

ARQUITECTURA LOW - TECH

ARQUITECTURA VEGETAL TRENZADA  
BAUBOTANIK

ALUMNO: MIRIAM HERNÁNDEZ CARRETERO

TUTOR: FÉLIX JOVÉ SANDOVAL

TFG SEPTIEMBRE 2019 UVa





GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ARQUITECTURA LOW - TECH

ARQUITECTURA VEGETAL  
TRENZADA  
BAUBOTANIK

ALUMNO: Miriam Hernández Carretero

TUTOR: Félix Jové Sandoval

SEPTIEMBRE 2019



*A mis padres,  
por ayudarme a empezarlo  
y a ti Héctor,  
por impulsarme a conseguirlo.*



## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es conocer un ámbito de la arquitectura que aún no tiene una gran influencia en el mundo actual, como es la arquitectura vegetal trenzada. Nuestro libro de cabecera para esta investigación será “*Arquitectura vegetal | Plant Architecture*”. Ed.: ediciones asimétricas 2018, el cuál nos servirá como guía y fuente de conocimientos sobre esta arquitectura.

Para este estudio, será necesario remontarnos hasta los orígenes de la relación entre la arquitectura y la vegetación. La evolución de esta arquitectura se producirá de forma exponencial, desde elementos sencillos atribuidos anteriormente al arte de la jardinería, hasta su incorporación más pura en edificios o elementos arquitectónicos.

El estudio de esta arquitectura proseguirá con el análisis de los diferentes materiales que pueden ser empleados en estas construcciones, investigando sus características físicas, mecánicas... de manera que se pueda obtener el máximo aprovechamiento de los mismos.

El punto álgido de esta arquitectura llegará con la técnica denominada “Baubotanik”, que básicamente, introduce la naturaleza en los edificios como parte de ellos, fundiéndose con su estructura y mimetizándose con el resto de materiales empleados. El objetivo de esta nueva arquitectura es evidenciar el incipiente protagonismo que están teniendo las plantas en la arquitectura contemporánea, así como descubrir todas las ventajas y posibilidades que la arquitectura vernácula nos puede ofrecer.

Finalmente se expondrán proyectos destacados realizados con esta técnica, así como una propuesta de intervención basándose en las estructuras de Baubotanik aplicada a un entorno real, como son las inmediaciones de la muralla de Zamora en la actualidad.

## PALABRAS CLAVE

Arquitectura Vegetal  
Trenzada

Baubotanik

Naturaleza

Árbol

Estructura





## ABSTRACT

The objective of this work is to know an area of architecture that does not yet have a great influence in today's world, such as braided plant architecture. Our bedside book for this research will be "Plant Architecture | Plant Architecture." Ed.: asymmetric editions 2018, which will serve as a guide and source of knowledge about this architecture.

For this study, it will be necessary to go back to the origins of the relationship between architecture and vegetation. The evolution of this architecture will occur exponentially, from simple elements previously attributed to the art of gardening, to its purest incorporation into buildings or architectural elements.

The study of this architecture will continue with the analysis of the different materials that can be used in these constructions, investigating their physical, mechanical characteristics... so that the maximum use of them can be obtained.

The high point of this architecture will come with the technique called "Baubotanik", which basically introduces nature into the buildings as part of them, merging with its structure and mimicking the rest of the materials used. The objective of this new architecture is to highlight the incipient role that plants are having in contemporary architecture, as well as discover all the advantages and possibilities that vernacular architecture can offer us.

Finally, outstanding projects carried out with this technique will be presented, as well as an intervention proposal based on Baubotanik structures applied to a real environment, such as the immediate vicinity of the wall of Zamora today.

## KEYWORDS

Braided Vegetable Architecture

Baubotanik

Nature

Tree

Structure



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA LOW-TECH</b>	11
<b>RELACIÓN ENTRE LA ARQUITECTURA Y VEGETACIÓN</b>	15
Historia	16
Sistemas Arquitectónicos Vegetales	19
<b>ESPACIOS VEGETALES. Arquitectura de arquitectos</b>	23
Plaza de la Catedral de Almería	25
Vivienda de Alcudia en Mallorca	26
“Extreme nature” de Japón	27
<b>ARQUITECTURA VEGETAL. Otras aplicaciones para materiales naturales</b>	29
Sistemas estructurales	30
Sistemas de envolvente	34
<b>ARQUITECTURA NATURALIZADA</b>	37
Recinto vs almacén	38
Arq. vegetal naturalizada vs Naturaleza vegetal arquitectonizada	40
<b>MATERIALIDAD: MADERA Y CAÑA</b>	45
Madera	46
Caña: “Canyaviva”	51
<b>BAUBOTANIK</b>	57
Fundamentos básicos	59
Proceso de anastomosis	60
Primer experimento	63
<b>PROYECTOS DESTACADOS bajo Baubotanik</b>	65
Método Baubotanik	66
Torre Baubotanik	68
Plane-Tree-Cube	70
<b>ZAMORA LA BIEN CERCADA</b>	73
La muralla de Zamora	75
Plan de liberación de la muralla	79
Intervención	80
<b>CONCLUSIONES</b>	93
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	97



# INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA LOW-TECH

La Arquitectura “Low-Tech” se traduce como “arquitectura de baja tecnología”, caracterizada por la revisión de las técnicas y materiales constructivos empleados en el pasado para que las edificaciones que se construyan en el futuro mejoren la eficiencia actual y, al mismo tiempo, tengan consciencia del impacto ambiental que pueden producir.

Las construcciones denominadas “Low-Tech” tienen sus orígenes en el medievo, en las tecnologías y técnicas empleadas en las casas tipo “fachwerk” desarrolladas en la Europa Central

La construcción Low-Tech se populariza a partir de 1973 con el embargo del petróleo de la OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) a los países industrializados; estas construcciones llamadas “ecológicas” tuvieron su punto álgido en la cumbre de Río de Janeiro de 1992, donde se conformó el término de “Desarrollo Sostenible” como *“la utilización de recursos naturales que no implique un daño irreparable que no permita su utilización por parte de las futuras generaciones”*.

El funcionamiento de estas construcciones debe ser sustentable, y se asemeja a los conceptos bioclimáticos. Dicha sustentabilidad se relaciona con los efectos de la construcción sobre el medio ambiente en todas las etapas de su desarrollo, siendo esta, la premisa principal de este tipo de construcción.

Se puede considerar que la arquitectura Low-Tech se fundamente en 5 conceptos:

- Los recursos materiales son de origen local.
- La cultura tecnológica debe adaptarse a los recursos locales disponibles.
- Reproducción de la técnica constructiva basada en la facilidad y veracidad.
- Conocimientos accesibles alejados de los tecnicismos abstractos.
- Colaboración y cooperación con otros sistemas.

Los materiales empleados en dichas construcciones resultan atractivos debido a su facilidad técnica. Para la elección de dichos materiales, es necesario estudiar el ciclo de vida de la construcción, así como sus orígenes, mantenimiento y disposición final, con la premisa fundamental de que estos deben ser reciclables. Los materiales considerados más ecológicos son la madera y el adobe.

A parte de la **facilidad de técnica y ejecución** que presentan estos materiales, también cabe destacar que estos se catalogan como materiales “low-cost” debido a su bajo precio y abundancia, además de estar claramente vinculados a la **autoconstrucción**; su impacto energético es muy bajo y, al ser naturales, son más saludables y el impacto ambiental que producen es mínimo, por lo que se les considera como materiales “low environmental impact”.

Como referente de esta técnica constructiva encontramos al arquitecto chino **Wang Shu**, ganador del premio Pritzker de la Arquitectura en 2012, quien fue capaz de adaptar las técnicas tradicionales de construcciones chinas a la actualidad con técnicas más modernas.

Este nuevo movimiento requiere de mucha investigación e innovación para poder adaptar todas las prestaciones de los materiales y sus condiciones al cumplimiento de las normativas (capacidad mecánica, resistencia al fuego...).

Fruto de esta investigación surge **“Baubotanik”** o también llamada “arquitectura viviente” (Living Plant Constructions); esta nueva arquitectura se basa en la colaboración con los materiales naturales vivientes, empleando diferentes especies vegetales como apoyos estructurales capaces de formar parte de los edificios y revolucionando el concepto de “área verde” en las ciudades.







## RELACIÓN ENTRE LA ARQUITECTURA Y VEGETACIÓN

## ■ Historia

Para entender la relación entre la arquitectura y la vegetación debemos remontarnos a tiempos del antiguo Egipto, Mesopotamia, Grecia y Roma, donde vemos las primeras representaciones a través de 3 formas de unión: **emparrados, cubiertas vegetales y fachadas vegetales**. Estas uniones nacen con el propósito de sacar provecho a su vida en común a través de las estructuras que sostienen y conducen al desarrollo de la vegetación, la vegetación y su control microclimático y la vegetación como forma de ornamentación.

El origen de estas tres manifestaciones vegetales se remonta a la historia del arte de la jardinería, desarrollada concretamente en el antiguo Egipto, Grecia, Roma y Mesopotamia. En la época romana empiezan a aparecer las tres formas de unión consolidándose su materialización, marcando un claro punto de inflexión en el desarrollo de esta relación.

En el **antiguo Egipto**, el elemento vegetal destacado por excelencia es la vid ya que, debido a su crecimiento caótico y trepador, llevará a los antiguos egipcios a usar soportes estructurales para controlar el desarrollo y crecimiento de dicha planta. La importancia de los **emparrados** es tal, que aparecen escenas pintadas en tumbas de personajes importantes de la época, como la mastaba D64 de Ptahhotep II entre los s.XXV-XXIV a.C.

La construcción de los emparrados evolucionará desde estructuras rígidas y rectas, simples y ligeras, a formarse con soportes flexibles y curvos, con una estética más ornamentada y de un gran valor bioclimático.

En el ámbito de la jardinería, las manifestaciones más destacadas en el ámbito de la jardinería son las encontradas en la tumba TT340 de Amenemhat en el s.XV a.C. (figura 1), de la Dinastía 18 del Imperio Nuevo. El techo de la tumba forma bóvedas que acogen emparrados de grandes **hojas lobuladas y dentadas**, con grandes racimos de uvas y zarcillos enroscados; se representa con gran calidad la estructura de un emparrado con una malla roja que distribuye espacios cuadrados, con cruces blancas indicando puntos de unión.



(Figura 1): Detalle tumba Amenemhat Deir el-Medina  
Fuente:

<http://www.egiptologia.org/tumbas/artesanos/tt340/default.htm>

Otra representación pictórica importante es la encontrada en la tumba TT96 de Sennefer del s.XV a.C., conocida también como “tumba de las Viñas” donde aparece una representación del Jardín de Sefenner, en el cual el elemento predominante es la representación de la vegetación, más concretamente las formaciones de viñas, relegando la vivienda a un segundo plano.

En **Mesopotamia** destacan la construcción de grandes templos escalonados llamados “Zigurats” y los Jardines Colgantes de Babilonia (figura 2) de los cuales, existen muchas hipótesis al respecto. Estos jardines han estado sujetos a numerosos estudios de investigación, excavaciones arqueológicas... sin haber podido confirmar nunca su existencia, sin embargo, su trascendencia condicionaría el origen las cubiertas vegetales.



(Figura 2): Detalle de los Jardines de Babilonia por Maarten van Heemskere s.XV

Fuente:  
<http://www.jardinesdesevilla.es/hisojardineria/jardinesmesopotamia.pdf>

Existen 2 hipótesis que se muestran como las más reputadas sobre la historia de estos jardines: **Charles Leonard Woolley** con su teoría equivocada sobre la presencia de vegetación en las plataformas que componían los zigurats, y la hipotética localización y construcción de los Jardines de Babilonia expuesta por Robert J. Koldewey. Finalmente, en 1993 **Stephanie M. Dalley** pone fin a estas y otras muchas teorías que surgieron anteriormente, alegando la ausencia de pruebas reales de la existencia de estos jardines. Se cambia totalmente la concepción de estos jardines, así como su localización, ubicándose ahora en Nínive, y de desarrollarse

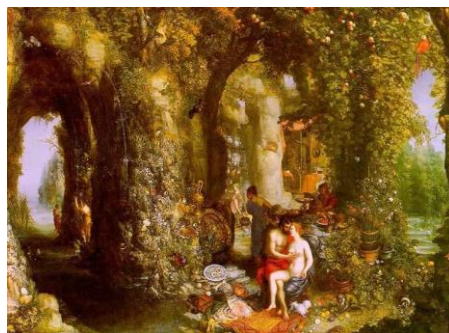
bajo el reinado del rey Nabucodonosor II al trono del rey Senaquerib (705-689 a.C).

Se ha encontrado una única representación de los jardines del rey Senaquerib, que corresponde a un panel de piedra de su nieto Asurbanipal III datado de los años 645-635 a.C. Se describe un paisaje natural en colina, con diferentes especies de árboles distribuidos en varios niveles, surcado a su vez por un acueducto que alimenta unos canales de agua; a la derecha del palacio se encuentra una estructura abovedada, utilizada también como acueducto, que soporta una alineación de árboles que se cree, que fueron los que dieron lugar a la denominación de “jardines colgantes”.

Con respecto a Grecia, la vid se pone nuevamente de manifiesto a través de las aventuras de un héroe, bajo un contexto mitológico. Ahora se vincula a las **fachadas vegetales**. Una de las primeras referencias la encontramos en el Canto V – La Balsa de Ulises – de la Odisea de Homero: “*La vid, que encorva el grano purpurino, con sus cepas la gruta enroscada y viste*”; define aquí la cueva de Calipso (figura 3), sobre cuyas paredes exteriores se desarrolla la vid, cubriéndolas y embelleciéndolas, así como sirviendo de camuflaje para la gruta, escondiéndola entre la abundante vegetación de la isla de Ogiigia. La vid se convierte entonces en fachada vegetal para la gruta, que sirve de hogar de la ninfa.

Otra referencia importante hacia las fachadas vegetales son los Jardines de Adonis; estos son el resultado de un rito funerario que llora la temprana muerte del joven amante de Afrodita. Estos jardines están compuestos por plantas de rápida germinación como cereales (trigo, cebada, lechuga e hinojo), y se disponen en macetas de barro o cestos de mimbre. La selección de este tipo de vegetación hace referencia a la muerte y resurrección de Adonis, mediante la muerte y germinación de las plantas.

En Roma, los elementos como las **pérgolas**, **las fachadas vegetales** y **las cubiertas**



(Figura 3): Cuadro de la Cueva de Calipso, por Bruegel & DeClerck

Fuente:

<http://clasicasusal.es/Mitos/odisea.htm>

**vegetales** toman una mayor importancia y una nueva dimensión.

Las **pérgolas** aparecen como estructuras más o menos pesadas, fabricadas en madera y mármol, con formas curvas o rectas, y que podemos encontrar en representaciones como las del Mosaico del Nilo del Palacio Barberini de Palestrina (80 a.C). Estas estructuras fueron usadas para dar sombra a los triclinios de verano de las casas romanas, hoteles, posadas... El patio peristilo pasa a tomar un significado más de jardín, donde elementos como las columnas y las galerías se encargan de hacer la transición entre los espacios interiores y exteriores. El elemento vegetal por excelencia es la hiedra, que se enrosca alrededor de las columnas, rellenando los huecos y cubriendo las paredes de la estancia.

Esta incorporación de vegetación en las viviendas romanas viene provocada por la ausencia de espacio en las ciudades, y desembocaría posteriormente, en la aparición de balcones y **cubiertas ajardinadas**, que gozarían de gran popularidad en las grandes villas romanas.

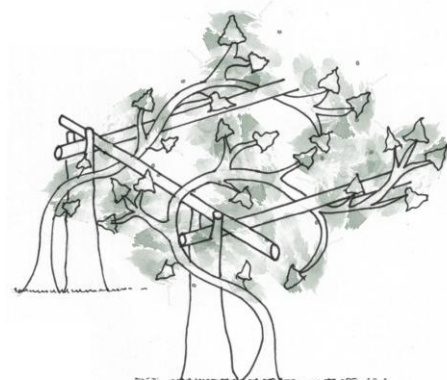
## ■ Sistemas Arquitectónicos Vegetales

Tras este repaso por los orígenes de la arquitectura vegetal, pasamos a analizar los sistemas arquitectónicos de los diferentes elementos antes mencionados.

### Emparrados

La vegetación toma gran importancia como elemento **regularizador** de las **condiciones climáticas**, así como la temperatura y humedad ambiental, el control del paso del aire y la radiación solar.

En el antiguo Egipto el jardín tenía la función de **refugio climático** (figura 4), con un oasis vinculado a una vivienda y en el que el espacio más apreciado lo compondrían los emparrados, que decorarán y organizarán las estancias. Estos emparrados tienen un desarrollo horizontal por lo que crean una pantalla solar a una altura determinada del suelo, impidiendo así el paso excesivo de los



(Figura 4): Esquema emparrado  
Fuente: *Elaboración propia*

rayos de sol, así como el calentamiento de la estancia, produciendo de igual manera un enfriamiento del aire que está en contacto con la vegetación.

