

Open Tools applied to Low-Tech roofings (Elche & Muchamiel, Spain)

J. Carrasco, J. Bermejo, P. Ferrando, A. Enguita, J. Toledo

University of Alicante, Spain

ABSTRACT: Few decades ago, a systematic study in bamboo structural models was developed by the Stuttgart Institute. A mechanic behaviour specific essay was invented and bending ways were compared.

This paper undates SI analisys techniques. In addition, it explains the experiences about two real, sustainable constructions using mediterranean reed. The reed curving way was the main issue to solve in them: three handmade ceiling domes (canteen in Elche), and a semi-industrial warehouse (Muchamiel).

The paper also explains two versions of elasticity essays that were taken to the parametric environment in order to obtain form families and other structural models. This digital work could be an open, transferable tool available anywhere, like the Open Source Ecology community does.

To summarize, we use open graphic software as a way of sharing ancestral and handmade technologies of mediterranean reed's uses. This graphic software would also give versatility and process control in further essays.

1 CONTEXT

Estamos en el levante ibérico, y ya desde hace tiempo nos encontramos con la caña en las estructuras de las tomateras, en cielos rasos o en estructuras de construcciones agrícolas.

En el barrio de San Antón en Orihuela, el 80% de sus trabajadores se dedicaban al cañizo hasta los años ochenta, con una distribución que llegaba hasta el Norte de la Península. Luego, el material fue progresivamente sustituido por la escayola en el del cielo raso, venta central del producto. El trabajo en aquella época respondía a las cadenas de producción humanas semi-industrializadas donde cada componente se especializada en una única actividad del proceso: recoger, limpiar, cortar, rajar y tejer.

Donde hay agua, hay cañas. Dependiendo del clima, pueden ser cosechadas de una vez a tres veces al año, y alcanzan el grado de madurez para la construcción a los dos años de edad cuando sus paredes son gruesas y están listas para poner en carga (González et al. 2012) . En la Escuela Politécnica de Alicante son muchos los alumnos plantean desarrollos de proyectos con este material.

Este paper se ubica en la línea temática *Case studies of application of sustainability lessons from vernacular architecture*, aunque matizando que abre el espectro de aplicación y se orienta en los objetivos hacia *contemporary approaches and methodologies in architecture*.

1.1 *Learning by building colaboratively*

En construcciones colaborativas, frecuentes cuando los procesos son artesanales, ocurre que se produce una transferencia eficaz entre maestros, aprendices y voluntarios; ocurre también que interesan más los procesos de obra que la autoría; que se refuerza todos los asuntos que tengan que ver con la praxis; y que funciona como red con formas de trabajo en muchas ocasiones espontáneas.

Recursos que ofrecen los participantes: capacidad relacional y emocional; generosidad comunicativa; motivación hacia lo artesanal; inteligencia material; y desconfianza ante actitudes poco críticas.

¿Qué alcance tienen? Pueden abordar situaciones resilientes, en contextos humanos frágiles, de precaria economía; usando materiales y técnicas con mucho arraigo; acerca de asuntos que tienen que ver con la cooperación social, la memoria, el patrimonio y los bienes comunes.

1.2 *Open Source Tools*

Precursores en el interés por listar materiales, técnicas eficaces y modos de intervención sostenible son el IL de Stuttgart (Otto 1971), el Whole Earth Catalog (Brand 1968) o Shigeru Ban (Mc Quaid 2003).

Hoy en día, unos cuarenta años después ¿qué ocuparía un parte principal del equivalente a ambas listas? Por ejemplo, las Open Source Tools de Marcin Jakubowski o las Inteligencias Colectivas de Zuloark, ambas por su capacidad de dotar al usuario de una corresponsabilidad hacia el medio ambiente, por su voluntad de crear una economía de código abierto y por su interés en generar justicia social.

Las que entendemos como Open Tools podríamos decir que se comunican mediante Open Graphics. Los mismos ejemplos de antes sirven: regalan / muestran un dibujo de una herramienta cuyo última función es facilitar el empoderamiento en los habitantes de nuestras ciudades.

2 BASIC STRUCTURAL PRINCIPLES

Ciertas estructuras artificiales y naturales consolidan un estado de forma o aumentan la energía almacenada induciendo un desplazamiento o incorporando una fuerza previamente a la fijación del estado a partir del cual entran en carga. Es el caso de un haz de cables retorcido o un haz de caña combado.

