ha atraído la atención de muchos ciudadanos europeos y americanos que buscan para sus hijos un tipo de educación alternativo, y que incluso se mudan a estos países con este fin. Este hecho es obviamente una buena noticia para estas regiones, pues atrae la riqueza de gente con muchos más recursos.

Es por eso que, para seguir colaborando al desarrollo de estas zonas, mantener el mismo nivel de educación, y poder proporcionar acceso a esta, tanto a las familias occidentales, como a la poblaciones locales más humildes, muchas de estas escuelas se han convertido en instituciones privadas y de pago, pero con amplio sistema de becas para familias de la zona. Este sistema se implementa de tal manera que, en cada promoción siempre hay un cupo máximo de alumnos extranjeros admitidos, de manera que el resto de plazas se reservan para alumnos de la zona.



47. Esquema resumen de las escuelas verdes
Elaboración propia

4.4. Análisis de proyectos de referencia.

Existen escuelas verdes por todo el mundo, muchas de ellas construidas también con bambú como medio para conectar con los alumnos y con la naturaleza. Analizaremos cuatro ejemplos de las más singulares, publicadas e icónicas tanto a nivel de arquitectura, innovación, filosofía, y calidad de su enseñanza.

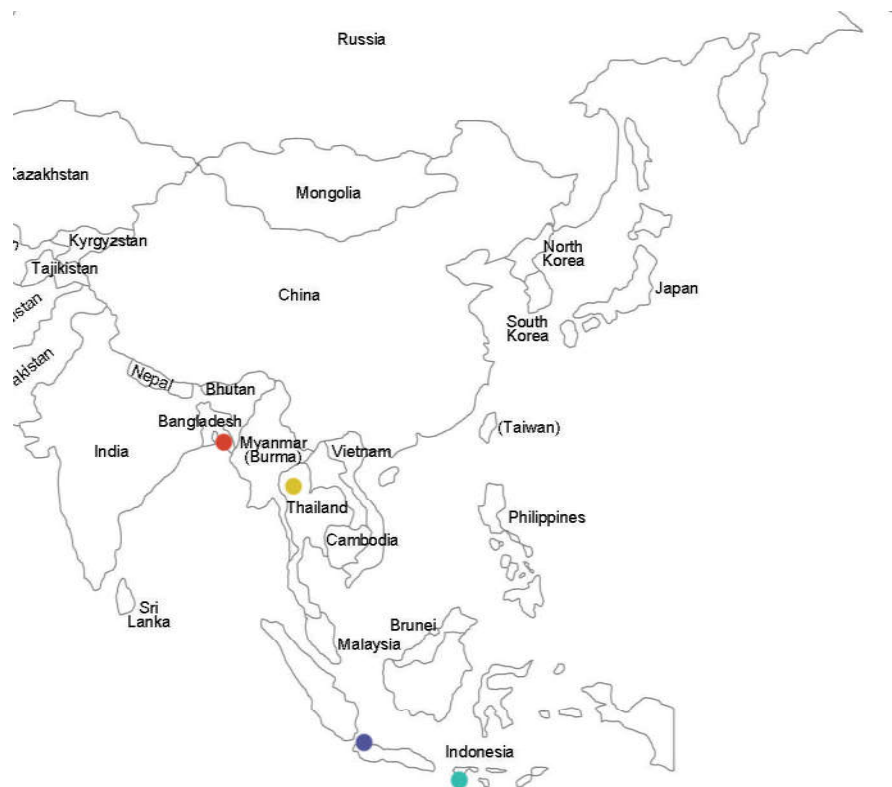


Figura 48.

Escuela Panyaden.

Localización: **Chiang Mai, Tailandia.**

Arquitectos: **24H > architecture.**

Año de finalización: **2010.**

Superficie: **5.000 m2**

La escuela Payaden se encuentra en un entorno de selva, árboles frutales y campos de arroz, en medio de las montañas más altas de Tailandia, al norte del país. Es un centro educativo innovador de educación primaria y secundaria con enfoque budista y abierto a alumnos de diferentes nacionalidades.

El principal objetivo por el que se construyó, es el de proporcionar a los niños de la zona una educación que integre los principios de la filosofía budista, con una conciencia ecológica y holística. De forma que se les anime a los alumnos desde muy pequeños a pensar por sí mismos.

El diseño de la escuela parte de la premisa de conseguir trasladar formas y elementos de la naturaleza a los edificios. Se quiso conseguir que parecieran hojas secas apoyadas en el terreno.

La organización en planta de la escuela también se pensó siguiendo elementos de la naturaleza, se configura de manera informal, a través de pabellones conectados en torno a ejes centrales, estos ejes presentan la misma forma que los helechos tropicales, creciendo y expandiéndose de manera orgánica.



Figura 49



50. Sala de meditación



51. Interior de sala de descanso



52. Vista aérea de la escuela



53. Exterior pabellón

La escuela presentaba en su origen dos tipos principales de edificaciones: un tipo de pabellones para aulas, y otro de espacios polivalentes y para reuniones, (actualmente también hay un gran pabellón deportivo, foto en la página 30).

Los pabellones de las clases se componen de techos de bambú posados sobre muros de tierra apisonada (adobe), que dividen cada edificio en tres aulas con aseos, armarios para el almacenaje, y pequeñas cuevas. Aunque se traten se espacios cerrados, se crean lugares singulares, dinámicos, y con una muy buena ventilación.

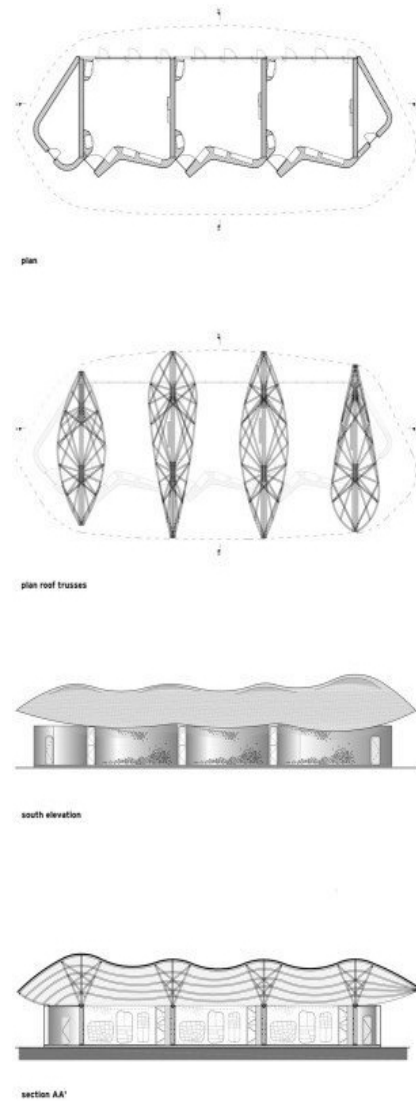
La estructura de bambú de la cubierta, podríamos decir que se trata de una mezcla entre estructura porticada y colgada. Se encuentra modulada en tres franjas de dos pilares embebidos en el interior de los muros de separación entre las aulas.

Estas franjas de pilares, funcionan como una especie de cerchas de las que cuelgan el resto de la cubierta. Están nervadas y unidas entre si mediante bambúes de gran canto y diferentes longitudes, generando ondulaciones y una apariencia ligera y orgánica.

Las cubiertas de las aulas crean voladizos a lo largo de todo el perímetro del edificio. Estos se refuerzan mediante zunchos y pequeños pilares, creando espacios exteriores de sombra.