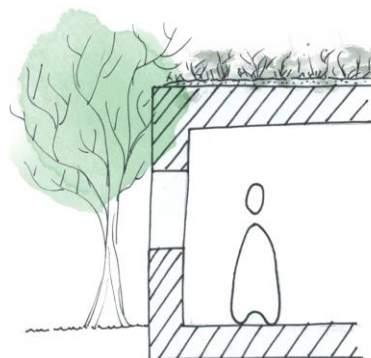
En su evolución, el emparrado relegará la estructura del soporte del mismo a un segundo plano, oculto bajo la vegetación, de manera que parezca una estructura simple y ligera, mostrando así una unión más profunda entre la arquitectura y la vegetación. La función de la estructura pasa de ser **física-estructural** a **estética-ornamental**, enriqueciendo la totalidad del emparrado, camuflando el soporte entre la vegetación y, al mismo tiempo, confiriendo volumen al mismo.

Con la incorporación del emparrado a las estancias de las viviendas, se da un gran salto en la unión entre la arquitectura y la naturaleza, especialmente es los espacios denominados “**triclinios**”, estancias que, con buen tiempo, serán usadas prácticamente todo el año. El huerto presente en estas viviendas también sufrió cambios, con la incorporación de nuevas especies vegetales como pepinos o calabazas, aunque seguiría siendo la vid la planta predominante.

En definitiva, se utilizarán gran variedad de estructuras de soportes, con columnas de sección circular o cuadrada que se encargará de resguardar las estancias y suavizar la transición interior - exterior, espacios construidos - espacios naturales y arquitectura-naturaleza.

### Cubiertas Vegetales

La **cubierta** (figura 5) de los edificios habían sido un espacio caído en el olvido y desaprovechado, considerado como el límite de las intervenciones humanas, la división entre lo terrenal y lo divino. La proliferación de la creación de estos espacios vegetales nace de la necesidad de no perder contacto con la naturaleza y por la falta de espacio en las ciudades destinados a espacios naturales; es una fusión de diferentes culturas (Grecia, Mesopotamia y Roma) que llevaría a la



(Figura 5): Esquema cubierta vegetal  
Fuente: *Elaboración propia*

ornamentación de estos espacios mediante la vegetación.

Hacia el s.V a.C aparece la referencia de los Jardines de Adonis en Atenas (figura 6); la recuperación de piezas de cerámica decoradas con pinturas que reproducen esta escena, nos permite observar el momento de la veneración de Adonis cuando Afrodita, subida a una escalera, se dispone a subir al tejado con una maceta con plantas en sus manos. De esta manera, la jardinería pasaría a colonizar el espacio de las cubiertas, considerado anteriormente como puramente arquitectónico.

Encontramos también referencias históricas hacia las cubiertas vegetales en las múltiples teorías relacionadas con la existencia de los **Jardines colgantes de Babilonia** en el s.I a.C; las evocaciones hacia estos jardines siempre han sido confusas, contradictorias, opacas y tecnológicamente desconcertantes, sin poder nunca llegar a verificar que realmente existieron. A pesar de estos inconvenientes, todas las versiones muestran algunos aspectos en común: la estructura arquitectónica sobre la que se desarrollan los jardines y la profundidad de la tierra, capaz de albergar árboles de gran envergadura. La difusión de esta leyenda se vio impulsada por las grandes construcciones mesopotámicas llamadas “**zigurats**” cuya existencia sí está probada; estos se componían de plataformas elevadas que podrían presentar vegetación en sus diferentes escalonamientos.

En tiempos romanos la **ornamentación** de las cubiertas se popularizó rápidamente, especialmente en las grandes villas urbanas, que no tenían la posibilidad de mantener un lazo tan estrecho entre la naturaleza y la arquitectura como si ocurría en las villas de los campos.

### Fachadas vegetales

La introducción de **especies vegetales trepadoras** en elementos puntuales arquitectónicos como columnas o muros acentuaría aún más el vínculo entre arquitectura y naturaleza. Estas plantas sólo



(Figura 6): Jardines de Adonis, crátera s.V a.C

Fuente:

<https://www.pinterest.com.mx/pin/524599056577529473/>

necesitan un soporte vertical para comenzar su crecimiento y expansión, avanzando sin límites mientras no haya una intervención humana.

El primer referente mitológico data del s.VIII a.C., donde Homero en sus epopeyas sobre la **gruta de la ninfa Calipso**, describe sus paredes como cubiertas por la vid, que, junto con su preciado fruto, se expande y desarrolla de manera incontrolada por todas las paredes de la cueva, ocultándola y actuando como refugio; de hecho, se escoge este mecanismo de camuflaje en claro referente al significado del nombre de la ninfa: Calipso se traduce como “oculto, ocultador”.

Serían los romanos los que conseguían alcanzar la armonía entre el jardín y la arquitectura mediante el empleo de la hiedra; esta planta crecería alrededor de las columnas, enlazando unas con otras a través de los arquivoltas y rellenando los huecos entre ellas. Con esta cubrición vertical de las paredes podemos establecer el origen más real y fiel de las fachadas vegetales.





# ESPACIOS VEGETALES

Arquitectura de Arquitectos

Como hemos podido comprobar, la relación entre la arquitectura y la naturaleza ha existido desde el principio de los tiempos. Esta relación se ha establecido desde dos puntos: de la naturaleza se extraen materiales y elementos utilizados en la construcción, y el ser humano ha querido siempre introducir la naturaleza y vegetación en las zonas que ha habitado. De esta manera, nace el arte de la **jardinería**, como un intento de domesticar la naturaleza permitiéndola seguir formando parte del paisaje, mientras que, en la primera de las relaciones, lo vegetal se ve manipulado por la acción del hombre, con lo que pierde su esencia de ser vivo.

El ejemplo más sencillo de esta arquitectura se produce en los jardines, especialmente en las zonas destinadas al reposo, donde la naturaleza se densifica formando muros, y creciendo apoyándose en estos hasta llegar a formar **estructuras horizontales de cubrición**, dotando a los espacios de más intimidad.

A continuación, se muestran unos ejemplos de arquitectos mundialmente conocidos, en los que la arquitectura se construye desde la vegetación. Es de vital importancia la destreza de estos arquitectos en la representación de estas arquitecturas, puesto que el dibujo les permite transmitir de manera más sensible las cualidades y sensaciones que la vegetación aporta a un espacio mejor que una fotografía, que simplemente capta un momento estático.

Con estos ejemplos se pretende profundizar en la habilidad del arquitecto para **proyectar arquitectura mediante la vegetación**. Para ello, es necesario un estudio de cada especie vegetal que nos permita aprovechar al máximo todas sus cualidades, pudiendo así crear espacios que generen nuevas sensaciones que no serían posibles con otros materiales inertes. La arquitectura permite ser disfrutada con el paso del tiempo, en el que la vegetación cambiará las características del espacio en el que se encuentre según las diferentes estaciones del año. Otro beneficio de la incorporación de la naturaleza en la arquitectura es que permite diluir el límite

entre el exterior y el interior, así como el de las estancias de la vida privada doméstica y el espacio público.

### ■ Plaza de la Catedral de Almería – Alberto Campo Baeza, 1978

Se trata de un **concurso de ideas** organizado en 1978 para la intervención de la plaza pública frente a la catedral de Almería.

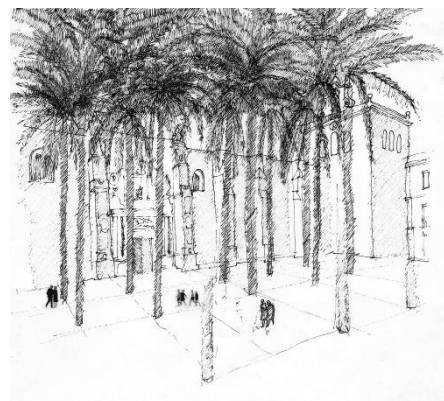
A pesar de que la ciudad de Almería tiene una clara influencia musulmana, el trazado de la plaza frente a la catedral no se ajusta a dichos ejes, y presenta unas dimensiones mayores, estando fuertemente delimitada por los edificios que la rodean y la imponente fachada de la catedral, de estilo renacentista, que se presenta como una fortaleza con un gran muro ciego apenas horadado y grandes contrafuertes.

Campo Baeza propone **“una arquitectura “sin arquitecturas”**”, planteando como solución para este espacio el uso de la naturaleza como elemento arquitectónico.

La especie vegetal escogida es el **palmeral** que, gracias a su gran altura, sería capaz de crear una cubierta vegetal por encima de los edificios de manera que crearía estancias de sombra frente a la catedral. Esta estrategia evoca la idea de la creación de una sala hipóstila similar a la de los templos egipcios, donde los troncos esbeltos de las palmeras se asemejarían con columnas y las palmas de la copa que emergen de un único vértice cubrirían los espacios entre ellas.

El croquis (figura 7) por Alberto Campo Baeza crea una imagen muy atractiva, en la que la densidad de las palmas a gran altura no impide ver los edificios del entorno y aún se podría distinguir la silueta de la catedral entre los troncos de las palmeras.

La intención es crear un espacio urbano delimitado verticalmente por los troncos de las palmeras y horizontalmente por las palmas, que crearía una especie de **“nube”** que tamizaría la luz del fuerte sol habitual en Almería. Con esta estrategia, se permite al mismo tiempo solucionar el problema del



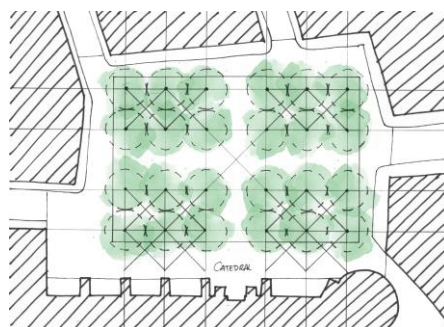
(Figura 7): Croquis Alberto Campo Baeza sobre la Plaza de la Catedral de Almería

Fuente:

<https://www.campobaeza.com/es/catedral-square/>

soleamiento de esta plaza durante todo el año, pudiendo prescindir de otras infraestructuras móviles e itinerantes como son los toldos que se anclan a los edificios; el palmeral no crearía impacto alguno en las edificaciones colindantes y se mostraría de manera independiente. El espacio generado se distancia de la escala humana e introduce la naturaleza en un espacio hasta entonces controlado por el hombre.

Sin embargo, el resultado final no es el esperado, pues las palmeras no son capaces de producir esa “nube de palmas” (figura 8) ideada por Campo Baeza; aun así, el dibujo inicial del arquitecto nos enseña un ejemplo de espacio vegetal muy inspirador mediante el empleo de vegetación viva.



(Figura 8): Croquis planta  
Fuente: Elaboración propia basada en los croquis de Alberto Campo Baeza

### ■ Vivienda para Alcudia, Mallorca – Alejandro de la Sota, 1984

Estas viviendas no se llegaron a construir, pero su estrategia de **proyectar parte del paisaje** perteneciente al lugar se muestra como seña de identidad del arquitecto, ya que fue empleada en otros proyectos como la Vivienda Guzmán en proyectada en 1972.

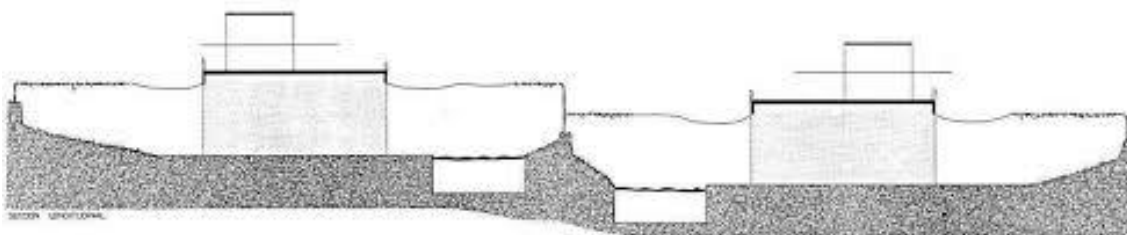
El emplazamiento de la vivienda es una parcela en pendiente que cae hacia el Mar Mediterráneo, con la presencia de tapias tradicionales campesinas. Estas casas enmarcadas por tapias se componen de dos espacios: un espacio cerrado e íntimo producido entre las tapias y que acoge la vivienda, y un mirador hacia el mar.

Sobre el uso de la vegetación en la arquitectura, el arquitecto apuntó en 1995 que “viviremos en toda la pequeña parcela que así hemos convertido en la más grande casa. Viviremos emparrados”. Esta cita hace referencia a la estrategia que sigue de la Sota, en la que, aunque en un primer momento el elemento divisorio de los espacios es la tapia, finalmente será la vegetación quien desempeñe un papel más fuerte.

En la parcela de la vivienda el terreno entre la **tapia** y la vivienda se inclina, de manera que la vegetación del suelo forma parte del límite; la

tapia sirve también como soporte de las **enredaderas** que propician que la vegetación pueda desarrollarse en dirección perpendicular al suelo, y horizontalmente creando una cubierta vegetal.

En la sección (figura 9) proyectada por el arquitecto se aprecia de manera más clara la disolución entre la vivienda y la “*pequeña parcela*” habitada; la vegetación forma una envolvente exterior que toca sutilmente a la vivienda mediante elementos livianos como toldos de tela.



(Figura 9): Sección Alejandro de la Sota de la Vivienda para Alcudia

Fuente:

[https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/24739/01\\_ARTICULO\\_alejandro%20de%20la%20sota.pdf?sequence=1](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/24739/01_ARTICULO_alejandro%20de%20la%20sota.pdf?sequence=1)

## ■ “Extreme Nature” de Japón, Bienal de Venecia – Junya Ishigami, 2008

Se trata de una instalación de “**invernaderos**” en los alrededores del pabellón. Se elaboran mediante construcciones diseminadas de acero y vidrio, con modificaciones sutiles mediante el uso de la vegetación.

En la arquitectura de este arquitecto se puede apreciar un entendimiento muy profundo entre la casa tradicional japonesa y el exterior. En esta arquitectura, el límite entre el exterior y el interior no se delimita de manera clara, ya que se emplean paneles móviles de arroz para dividir los espacios que cambian en función de sus necesidades; del mismo modo, la climatización tampoco tiene límites, sino que se reduce a un punto focalizado de la vivienda.

En esta arquitectura la casa se habita en función del tiempo; **la naturaleza es muy apreciada en la cultura japonesa** y se conserva y respeta a través de la observación.

La finalidad de la creación de esta arquitectura propuesta por el arquitecto para la Bienal de Venecia era elevar la temperatura uno o dos grados para permitir la plantación de nuevas especies en el jardín. A parte de la vegetación, el arquitecto incorpora muebles de interior, como sillas, para que estos lugares asociados comúnmente a espacios de jardín pudieran ser habitados por el hombre (figura 10).

Hay un interés muy profundo por **vivir entre la vegetación**, de manera que se intenta diluir al máximo el límite entre lo construido y lo natural, manteniendo una visual continua entre el dentro y el fuera tanto en los techos como en las paredes. El arquitecto mantiene que se podría vivir en el jardín si la temperatura fuera la adecuada, de ahí la estrategia de introducir muebles para que el hombre se sienta más cómodo en el espacio. Se plantea la posibilidad de que la persona pueda habitar el lugar tanto dentro como fuera, de manera libre, ocupando un lugar u otro en función de sus necesidades o condiciones de temperatura, soleamiento... El programa propuesto permitía una conexión continua entre el interior y el exterior, acentuada también con la introducción de plantas que se elevarían hacia el cielo.



(Figura 10): "Extreme Nature", Bienal de Venecia – Junya Ishigami

Fuente:

<https://medium.com/@annawangyudie/assessment-task-2b-model-scale-63afe217b286>

## ARQUITECTURA VEGETAL

Otras aplicaciones para materiales naturales



Las plantas han estado presentes en la arquitectura desde sus orígenes, ya sea en setos o emparrados, o incluso como estructura portante de la misma. Esta arquitectura, denominada vernácula, la construcción vegetal tiene una amplia trayectoria, desde las cubiertas vegetales en los techos (cubiertas elaboradas con materiales vegetales) asturianos hasta los mudnif (casa tradicional elaborada con caña) de Iraq.

Debido a su versatilidad y facilidad de ejecución, estas técnicas de construcción se están recuperando, y están surgiendo numerosos estudios para sacar partido a todas sus cualidades térmicas, mecánicas...

Los materiales que más se han popularizado han sido el **bambú** o la caña, utilizados en proyectos como el pabellón de España para la Expo de Shangahi (estudio EMBT) (figura 11), y la paja prensada aplicada en las viviendas unifamiliares de Wiggleswoth y Till en Londres.