La flexibilidad de la familia de cañas naturales o bambú es una propiedad que supone múltiples posibilidades para dar forma, por ejemplo, a cáscaras y otras superficies curvas generadas a partir de la deformación de un entramado rectangular plano, cuyos nudos puedan deslizarse y a los que se puedan añadir barras anulares o radiales para fijar la posición final: “... los entramados pueden ser montados en el suelo, luego levantados hasta formar la forma curva final, la cual se acaba fijando con la ayuda de otras barras de estabilización (diagonales) o bien bloqueando los nudos...”.

2.1 Otto's notebook in South-Eastern Asia

Este principio de comportamiento le interesó a Frei Otto en los años 70s y 80s (Fritz 1985). Una colección de dibujos nítidos reflejan los movimientos de deformación que se pueden obtener a partir de tallos simples de bambú: “... mástiles vegetales (*vegetal poles*) hincados, libres en su coronación, no solo son usados como soporte de banderas, cuerdas, mástiles de barcos y cables de electricidad, sino también para transmitir fuerzas dinámicas, principalmente el viento, al terreno...”, poniendo énfasis en la respuesta estructural diversa ante condiciones cambiantes de carga y de conexión con el medio, debida a su sección decreciente. (Fig. 1).

Estos dibujos muestran divisiones de fuste los cuales se trocean para mostrar cómo se deforma de manera diferenciada según el sector de tronco escogido, más flexible con los tramos superiores (en los que la menor rigidez se debe al menor diámetro) y menos en los inferiores. Se utiliza una matriz rectangular como fondo que cuantifica y muestra la variabilidad de los ensayos (caso en ménsula).

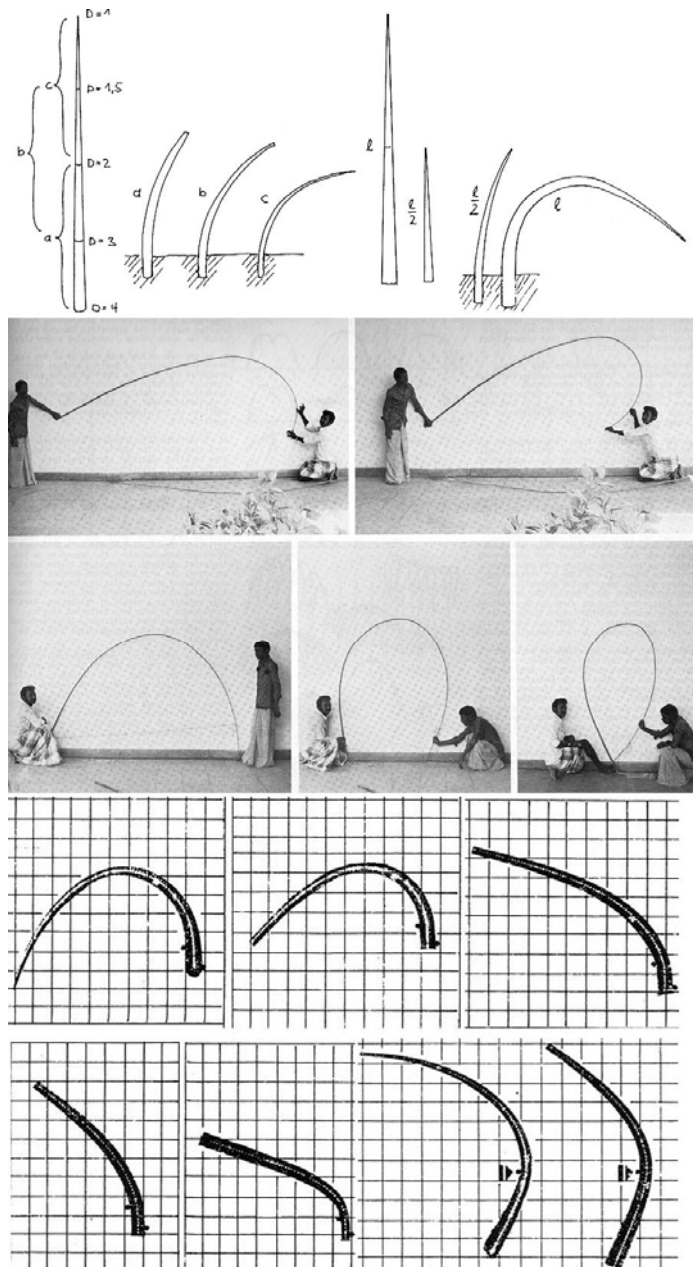


Figure 1. Frei Otto's drawings about bamboo behaviour.