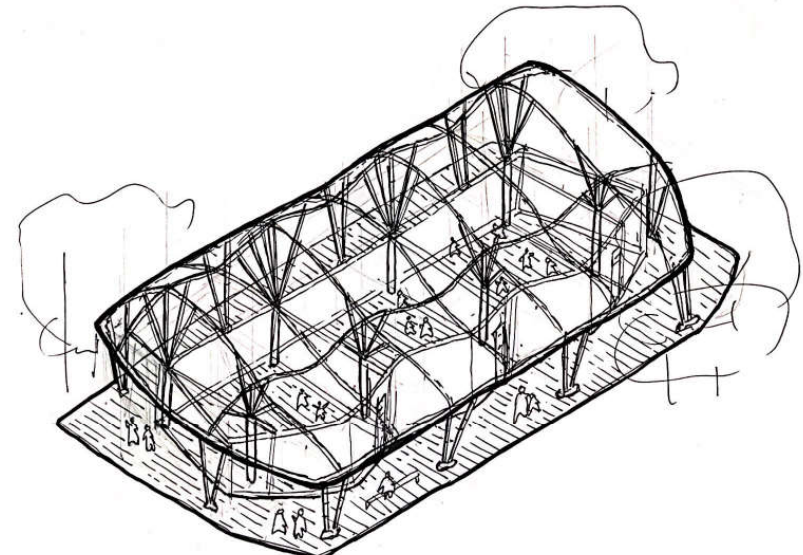
54. Interior de aula



55. Planos de las aulas



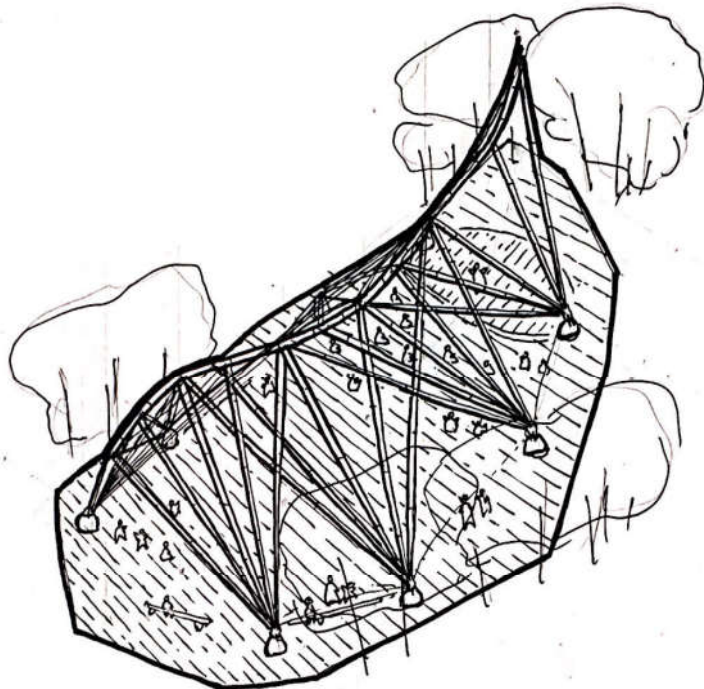
56. Vista exterior de una de las aulas



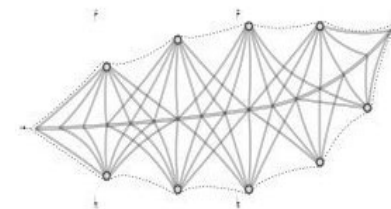
57. Axonometría de las aulas polivalentes
Elaboración propia

En el interior de las salas polivalentes, las grandes columnas de bambú se empotran en bases de piedra que actúan a modo de zapatas.

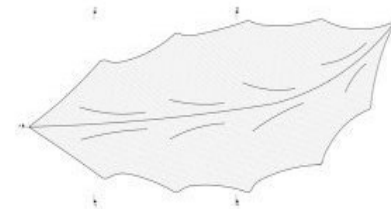
Estas columnas se encuentran apoyadas y entrelazada entre si sobre una larga espina de bambú, que se retuerce formando ondulaciones tanto a lo largo del eje vertical como del horizontal, soportan así la cubierta. La estructura se levanta sobre una solera de adobe y una tarima de madera a modo de escenario.



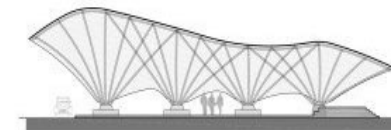
58 Axonometría de los pabellones polivalentes
Elaboración propia



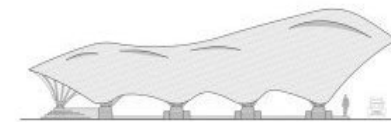
plan structure



plan roof



section AA'



east elevation

59. Planos de los pabellones

La idea de generar este tipo de espacios con una configuración de columnas con nervios oblicuos, es la de crear un entorno majestuoso, como un templo, que transmita la sensación de estar caminando en medio de un bosque de bambú.

Esta disposición facilita la creación de espacios abiertos y diáfanos sin columnas intermedias, conteniendo luces de hasta siete metros.

El techo revestido de teja plana, también de bambú, presenta diferentes formas paraboloideas y orgánicas, que hacen que el espacio fluya hacia el exterior, de manera que entra en consonancia con las montañas de los alrededores.

El espacio polivalente que se genera, se utiliza para todo tipo de funciones, desde clases al aire libre, hasta conferencias, talleres de meditación y yoga...

Escuela METI.

Localización: **Rudrapur, Dinajpur district, Bangladesh.**

Arquitectos: **Anna Heringer & Eike Roswag.**

Año de finalización: **2007.**

Superficie: **325 m2**

La región de Rudrapur se encuentra al norte de uno de los países más densamente poblados del planeta, Bangladesh. La pobreza de las zonas rurales y la falta de infraestructuras, llevan a muchas personas a emigrar del campo a las ciudades.

Es por eso que una ONG local llamada Dipshikha, mediante la construcción y puesta en marcha de la escuela METI y otras escuelas, (que forman parte de un plan mucho mayor que pretende fortalecer la zona y reducir la emigración), está intentando emprender nuevos caminos para el desarrollo de la región, potenciando uno de los pilares básicos para el crecimiento: la educación.

La idea es proporcionar a la población rural acceso libre gratuito a un buen sistema de educación holístico. Se anima a los alumnos de hasta 14 años a convertirse en personas motivadas y creativas, capaces de utilizar sus habilidades para mejorar su entorno rural más próximo. La arquitectura y el diseño, suponen también un medio para conseguirlo.

El edificio de la escuela METI ha sido premiado y publicado por todo el mundo como una gran ejemplo de innovación, y de buena arquitectura aprovechando los recursos locales.



Figura 60



61. Vista frontal de la escuela



64. Aula diáfana superior



62. Corredor del piso superior

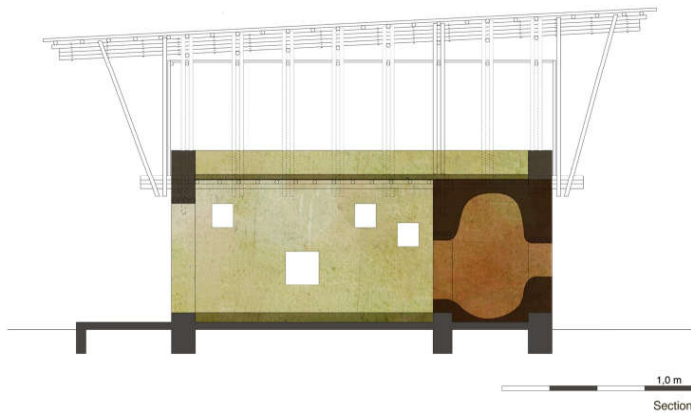


63. Cueva en planta baja

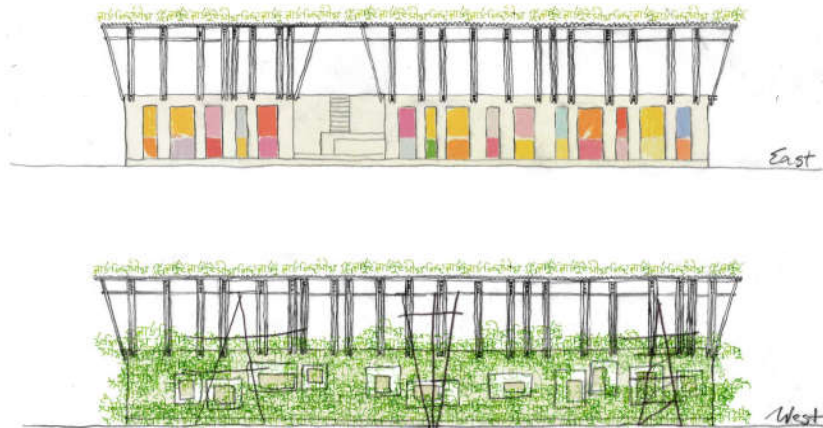
Durante diseño y el proceso constructivo de la escuela METI, se intentan crear espacios colectivos hermosos, significativos y humanos para el aprendizaje, que enriquezcan las vidas de los niños a los que sirve, en una región donde la depresión es otro gran problema.

La distribución interior de la escuela ofrece una alternativa al enfoque tradicional de las lecciones, alejado de las clases en filas con el profesor delante, y propiciando disposiciones más abiertas en las que el alumno participe, y tenga una implicación mucho mayor en las lecciones.

La construcción se realizó mano artesanalmente pero de manera innovadora y creativa utilizando tierra y bambú como materiales principales, con el objeto de servir de ejemplo para otros futuros desarrollos de la zona.