Esta arquitectura es especialmente popular en la construcción de viviendas sociales de bajos recursos, o en zonas que no están tecnológicamente muy avanzadas debido a su versatilidad y su facilidad para acceder a los materiales y técnicas empleadas. Prueba de ello es el sistema denominado “**Domocaña**” desarrollado por la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Ingeniería de Lima (Perú), aplicado a la construcción de viviendas a bajo coste.

La preocupación por la sostenibilidad y el impacto ambiental generado por el hombre ha popularizado el uso de materiales vegetales en la arquitectura contemporánea. Para ello, ha sido necesario numerosos estudios para establecer genealogías y afinidades entre distintas prácticas, analizando sus posibilidades técnicas, así como las condiciones sociales, urbanas y arquitectónicas que pudieran generar. Se categorizan las estrategias según sean sistemas estructurales, de envolvente o mixtos.

## ■ Sistemas estructurales



(Figura 11): Pabellón España – Expo Shangai  
Fuente:  
[https://www.inypsa.es/listado\\_proyectos.php?id=190](https://www.inypsa.es/listado_proyectos.php?id=190)



A parte de materiales a los que estamos acostumbrados a que asuman la función estructural, como puede ser la madera, ciertos tipos de plantas pueden asumir también ese papel perfectamente utilizando técnicas muy diversas para dotarlas de mayor resistencia mecánica. La reducida escuadría de la mayoría de plantas de humedal y gramíneas ha hecho que, la técnica empleada para su aplicación a la arquitectura consista en agrupar tallos en hacer atados con cuerdas para aumentar su resistencia y evitar el pandeo. Un ejemplo práctico son los “mudhifs” (figura 12) tradicionales de las zonas inundables de Iraq. Se utiliza el junco autóctono de la zona, que presenta un gran tamaño y puede actuar como estructura de la vivienda; la estructura forma arcos formados por haces de juntos atados cuyo diámetro oscila entre 45cm en la base y 15cm en la punta y su principal ventaja es que puedes ser portables en caso de inundación. Los haces se hinchan por medios manuales en la base de las islas flotantes creadas mediante capas de junco y barro superpuestas, de manera que cada haz se confronta con otro igual; posteriormente ambos haces se curvan mediante medios manuales formando un semiarco que se solapa con el de enfrente formando así la estructura portante. Para garantizar una mayor estabilidad, esta estructura se arriestra mediante elementos de menor tamaño. Finalmente, los testeros se cierran con celosías elaboradas con el mismo material, que permiten dejar pasar la luz y la brisa, acondicionando térmicamente el interior.

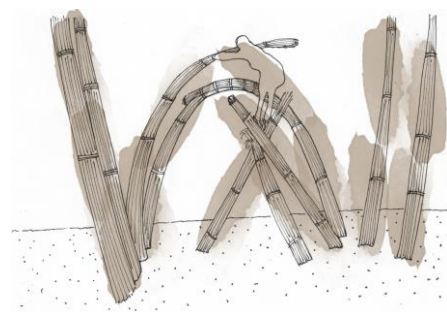


(Figura 12): Mudhif

Fuente:

<https://www.pinterest.es/pin/375206212689506477/?lp=true>

Esta misma técnica ha sido empleada también por el arquitecto británico **Jonathan Cory-Wright**, que ha desarrollado el método denominado “Canyaviva” (figura 13) que consiste en agrupar cañas de calibre reducido en fardos que se curvan para formar arcos; estos arcos se complementan posteriormente con esteras elaboradas con cañizo. Una muestra de esta técnica es la estructura construida para la Expo de Zaragoza de 2008.



(Figura 13): Construcción mediante el método “Canyaviva”

Fuente:

Elaboración propia

Otro arquitecto que investiga con esta técnica es **Marco Casagrande**; utiliza técnicas similares a la cestería para cubrir grandes

luces con ramas de sauce, como es el caso del Sandworn, construido para la Trienal de Beaufort en 2012 en las playas de Wenduine (Bélgica), con una estructura que cubría un espacio de 45 metros de longitud y 10 metros de diámetro.

En el sureste asiático es donde esta arquitectura se hace más popular ya que cuenta con técnicas más arraigadas capaces de resolver infraestructuras de gran envergadura. Como muestra son los grandes puentes que se encuentran habitualmente en esta zona; estos se construyen con bambú de diferentes tipologías y se consolida la estructura superponiendo estos elementos. Se pueden citar tres tipos de puentes: **el puente estacional** (figura 14) se crea con la suma de elementos adintelados, y cada temporada seca se construye para unir Kampong Cham (Camboya) con la isla de Mekong, hasta que en la temporada de lluvias los torrentes de agua lo destruyen; el segundo se utiliza en luces menores aplicando como solución el **arco comprimido**, como podemos observar en el puente construido sobre el río Matira en la localidad de Barangay (Filipinas); finalmente, para salvar luces mayores se crean los puentes colgantes (figura 15), formados por especies vegetales como lianas y **raíces aéreas de árboles vivos**, entrelazando las ramas de un lado al otro del cauce de manera que distintos árboles acaben formando un único organismo y una estructura portante capaz de soportar grandes cargas.

Este último ejemplo inspiró a el arquitecto alemán **Ferdinand Ludwig** a idear una nueva arquitectura vegetal que él mismo bautizó como **“Baubotanik”**. Esta técnica se basa en el empleo de árboles vivos para crear estructuras portantes. Curiosamente, encontramos un antecedente a esta arquitectura en los pueblos del sur de Alemania en tiempos de la Edad Media, denominado **“Tanzlinde”** o **“tilo de baile”**; se trata de una construcción arbórea realizada por anastomosis de las ramas de varios tilos, de manera que los árboles se transforman en



(Figura 14): Puente de bambú entre Kampong Cham y Mekong

Fuente:

<https://www.vistaalmar.es/turismo/7479-puente-bambu-kampong-cham-construye-desmonta-cada-ano.html>



(Figura 15): Puente colgante

Fuente:

<https://buenavibra.es/por-el-mundo/ingenieria-puentes-de-raices->

una cubierta vegetal con carácter arquitectónico.

La técnica de la **anastomosis** permite la unión de varias plantas para formar un único organismo. Ferdinand Ludwig junto a Oliver Storz y Cornelius Hackenbracht estudió esta técnica en su proyecto fin de carrera, construyendo una **pasarela peatonal** que cruzaba una finca de Wald-Ruhestetten (Alemania) (figura 16); dicha pasarela estaba compuesta por 64 elementos verticales de 12 ejemplares de **sauce** cada uno, arriostrados con diagonales de la misma planta que servían de sustento para una plataforma de rejilla.

Este proyecto fue el comienzo de otros muchos estudios a cerca de esta técnica. Posteriormente, en 2009 se propuso la realización de una torre junto con el escultor Cornelius Hackenbracht, que sirviera de fuente de estudio de la aplicación de esta técnica en las nuevas construcciones. La torre, situada en Wald-Ruhestetten, cuenta con un área de 8 metros cuadrados en planta y una altura total de 9 metros, aunque se estudia la posibilidad de elevar la altura mediante la adición de plantas en distintos niveles. Con la ayuda de un andamio provisional, las especies vegetales plantadas en el suelo aumentan su altura mediante otros ejemplares que se van añadiendo en niveles superiores y se fusionan mediante anastomosis. Las plantas de los niveles superiores tienen sus raíces en macetas que, cuando la unión con las plantas principales haya concluido, se retirarán, formando así un único organismo que se nutre a través de un sistema reticular que se desarrolla en la tierra.

En 2012 se aborda la construcción de un edificio de más envergadura denominado **“Kubus”** (figura 17), que servirá como reclamo para la Exposición Regional de Horticultura de Nagold (Alemania). En este caso, la especie vegetal escogida es el plátano, y se utiliza para crear una gran estructura accesible, donde los visitantes puedan experimentar esta arquitectura desde cerca e introducirse en una envolvente verde.



(Figura 16): Pasarela en Wald-Ruhestetten

Fuente:

<https://docplayer.es/90931206-Modelo-de-gestion-para-implementar-infraestructura-turistica-en-los-humedales-de-la-costa-central-del-peru.html>



(Figura 17): Proyecto Kubus

Fuente:

[https://www.pinterest.es/rmalaga/sp\\_terraces/](https://www.pinterest.es/rmalaga/sp_terraces/)

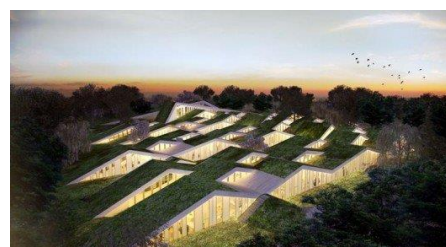
## Sistemas de envolvente

En la cubierta, las plantas han tenido diferentes aplicaciones según el beneficio que se quisiera obtener. La cualidad de las plantas más utilizado en estos casos es su **capacidad aislante**, tanto con plantas vivas en cubiertas vegetales, como secas. Entre 1952-53 las plantas ya fueron usadas como aislantes térmicos mezcladas con cal en el trasdosado interior de las bóvedas Ctesiphton, que cubrían las viviendas ultra baratas de José María García de Paredes y Rafael de La-Hoz en Córdoba.

Esta técnica se puede considerar similar a la empleada con haces de paja seca que se apila para crear los “**thatched roofs**” ingleses.

El afán por utilizar la vegetación en la cubierta de los edificios ya lo manifestó Le Corbusier en su búsqueda de “**activar la quinta fachada**”, donde pretendía recuperar en la cubierta la superficie que ocupa todo el edificio en planta. Este mismo lema fue escogido por el equipo del arquitecto Bjarke Ingels, que lo aplicó en diferentes escalas como por ejemplo en la escuela primaria de Vilhelmsro (Dinamarca) (figura 18).

Con respecto a los paramentos verticales, las plantas tienen una **doble función**: aíslan térmicamente el interior en climas fríos y aportan sombra en los climas cálidos. Prueba de ello son los umbráculos de cañizo o los emparrados, que se reinterpretan formando celosías vegetales que proyectan sombra sobre la edificación y su entorno. Un ejemplo lo encontramos en las viviendas sociales proyectadas por Foreign Office Architects en Carabanchel Madrid, donde el cañizo se monta sobre marcos metálicos practicables que forman la envolvente de las viviendas. También se ha utilizado en la Desert School realizada en 2010 para mejorar las condiciones acústicas y térmicas de esta escuela que se situaba en un campamento beduino de Abu Hindi, y cuya cubrición de chapa metálica original no protegía el interior del edificio de los saltos térmicos ni aportaba unas buenas condiciones de acondicionamiento sonoro. El



(Figura 18): Escuela Primaria Vilhelmsro

Fuente:

<https://gritineducation.com/design-vilhelmsro-primary-school/>

equipo de Luca Trabattoni empleó el **cañizo** como una segunda piel que no solo mejoraría las condiciones de la envolvente exterior, sino que garantizaría unas mejores condiciones tanto térmicas como de seguridad en el interior de las instalaciones.

Otro material interesante para la creación de envolventes es la **paja**, que tradicionalmente, ha sido usada como aislante térmico. Ejemplo de ello es la creación de Félix Jerusalem en Eschenz (Suiza) (figura 19), donde empleó paneles prefabricados de paja prensada en diferentes intensidades según su función: aislante térmico, partición interior o elemento de carga. El conjunto se protege con una piel traslúcida de plástico ondulado, que evita la formación de humedad y, gracias al efecto invernadero, ayuda a calentar los muros.

El **corcho** también ha sido empleado como protección frente a la temperatura exterior. Francisco Asís Cabrero propuso en 1956 construir unas cúpulas trasdosadas con corcho con su patente denominada “**Airform**”, así como emplearlo para rellenar las cámaras de los muros exteriores en edificaciones en España hacia el año 1950. José Carlos Cruz ha recuperado esta tradición en el hotel Ecocork, situado en Évora (Portugal), donde crea una envolvente continua con corcho que posteriormente será encalada para protegerla de la intemperie.

Con la ayuda de una tecnología más sofisticada, las **micro algas** han sido utilizadas recientemente en la fachada de la casa BIQ, proyectada por Splitterwerk Architekten a modo de prototipo para la Internationale Bauausstellung de Hamburgo (Alemania) en 2013. El sistema fue bautizado como “**Solar-Leaf**” y pretende aprovechar las cualidades aislantes del material, así como regular la cantidad de luz de las plantas, evaluando también la capacidad de estos organismos de generar el combustible biológico que alimenta el circuito de calefacción.



(Figura 19): Casa en Eschenz - Felix Jerusalem

Fuente:

<https://inhabitat.com/prefab-friday-straw-bale-meets-factory-built-in-switzerland/>





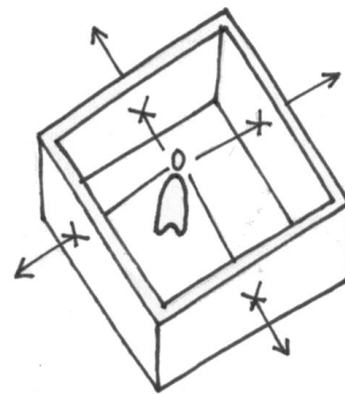
ARQUITECTURA NATURALIZADA

La naturaleza ha servido como modelo de trabajo para el arquitecto, produciendo dos líneas de creación: utilizar los recursos de la naturaleza como medio para elaborar nuevas arquitecturas, o reinterpretando la naturaleza para producir arquitecturas naturalizadas. Estos dos procesos responden a fines diferentes, tales como hacer que la **arquitectura destaque por su efecto**, o, por otra parte, hacer que esta desaparezca mediante un proceso de integración y mimesis con la naturaleza de su ambiente.

De este modo, podemos establecer 2 tipos de contenidos para esta arquitectura: el **recinto** y el **armazón**. Esta clasificación de los proyectos arquitectónicos permitirá distinguir la arquitectura que se nutre de la naturaleza de la que se funde con ella y convive con su entorno.

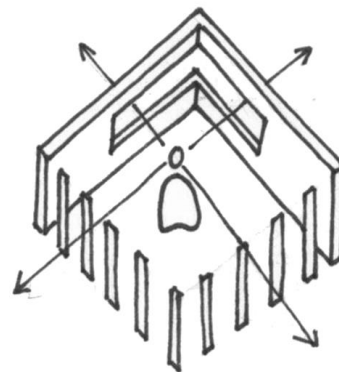
### ■ Recinto vs armazón

El espacio arquitectónico definido con límites dimensionales, capaces de generar una experiencia concreta y determinada se define como **recinto** (figura 20). Su ordenación crea una línea clara entre el **mundo exterior y el interior**, ocultándose del primero mediante una construcción casi opaca. Su estructura es cerrada y estática, con un espacio interior que parece pesado y claramente definido, refiriendo nuestros sentidos a la masa y la sensación de gravedad.



(Figura 20): Esquema recinto  
Fuente: Elaboración propia

En contraposición, el **armazón** (figura 21) define un espacio con **límites inestables**, creando una experiencia espacial indeterminada para el espectador. Se muestra permeable a la luz, que al atravesarlo favorece una línea visual continua entre el interior y el exterior, haciendo participar a este de la arquitectura que se produce en el interior del mismo. Así, las relaciones físicas entre los diferentes espacios se producen de manera transversal, fragmentando el espacio y creando al mismo tiempo un vínculo a través del aire entre todas las partes intervinientes en la arquitectura. El espacio creado es cambiante e inestable, produciendo una



(Figura 21): Esquema armazón  
Fuente: Elaboración propia



sensación de ingravidez debido a que la arquitectura resultante es ligera y difusa.

Los planteamientos anteriormente enunciados son contrarios tanto conceptual como físicamente y, por lo tanto, las arquitecturas resultantes muestran contradicciones: la construcción a modo de recinto nos evoca un estado de compactación y ocultación, mientras que el almacén sugiere una mayor apertura y disolución de los límites. Como referente en el mundo de la naturaleza, podemos referirnos a la cueva como recinto, y al bosque como almacén.

Así, la **cueva** era un espacio primitivo, que se mostraba como una arquitectura pesada y totalmente cerrada, sin apenas relación con el exterior más allá de unos huecos socavados en la masa. La cueva define un recinto cerrado, consolidado y terminado, que no sufre cambios y divide de manera muy clara el exterior del interior, la masa del aire.

El **bosque** por otra parte, se asemeja a un modelo estructural abierto y natural, que se muestra incompleto y cambiante, viéndose afectado por los sucesos que acontecen en el exterior, siendo partícipe de ellos al mismo tiempo. Las ramas crean un complejo entramado que se relaciona con el medio y se mimetiza con el entorno donde se ubica; en esencia, se trata de una superposición de capas de materia (ramas, hojas...) que funcionan con independencia, aunque estén unidas entre sí. En este tipo de naturaleza, el almacén tiene una definición imprecisa en sus contornos, siendo estos dinámicos e inestables, con un crecimiento y forma muy flexibles.