Para simular el empotramiento de dichos ensayos y bloquear la barra, Otto usó la combinación de dos apoyos a modo de palanca, y en otros casos un solo apoyo con el mismo efecto gracias a dos voladizos equilibrados y complementarios. Para encontrar un dibujo aproximado, rápido y amplificado de la deformación, en ocasiones llegó a usar barra con espuma con disminución progresiva de sección y sin irregularidades (en lugar de madera o bambú) lo que además le proporcionaba un resultado isótropo.

2.2 Updated knowledge

Desde nuestro grupo de investigación en la Universidad de Alicante, compartimos el objetivo de la Red de Investigación *OR/gan* promovida por los grupos *Seed* y *KRFR*, para desarrollar herramientas y software capaces de crear nuevas condiciones de aplicación y despertar nuevas expectativas transformadoras acerca de, en este caso, las técnicas cons-

tructurivas con la caña mediterránea. El primero de los grupos ha llegado a definir algoritmos de código Python traducibles a aplicaciones en Grasshopper, produciendo interfaces nuevas y talleres como el de *Can Xalant* en 2011 en los cuales poder difundir el conocimiento producido. (Fig. 2).



Figure 2. CanyaViva's elastic essay in mediterranean cane.

3 ESSAYS AND PARAMETRIC DRAWINGS

Si Frei Otto quería entender el comportamiento de un material troncónico independientemente de que la naturaleza del material y de sus irregularidades, en nuestro caso se ha de poder entender la relación que hay entre características específicas de la caña común mediterránea, los esfuerzos a los que se la somete y las deformaciones que sufre. (Fig. 3).

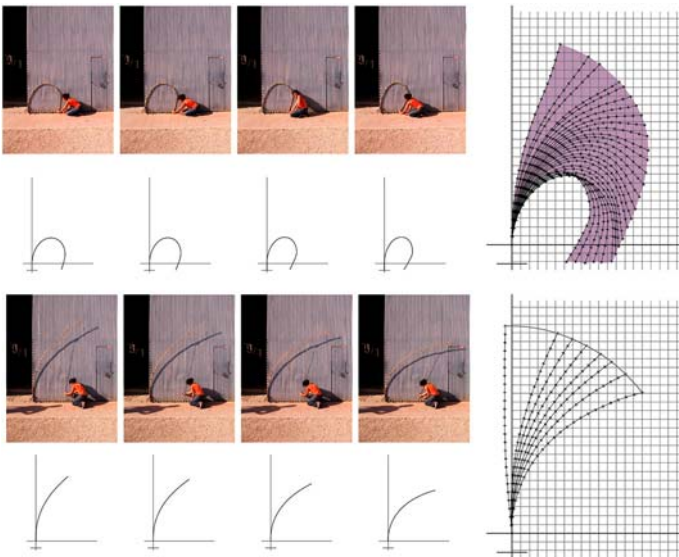


Figure 3. Mediterranean cane into parametric layout.

Inspirados por los procedimientos de Frei Otto en los años 70 y 80s, los ensayos de flexión de la caña sobre una pared de chapa en una nave de Elche y capturadas mediante series de fotografías, evaluaron la relación entre esfuerzo y deformación de modo muy directo e intuitivo: series de fotografías de cañas de alturas, niveles de envejecido y sequedad diferentes informaban acerca de una deformación desigual y disimétrica, demostrando lo que es conocido y que Otto había anotado: que tramos de rigidez

(sección) diferente producen arqueos (curvaturas locales) distintos.

Igual que las conocidas series de imágenes para captar el movimiento de un caballo al galope de Muybridge (Brookman 2010), esta serie informa, como si se tratara de un video, acerca del movimiento y la condición flexible del material al ser sometido a una tiro oblicuo en su extremo.

3.1 Analogical input and image series.

En este ensayo realizado en la puerta de una nave industrial, grupos de cañas enlazadas de diversa longitud, son sometidos a carga (tiro oblicuo en su coronación) mediante cuerda primero fijada en la base y luego deslizante hacia el empotramiento, para acabar de forzar, hasta la rotura, la flexión de la barra. La puerta de chapa grecada funciona como superficie medible de fondo (mide el sentido horizontal). Las sombras de las cañas sobre la puerta refuerzan el dibujo de la deformación.