65. Sección transversal



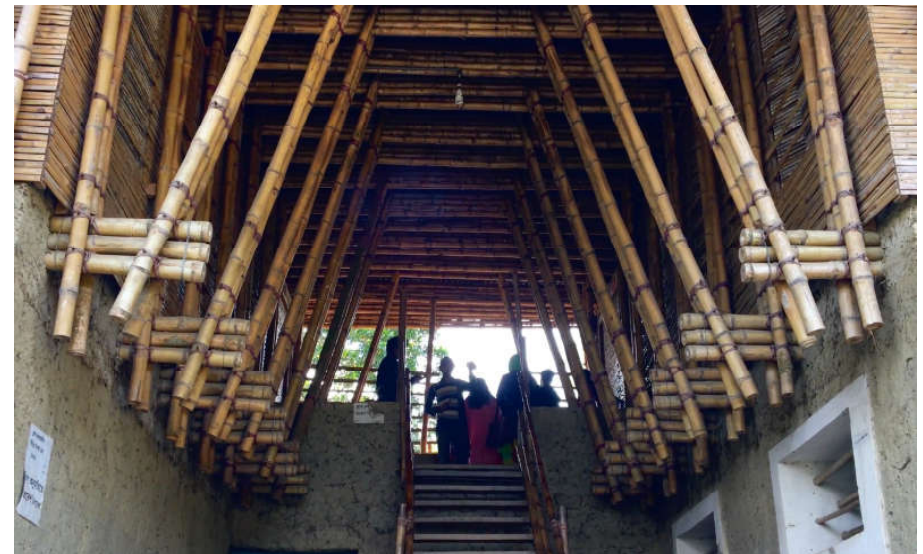
66. Alzados este y oeste

La planta baja está formada por gruesas paredes de tierra y vigas de triple caña de bambú. Contiene 3 aulas separadas entre sí, y un sistema de cuevas con formas orgánicas en la parte trasera.

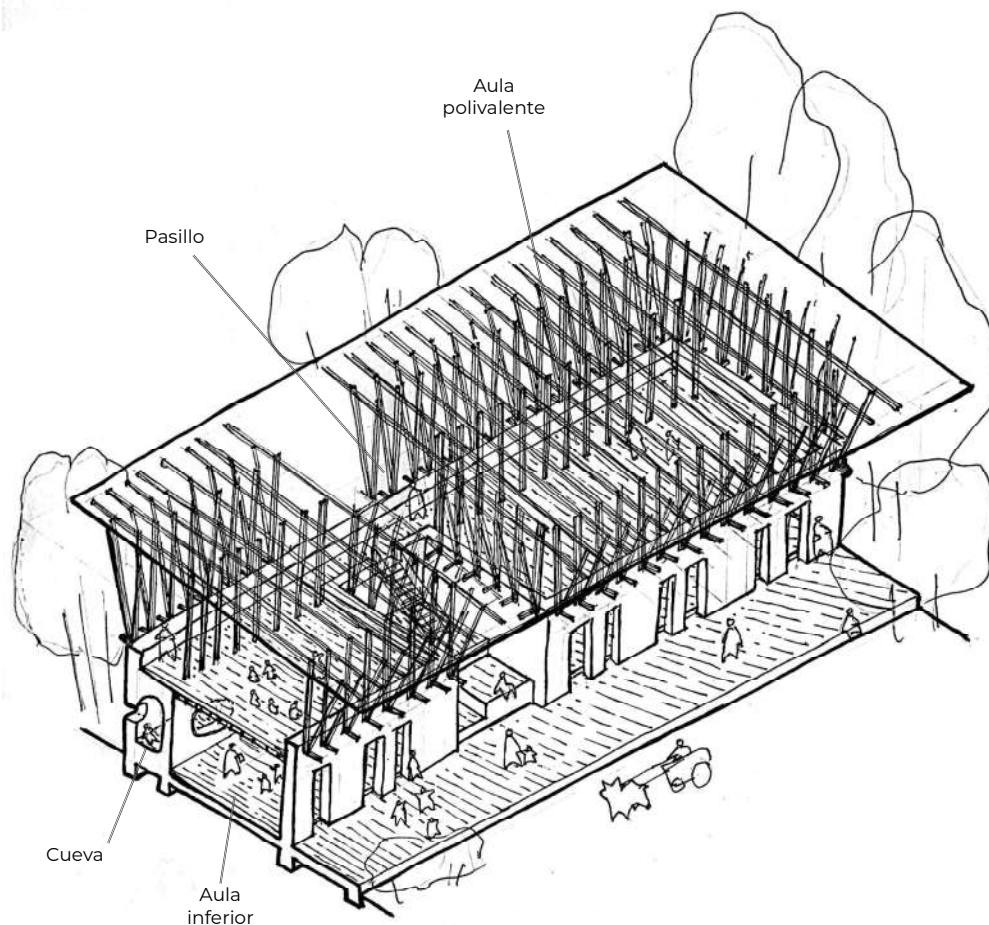
Las cuevas son espacios muy singulares diseñados para acurrucarse, explorar, interactuar solo o en grupo, para jugar y usarlas cada alumno como prefiera.



67. Jardín exterior



68. Estructura de bambú



69. Axonometría con sección de la escuela
Elaboración propia

Por el contrario, la planta superior es ligera y abierta, los huecos en las paredes de bambú otorgan vistas panorámicas en todas las direcciones, desde las copas de los árboles hasta estanque del pueblo.

Su amplio interior proporciona un gran espacio polivalente que invita al movimiento. El ritmo de luces y sombras que crea la fachada de bambú, juega a través del suelo de tierra, y produciendo un interesante efecto que contrasta con los “sarís” del techo.

La estructura de la cubierta de la planta superior presenta un sistema porticado formado por marcos de pilares dobles de bambú, vigas de cuatro capas, y viguetas simples que soportan el techo de chapa metálica corrugada. Los miembros de bambú son de pequeño canto debido a que se trata de una especie local, se encuentran unidos entre sí mediante cuerdas y anclajes.

Los pilares dobles de bambú se anclan perimetralmente a las vigas de triple caña del forjado inferior. Las vigas sobresalen a lo largo de toda la fachada, están dispuestos en ángulo recto con respecto al edificio, y cuentan con otro pilar intermedio a modo de refuerzo que marca la separación entre el pasillo lateral y las aulas polivalentes. Los pilares laterales están arriostrados a su vez mediante nervios de doble caña que conectan de forma oblicua con las vigas del techo rigidizando la estructura, formando triangulaciones.

Gracias a esta configuración estructural, se salvan luces de hasta siete metros en dirección de las vigas, y se posibilita la creación de estos espacios singulares y de altos techos para el aprendizaje y el juego.

The Green School | Bali.

Localización: **Badung, Mengwi, Bali, Indonesia**

Arquitectos: **IBUKU.**

Año de finalización: **2007.**

Superficie: **7542 m2**

La “Green School”, es una escuela verde de educación primaria y secundaria con un gran campus situado ambos lados del río Ayun, en la parte sur de la isla de Bali, en Indonesia. Está construida en medio de una exuberante selva que crece junto a diferentes jardines ecológicos que hay en sus alrededores.

Nace del sueño de los diseñadores y ecologistas canadienses John y Cyntia Hardy. Fundaron diferentes proyectos enfocados sobre todo a la construcción con bambú como medio para combatir la deforestación de las selvas tropicales que tanto afecta a Indonesia. También son grandes impulsores de educación basada en el ecologismo. En 2007 abrieron la “Green School”, y desde entonces se ha convertido en un referente mundial tanto por el uso del bambú, como por sus métodos educativos innovadores.

En la escuela, se ha creado una comunidad verde basada en el aprendizaje holístico por medio de la arquitectura, y de sistemas educativos novedosos. Se busca en todo momento inspirar a los estudiantes a ser más curiosos y comprometidos con el medio ambiente.

El campus está alimentado íntegramente por fuentes de energía alternativas, como calentadores que funcionan con el serrín del bambú, paneles solares, y un molino hidráulico.



Figura 70

Los edificios del complejo se encuentran íntegramente contruidos con bambú como principal material de construcción. Este bambú se cultiva localmente y se utiliza de manera innovadora en el centro, como si se tratase de un laboratorio. De manera que la escuela se encuentra en constante crecimiento.