Si definimos el **recinto** como una **estructura primaria** o construcción primitiva, el **almacén** será por otro lado una **arquitectura más evolucionada** y cercana a los planteamientos contemporáneos que se están dando en las nuevas arquitecturas actualmente. La cueva muestra una continuidad del material, apresando en el espacio interior al espectador, mientras que el bosque se caracteriza por una discontinuidad del material que favorece la continuidad visual del observador entre el

espacio exterior y el interior, liberando a este de las ataduras físicas de la arquitectura y creando un espacio permeable.

Como conclusión, podemos definir el primer caso como una **imposición de la arquitectura sobre el medio natural**, mientras que, en el segundo caso, es la **arquitectura la que se somete a la naturaleza**. Esta es la muestra de una clara evolución tipológica del modelo estructural que forman las arquitecturas, pasando de la construcción considerada más primitiva, a otra que es técnicamente más compleja pero que da sensación de más lividez debido a la forma en la que se emplean y aprovechan los materiales; la nueva arquitectura es capaz de adaptar una forma cambiante y flexible debido a las relaciones que se establecen entre esta y el entorno, cubriendo todas sus necesidades y fomentando una relación espacial continua entre los diferentes espacios

### ■ **Arquitectura vegetal naturalizada vs Naturaleza vegetal arquitectonizada**

La división entre lo natural y lo artificial no siempre es clara, sino que muchas veces aparece de forma inestable y cambiante; realmente, no tiene sentido hablar de arquitectura natural o arquitectura artificial, puesto que la arquitectura siempre implica la acción en mayor o menor medida del hombre sobre el medio. La distinción correcta sería hablar de **estructura natural**, con respecto a aquella construcción que proceda de modo directo de las fuentes de la naturaleza, y estructura de origen artificial, siendo esta la marcada por la acción del hombre.

Estos conceptos fueron estudiados por la arquitecta María Antonia Fernández Nieto, arquitecta e investigadora, la cual estableció la creación de dos subcategorías de arquitectura: **arquitecturas naturalizadas y naturalezas arquitectonizadas**.

Ambas arquitecturas han estado presentes en la evolución de las construcciones, pero las arquitecturas vegetales naturalizadas han ocupado un puesto de mayor protagonismo,

debido a que las naturalezas vegetales arquitecturizadas tienen más limitaciones.

Los primeros corren el riesgo de resultar demasiados literales en su resultado final, puesto que su producción resulta ser visualmente inmediata, y su ejecución no está necesariamente condicionada por un sistema constructivo concreto. Por otro lado, los segundos resultan menos frecuentes, y dan lugar a un acotado catálogo de opciones, debido a que su aplicación queda reducida a entornos naturales.

A pesar de sus limitaciones, la naturaleza vegetal arquitecturizada están en auge en la actualidad debido a que el ser humano está empezando a tomar conciencia del impacto ecológico que genera, y existe una creciente conciencia sobre la sostenibilidad medioambiental.

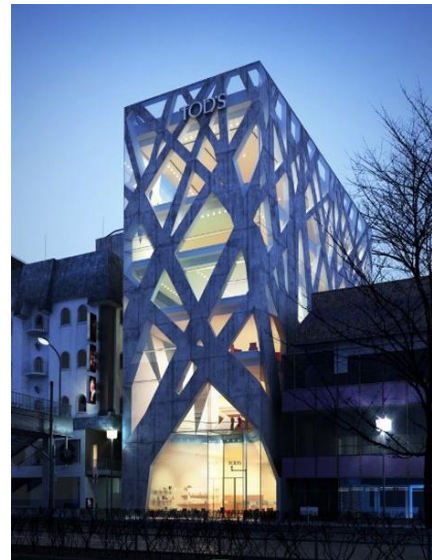
### Arquitectura vegetal naturalizada

Se define como la arquitectura que pretende imitar de forma explícita la espontaneidad del crecimiento vegetal de la naturaleza.

Desde los inicios de la arquitectura, el arquitecto ha querido siempre reproducir la naturaleza que anhela o admira, representando las condiciones de los vegetales a través de mecanismos artificiales. Un gran ejemplo de esta arquitectura es el arquitecto **Toyo Ito**, concretamente, su proyecto para la sede de **Tod's** (figura 22), en el barrio de Omotesando (Tokio). El proyecto se entiende como una unidad, donde lo construido de forma artificial se manipula como un mecanismo natural; el contorno responde al elemento natural árbol, el cual admiraba el arquitecto. Toyo Ito utiliza una estrategia de efecto, planteando un proyecto cuya estructura sigue el esquema de un elemento natural, creando de esta manera una **arquitectura vegetal artificialmente naturalizada**.

### Naturaleza vegetal arquitectonizada

Se trata de formaciones de origen vegetal, manipuladas en el tiempo y el espacio, pero sin alterar su esencia, creando estructuras



(Figura 22): Sede de Tod's – Toyo Ito

Fuente:

<https://www.pinterest.es/pin/518899188307962326/?lp=true>

naturales. Este tipo de formaciones no se consideran como arquitecturas al uso, sino más bien como formaciones naturales desnaturalizadas.

Alterar o controlar el crecimiento de las especies vegetales no es una estrategia aplicada a la arquitectura recientemente, sino que, como ya hemos visto anteriormente, esta práctica ya era usada en la antigüedad en el caso de los emparrados de bodegas o cortijos, senderos de árboles en donde se controlaban los lugares de plantación...

El país que por excelencia profesa más afecto y respeto por la arquitectura natural es **Japón**, donde este tipo de prácticas guardan grandes lazos con la cultura y sensibilidad del país. Un ejemplo es el Jardín de Kenroku-en (figura 23), en la ciudad de Kanazawa (isla de Honshu).



(Figura 23): Jardín de Kenroku-en (Kanazawa, Honshu)

Fuente:

<https://www.way-away.es/japon/que-ver-hacer-en-japon/que-ver-hacer-en-kanazawa/visitar-el-jardin-kenrokuen-en-kanazawa>

Este jardín data del s.XVI, de la época Edo y cuenta con una superficie aproximada de 12 hectáreas, situadas junto al castillo de Kanazawa.

El nombre de Kenroku-en se traduce como “el que tiene seis elementos”, puesto que, para la cultura japonesa, existían 6 escenarios para producir el paisaje perfecto: espaciosidad, tranquilidad, artificio, antigüedad, cursos del agua y vistas desde el jardín.

El elemento jardín está compuesto por un elemento denominado “**yukitsuri**” (figura 24),

que significa “colgantes de nieve”; este se refiere a unas estructuras de **cuerdas** que se atan en forma cónica y protegen las ramas de los árboles en periodos de riesgo como épocas de nevadas. Esta técnica nació durante la época Edo como solución y protección de las ramas de los árboles, evitando que estas se dañasen o quebrasen. Su función en este jardín es de gran importancia, pues dan cobijo a los árboles, elemento natural protagonista por excelencia en esta composición. Además de su función protectora, las cuerdas abrazan las ramas de los árboles, controlando su forma, contorno y crecimiento.

En este jardín podemos observar la convivencia de dos conceptos: el primero plantea el jardín japonés como un ejercicio de **artificio natural**, y el segundo, la presencia de pequeñas construcciones construidas con **cañas de bambú** y cuerdas o tirantes, que controlan el crecimiento y la forma, así como protegen a los árboles de las inclemencias del tiempo.

Esta estrategia también muestra una desventaja, ya que el crecimiento natural de la vegetación, así como su forma de abrirse se ve cuestionada; la tradición japonesa obliga a que la libertad con la que la vegetación crece y se abre al paisaje sea transformada en un ejercicio de artificiosidad. Por otro lado, con la técnica de las cuerdas y tensores el crecimiento inicialmente natural de la vegetación se forma a la par que el montaje artificial de las cañas o cabos; es la estructura complementaria la que tiene forma arbórea, generando dos formaciones: conos de cuerdas o brazos horizontales formados con cañas de bambú.

El jardín de Kenroku-en se plantea como una intervención global, donde lo construido artificialmente adopta **características naturales** y, por el contrario, lo que crece de forma natural es tratado como un trabajo artificial y controlado como tal.

El entorno de este jardín esta, por lo tanto, manipulado con estructuras en las que las ramas son tratadas como un elemento artificial y las cuerdas y cañas como



(Figura 24): Yukitsuri

Fuente:

<https://www.elblogdelatabla.com/2018/11/yukitsuri-tecnicas-japonesas-protoger-arboles-nieve-invierno.html>

elementos naturales, terminando con la fusión de ambas produciendo una única pieza mimetizada. Este jardín es un claro ejemplo de **contraposición entre lo natural y lo artificial**.

Como conclusión, podemos apuntar que en el primer caso (arquitectura vegetal naturalizada) se produce una producción consciente de la imagen final del proyecto, mientras que en el segundo (naturaleza vegetal arquitecturizada) se hace en sentido contrario generando una anti-imagen. Unos destacan por su efecto mientras que otros son ensalzados por su capacidad de integración en el entorno y mimesis con el mismo.

Ambos procesos parten de la naturaleza vegetal, aunque se podría plantear un debate acerca de si la opción de trabajar directamente sobre la naturaleza vegetal puede suponer en el futuro un nuevo camino, donde el ingenio y la lógica descubra nuevas ventajas en la aplicación de esta arquitectura en cuanto a cuestiones económicas, medioambientales y paisajísticas.



MATERIALIDAD: MADERA Y CAÑA

Para llevar a cabo infraestructuras vegetales como las antes enunciadas, es necesario el uso de **materiales** que, como no podía ser de otra forma, provienen de la naturaleza. En muchas ocasiones, recurrir a materiales ajenos al lugar suele encarecer la construcción, mientras que, el uso de los materiales que nuestro propio entorno nos brinda, enriquece el proyecto, así como crea una mayor conexión con el entorno. EL arquitecto no debe olvidar las construcciones primitivas que, aunque carecen de la tecnología y versatilidad actuales, son ejemplos claros de arquitectura funcional, simple y sostenible

De entre todos los materiales que la vegetación nos brinda, los más utilizados son la madera y la caña. Estos materiales pueden desempeñar tanto la función de estructuras y techos, como de coberturas, muros o acabados.

## ■ Madera

El vínculo entre la **madera** y la arquitectura ha existido desde las primeras construcciones de la historia. Es una **materia prima** de gran riqueza en cuanto a que se trata de una fuente inagotable de posibilidades para la arquitectura. Los tratados y estudios realizados sobre este material se ha realizado desde diferentes enfoques; los manuales que explican su modo de empleo como material describen desde su clasificación botánica, patologías, producción e historia, hasta su transformación en otros productos, sin embargo, existen muy pocos manuales que hayan estudiado las estrategias necesarias para el uso de la madera desde un punto de vista de interioridad del proyecto de arquitectura.

La madera posee una esencia que permite que, a partir de la observación de sus cualidades, pueda nacer un proyecto de arquitectura sin la necesidad de que intervenga ninguna idea que no esté ya presente en el proceso de transformación de este material en elemento constructivo. Con el paso del tiempo, la madera adquiere



nuevos usos y significados, enriqueciendo su esencia; es una estrategia de arquitectura en sí misma.

Podemos afirmar, que la madera es **continente de sí mismo**, ya que cada una de las piezas que se extraen del “tronco madre” guarda la esencia del árbol que algún día fue; son portadores del árbol que ha desaparecido para fragmentarse en diferentes partes, como si se tratase de un miembro fantasma. Esta cualidad es única de este material.

La madera se retuerce y contrae durante su secado en función del corte que haya sufrido; se mueve y deforma, y su constitución puede producir una grieta y o un nudo. En estas imperfecciones, como las vetas de su duramen, la madera conserva los duros inviernos o veranos que ha sufrido a lo largo de su crecimiento.

Es el único material capaz de atrapar el paso del tiempo.

Esta “**memoria**” se pone de manifiesto durante las labores de tala, transporte, aserrado y secado. Comprender estas **4 fases** por las que pasa la madera nos ayudará a entender las complejas relaciones entre la materia y la forma de la contemporaneidad.

### Talar

Talar o arrancar un ser vivo, como es un árbol, del sustrato que lo acoge y lo alimenta es considerado en algunas culturas como un acto de violencia del ser humano sobre la naturaleza. En la cultura japonesa, esta acción se considera un acto de gran solemnidad, en el que la época apropiada para esta actividad son los meses fríos, para que la calidad de la madera sea mayor, ya que, al encontrarse más inerte, corre menos riesgos de ser atacada por hongos o insectos.

Por ejemplo, para la construcción de un templo japonés, el momento de la tala es planificado durante años, hasta que el bosque adquiere la madurez adecuada; la tala se realiza durante una ceremonia llamada “kokoroe”, en la que se realiza un juramento según el cual, el carpintero (toryo) se

comprometía ante el primer “hinoki” que respondería con su vida de que durante la tala no se derrocharía la vida del árbol, sino que sería un proceso para otorgarle a este la “vida de la belleza”.

La tala se considera el **paso más importante** en el proceso de producción de la madera, puesto que es el primer corte que va a recibir, y que la preparará para formar parte de una arquitectura. Tras este hecho, el árbol pierde su esencia de ser vivo y se fragmenta, quedando un tocón en recuerdo del árbol que fue y como vínculo al lugar al que perteneció.

La idea que sugiere ese tocón que permanece en su lugar de origen, inamovible al paso del tiempo y a la acción humana, parece haber sido la fuente de inspiración para el arquitecto Sou Fujimoto en su proyecto de la Wooden House (figura 25), en Kunamoto; el arquitecto definió el proyecto como *“un lugar anterior a que la arquitectura se convirtiese en arquitectura”*. Se trata de un pequeño pabellón construido con piezas de cedro de sección cuadrada de 35cm de lado, configurando un volumen puro hacia el exterior, mientras que en el interior del mismo genera una imagen de árbol-cueva.

La ligazón entre estas grandes piezas se realiza mediante flejes metálicos que atraviesan el material y se ocultan en él, de manera que los puntos de unión aparecen imperceptibles al ser humano, creando así la imagen de un “todo continuo y uniforme”. El interior del pabellón tiene la intención de **crear un espacio estimulante** debido a la aparente aleatoriedad de las piezas que forman la volumetría del proyecto; el arquitecto busca que las dimensiones de las escuadrías sean muy precisas de manera que, exista un equilibrio entre la escala de hombre-árbol, y que sea el usuario el que descubra nuevos rincones en esta arquitectura y le atribuya nuevos usos o actividades.

### Transportar

El transporte de los troncos ya cortados de los árboles se hace mediante los **caudales** de los ríos; la madera floja en el caudal del río,



(Figura 25): Wooden House – Sou Fujimoto

Fuente:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-11798/arch-daily-final-wooden-house-sou-fujimoto>

todavía sin clasificar, pero guardando un extraño pero controlado orden, similar al “caos ordenado” que puede presentar un bosque. Esta imagen retórica del camino de los troncos de madera por la corriente de un río evocó a los arquitectos Eric Miralles y Carme Pinós la idea de “ríos de almas”; esta fue su fuente de inspiración para crear el proyecto del Cementerio de Igualada (figura 26). Identifican los seres queridos fallecidos con los troncos que flotan inertes en el río, como un simbolismo de la pérdida de la vida y el paso de una posición vertical a una horizontal como la adoptada por la madera. En este proyecto, cada árbol tendido en el suelo es la huella de un hombre, y cada hombre la huella de un árbol.

Este cementerio fue pensado como una “Ciudad de los muertos” con espacios dedicados también para lo que aún están aquí (figura 27), creando puntos de encuentro y reflexión en los que los vivos y muertos se acercan en espíritu. Se acepta el ciclo de la vida asemejándolo con el que ha sufrido el árbol, con su crecimiento desde la tierra hasta su cortado, pasando entonces al plano horizontal, sin olvidar el recuerdo que deja su “cadáver” en la tierra, manifestándose en este proyecto con los surcos formados por los troncos en el suelo.

### Aserrar

La fase del aserrado es la más importante en el proceso de transformación que sufre la madera, ya que **determinará su utilidad y destino final**, y un mal corte puede inutilizar por completo la pieza.

El corte más tradicional de la madera proviene de la cultura nipona, y se trata de un proceso extremadamente meticuloso y cuidadoso, ya que la posición y el crecimiento de cada pieza determinará su uso posterior en la construcción del templo; dentro de una caña de bambú se moja un cordel de algodón en tinta y se marcan las escuadrías principales y las secundarias.

Por otro lado, en la cultura occidental, este proceso se ha industrializado, rebajando de



(Figura 26): Cementerio Igualada  
Fuente:  
[https://www.urbipedia.org/hoja/Cementerio\\_de\\_Igualada](https://www.urbipedia.org/hoja/Cementerio_de_Igualada)



(Figura 27): Cementerio Igualada  
Fuente:  
<https://www.pinterest.es/pin/15840011865987224/>

esta manera sus costes de producción y convirtiendo a la madera en un **material atractivo** para construir por su facilidad de transporte y montaje y su precio reducido. A finales del s.XIX, el uso del clavo como elemento de unión de la madera se abarató de manera considerable, lo cual propició la aparición de una nueva técnica constructiva denominada **“Balloom frame”** y desarrollada por George Whashington Snow. Dicha técnica tiene su base en un corte y uso óptimo de la madera, descomponiéndola en piezas de pequeñas dimensiones (10 x 5cm), lo cual hace que estas sean muy manejables.