Se ensayaron cañas con alturas, niveles de envejecido y sequedad diferente. Se iba tirando poco a poco y registrando fotográficamente la deformación inducida. Con esfuerzos de tirado similares para cada intervalo, la fotografía servía fundamentalmente para capturar el modo en que la deformación era desigual o disimétrica, demostrando lo que es conocido y que Otto había anotado en su cuaderno de campo (fig 1 y 2): tramos de rigidez (sección) diferente producen arqueos (curvaturas locales) distintos.

Unas marcas en los bordes inferior y lateral de la puerta de chapa grecada servían como indicadores escalares para comparar tamaños de barras, medir deformaciones en las imágenes o posicionar los puntos fijos de tiro de la cuerda. Giros completos en torniquetes de la cuerda o contrapesos incrementados unitariamente servirán en futuras versiones para incorporar otras unidades de control en la deformación. (Fig. 4).

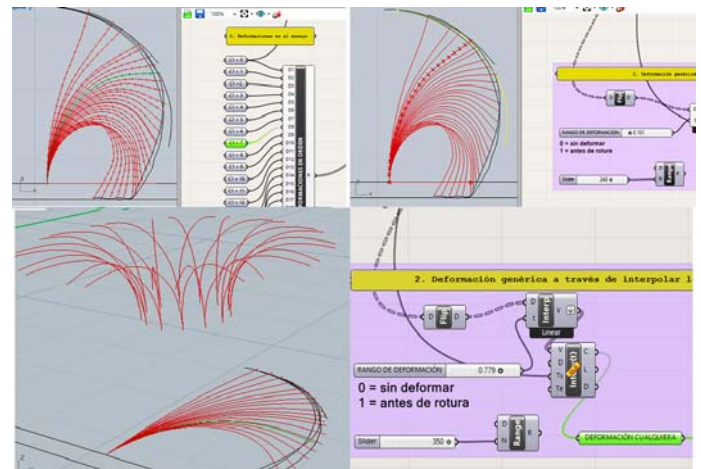


Figure 4. Developing parametric analysis

La condición estructural aprendida del proceso fue que la adaptabilidad de la caña a cierto rango de curvatura iba a ser adecuada si el nivel de esfuerzo

requerido era menor, reconociendo que dicho esfuerzo menor se produce en los primeros instantes del ensayo, cuando con poca fuerza de tiro se consiguen unos desplazamientos importantes.

Escoger una curva cerca de esa primera zona es una manera de garantizar que las tensiones inducidas por la curva que proyectemos serán menores. Escoger una curva que solo sea asumible adecuadamente por la caña más verde o recién recogida quiere decir, por ejemplo, que cuando se forme un grupo de cañas desiguales para formar un cordón primario, los grados de relajado o esfuerzo serán diferenciados, produciendo un riesgo mayor de rotura para uno de los componentes del cordón.

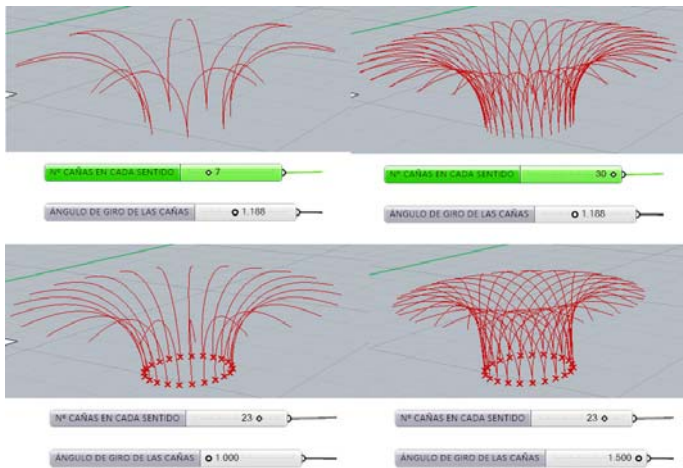


Figure 5. From 2D to 3D structures

3.2 Digital post-production

Posteriormente se extrajo el dibujo vectorial de cada una de las capturas fotográficas, obteniendo una colección de curvas planas que fueron llevadas a la herramienta paramétrica Gasshopper. El objetivo de trabajar en este entorno fue interpolar todas las curvas para obtener la directriz de deformación en cualquier instante del proceso (no solo los determinados por las capturas fotográficas), para poder llevar dicha directriz, si es que se entendía apropiada, a una aplicación estructural posterior. (Fig. 5).