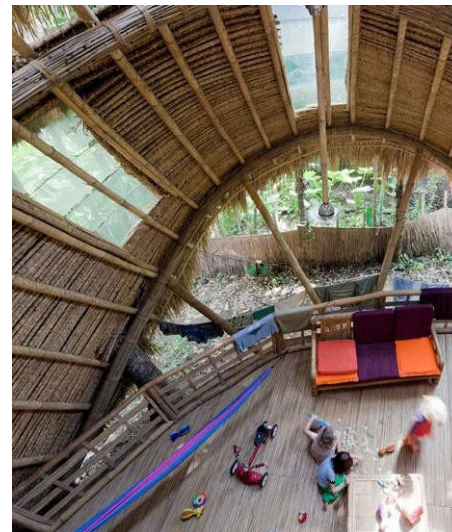
En los edificios de la escuela se experimenta con las formas, (como los tres caracoles unidos que dibuja la planta del edificio principal), y las diferentes posibilidades arquitectónicas del bambú, obteniendo una gran variedad de espacios significativos y singulares: desde grandes lugares de reunión comunales de varios pisos, aulas mucho más pequeñas y privadas, puentes de bambú, pabellones, invernaderos..., entre otros muchos usos. El diseño está pensado además para favorecer la ventilación natural, y favorecer la entrada de la máxima luz solar.



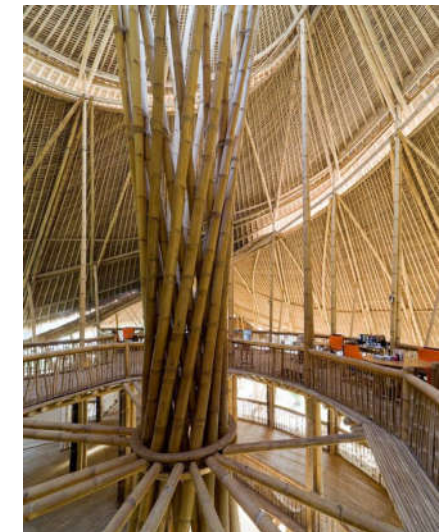
71. Vista aérea del campus



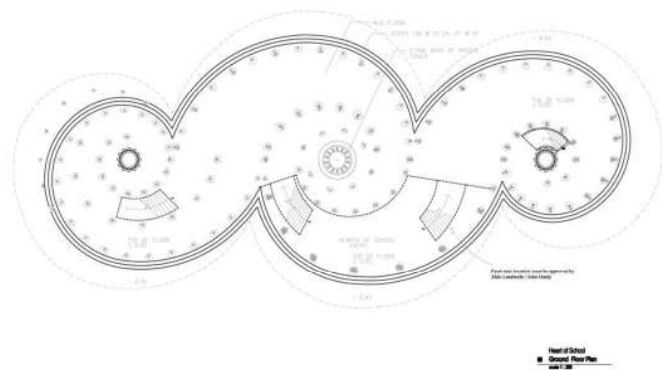
72. Vista exterior del edificio principal



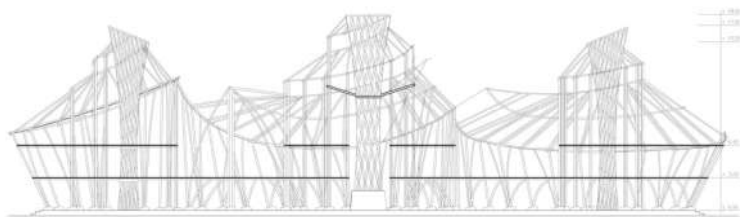
73. Espacio polivalente



74. Pilar | lucernario de bambú



75. Planta del edificio principal de la escuela



76. Sección del edificio principal



77. Vista interior del aula

Los edificios se apoyan en torno a una torre central. No contienen muros exteriores, sino umbrales que separan el interior del exterior y que conectan con el entorno natural.

La configuración de las pequeñas aulas alrededor de estos pilares, crea espacios de fantasía para los estudiantes, de manera que estos no se sientan en filas al rededor del profesor, sino que utilizan el espacio de manera mas libre y creativa.



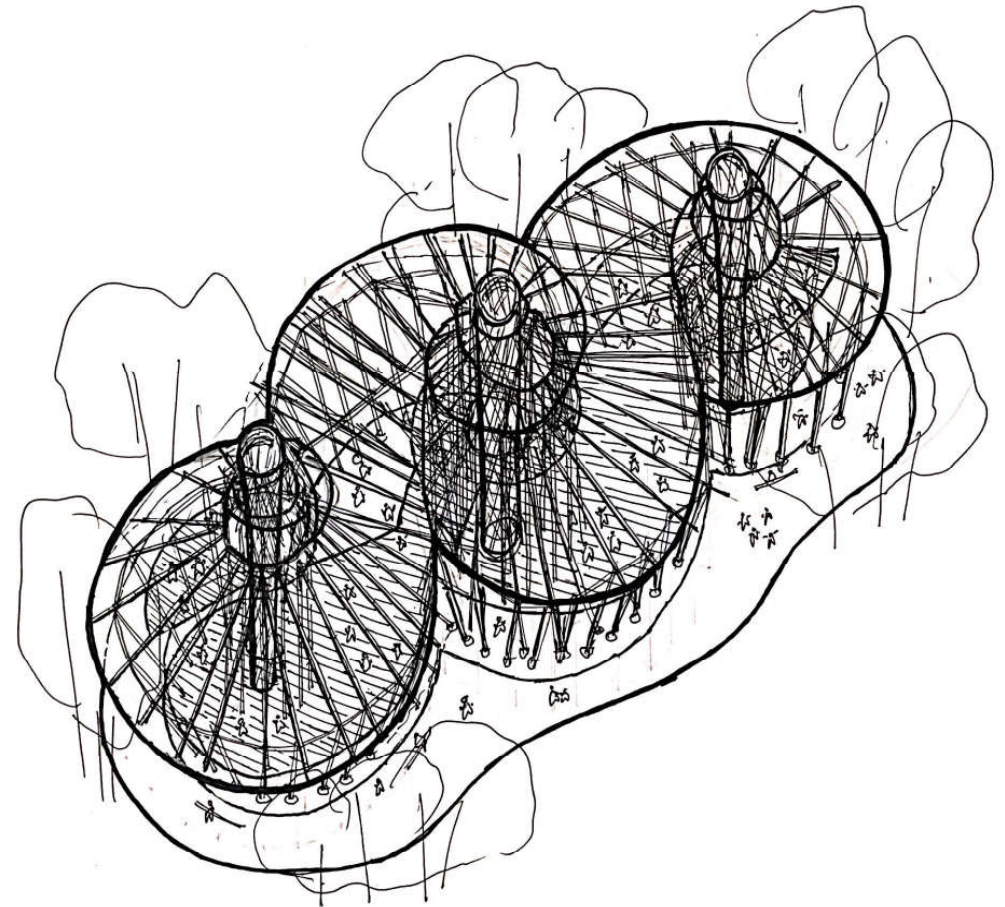
78. Clase al aire libre

El edificio principal de la escuela llamado Heart of School (corazón de la escuela), es una de las construcciones más grandes del mundo hechas con bambú como material principal. La forma del edificio está ideada para que parezcan una unión de varias espirales entrelazadas y conectadas tangencialmente, formando una especie de doble infinito.

La estructura de las grandes cubiertas debajo de las cuales se desarrollan las actividades educativas, es fundamentalmente colgada. Tres grandes torres en forma de hiperboloides de revolución, que a su vez actúan a modo de lucernarios y de chimenea para las cocinas, soportan las cubiertas de bambú y nipa (tipo de palma fibrosa muy utilizado en Asia para los revestimientos de paredes y techos). Las cubiertas cuelgan orgánicamente formando elipses de diferentes alturas con huecos entre ellas por donde entra también la luz, y el aire fresco.

El perímetro de la escuela se encuentra rodeado por gruesos miembros de bambú reforzados a modo de pilares. Se configuran como si fueran radios de una bicicleta que rodean las torres. Soportan gran parte del peso de la estructura.

El edificio se divide en tres estancias circulares alrededor estos pilares y tres pisos de diferentes superficies. Esta distribución crea juegos de dobles alturas y balcones, que dotan al recinto de una gran riqueza espacial y de una atmósfera de templo o de lugar de culto. Las estancias de las plantas superiores tienen un uso a modo de aulas abiertas y rincones para el estudio, mientras que la planta baja completamente diáfana y conectada con el exterior, se utiliza para conferencias, eventos, reuniones...



79. Axonometría del edificio principal
Elaboración propia

Escuela de Alpha y Omega.

Localización: **Tangerang, Kosambi, Banten, Indonesia**

Arquitectos: **RAW Architecture.**

Año de finalización: **2017.**

Superficie: **3000 m2**

La escuela Alpha y Omega es un centro educativo ubicado en una pequeña población de los suburbios de Yacarta, en la parte más occidental de la isla de Java, en Indonesia. Se encuentra edificada sobre unos terrenos pantanosos que previamente fueron arrozales. Es por esa inestabilidad que presenta el terreno, por lo que se tuvo que construir elevando el edificio hasta 2,1 metros sobre el nivel del suelo ,planteando la totalidad de la escuela sobre forjados sanitarios y pasarelas de bambú.