Esta técnica del “balloom frame” se ha hecho especialmente popular en tierras norteamericanas, ya que gracias a su **bajo coste y facilidad de montaje** permite la construcción de esqueletos de madera que serán posteriormente cubiertos con entablados o paneles para construir cualquier tipo de vivienda.

Frank Gerhy utiliza esta estrategia basada en mostrar los materiales que se utilizan de fondo en la construcción en su proyecto para la residencia de Santa Mónica (figura 38); el arquitecto logra no solo mostrar el esqueleto estructural que compone el edificio, sino también la esencia del corte y aserrado de la madera, ya que muestra la textura de este material sin tratar, en bruto, pudiéndose apreciar en él la huella que dejó la herramienta que le dio forma. Para Gerhy, la arquitectura es más bella cuando no llega a estar concluida, es por esto que el gran logro de este proyecto es convertir en forma algo que es considerado como un proceso.

### Secar

Tal y como se representa en la idílica imagen de los secaderos de madera del s.XIX, estos se estructuran en grandes pilas de madera, separadas entre sí permitiendo el paso del aire, para recudir así el nivel de humedad ocupando el mínimo espacio posible.



(Figura 28): Casa en Santa Mónica  
– Frank Gerhy

Fuente:

<https://veredes.es/blog/la-casa-frank-gehry-inigo-garcia-odiaga/>

Esta imagen, resulta muy evocadora para el carpintero-arquitecto Peter Zumthor, que observa en el proceso de seca una posibilidad de crear arquitectura. Esta estrategia se plasma en el pabellón de la Exposición Universal de Hannover del año 2000 (figura 29). El proyecto surge del **entendimiento entre los movimientos y contracciones** que sufre la madera en su proceso de secado, así como del aire que circula a su alrededor, convirtiéndose también en materiales de construcción. Estos movimientos se traducen en la arquitectura como los muelles o anclajes metálicos, y el aire como una sustancia complementaria, que dará lugar a la aparición de galerías y zonas de paso. Una vez concluida la finalidad de la obra y cuando esta es desmontada, es cuando se aprecia realmente la esencia de las torres apiladas presentes en los secaderos.



(Figura 29): Pabellón Expo Hannover – Peter Zumthor

Fuente:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/pabellon-swiss-sound/>

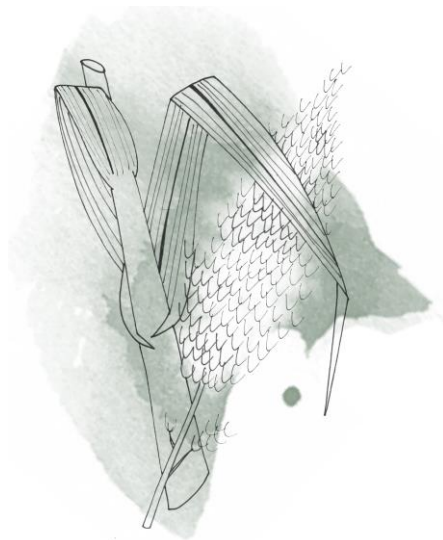
### ■ Caña: “Canyaviva”

La caña se considera como una de las **especies vegetales invasoras** más peligrosas; es una especie rizómic perenne, presente en zonas tropicales y del mar mediterráneo. En la antigüedad su uso estaba muy extendido, utilizándose para formar muros, suelos... pero actualmente, su actividad se ha visto muy reducida.

El nacimiento de la técnica denominada **“Canyaviva”** pretende recuperar el uso de este material aplicado a la construcción de nuevos proyectos innovadores y sostenibles, que respeten el medio natural y al mismo tiempo ayuden a contener la expansión de esta especie.

Para la utilización de este material, es necesario conocer sus mecanismos de crecimiento, desarrollo y expansión, ya que la técnica utilizada y el material están estrictamente unidos.

La **“Arundo donax”** (figura 30), o caña común es una planta herbácea perteneciente a la familia Poaceae presente en muchas regiones tropicales. Su aspecto es similar al bambú, pero presenta un tamaño mucho más pequeño, y se puede dividir en dos partes: el



(Figura 30): Planta “Arundo Dorax”

Fuente: *Elaboración propia*

tallo (parte aérea) y el rizoma (parte subterránea). Los tallos pueden llegar a los 5-8 metros de altura, con anillos que se marcan cada 20-30 cm, con un diámetro medio de 2 cm. Los nudos son de gran importancia en esta especie, pues son ricos en fibras que otorgan la estabilidad mecánica al tallo. De cada uno de los nudos sale una hoja, cuyas yemas alojarán posteriormente ramas secundarias que empezarán a brotar a partir del segundo año de vida. En el subsuelo, el rizoma se ramifica hasta alcanzar áreas de sustrato libres de la competencia de otras especies vegetales; es por esto que esta especie es considerada invasora.

Como hemos comentado anteriormente, el uso de la caña en la antigüedad estaba muy extendido: se empleaban en **tejados, suelos de habitaciones, tabiques divisorios...** o incluso para cubrir las fachadas de los edificios que estaban en construcción y proteger así la vía pública de cualquier desprendimiento que pudiera suceder. Estos usos, favorecían el control de la expansión de los cañaverales, que han ido desapareciendo progresivamente ya que creaban un gran desequilibrio en muchos ecosistemas.

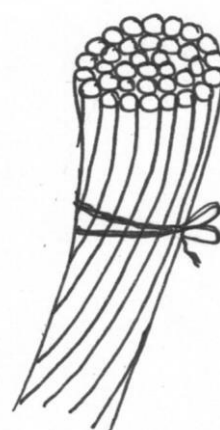
### Canyaviva

Jonathan Cory-Wright desarrolló esta técnica en vista de la abundancia que existía de este material y sus amplias posibilidades de aplicación a las construcciones.

Esta técnica consiste básicamente en elaborar **haces de cañas** (figura 31) que, una vez atados, se curvan para construir **arcos**; estos arcos se fijan al suelo y luego se juntan entre sí. Por último, se añade una estructura secundaria de rigidización que posibilita la construcción de estructuras flexibles y orgánicas que, al mismo tiempo, estables y fuertes.

El proceso constructivo se puede dividir en diferentes pasos, desde los primeros trabajos de cosecha y limpieza, hasta el montaje final como estructura y cubrición.

### Cosecha, limpieza y clasificación



(Figura 31): Esquema haces de cañas  
Fuente: *Elaboración propia*

El primer paso es la cosecha; es necesario considerar la ubicación del cañaveral con respecto al lugar de la obra por motivos prácticos y de sostenibilidad. El mejor momento para la recolección es en invierno ya que las cañas han acabado con la segunda estación de crecimiento y su tamaño y resistencia son los adecuados para su uso.

La caña se arranca tradicionalmente **a mano**, evitando cortarla, ya que de esta manera un nuevo tallo puede nacer del hueco libre dejado por el anterior, evitando que se expanda hacia nuevos terrenos. La cantidad de cañas a recolectar depende de las dimensiones de la estructura final, y se calcula en fase de proyecto; el material puede presentar irregularidades o fracturas, por lo cual se suele recolectar entre 1.5-2 veces más la cantidad de cañas que se estiman necesarias.

Las cañas son separadas según su tamaño en dos montones, grandes y medianas-pequeñas, para posteriormente, proceder a su limpieza. Se eliminan todas las ramas y hojas presentes en los nudos ya que pueden producir puntos de tensión peligrosos para la estructura.

Antes de proceder a construir la estructura, se hacen pruebas de resistencia a flexión de cada caña, doblándola en un arco de 90° y evaluando las deformaciones que puede sufrir.

### Construcción de los arcos

La construcción de los arcos (figura 32) se realiza en **4 fases**: primero se elaboran los núcleos, después se forman los haces, se unen los haces en parejas y, finalmente, se doblan los arcos. En este proceso, interviene la cuerda vegetal como elemento auxiliar que ayuda a formar los haces y posteriormente, curvar los arcos.

La parte central de cada columna está compuesta por el núcleo, formado por módulos de cañas del mismo tamaño, pudiente agruparse más de uno para dar lugar a una columna; los espacios son rellenos con otras cañas hasta conseguir el diámetro y forma deseados. Cada módulo está



(Figura 32): Técnica Canyaviva

Fuente:

<https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/margherita-bertoli-todo-forma-parte-de-una-misma-busqueda-nid1946592>

compuesto por 7 cañas, ocupando una la posición central y disponiéndose las demás a su alrededor.

Una vez formado el **núcleo central**, se añaden más cañas a su alrededor para formar las columnas; se intenta aprovechar la forma natural de la caña en espiral, que irá según la rotación natural del núcleo central. Posteriormente se añaden cañas más gruesas y se van añadiendo luego otras más finas y flexibles progresivamente. El haz se divide en 2 partes iguales, denominadas “dedos”, y se realiza un segundo atado con una cuerda más fina y anillos más densos.

Se colocan en el suelo y las columnas son ensambladas de dos en dos por los dedos, formando así haces de 4 dedos contrapuestos. Empieza entonces el doblaje de los arcos; este proceso debe realizarse muy lentamente, poniendo atención y escuchando posibles ruidos debidos a rupturas de las cañas que pudieran ocasionar algún problema. Si alguna caña se parte o sufre algún daño durante este proceso, han de ser debilitadas rompiendo nudos cercanos al punto dañado, para evitar así la formación de zonas rígidas y posteriores rupturas.

### **Cimientos y cubrición**

Cuando esta técnica es empleada en labores de cimentación, la libertad es mucho mayor, y la técnica variará en función de la finalidad de la construcción.

Si la construcción va a ser duradera y estable, se deben enterrar las bases de las columnas, con una profundidad mínima de 1/5 de la altura total del arco, teniendo especial cuidado en el drenaje de las aguas pluviales.

Para estructuras efímeras o donde no sea posible realizar una cimentación enterrada, la solución es colocar estacas, neumáticos, cajones de madera... para asegurar la estabilidad de la estructura.

Otro aspecto a tener en cuenta es la **protección de las cañas** frente a los agentes atmosféricos; las cañas son impermeables en el momento de la cosecha, pero pierden esta



calidad con la continuada exposición a los rayos solares. Para protegerlas, se pueden utilizar aceites o ceras, o un baño de barro y cal para que la protección sea más duradera.





# BAUBOTANIK

En los últimos tiempos estamos asistiendo a la creación de una **nueva disciplina** constructiva, comprendida entre la ciencia y el arte, que está redefiniendo la relación entre la tecnología y la biología. Steve Jobs, hombre de gran influencia en el mundo tecnológico, ya intuyó futuras tendencias que sufriría tanto el panorama tecnológico como otras disciplinas como la biología, arquitectura... *“Creo que las grandes innovaciones del s.XXI tendrán lugar en la intersección de la biología con la tecnología”*

El **“bio-diseño”** es el término que más se puede aproximar a este método, caracterizado por una aproximación entre las ciencias y la vida humana; aplicado a la arquitectura, el bio-diseño cuenta ya con muchos proyectos piloto y edificios realizados por poblaciones antes desconocidas en el mundo occidental, como el puente construido con plantas vivas creado por el pueblo de Khasi en las montañas de Meghalaya. En Europa central, podemos encontrar muestras de esta arquitectura en los Tanzlinden (figura 33) (tilos con copas accesibles) que eran muy comunes en las plazas de los pueblos de la Edad Media.

No fue hasta el **1980** cuando se investigó sobre esta nueva arquitectura; de la mano de Frei Otto, arquitecto y teórico alemán, comenzó la investigación sobre el potencial de las construcciones naturales con árboles vivos. Por otro lado, Reiner Graefe comenzó sus estudios sobre los Tanzlinden, y Lothar Wessolow se dedicó a desarrollar un nuevo campo sobre las estructuras arbóreas; fue Rudolph Doernach quien finalmente propuso su *“Biotectura”* como una nueva disciplina de *“arquitectura viva”*.

Finalmente, en el año 2007 se fundó el grupo de investigación denominado **“Baubotanik”** en el Instituto de Teoría Arquitectónicas de la universidad de Stuttgart; este grupo se dedica a la investigación, tanto teórica como práctica, de la arquitectura viva, explorando desde su potencial estético hasta el constructivo y ecológico. El objetivo principal de esta disciplina es **diseñar/crear herramientas botánicas**, métodos y principios constructivos

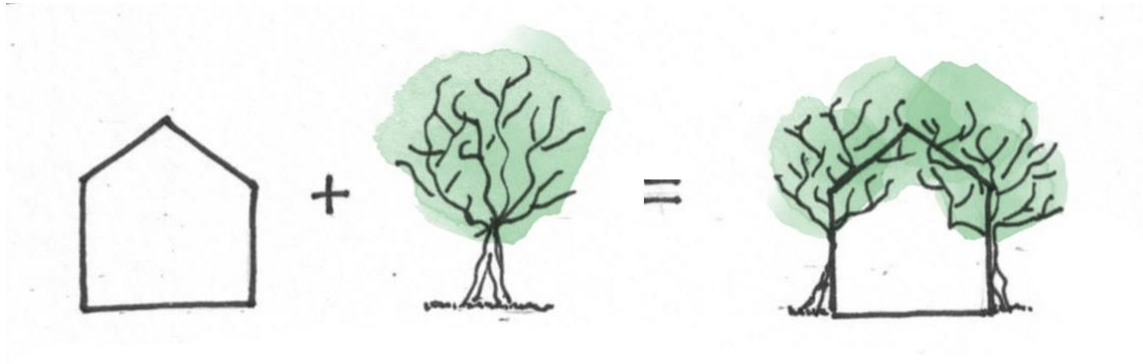


(Figura 33): Tanzlinden

Fuente:

<http://bavaria.ggmtours.com/2013/08/21/tanzlinden/>

con los que poder conformar una arquitectura o edificio vivo (figura 34), atendiendo a las necesidades y patrones de crecimiento de los seres vivos que lo formen.



(Figura 34): "Arquitectura Viva"

Fuente:

Elaboración propia basada en [https://www.researchgate.net/publication/319987765\\_BAUBOTANIK\\_-\\_Designing\\_Growth\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/319987765_BAUBOTANIK_-_Designing_Growth_Processes)

## Fundamentos básicos

Para la aplicación de esta disciplina a la construcción de edificios, es necesario prestar mucha atención a diferentes aspectos como los patrones de crecimiento, las necesidades nutricionales de la vegetación... Las plantas generan todo su **"material constructivo"** sobre el terreno, utilizando únicamente agua, luz solar y CO<sub>2</sub>, y como estos recursos son limitados, su crecimiento y expansión se rige por la ley de optimización, es decir, consumir la cantidad mínima de material. Los **patrones de crecimiento** tanto del tronco como de las ramas están sujetos al principio de efectividad, el cual se hace notable simplemente observando la forma en la que se distribuyen las ramas, buscando la posición más favorable para captar la radiación solar. Si la posición del tronco o las ramas se tuerce, las ramas tratan de adaptarse a esta disposición y crecen en el lugar que les es más ventajoso.

Otra faceta en la que se aprecia el principio de **optimización de recursos** es en el crecimiento adaptativo del grosor de las ramas y el tronco; estos elementos desempeñan diversas funciones ya que, no solo se encargan de soportar su propio peso, sino que también tienen que sufrir la influencia de agentes externos como el viento

o la lluvia; por otro lado, también actúan como estructuras encargadas de conducir el agua y los nutrientes desde las raíces del suelo hasta las hojas más altas, así como transportar los “componentes constructivos” necesarios para su aplicación en la arquitectura. Los árboles ajustan su grosor y su crecimiento en las zonas que están expuestas a mayores solicitaciones, ya sean nutricionales o mecánicas. El transporte de estos elementos tiende a estar equilibrado entre las diferentes ramas, de manera que el crecimiento del árbol sea equilibrado.

Los proyectos de Baubotanik utilizan este crecimiento adaptativo del grosor de las ramas y el tronco para conseguir una **auto-optimización** de las estructuras arquitectónicas.

A medida que aumenta el tamaño y grosor del árbol, este necesita más recursos ya que tiene que abastecer a más tejidos vivos; para cubrir estas necesidades, el árbol tiende a ocupar más espacio, lo cual produce que se aproxime a otras especies de su entorno y entren en competencia, llegando a producir que una de las dos muera al no poder satisfacer las necesidades de ambas. Este fenómeno se conoce como “regla del auto-clareado”, o, dicho de otra forma, el número de ejemplares disminuye cuando aumenta la biomasa.

La biomasa que puede subsistir en un solo solar es limitada, por ello en los proyectos de Baubotanik la **muerte** de algunos ejemplares vegetales es inevitable, y como consecuencia, debe estar prevista desde el principio del proyecto. Como consecuencia a estas estrictas limitaciones, los proyectos deben cumplir los principios de construcciones ligeras si se quiere conseguir que estas estructuras tengan una capacidad portante y estabilidad significativas.