3.3 New Open Tool to essay canes.

Una de las cuestiones más importantes y conflictivas en las construcciones a base de nervios (haces) de cañas curvadas, es la relación que existe entre su morfología (cómo están hechos) y su capacidad de deformación en la puesta en obra.

A partir de esta premisa (y como continuación del ensayo ya descrito), se diseña una herramienta que permita ensayar y registrar de forma precisa la deformación de diferentes configuraciones de haces, y generar modelos digitales que permita compararlos, versionarlos y exportarlos.

Consta de dos partes: una que deforma mecánicamente la caña, y otra que digitaliza dicha deformación y la convierte en un modelo digital. La primera consta de un sistema de carritos articulados

que se adapta a diferentes longitudes de haces y comprime el haz y lo deforma con un sistema de poleas y pesos, conociendo exactamente la fuerza a la que se está sometiendo. Y la segunda consta de un controlador de movimiento Kinect (usado en la consola de videojuegos Xbox 360) conectado con la plataforma de diseño paramétrico Grasshopper que permite capturar el movimiento de la caña (deformación) y convertirlo en un modelo 3D; y de una serie de extensómetros que se adhieren a la caña y nos permiten conocer la tensión exacta que sufre internamente la caña en sus diferentes partes en cada momento de su deformación. (Last page Figure).

Por último, se trata de una open tool porque el diseño es público, replicable y fácil de desmontar y transportar para poder llevarla a cualquier lugar.

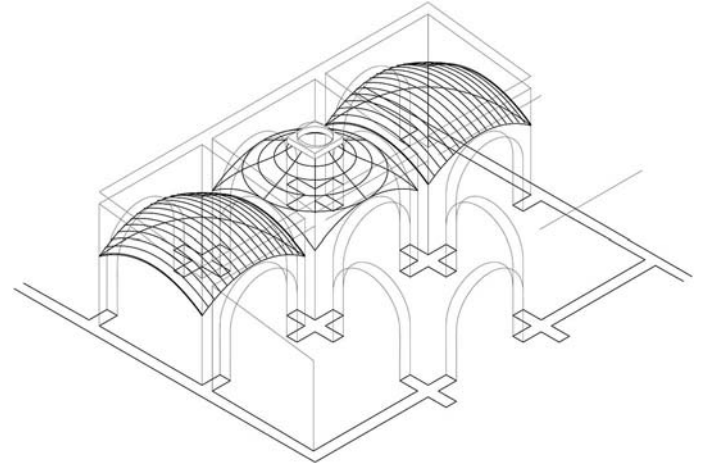


Figure 6. Roofing for Elche. Geometry



Figure 7. Roofing for Elche. Main structural elements.

4 VERNACULAR EXPERIENCES

4.1 Dinning roof for a bio-construction atelier in Elche (Spain)

La activación de un comedor comunitario gestionado por la asociación Biovives dentro de una nave industrial en Elche, fue ser el pretexto para que el bioconstructor Vicente Ramos propusiera un curso práctico acerca de la construcción con caña.

La reforma se compone de tres módulos que se cubrieron con caña por debajo del antiguo tejado. El promotor pretendía que fueran bóvedas de crucería y

el constructor unos tramos de cañón, más regulares en ejecución y más sencillos para ejecutar por voluntarios no expertos. La improvisación y experimentación continuas acabaron produciendo tres cúpulas diferenciadas entre ellas, en lo que respecta al modo de colocar las nervaduras principales y los cañizos secundarios. (Figs 6, 7).



Figure 8. Roofing for Elche. Vault with oculus.



Figure 9. Roofing for Elche. External covering "Palmayola"

Este tipo de obra solo puede abordarse económicamente desde la solidaridad, el trabajo cooperativo, la recompensa en forma de aprendizaje, el premio de ampliar los lazos de amistad, el recurso del trueque como forma de trabajo, el valor de habitar una construcción construida por uno mismo, características no presentes en el sistema constructivo tradicional.

Técnicamente, se escogieron cañas con una dimensión sensiblemente mayor a las "cuerdas" rectas de la obra, lo que forzó la incorporación de unos precurvados de montaje tanto para los haces principales como para los rellenos secundarios. Esto produjo que antes de empezar a trabajar, el estado tensional de las fibras fuera el inverso al que luego provocará la cubrición de escayola con palmera. Los tres módulos fueron consolidados y dotados de iner-

cia térmica mediante revestimiento de palmera corchificada con aglomerante de escayola. (Figs 8, 9).