El lugar fue elegido expresamente como parte de la filosofía y del diseño de escuela verde. Se adapta a su entorno natural con la finalidad de proporcionar a los niños y niñas tanto de Indonesia como de otros países (está abierta a alumnos de todo el mundo), una sensación de contacto con la naturaleza, involucrando y fomentando la experiencia del aprendizaje al aire libre.

Durante la construcción de la escuela, se aprovechó al máximo las características y los recursos naturales de la zona, y se impulsó la artesanía local. Se utilizaron materiales orgánicos naturales como el bambú en acabados y estructura, mampostería para muros, y hormigón para las cimentaciones elevadas sobre el terreno, entre otros.

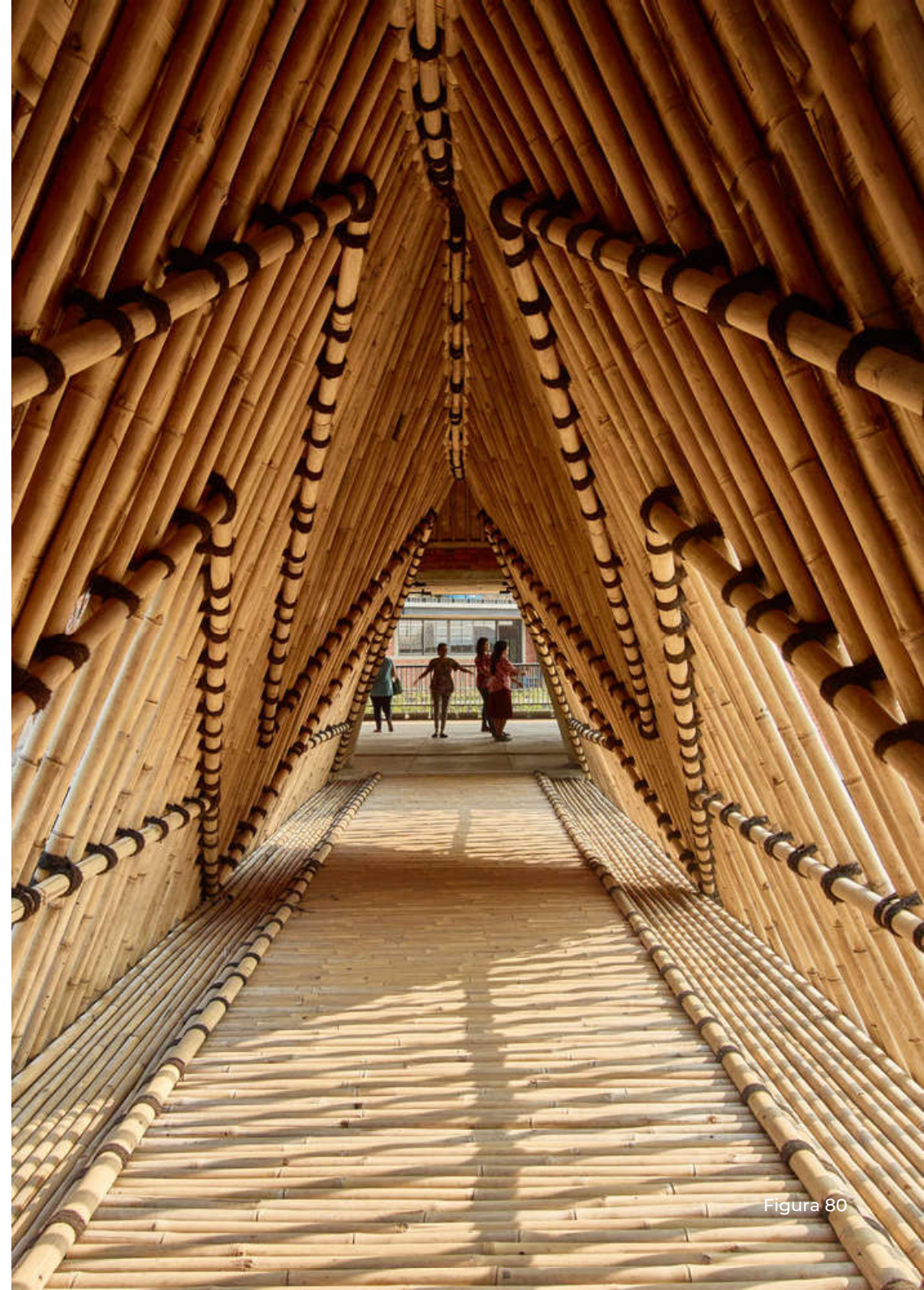


Figura 80



81. Perspectiva exterior de las pasarelas y la entrada

La escuela está diseñada como un edificio de enfriamiento pasivo, es decir, está minuciosamente planeada para favorecer la ventilación cruzada natural en cada uno de sus elementos. Desde el techo abierto de las cubiertas a los ladrillos porosos de las fachadas. De manera que el flujo de aire interior circula libremente sin necesidad de aire acondicionado. La materialidad y orientación de los edificios del centro favorece también que se trate de un ejemplo de escuela térmicamente muy eficiente.

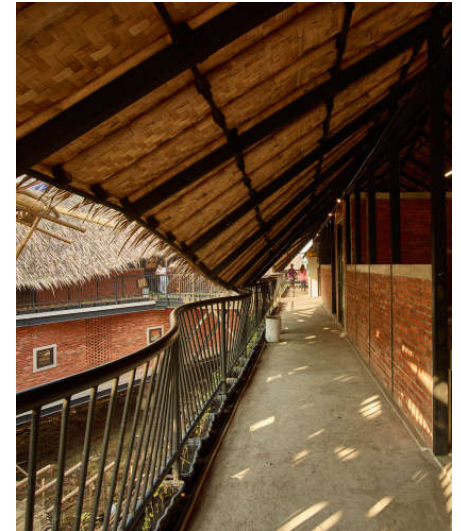
La totalidad de los módulos de la estructura, tanto de los edificios, como de las pasarelas son prefabricados en talleres de artesanos locales, y montados in-situ en la obra, lo que facilitó que se completara el proceso de construcción en tiempo récord ahorrando además en recursos económicos y en mano de obra.



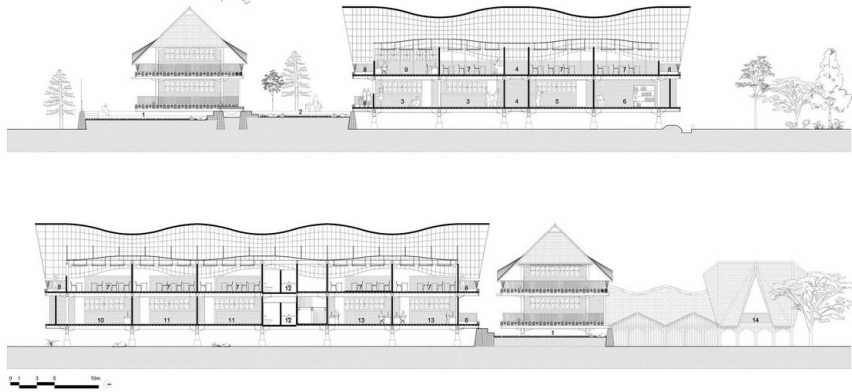
82. Exterior de los edificios de la escuela



83. Interior de las aulas



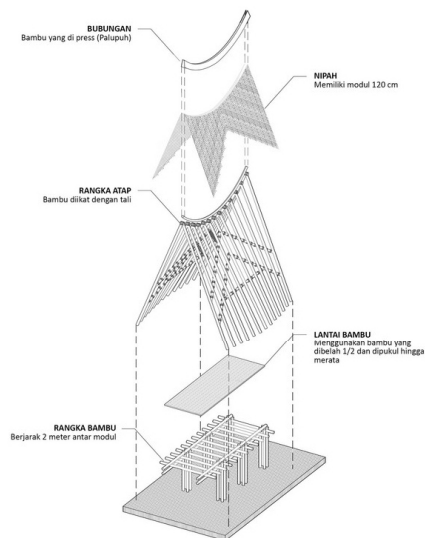
84. Pasillo exterior



85. Secciones principales

En la escuela existen dos tipos principales de edificios. Por un lado las pasarelas; con estructura completamente de bambú y nipa, y aulas de base cuadrada entre ellas.