### ■ Proceso de anastomosis

La competencia entre árboles no siempre se produce; en plantaciones densas, árboles de la misma especie pueden unirse mediante sus raíces para **compartir nutrientes o agua**, de manera que crean una gran red subterránea.

Por ejemplo, en ciertas especies de ficus el proceso de la anastomosis es fundamental en su crecimiento y desarrollo, produciéndose principalmente en sus raíces, pero también en los tallos y ramas cuando son presionados durante mucho tiempo unos contra otros; primero **se fusionan los tejidos de la corteza** y, posteriormente, los cuerpos lígneos se funden formando un anillo común de crecimiento. Estas funciones permiten obtener una gran resistencia mecánica y llevar a cabo la creación de hiperorganismos.

Basándose en este proceso, Baubotanik ha desarrollado técnicas para la **combinación** apropiada de especies vegetales que puedan dar lugar a una construcción arquitectónica. Con los resultados obtenidos, se observa que los **tornillos de acero inoxidable** (figura 35) son la técnica más adecuada para presionar unas plantas como otras y conseguir su fusión, así como que las plantas más apropiadas para este proceso son plantas robustas, con corteza fina y alta capacidad para cicatrizar las heridas producidas en el proceso de unión.



(Figura 35): Uniones de plantas mediante tornillos

Fuente:

<https://www.hexapolis.com/2016/09/06/baubotanik-living-tower-built-actual-tree/>

La ventaja de la **anastomosis** sea capaz de crear nuevas unidades fisiológicas tiene mucho potencial aplicado a la construcción para crear "**arquitectura viva**". Los árboles son capaces de compensar la pérdida de órganos generando otros nuevos en el lugar que estos ocuparon o en otros más propicios para su crecimiento; por ello, si mediante anastomosis las especies son capaces de fusionarse y nutrirse mutuamente, no necesitarán el resto de órganos. Esto puede traer consigo la desaparición de las hojas o incluso las raíces, ya que el conjunto es capaz de compensar dicha pérdida.

En el método de Baubotanik, este proceso es el encargado de dar forma al "**edificio vivo**". Para la creación de un edificio, las plantas más jóvenes se ubicarán en las zonas superiores, alrededor unas de otras de manera que acabarán formando una estructura de red, manteniendo las raíces en el suelo sólo los brotes que se encuentran en las zonas inferiores. El resto de plantas, echan raíces en contenedores especiales que son provistos de agua y nutrientes mediante riego automático. Las raíces del suelo pueden crecer más ya que tienen más espacio para desarrollarse que las que crecen en las macetas. Los nutrientes y el agua se transportan desde las raíces hasta las hojas de manera que, cuando las plantaciones superiores se han unido a los troncos principales, sus raíces ya no son necesarias y se pueden retirar los maceteros, dando lugar así a un organismo autónomo.

La estructura adquiere una gran **resistencia** debido al crecimiento en grosor y el andamiaje, necesario para alojar los maceteros de las plantas de los pisos superiores, pero que actuará como estructura portante provisional hasta que la estructura vegetal adquiera la resistencia adecuada.



## Primer experimento

El primer proyecto piloto elaborado con esta técnica fue la **pasarela Baubotanik** (figura 36), una estructura peatonal que logró demostrar como las construcciones elaboradas bajo esta técnica pueden cambiar su apariencia y efecto con el paso del tiempo.

La pasarela fue construida en 2005, y consta de **64 soportes verticales y 16 diagonales**, cada uno compuesto de 12-15 plantas de la especie “**Salix viminalis**”, con una longitud total de **22 metros**. La estructura se eleva creando un paso libre a 2’50 metros del suelo, el cual es accesible mediante unos puentes transversales a través de unas escaleras, y cuenta con un tubo inoxidable que hace las funciones de barandilla.

Los “pilares vivos” formados por especies vegetales echan flores en primavera y crean una densa copa en verano que arroja sombra sobre la pasarela, y con las hojas que caen en otoño, se vuelve a hacer patente el carácter constructivo de la construcción. El crecimiento de la copa cambia las **proporciones** del edificio, pero no altera su configuración estructural y geometría, ya que los árboles nuevos crecen en longitud sólo por sus extremos, mientras que las partes más viejas solo crecen en grosor. Este efecto es claramente notable en los puntos en los que las plantas entran en contacto con la barandilla (figura 37), engulléndola y haciéndola participe de la estructura vegetal.



(Figura 36): Pasarela Baubotanik

Fuente:

<http://jaravalencia.blogspot.com/2013/11/baubotanik.html>



(Figura 37): Fusión entre el tronco y la barandilla

Fuente:

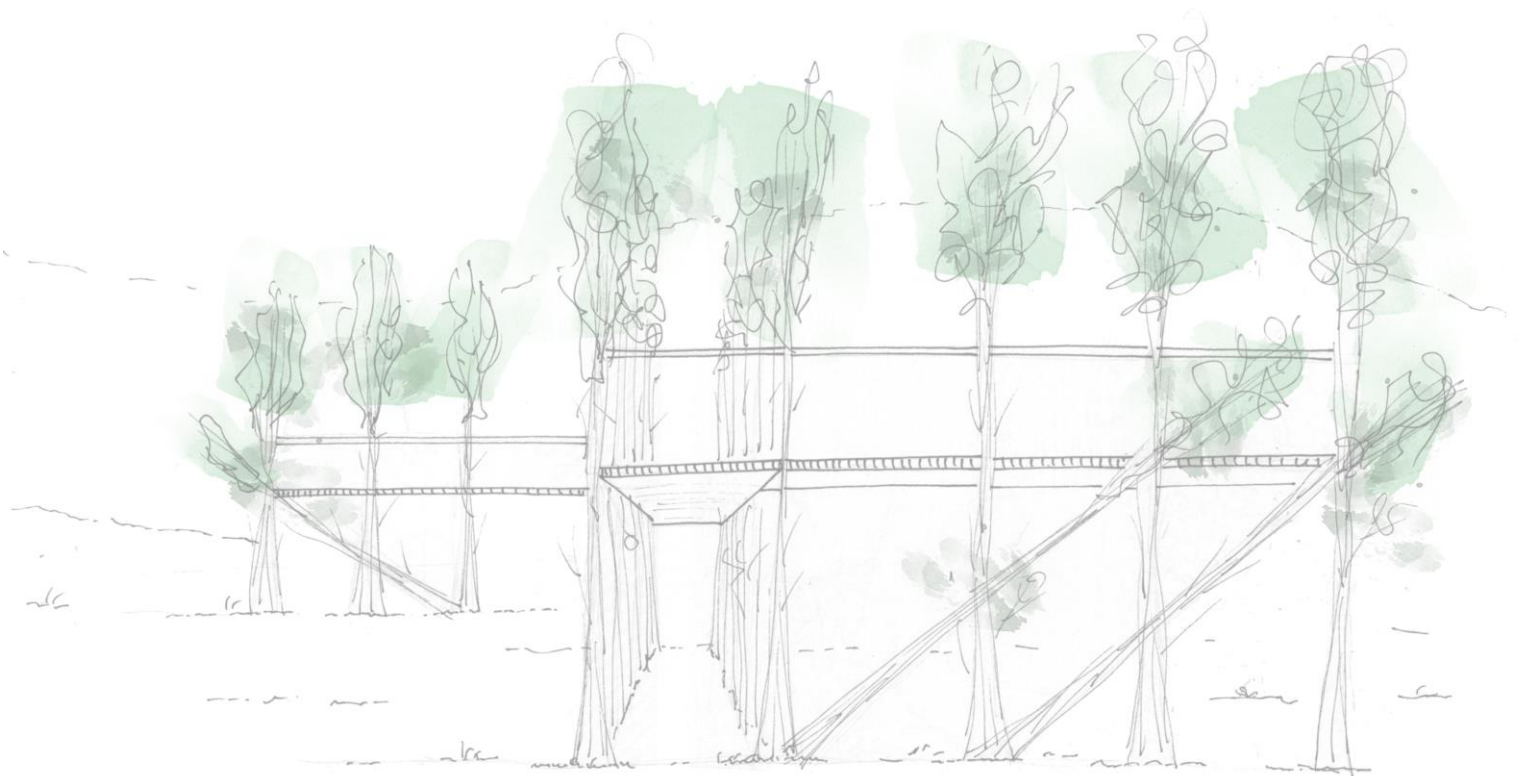
<https://www.world-architects.com/en/architecture-news/insight/growing-a-new-society>

Como era de esperar, no todas las partes de la construcción crecieron de igual manera; muchos de los pilares murieron por falta de nutrientes que eran robados por los otros árboles de su alrededor que eran más robustos y podían sustituir a estos; las plantas que formaban las diagonales murieron en los primeros años debido a que, cuanto más inclinados nacen los árboles, más propensos son a echar brotes en las partes bajas en vez de las altas y, como consecuencia, reciben menos radiación solar, lo que produce que su crecimiento sea menor y mueran.

Con este primer experimento, se pudieron sacar conclusiones muy importantes relativas al diseño y composición de edificios “verdes” ya que, no solo es necesario prestar atención a su estética, sino que sus **patrones de crecimiento** y forma deben considerarse como los parámetros más importantes. Los edificios deben ser capaces de responder a las demandas estéticas del arquitecto, pero también deben crecer con vitalidad para asegurar una buena seriedad estructural. Los fenómenos antes expuestos de adaptación y optimización deben ser tenidos en cuenta como una oportunidad de innovación y desarrollo.

## PROYECTOS DESTACADOS

bajo Baubotanik



Tras el desarrollo de la técnica Baubotanik y el primer proyecto piloto, se procedió a la construcción de otros dos proyectos donde poder aplicar todos los principios aprendidos anteriormente.

## ■ Método Baubotanik

En los proyectos que serán expuestos a continuación, podremos observar que la morfología más adecuada para realizar una estructura vegetal portante está basada en la creación de una retícula sencilla de **rombos**, la cual se muestra la más apropiada para predecir el crecimiento de los tallos y que este se produzca de forma homogénea.

En estructuras de mayor complejidad, un pequeño cambio en el proyecto inicial puede tener grandes efectos en su desarrollo futuro; esto es debido a que, en el esquema reticular de tallos, hay **varias vías** para transportar los nutrientes o el agua y, debido a que los árboles siguen la regla de la eficiencia, solo los tallos que se encarguen de este transporte tendrán un mayor desarrollo, mientras que los otros es muy probable que se debiliten y mueran.

Para proyectar estructuras vegetales de este tipo, es necesario contar con herramientas necesarias para predecir el transporte del agua y, por tanto, el mayor o menor crecimiento de unos tallos u otros. Dicha herramienta ha sido desarrollada por el **Instituto de Diseño de Computación de la Universidad de Stuttgart** en 2013 (la cual no está disponible al público). Esta plataforma de computación permite calcular aproximadamente el crecimiento de las estructuras de Baubotanik; cuenta con una interfaz accesible para el diseñador, y está abierta a extensiones potenciales a través de nuevos elementos.

Los cálculos se basan en dos modelos principalmente: fisiología de plantas o “**modelos de resistencia**”, y los **modelos de tubo** (figura 38).

El modelo de tubo asemeja el patrón de transporte de agua de un árbol a un haz de tubos paralelos que se encargan de conectar



(Figura 38): Esquema modelos de resistencia y tubo  
Fuente: *Elaboración propia*

las raíces con las hojas. La clave está en que este modelo puede compararse con un circuito eléctrico; lo que en electricidad es la diferencia de potencial, aplicado a la arquitectura de Baubotanik es la diferencia de potencial entre el aire y el suelo, la cual sirve como “fuente de voltaje” para que las moléculas de agua sean absorbidas por las raíces del terreno y posteriormente transportada mediante los troncos y ramas hasta las hojas, que finalmente la cederán al aire por evaporación.

La corriente de agua de una estructura se divide de manera que los tramos que ofrecen una menor resistencia al paso del agua transportarán una mayor cantidad de esta, convirtiéndose así en los ejemplares más fuertes. Si este proceso es combinado con el modelo tubular, es posible **calcular el crecimiento en grosor** de cada tallo, que se produce principalmente donde el flujo de agua es mayor. Esto se da principalmente en las conexiones más directas entre las raíces y las hojas, ya que los desvíos son ineficientes.

Esta herramienta aparte de servir para predecir el calibre y desarrollo de la copa, puede arrojar información relevante para el análisis estructural, como, por ejemplo, el diámetro de las partes portantes de la estructura vegetal o la capacidad de la estructura para arrojar sombra a través de su follaje.

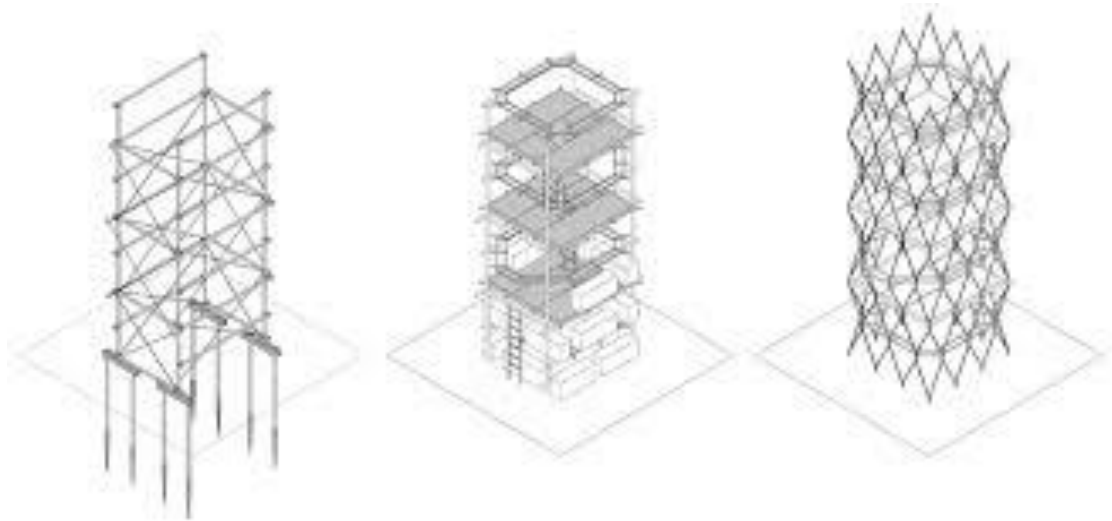
Del mismo modo, es capaz de simular resultados futuros en situaciones no planeadas, como enfermedades que puedan atacar a los ejemplares vegetales, viento, lluvia... Esta herramienta aspira a ser capaz de alcanzar una predicción más precisa de las dimensiones del desarrollo de cada árbol.

## Torre Baubotanik

La Torre Baubotanik fue la **primera experiencia real** de edificio proyectado bajo la teoría de Baubotanik, donde se mostraba el potencial ecológico de esta disciplina. El edificio cuenta con casi **9 metros** de altura repartidos en **6 alturas**, con una superficie de unos **8 metros cuadrados** en **3 niveles transitables**. El método antes mencionado de adición de plantas en altura es claramente patente en este proyecto; la estructura se forma por alrededor de 400 ejemplares de **“Salix Alba”** (figura 39) de 2 metros de largo aproximadamente, plantados en el suelo y en maceteros especiales donde las plantas echan raíces en altura. De manera temporal, la estructura sustentante del edificio está formada por tubos de acero que se anclan en el suelo mediante **profundos cimientos** (figura 40).



(Figura 39): Planta “Salix Alba”  
Fuente: Elaboración propia



(Figura 40): Esquema estructural

Fuente:

<https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315732732/chapters/10.4324/9781315732732-21>

Las plantas se mantienen en los **maceteros** hasta que su fusión con las especies vegetales principales está completada y la estructura puede ser auto portante por sí misma; posteriormente, se procede a cortar las raíces de las especies secundarias de manera progresiva y los maceteros son retirados.

El objetivo fundamental de este proyecto era **construir una estructura sencilla y barata**, cuyo crecimiento se pudiera prever y predecir.

Para lograr este sistema portante, era necesario colocar las plantas de manera que llegaran a formar una estructura firme con el menor gasto posible de material vivo. La posición de las plantas ha de respetar los patrones de crecimiento estudiados anteriormente, de manera que se pueda asegurar un buen desarrollo de las mismas, adaptándose en la medida de la posible con las intenciones del diseñador.

Como resultado, surgió un esquema de **rombos** (figura 41), formado por plantas que se inclinaban con el mismo ángulo, mostrando pequeñas reacciones geomórficas más o menos homogéneas; los rombos fueron divididos horizontalmente mediante plataformas y barandillas, dando como resultado una estructura triangular y, por tanto, una estructura rígida.