También se aprendió del modo en que los bioconstructores seleccionaban la porción de palmera: escoger el tramo del tronco: cuanto más arriba, menos densa y corchificada y abajo se encuentra el material estructural. También se aprendió del modo de secar el material: con corteza, se produce más corcho, pues la fermentación del tronco es mayor.



Figure 10. Farm roof (Muchamiel)

4.2 Roof for farming tools in Mutxamel (Spain)

Se pretendía usar un material lo más natural posible que fuera desmontable y biodegradable tras unos años. Un material de bajo coste y frecuente en la zona, que se usa en la finca para cultivos (tomateras, habas, etc.) y que es incorporado a las construcciones vernáculas cercanas para cubiertas y falsos techos. Técnicamente, permitió estudiar el modo de diseñar los enlaces de acuerdo a su comportamiento, planteando desde el principio que todo fuera a ser visto, en seco y articulado. La hibridez de la solución final vino ocasionada por un cambio en fase de obra, escogiendo el modelo de semibóveda que conseguía resolver, con un solo elemento (barato y ligero), la cubierta y pared trasera. (Fig. 10).

De modo empírico, se ensaya con las cañas seleccionadas y almacenadas en la obra en varias tentativas para clasificar las longitudes y secciones disponibles y obtener la curvatura ideal para la semibóveda. Desde el principio, se decide que la amplitud interior debe ser máxima, por lo que el diseño óptimo implica buscar una tangencia lo más vertical que se pueda en el inicio y un radio de curvatura pequeño para orientar la forma resultante hacia la viga del pórtico.

Una versión preliminar incluye un marco de madera fijado al suelo, unas cuerdas que tensan las cañas para precurvarlas fijando la forma.

Algunas lecciones: la aparente anarquía en el trazado de la curva es neutralizada al formar grupos y al arriostrar el conjunto; el uso de bridas fácilmente regulables permitió trabajar con holgura y ajustes fi-

nales; la conexión al cimiento se realizó mediante barra corrugada y camisa de caucho que le aporta fricción y resistencia; la curvatura variable se consiguió mediante la combinación de un número mayor o menor de cañas, y el empuje que el arco produce se compensó con la ligera inclinación del pórtico..

5 CONCLUSIONS

5.1 *About the interest in working with sustainable vernacular techniques (Arunda Donax).*

Es frecuente que se produzca una cercanía entre maestros, aprendices y voluntarios ya que genera sinergias entre todos los agentes implicados. Así como una sintonía entre el operario y los ciclos naturales y/o estacionales, p.e., para escoger los momentos de la recogida, y de menor agresión biológica.

Los proyectos han producido efectos dinamizantes en sus entornos: activando zonas de huerta y negocios familiares ; unas formaciones artesanales en los procesos constructivos que ahora se pretenden difundir a través de talleres de bioconstrucción.

5.2 *About the interest in starting a new family of open tools.*

Se han presentado unos ensayos de doblado y captura fotográfica que luego fueron llevados al entorno de trabajo digital paramétrico para obtener familias de forma y otros modelos estructurales, en lo que podría constituir una herramienta transferible y replicable en cualquier otro lugar con la que sistematizar una curvatura, la selección de la caña o grupo o posición de ellas, a la manera que producen las Tools de la Open Source Ecology.

6 REFERENCES

- Brand, S. 1968. *Whole Earth Catalog* <http://monoskop.org/images/0/09/Brand_Stewart_Whole_Earth_Catalog_Fall_1968.pdf>
- Brookman, P. 2010. *Eadweard Muybridge*, London: Tate Modern.
- González, S., Silva, E. 2012 *Arundo donax L.: material de construcción*. PFG Ingeniería de la Construcción, UPC.
- Mc Quaid, M. 2003. *Shigeru Ban*, Phaidon Press.
- Otto, F. 1985. *Bamboo*. Stuttgart: Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, IL 31. Extractos de tesis doctoral de Klaus Dunkelberg.
- Jakubowski, M. Gopal Village Construction Set. Civilization Starter Kit 01 publicado en <<http://opensourceecology.org/>>
- CanyaViva y StudioSeed <http://www.studioseed.net/research/avances-investigacion-algoritmos-para-la-construccion-con-cana-mediterranea-arundo-donax/>