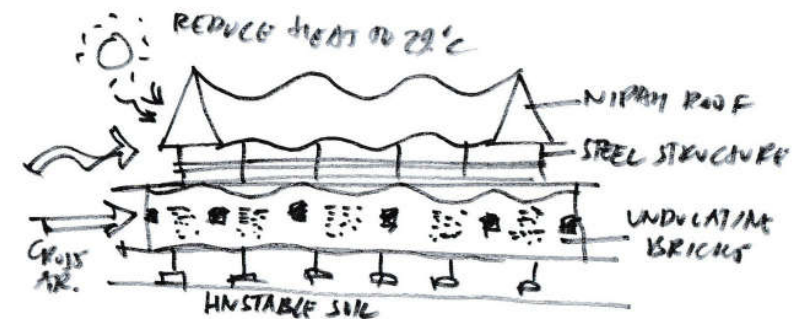
Son construcciones de sección triangulada que generan espacios lineales y abiertos. Se utilizan tanto de transición y enlace entre diferentes usos, como para desarrollar todo tipo de clases y actividades al aire libre.



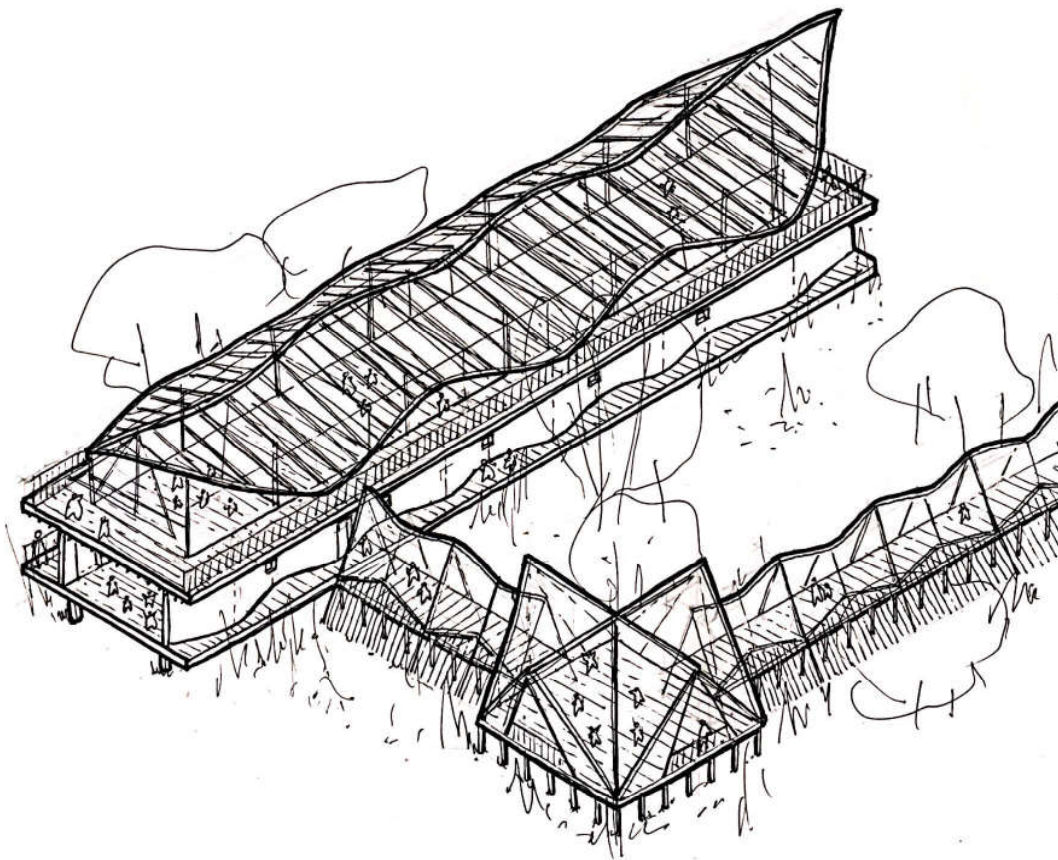
86. Despiece de la pasarela



87. Perspectiva de la fachada y la pasarela



88. Sketch de eficiencia energética RAW architecture



89. Axonometría con sección de la escuela
Elaboración propia

Por otro lado están los edificios que contienen las aulas y los espacios polivalentes. Lo componen cuatro construcciones similares de base rectangular dispuestos en forma de abanico, y un edificio ovalado entre dos de ellos. Este último posee una estructura completamente de bambú y se construyó con posterioridad al resto no quedando constancia en el planeamiento original. Posee un carácter más de templo y espacio de meditación.

La estructura de los cuatro edificios similares, es una combinación entre porticada y parabolóide. Las grandes cubiertas ligeras están formadas por marcos de acero combinados con nervios de bambú y revestimiento de nipa. Se retuercen formando ondas parabólicas que imitan y entran en consonancia con los cerros y montañas de los alrededores. Al ser materiales que se pueden curvar, inclinar y doblar con facilidad, es posible crear este tipo de geometrías.

Por otro lado, los ladrillos de mampostería de las fachadas curvas en las plantas inferiores, siguen un patrón de lleno-vació que permite la ventilación cruzada de los edificios. Al mismo tiempo, el hormigón armado que se utiliza para los forjados y los acabados de los suelos garantiza su durabilidad para el uso escolar.

La escuela esta constituida tanto por aulas semi-abiertas, como espacios polivalentes adaptados a diferentes usos. Está diseñada para conseguir que los espacios fluyan de interior al exterior, creando estancias dinámicas de techos altos, y con iluminación natural. Se busca crear lugares que inciten al juego, y favorezcan la enseñanza holística que se imparte en el centro.

4.5. Comparación de los casos de estudio.

A lo largo del estudio de los cuatro casos seleccionados, hemos podido experimentar que, a pesar de que estructuralmente las cubiertas de los edificios se resuelven de manera muy diferente, existen innegables similitudes en cuanto propósito, filosofía, y utilización de la cualidad del bambú en el ámbito escolar que, junto el resto del trabajo, nos pueden guiar para obtener unas conclusiones relevantes. Estos puntos en común los podemos resumir en los siguientes:

- **1. Gran altura de las aulas:**
Todos los casos de estudio presentan aulas con alturas más altas de lo normal, generando espacios mucho más confortables y acogedores.
- **2. Espacios abiertos:**
Las aulas, espacios polivalentes, e intermedios se encuentran abiertas o parcialmente abiertas, de manera que existe una conexión constante con la naturaleza y el paisaje.
- **3. Espacios intermedios:**
Se crean entornos intermedios y de paso con mucha calidad espacial que motivan el juego y la interacción.
- **4. Aulas polivalentes:**
Practicante la totalidad de las aulas en estas escuelas son de este tipo, se fomenta una nueva manera de dar las clases. Estos espacios se encuentran preparados y pensados para ser flexibles adaptarse a diferentes usos y actividades.

- **5. Energéticamente eficientes:**
Como parte de su filosofía, las escuelas están diseñadas para depender lo menos posible de la red energética local, incluso para ser completamente autosuficientes.
- **6. Luz y ventilación:**
Se favorece ventilación natural cruzada, y la entrada de la máxima luz natural que se pueda. Esto es posible gracias al diseño elevado de las cubiertas de bambú, donde entra y sale el aire libremente, y sus huecos dejan entrar los rallo de sol durante todo el día.
- **7. Estructuras ligeras:**
Los proyectos analizados presentan estructuras ligeras. Algunas incluso parcialmente prefabricadas. Los tiempos de ejecución son rápidos, y la mano de obra poco especializada.
- **8. Cubiertas con formas y estructuras singulares:**
Las grandes cubiertas ligeras de bambú permiten soluciones y diseños estructurales muy singulares, que pueden albergar grandes luces sin prácticamente pilares intermedios.

En algunas de estas escuelas, se utilizan incluso formas orgánicas curvas que imitan elementos de la naturaleza. Al ser el bambú un recurso natural barato y fácil de trabajar, es posible realizar este tipo de soluciones.

5. Conclusiones

A continuación presentamos las conclusiones y observaciones que recogen lo que se ha investigado y observado a lo largo del trabajo. Las hemos obtenido de lo general a lo particular punto a punto. Es decir, desde el cultivo de la planta del bambú, hasta su uso concreto en cubiertas de centros escolares innovadores:

- El bambú es un **material ecológico de rápido crecimiento**, ligero y mucho más eficiente energéticamente que la madera.
- Es una buena **alternativa para luchar contra la des-forestación** en los países donde crece en abundancia.
- Es **flexible y tiene una resistencia a tensión muy elevada**. Es llamado el “acero vegetal” debido a que tiene propiedades resistentes similares a este.
- Resulta más **barato y sostenible importarlo de Asia y Latinoamérica** que plantar y procesar madera local.
- Todavía resulta **difícil obtener permisos de obra en Europa y Norte América** debido a que no hay regulaciones oficiales.
- El bambú **permite la creación de estructuras singulares y cubiertas de grandes luces empleando muy pocos recursos** . Gracias a que cada vez se investiga mas sobre nuevos métodos constructivos, es posible realizar muchas configuraciones espaciales diferentes.