(Figura 41): Torre Baubotanik

Fuente:

<http://www.ar.tum.de/gtla/forschung/versuchsbauwerke/baubotanischer-turm/>

Se realizaron numerosos cálculos para obtener pronósticos a cerca del crecimiento potencial de la estructura, volumen de la copa, crecimiento de cada tallo y producción de biomasa, de acuerdo a condicionantes como el soleamiento, aporte hídrico y nutricional... El resultado previó que las plantas de los niveles superiores y las situadas en las esquinas tendrían un mayor crecimiento ya que contaban con más espacio y mejores condiciones lumínicas. Dada la alta densidad de biomasa, el crecimiento en grosor no sería

significativo, y la muerte de algunos ejemplares sería más que probable, incluso en edades tempranas de crecimiento.

En los 3 años siguientes a la finalización del proyecto, los resultados fueron los previstos, mientras que, los años siguientes, la estructura vegetal del proyecto se vio comprometida por **factores no planificados**, como grandes tormentas de granizo, heladas, la calidad del agua e infecciones por hongos,

aunque permaneciendo por debajo de las expectativas. La mayoría de los desperfectos ocasionados por estos agentes externos fueron subsanados con la incorporación de nuevas plantaciones.

En 2014, las raíces de los niveles superiores fueron cortadas y los maceteros retirados con éxito, sin causar ningún efecto negativo en la estructura. Los cálculos predicen que la estructura podrá ser auto portante en un plazo de 8 a 10 años.

Este edificio aún no fue concebido como un edificio accesible al público, debido a que la resistencia de las plantas aún debe comprobarse y mejorar los resultados actuales.

### ■ Plane-Tree-Cube

Este proyecto fue construido para la exposición regional de horticultura de Nagold en 2012, y planteándose por fin que el público pudiera acceder a su interior (figura 42).

Fue concebido como un **experimento de construcción a largo plazo**. Su morfología es la de un cubo de **10x10x10 metros**, que, gracias a las plantas, podrá ser sustentado por una estructura completamente vegetal. Se plantan árboles en maceteros en el suelo y se distribuyen otros en **6 niveles**, dando lugar a paredes verdes que encierran un espacio que se abre hacia el cielo. Cuando las copas de los árboles alcancen un mayor desarrollo, el espacio se cerrará cada vez más hacia arriba, mientras que los tallos inferiores se volverán más gruesos y afilados con el tiempo, ganando fuerza y resistencia.



(Figura 42): Plane-Tree-Cube

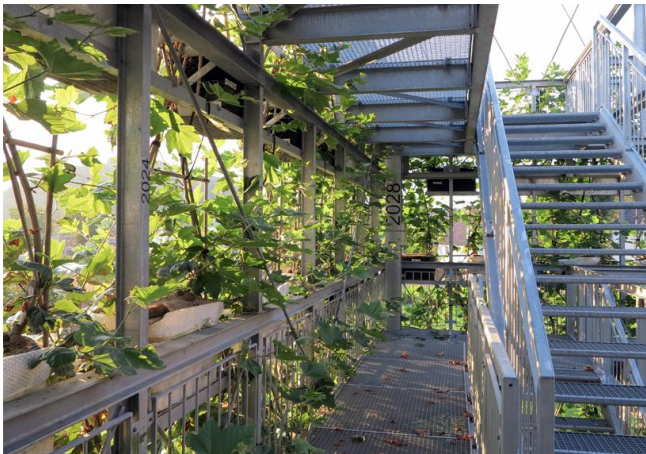
Fuente:

<http://www.baubotanik.org>



Se puede comparar con la torre Baubotanik en términos teóricos, pero el diseño es diferente ya que está planteado en un contexto urbano con uso público. El edificio fue todo un éxito en la exposición, los visitantes pudieron interactuar con la estructura vegetal a través de 3 plataformas, observando como los soportes metálicos se funden con la vegetación; los tubos, válvulas y sensores contrastan con el verde fresco de los árboles (figura 43).

Se prevé que con el transcurso del tiempo la estructura vegetal será más fuerte y actuará como foco de atracción para la población, que se encargará de completar el tejido urbano adyacente al edificio, convirtiendo a este en un “pocket-park” o “parque de bolsillo” para el barrio.



(Figura 43): Interior Plane-Tree-Cube

Fuente:

<https://www.ar.tum.de/en/gtla/research/experimental-buildings/plane-tree-cube/>





ZAMORA LA BIEN CERCADA

## Romance XI de la Infanta Doña Urraca

*“Morir vos queredes, padre,  
¡San Miguel vos haya el alma!  
Mandastes las vuestra tierras  
a quien se vos antojara:  
diste a don Sancho a Castilla,  
Castilla la bien nombrada,  
a don Alfonso a León  
con Asturias y Sanabria,  
a don García a Galicia  
con Portugal la preciada,  
¡y a mí, porque soy mujer,  
dejáisme desheredada!  
Irme he yo de tierra en tierra  
como una mujer errada;  
mi lindo cuerpo daría  
a quien bien se me antojara,  
a los moros por dinero  
y a los cristianos de gracia;  
de lo que ganar pudiere,  
haré bien por vuestra alma.  
Allí preguntara el rey:  
¿Quién es esa que así habla?  
Respondiera el arzobispo:  
Vuestra hija doña Urraca.  
Calledes, hija, calledes,  
no digades tal palabra,  
que mujer que tal decía  
merecía ser quemada.  
Allá en tierra leonesa  
un rincón se me olvidaba,  
Zamora tiene por nombre,  
Zamora la bien cercada,  
de un lado la cerca el Duero,  
del otro peña tajada.  
¡Quien vos la quitare, hija,  
la mi maldición le caiga!  
Todos dicen: “Amén, amén”,  
sino don Sancho que calla.”*

## La Muralla de Zamora

Zamora es la ciudad española del **románico** por excelencia, con un total de 22 iglesias de esta arquitectura perfectamente conservadas, siendo la ciudad con el record mundial de monumentos de este tipo. El casco antiguo obtuvo la calificación de **conjunto histórico-artístico en 1973**; su núcleo se sitúa sobre una meseta rocosa de unos 32 metros de altitud, que se desliza perdiendo nivel hacia la zona este de la ciudad. Su posición geográfica presenta grandes ventajas ya que desempeñaba una importante función económica y defensiva, pudiendo controlar desde la llegada de enemigos hasta las rutas comerciales de la vía de la Plata (figura 44).

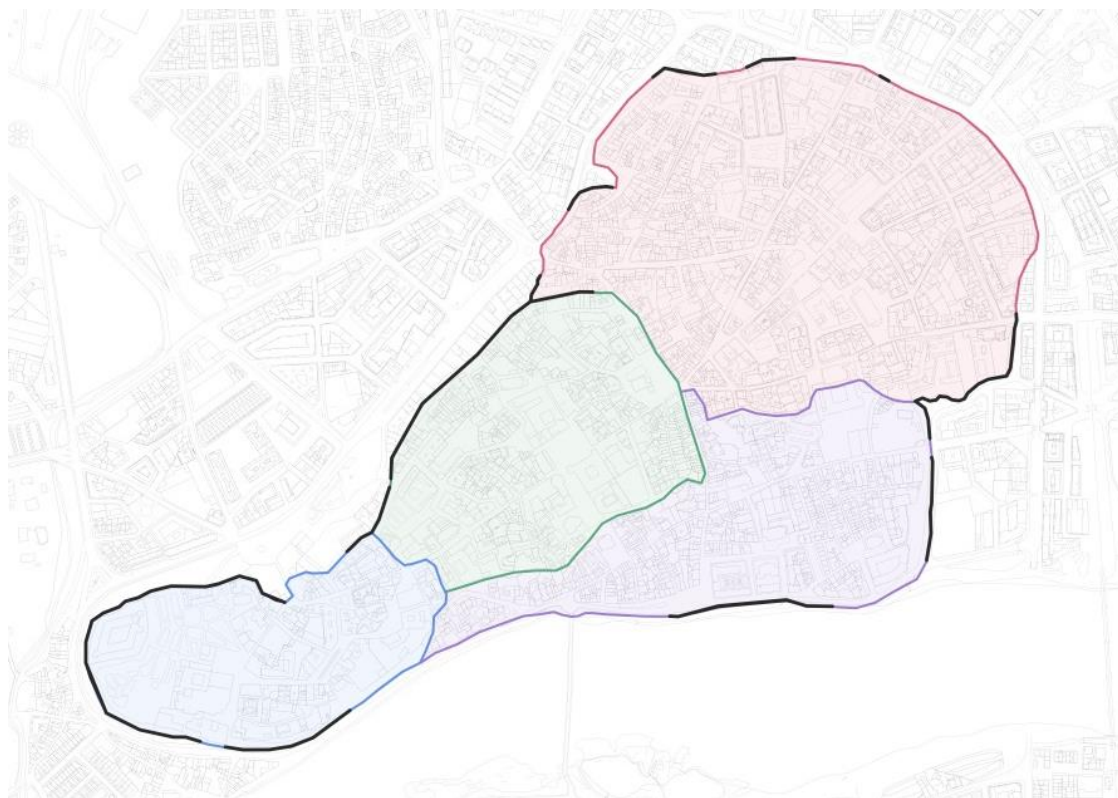
La ciudad cuenta con una muralla que ejerció las funciones defensivas en la antigüedad, hasta 1868; esta fortaleza, junto con la presencia del río Duero y la barrera topográfica de Peña Tajada convierten a Zamora en una ciudad ampliamente defendida, y son las responsables de la expresión **“Zamora la bien cercada”**. La muralla sufrió modificaciones en su trazado a lo largo de la historia, fruto de acontecimientos bélicos y la propia expansión de la ciudad debido al crecimiento de su población. La ciudad muestra hasta 3 recintos de amurallamiento (figura 45): aunque el primer recinto, que comprendía la zona occidental de Zamora en el entorno del castillo y la catedral, data del s.X bajo el reinado de Alfonso III, en el s.XI el rey Fernando I reconstruye parte de esta muralla que fue gravemente dañada y la amplía hasta la plaza mayor; el segundo recinto se finalizó en el s.XIII y su recorrido llegaba hasta la zona este de la ciudad; el tercer y último amurallamiento, construido en el s.XIV se expandió hacia la zona sur y las áreas del entorno del puente de los poetas.



(Figura 44): Zamora en 1870

Fuente:

[https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=https%3A%2F%2Fes.wikipedia.org%2Fwiki%2FSitio\\_de\\_Zamora\\_\(1369-1371\)&psig=AOvVaw06j-wVtva9e44dqW4JEMjz&ust=1564075479232334](https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=https%3A%2F%2Fes.wikipedia.org%2Fwiki%2FSitio_de_Zamora_(1369-1371)&psig=AOvVaw06j-wVtva9e44dqW4JEMjz&ust=1564075479232334)



(Figura 45): Recintos de amurallamiento de Zamora

Fuente:

Elaboración propia

El primer plano del recorrido de la muralla fue elaborado por el arquitecto Segundo Vitoria hacia 1870. En la actualidad, los restos de la muralla correspondientes al periodo musulmán son muy escasos, y las zonas mejor conservadas corresponden al **primer recinto** de la muralla, en la zona que rodea a la catedral románica y el castillo.

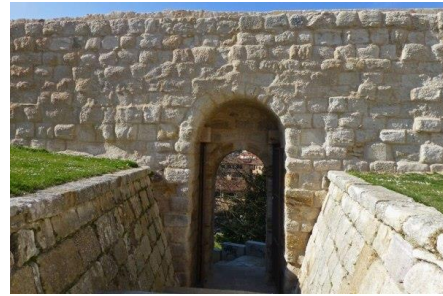
Los restos de la primera muralla fueron descubiertos tras excavaciones arqueológicas en 1504, y rodeaban el recinto comprendido entre la Puerta de Olivares y la Iglesia de San Ildelfonso. En 1061, el rey Fernando I de León dotó de un fuero propio a la ciudad, e impulsó la construcción de una nueva muralla mucho más grande, acercándose a la visión de una ciudad inexpugnable. El monarca Alfonso VI de León fue el encargado de finalizar este proyecto, considerándose este como el primer recinto de Zamora. Este perímetro inicial protege los edificios más representativos de la ciudad, como la administración, religión, leyes... A medida que la ciudad crece, van

apareciendo nuevas iglesias y se consolida el centro como residencia para la nobleza.

Tras la muerte del monarca, Zamora es dejada en calidad de señorío a su hija la infanta **Doña Urraca**, sobre cuyo reinado habla el romancero medieval; se describe un perímetro aproximado de **2.420 metros**, a lo largo del cual se sitúan **8 puertas** y varios portillos auxiliares. El cerco de Zamora sufre un duro asedio durante meses por parte de las tropas del rey Sancho II de Castilla, quien ya había arrebatado los reinos de sus otros hermanos y quería arrebatarse Zamora a la reina Urraca; finalmente, el noble Bellido Dolfos asesina al rey Sancho y entra en la ciudad de Zamora por el **portillo de la Traición** (figura 46), recientemente renombrado como portillo de la Lealtad. De este enfrentamiento nace la expresión “Zamora no se ganó en una hora”.

La fama de fortaleza de alta seguridad adquirida tras estos hechos, atrae nueva población, y la ciudad continúa su desarrollo en el s.XIII hacia el este del territorio. El segundo recinto de la muralla se extenderá desde los torreones de Santa Ana hasta el de San Pablo. Se postula entonces la Plaza Mayor como centro urbano, desde el que saldrán vías importantes como la Calle de Santa Clara, San Torcuato y Balborráz. Al mismo tiempo, en el s.XII, se impulsa la construcción de una nueva catedral y surgen nuevos arrabales (Puebla del Espíritu, San Lázaro, San Frontis y La Vega).

Tras la reconquista, Zamora adquiere la actual morfología, que muestra diferentes **cercos superpuestos**, que arropan las distintas ampliaciones de la ciudad. La muralla muestra su gran potencial defensivo en la Batalla de Toro de los Reyes Católicos, así como en la Guerra de las Comunidades de Castilla.



(Figura 46): Portillo de la lealtad

Fuente:

<https://queverenelmundo.com/que-ver-en-espana/provincia-de-zamora/guia-de-zamora/que-ver-y-hacer-en-zamora/murallas-de-zamora/>

En la transición de la Edad Media a la Edad Moderna, la funcionalidad defensiva de la muralla desaparece casi por completo, pero la idea de potencia y poderío que sugieren sus fuertes muros de piedra hace que se mantenga en el tiempo y su estado de conservación sea muy bueno (figura 47).



(Figura 47): Planos del desarrollo de Zamora en los s.X, s.XIII y s.XVIII

Fuente:

*Elaboración propia*

En zonas donde aún se conserva la muralla, los muros fueron derribados y posteriormente reconstruidos, aunque con sensibles variaciones de su trazado, como se puede apreciar en la zona el Portillo de la Lealtad o la Avenida de la Feria. Durante la primera mitad del s.XX la muralla es abandonada y prácticamente destruida a fin de ganar nuevos terrenos para la construcción. Con el Decreto del 22/Abril/1949 se acoge al programa de protección del patrimonio español y se procede a su conservación. Del primer recinto amurallado las puertas de San Martín, el Portillo de las Lonjas y la de San Juan fueron destruidas; por otro lado, la puerta del Mercadillo, la de San Cebrián, San Pedro y la del Carmen se conservan parcialmente.

Finalmente, la ciudad cuenta con unos 3km de recinto amurallado conservado y en buen estado, con numerosas almenas originales de la construcción que, junto con los jardines creados en sus alrededores, hacen la función de reclamo turístico (figura 48).

Actualmente, el Ayuntamiento de Zamora ha puesto en marcha un “Plan de liberación de la muralla”, restaurando y reconstruyendo las zonas dañadas de la misma, así como



(Figura 48): Imagen aérea del Castillo de Zamora

Fuente:

<https://navegandoxlared.wordpress.com/2015/06/14/a-vista-de-pajaro-zamora/>



liberando las zonas que habían sido ocupadas por viviendas.

## Plan de liberación de la Muralla

Desde el año 2016 el ayuntamiento de Zamora ha puesto en marcha un plan para la liberación de la muralla de Zamora. Desde que la muralla perdió su función defensiva, son numerosos los inmuebles que han aprovechado esta estructura para adosar a ella la construcción de su vivienda, ahorrándose de este modo la construcción de una de las fachadas, pero originando un grave daño en esta fortificación. La zona especialmente dañada se trata de la que ocupa el recorrido desde la Plaza Puebla de Sanabria hasta los jardines de San Martín. Hacia finales del año 2016 y principios de 2017 se comenzaron las obras de **expropiación** de las viviendas de dicha zona, con el consecuente coste económico, ya que el ayuntamiento tuvo de destinar 2.000.000€ en indemnizaciones para los vecinos que residían allí. El primer derribo fue el del inmueble situado en La Feria 31, el cual fue criticado por las faltas de medidas de seguridad durante las labores de demolición; posteriormente le siguieron los inmuebles 17 y 19 de la misma calle (figura 49).