- Se está produciendo un **cambio den los sistemas de educación tradicionales**.
- Las nuevas escuelas se deben configurar a través de un **estudio sociológico profundo de como aprenden los alumnos**.
- Los cambios en la educación suponen una nueva forma de entender la arquitectura escolar, con **espacios más abiertos y conectados con el entorno**.
- Por todo el mundo, pero especialmente en Asia, están empezando a surgir una **nueva tipología de centro escolar: Las escuelas verdes**, que siguen la línea de los sistemas de **aprendizaje holísticos**.
- Debido a múltiples factores, **el bambú es un material que permite construir espacios de gran calidad y utilidad en el uso escolar** de manera más fácil, barata, y eficiente que ningún otro.
- Las **cubiertas de bambú para el uso escolar suponen un fenómeno** que se está empezando a desarrollar en muchos centros, y que está captando la atención de padres y educadores de todo el mundo.
- Después de muchas experiencias durante los últimos años, se está desmostando que los **espacios que son capaces de crearse gracias al bambú en estos centros escolares, junto con una buena educación holística, mejoran en múltiples aspectos la vida y aspiraciones de los alumnos**.

Consideraciones finales:

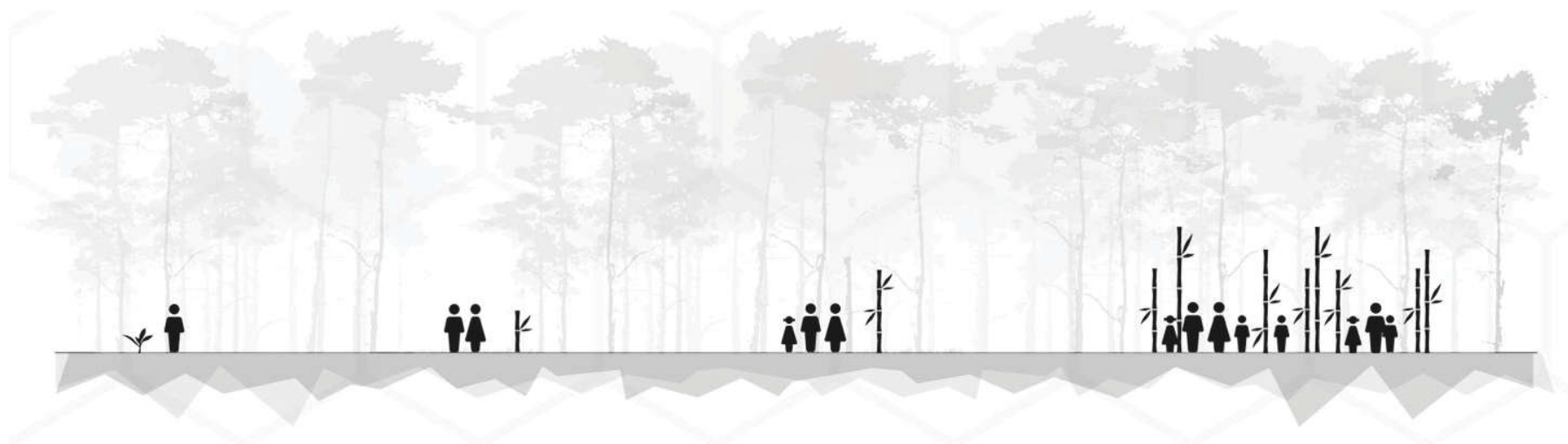
Afortunadamente vivimos en un tiempo en que, a pesar de todos los problemas que tenemos en la sociedad, gracias a la tecnología, la capacidad de ser escuchados y de transmitir la opinión personal, es infinita. Esto permite que la gente que sea capaz de “pensar fuera de la caja”, y tenga muchas más posibilidades de cambiar las cosas y mejorar su entorno próximo, o no tan próximo. La educación es parte fundamental para motivar y formar a ciudadanos que tengan la capacidad para generar estos cambios.

El bambú y los espacios y posibilidades que se generan bajo sus cubiertas, pueden generar entornos idóneos para formar alumnos comprometidos con el medio, y con la capacidad de analizar y reflexionar sobre los problemas de la sociedad.

Por otro lado, aunque sea un material exótico y que ahora empieza a estar incluso de “moda”. El bambú en el sector de la construcción es toda un realidad.

La tecnología ya está desarrollada, y como demuestran los ejemplos referenciados en este trabajo, sus posibilidades estructurales y espaciales son impresionantes tanto para su uso escolar, como para cualquier otro tipo de edificio.

Con ello queda demostrado, aunque quizás todavía haga falta dar un paso más, que el bambú puede dar solución a muchos problemas ambientales, sociales, y espaciales de la arquitectura, tanto en el mundo occidental, como en los países en vías de desarrollo.



Esquema simbólico de las consideraciones finales
Elaboración propia

6. Índice de figuras

-Figura 00	Green School Bali, IBUKU. Fuente: facebook.com/greenschool/	Portada
-Figura 01	Vocational School, Bangladesh Anna Heringuer 2008. Fuente: urbannext.net	07
-Figura 02	Foto personal en Gajner, Rajasthan, India 2015. Fuente: Elaboración propia.	10
-Figura 03	Cañas de bambú. Fuente: unsplash.com	11
-Figura 04	Batak, construcción tradicional indonesia. Fuente: dissolve.com	13
-Figura 05	Ijuk, construcción tradicional indonesia. Fuente: IL 31 Bambus-Bamboo	13
-Figura 06	Construcción de un "hight hat", Sumba, Indonesia. Fuente: pics.momodif.com	14
-Figura 07	Vivienda en Puebla, Ciudad de Cuetzalan, Mexico. Fuente: glusiness.com	15
-Figura 08	Earthen School, Jar Maulwi, Pakistan. Fuente: bevilacqua.me	15
-Figura 09	Poblado de "Hight Hats", Sumba, Indonesia. Fuente: picssr.com	15
-Figura 10	Pagaruyung Palace, Sumatra, Indonesia. Fuente: thpix.com	15
-Figura 11	Oso panda en China. Fuente: unsplash.com	16
-Figura 12	Distribución mundial del bambú. Fuente: National Geographic 1980	16
-Figura 13	Dibujo de la planta del bambú. Fuente: Building with bamboo	17
-Figura 14	Flor del bambú. Fuente: unsplash.com	17

-Figura 15	Bambúes y flores de loto. Fuente: unsplash.com	18
-Figura 16	Gráfica de la huella de CO2 del bambú. Fuente: moso.eu	19
-Figura 17	Gráfica comparativa del crecimiento del bambú. Fuente: moso.eu	19
-Figura 18	Unión atornillada de 6 barras de bambú. Fuente: sohu.com	20
-Figura 19	Andamios de bambú en Hong Kong. Fuente: flickr.com	20
-Figura 20	Herramienta para cortar bambú. Fuente: Building with bambú	20
-Figura 21	Tejas en cubierta de bambú. Fuente: Building with bambú	20
-Figura 22	Pabellón ZERI Expo Hannover 2000. Fuente: plataformaarquitectura.cl	21
-Figura 23	Zoom del pabellón ZERI. Fuente: ananadesign.wordpress.com	21
-Figura 24	Sistema de uniones de Simón Vélez. Fuente: Elaboración propia.	21
-Figura 25	Diferentes tipos de uniones con bambú. Fuente: Building with bamboo	22
-Figura 26	Carpintero cortando tallos de bambú. Fuente: unsplash.com	23
-Figura 27	Iglesia temporal de Pereira, Colombia, Simón Vélez 2002. Fuente: archdaily.co	25
-Figura 28	Ejemplo de espacio bajo estructura porticada. Fuente: Elaboración propia.	26
-Figura 29	Otras configuraciones porticadas. Fuente: Elaboración propia.	26

-Figura 30	26
Sport City Oaxaca, Mexico, Rootstudio. Fuente: archdaily.com.br	
-Figura 31	27
Ejemplo de espacio bajo domo geodésica. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 32	27
Otras configuraciones de cúpulas. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 33	27
Pabellón de India EXPO 2010, Simón Vélez. Fuente: noiseandhealth.org	
-Figura 34	28
Ejemplo de espacio bajo arcos de bambú. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 35	28
Otras configuraciones de arcos. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 36	28
Naman Retreat Resort, Vietnam, Vo Trong Nghia arch. Fuente: architizer.com	
-Figura 37	29
Ejemplo de espacio bajo estructura colgada. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 38	29
Otras configuraciones de estructura colgada. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 39	29
Bulletin Pavilion, Pekín, China. SUP Atelier . Fuente: arch2o.com	
-Figura 40	30
Ejemplo de espacio bajo paraboloides. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 41	30
Otras configuraciones posibles de paraboloides. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 42	30
Pabellón Flamingo Bamboo, Vietnam, Bambubuild. Fuente: archdaily.com.br	
-Figura 43	32
Escuela DESI, Bangladesh, Anna Heringer 2012. Fuente: diedrica.com	
-Figura 44	35
Centro de educación ecológica Koh Kood, 24H> architecture. Fuente: arch2o.com	

-Figura 45	36
Pabellón de bambú, CLC architects, Tailandia 2017. Fuente: dezeen.com	
-Figura 46	37
Inle Private School, Myanmar. Fuente: tameelay.com	
-Figura 47	38
Esquema resumen de las escuelas verdes. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 48	39
Mapa localización de los casos de estudio. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 49	40
Vista de una clase en la Escuela Payaden. Fuente: panyaden.ac.th	
-Figura 50	41
Sala de meditación Escuela Payaden. Fuente: panyaden.ac.th	
-Figura 51	41
Interior sala de descanso Escuela Payaden. Fuente: panyaden.ac.th	
-Figura 52	41
Vista aérea Escuela Payaden. Fuente: oneplanetnetwork.org	
-Figura 53	41
Exterior pabellón Escuela Payaden. Fuente: inhabitat.com	
-Figura 54	42
Interior aula, Payaden. Fuente: bamboo-earth-architecture-construction.com	
-Figura 55	42
Planos de las aulas Escuela Payaden. Fuente: plataformaarquitectura.cl	
-Figura 56	42
Vista exterior de las aulas, Payaden. Fuente: plataformaarquitectura.cl	
-Figura 57	42
Axonometría de las aulas Escuela Payaden. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 58	43
Axonometría de los pabellones polivalentes, Payaden. Fuente: Elaboración propia.	
-Figura 59	43
Planos de los pabellones, Payaden. Fuente: plataformaarquitectura.cl	

-Figura 60	Perspectiva exterior de la escuela METI. Fuente: plataformaarquitectura.cl	44
-Figura 61	Vista frontal de la escuela METI. Fuente: plataformaarquitectura.cl	45
-Figura 62	Pasillo piso superior, escuela METI. Fuente: archlovers.com	45
-Figura 63	Cuevas de la planta baja, escuela METI. Fuente: arch2o.com	45
-Figura 64	Aula diáfana superior, escuela METI. Fuente: zrs-berlin.de	45
-Figura 65	Sección transversal, escuela METI. Fuente: plataformaarquitectura.cl	46
-Figura 66	Dibujo de alzados este y oeste, escuela METI. Fuente: plataformaarquitectura.cl	46
-Figura 67	Jardín exterior, escuela METI. Fuente: zrs-berlin.de	46
-Figura 68	Comunicación vertical, escuela METI. Fuente: bg-arquitectes.com	46
-Figura 69	Axonometría con sección de la escuela METI. Fuente: Elaboración propia.	47
-Figura 70	Interior del edificio principal, Green School Bali. Fuente: ibuku.com	48
-Figura 71	Vista aérea del campus, Green School. Fuente: plataformaarquitectura.cl	49
-Figura 72	Vista exterior edificio principal, Green School. Fuente: plataformaarquitectura.cl	49
-Figura 73	Espacio polivalente, Green School. Fuente: domusweb.it	49
-Figura 74	Pilar/ lucernario de bambú, Green School. Fuente: domusweb.it	49

-Figura 75	Planta del edificio principal, Green School. Fuente: ibuku.com	50
-Figura 76	Sección del edificio principal, Green School. Fuente: ibuku.com	50
-Figura 77	Vista interior de aula, Green School. Fuente: ibuku.com	50
-Figura 78	Clase al aire libre, Green School. Fuente: facebook.com/greenschool/	50
-Figura 79	Axonometría edificio principal, Green School. Fuente: Elaboración propia.	51
-Figura 80	Perspectiva pasarela, escuela Alpha y Omega. Fuente: archdaily.com	52
-Figura 81	Perspectiva pasarela y entrada, escuela Alpha y Omega. Fuente: metalocus.es	53
-Figura 82	Exterior de los edificios de la escuela, Alpha y Omega. Fuente: arkitera.com	53
-Figura 83	Interior de las aulas superiores, escuela Alpha y Omega. Fuente: archdaily.com	53
-Figura 84	Pasillo superior, escuela Alpha y Omega. Fuente: metalocus.es	53
-Figura 85	Secciones principales, escuela Alpha y Omega. Fuente: raw.co.id	54
-Figura 86	Despiece de la pasarela, escuela Alpha y Omega. Fuente: archdaily.com	54
-Figura 87	Perspectiva de la fachada y la pasarela, Alpha y Omega. Fuente: idea.grid.id	54
-Figura 88	Sketch de eficiencia energética, escuela Alpha y Omega. Fuente: raw.co.id	54
-Figura 89	Axonometría con sección de la escuela Alpha y Omega. Fuente: Elaboración propia.	55

7. Bibliografía

Libros y revistas:

- Building with Bamboo, Design and Technology of a Sustainable Architecture | Gernot Mike | Editorial: Basel, Birkhäuser, 2012.
- IL 31 Bambus-Bamboo | Universität Stuttgart. Institut für Leichte Flächentragwerke | Stuttgart : Institut für Leicht. Editorial: Flächentragwerke, cop. 2000.
- Bamboo | Schleifer, Simone. Editorial: Barcelona : Könemann, cop. 2016.
- Bambú : arquitectura y diseño, manual práctico y 59 proyectos. Broto, Eduardo | Editorial: Barcelona : Links, 2014.
- School Buildings | Müller, Thomas; Schneider, Jochem; Meuser, Natascha; Hoffmann, Hans Wolfgang | Editorial: Berlin : DOM, cop. 2014.
- Schools and kindergartens : a design manual | Dudek, Mark | Baumann, Dorothea; Boubekri, Mohamed,, (1959-); Herrington, Susan; Hofmann, Susanne; Hübner, Peter; Loeffelman, Pamela; Marsden, Heather; Niederstätter, Christina | Editorial: Basel : Birkhäuser, 2015..
- Building schools : key issues for contemporary design | Chiles, Prue; Care, Leo; Evans, Howard; Holder, Anna; Kemp, Claire. Editorial: Basel : Birkhäuser, cop. 2015.
- Cuadernos TC, número 76 | Editorial: Valencia : Ediciones Generales de la Construcción, 1992

RiuNet UPV:

- TFM | Arquitectura al alcance de otros : estudio de estrategias proyectuales. Caso de estudio Anna Heringer | Autor: Carrera Palacios, Juan Sebastián 2016.
- TFG | Uso del bambú en la arquitectura contemporánea | Autora: Soler Soler, Paula 2017.

Páginas web:

- www.expertfloorplan.net/bamboo-construction
- www.arcus-global.com/wp/andamios-de-bambu-para-construccion-de-rascacielos
- www.unsplash.com
- www.ibuku.com/
- www.bamboo-earth-architecture-construction.com
- www.natrufied.nl/
- www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-108338/escuela-panyaden-24h-architecture
- spain.ashoka.org
- www.plataformaarquitectura.cl/cl/886956/la-cocina-de-aldo-ibuku
- www.plataformaarquitectura.cl/cl/886440/jardin-infantil-en-green-school-ibuku
- www.plataformaarquitectura.cl/cl/806313/escuela-hecha-a-mano-anna-heringer-plus-eike-roswag
- ww.votrongnghia.com/projects/
- www.metalocus.es/en/news/a-building-bamboo-and-nipas-roof-incorporating-local-craftsmanship-alfa-omega-school-raw-architecture
- www.anna-heringer.com
- ww.inspiration.detail.de/berufsschule-in-rudrapur-106089.html
- www.pinterest.es/pin/105201341266228422/?lp=true
- www.architizer.com/firms/simon-velez/
- www.archdaily.com/873535/school-of-alfa-omega-raw-architecture
- www.archdaily.com/81585/the-green-school-pt-bambu
- www.simonvelez.net/projects.html
- <https://www.certificadosenergeticos.com/bambu-material-ecologico-sostenible-construccion-edificios>
- <https://www.archdaily.com.br/br/782322/jovens-portugueses-representam-o-mexico-na-bienal-de-veneza-2016>
- www.bambuterra.com.mx
- www.moso.eu/es
- <https://www.youtube.com/watch?v=-4rrVwB8440>