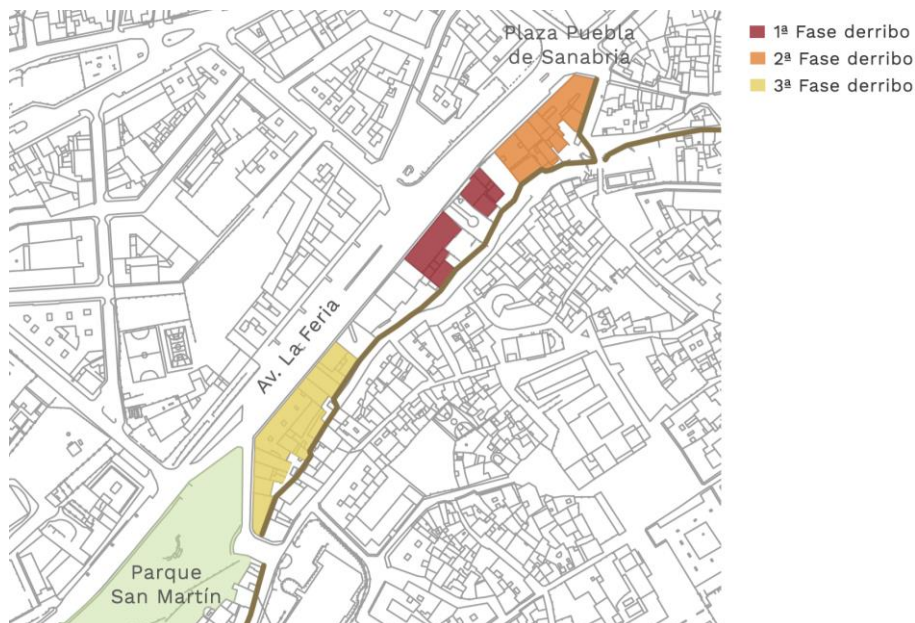


(Figura 49): Derribo Calle Feria 11

Fuente:

<https://www.tribunazamora.com/noticias/zamora-derribara-dos-nuevos-inmuebles-adosados-a-la-muralla-para-liberar-otro-tramo>

En la siguiente fase se prevé liberar más de 200 metros de muralla (figura 50).



(Figura 50): Plano próximos derribos

Fuente: *Elaboración Propia*

Cabe destacar que el ayuntamiento de Zamora ha hecho un llamamiento a nivel estatal ya que, al tratarse de un bien de interés cultural, es el Ministerio de Cultura quien ostenta la titularidad de la propiedad de la muralla, y tras las labores de liberación de la misma, será necesario un plan específico para su restauración y conservación. En los últimos años, ni siquiera un **1%** de presupuesto de cultura del estado ha ido a parar al mantenimiento de esta fortificación medieval, lo cual pone de manifiesto el anonimato que sufre la ciudad de Zamora frente al resto de las provincias españolas.

Durante las labores de liberación de la muralla, se han producido varios desprendimientos de sillares de la fortificación en el entorno de Trascastillo, lo cual acrecienta más la necesidad de un **plan de consolidación integral** de la muralla.

### ■ Propuesta de Intervención

La propuesta de intervención nacida del trabajo de investigación de las construcciones vegetales y, concretamente, del **método Baubotanik**, se pretende proyectar en el espacio de la muralla antes mencionado (Avenida La Feria); se trata de una estructura que combina los dos proyectos por excelencia creados mediante esta técnica: una pasarela que permitirá observar este tramo de la muralla desde una vista frontal, algo elevada del nivel del suelo, y una torre de 2 niveles de desarrollo, que tendrá la función de **mirador** sobre la fortaleza medieval.

Esta construcción en ningún momento pretenderá robar protagonismo a la muralla de Zamora, sino que complementará la **conservación y enriquecimiento del entorno** anexo a esta, ya que hasta el momento es la zona de la muralla que presenta un cuidado más pobre.

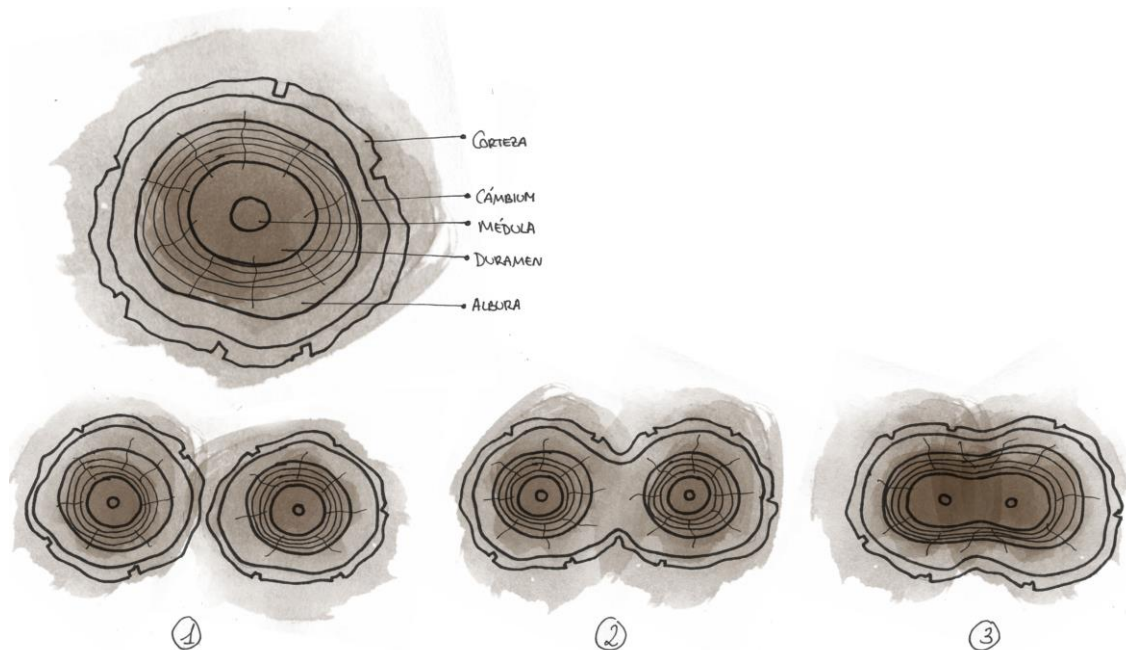
#### Idea

La base de esta propuesta es la creación de una estructura que puede considerarse “a priori” como un pabellón temporal, pero que en realidad tiene un significado más profundo

ya que, bajo la filosofía de Baubotanik, la estructura pasará a formar parte del entorno como un único organismo.

La idea nace de seguir el trazado de la muralla actual, proyectando la estructura a una distancia suficiente como para no dañar la construcción medieval ni entrar en conflicto con ella.

En el proceso de construcción o, mejor dicho, de crecimiento de la estructura, se podrá experimentar el proceso de **anastomosis** (figura 51) en el que se basan estas construcciones; las especies escogidas para este proyecto serán aquellas cuyas características físicas y biológicas, especialmente de cicatrización, sean las más propicias para dicho fin. La finalidad es que la **fusión** de los tallos de los árboles llegue hasta unir ambas capas de duramen; será entonces cuando los “pilares vivos” adquiera la capacidad portante necesaria para sujetar la estructura por ella misma.



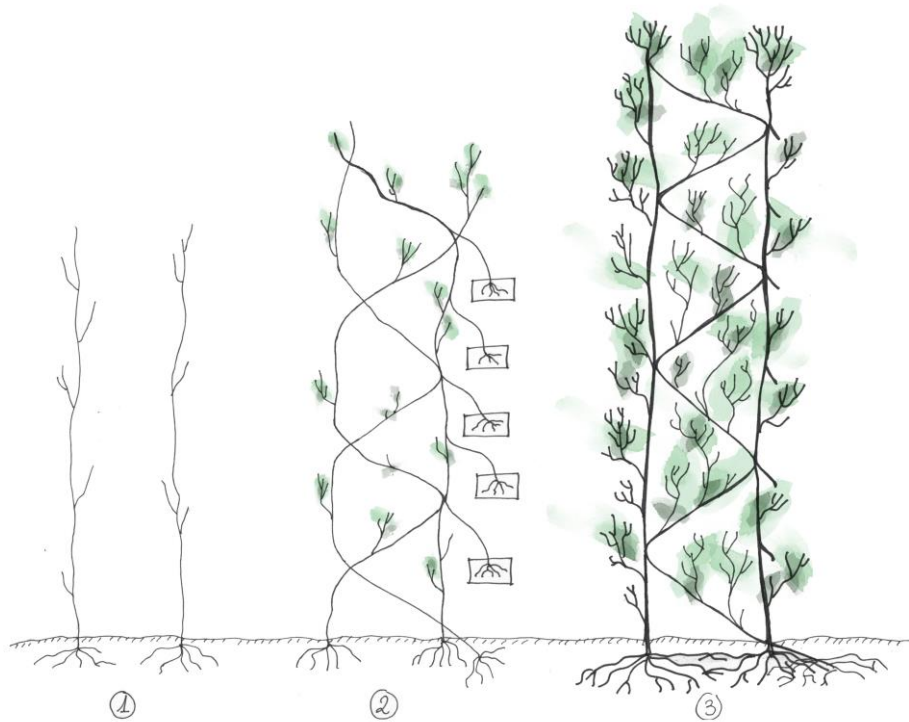
(Figura 51): Esquemas proceso de anastomosis

Fuente: *Elaboración propia*

Las dimensiones de la estructura estarán muy controladas, a fin de no invadir de forma violenta el entorno en el que se va a situar. El proyecto se compondrá de dos elementos: **pasarela y torre vegetal**.

La estructura de la **pasarela** será más sencilla, así como su crecimiento, ya que al tener más desarrollo longitudinal que en altura, será más fácil controlar el crecimiento de las especies arbóreas que la compongan, así como tener una reacción más rápida ante cualquier imprevisto que pudiera surgir. Esta estructura será necesaria para conseguir una **transición** más liviana entre el nivel del suelo y la primera plataforma de la torre; su acceso se proyectará mediante una rampa que desembocará en un paseo horizontal elevado del nivel del suelo y que transcurrirá paralelo a la muralla, aproximándose en ciertos puntos para poder apreciar la belleza de la construcción defensiva.

Por otro lado, la **torre** será objeto de un estudio más en profundidad, ya que se pueden plantear desde una hasta cuatro o más plataformas; como la idea principal es proporcionar al visitante una vista frontal de la muralla, dicha torre no deberá asomar por encima de la misma, de manera que su proyección en altura se acotará a uno o dos niveles. Para formar la estructura, se partirá de una estructura regular, en este caso una planta cuadrada, de dimensiones apropiadas para formar la estructura de nudos de ramas que la envolverá; como pudimos observar en la torre Baubotanik, los niveles intermedios entre las plantas se utilizarán para colocar macetas con **nuevas plantaciones** de árboles que se unirán a los ramales principales para reforzar la estructura y continuar con su proyección en altura (figura 52). Las macetas serán pues estructuras auxiliares, que se podrán quitar, poner y mover de sitio a medida que la estructura se desarrolló, pudiendo ser reutilizables generando así el mínimo desperdicio de material posible.



(Figura 52): Esquema de crecimiento basado en Baubotanik

Fuente:

Elaboración Propia

Una vez la estructura haya alcanzado el nivel y la resistencia deseados (según los estudios, pasados los 10 años desde su plantación aproximadamente), el trabajo no habrá acabado, puesto que este tipo de “construcciones verdes” requieren de un **mantenimiento** continuo, a fin de evitar que algunos ejemplares de árboles se vean afectados por agentes meteorológicos (como lluvia, viento, nieve...) o biológicos (hongos), y puedan llegar a comprometer la estructura de la construcción.

### Entorno

La situación escogida para este proyecto se trata del espacio público situado en la **Avenida de la Feria**, muy próximo al parque de San Martín, delimitado por la cuesta **San Bartolomé** y la **bajada San Martín** (figura 53). Esta zona se encuentra actualmente con construcciones de viviendas que están siendo derribadas, pero se prevé que quedarán al descubierto alrededor de **230m** de muralla



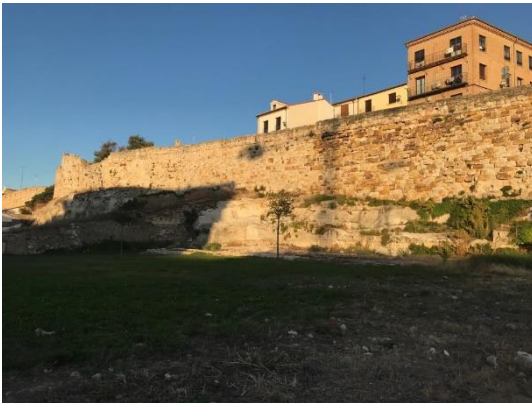
(Figura 53): Plano Situación esquemático

Fuente:

Elaboración Propia

En este tramo se pueden apreciar 4 almenas originales de la época de construcción de la muralla, y el lecho rocoso que forma el desnivel sobre el que se asienta la ciudad, además de contar con el incentivo de acoger a apenas 60m la **puerta y palacio de Doña Urraca**. Este trazado se corresponde con la ampliación del primer recinto amurallado de la ciudad, hecho por el cual se conserva en buen estado a pesar de mostrar una imagen algo descuidada.

Del otro lado de la muralla (figura 54) se podemos encontrar edificios pertenecientes al casco antiguo de Zamora, como son la **Junta Pro Semana Santa**, la **Iglesia de Santa María la Nueva** o el **edificio de la Diputación de Zamora**. Siguiendo hacia el oeste, a pie de muralla, se encuentra el **parque de San Martín**, con el **sillón de la reina** y el **portillo de la lealtad**, a través del cual se puede subir a los **jardines del castillo**, el cual acogió la **Escuela de Arte y Superior de Diseño de Zamora** y la **escuela de Idiomas**, y fue restaurado en 2009.



(Figura 54): Fotos actuales desde Av. Feria hacia la muralla

Fuente:

Elaboración Propia

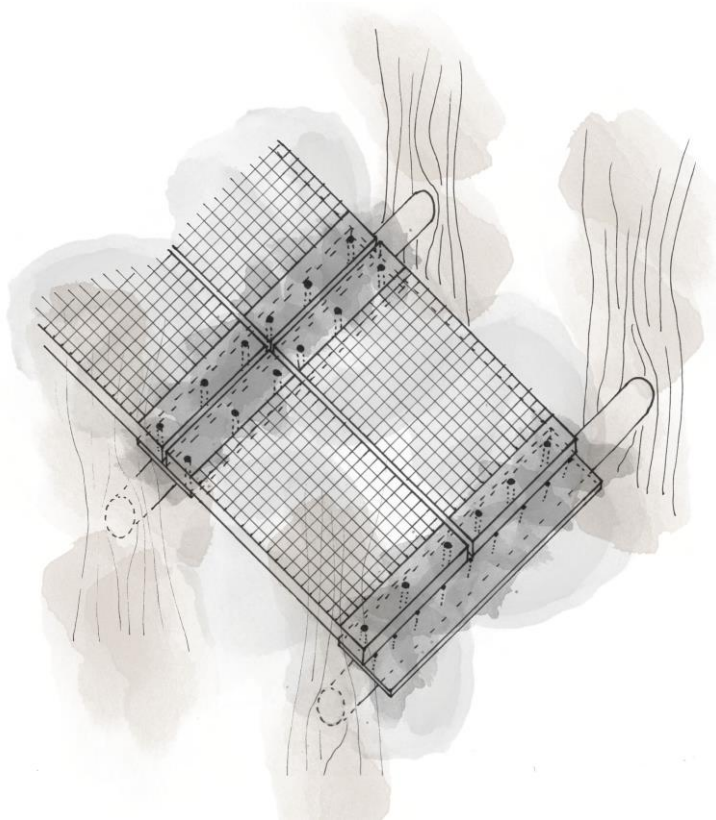
### Estructura “viva y muerta”

Para la construcción de esta estructura serán necesarios dos agentes: **perfiles metálicos** y **árboles**. A pesar de la idílica idea pronunciada por Baubotanik de que los árboles plantados e integrados con la estructura podrían ser capaces de sustentar esta misma sin ninguna estructura auxiliar, la realidad es que aún es una técnica que se está desarrollando y estudiando, y la normativa actual exige unas medidas de seguridad mínimas para las construcciones proyectadas para un uso público. Es por esto que nos ayudaremos de una **estructura auxiliar** metálica que soportará la pasarela y la torre, y la cuál será engullida por las especies arbóreas escogidas para este proyecto.

Para la pasarela de acceso, se utilizarán **perfiles tubulares** y bandejas de **tramex** de 1'50 x 1'00 x 0,10m.

Este elemento proporcionará una superficie horizontal uniforme y modulada, permeable a la vegetación y ligera, de manera que los árboles a los cuales se anclará podrán soportarlas (figura 55). Los perfiles escogidos son tubulares porque es la forma a la que mejor se puede adaptar los tallos que formen los árboles que harán la función de pilares.

En la construcción de la “pasarela piloto” creada por Ferdinand Ludwig, Oliver Storz y



(Figura 55): Esquema estructura de la pasarela

Fuente:

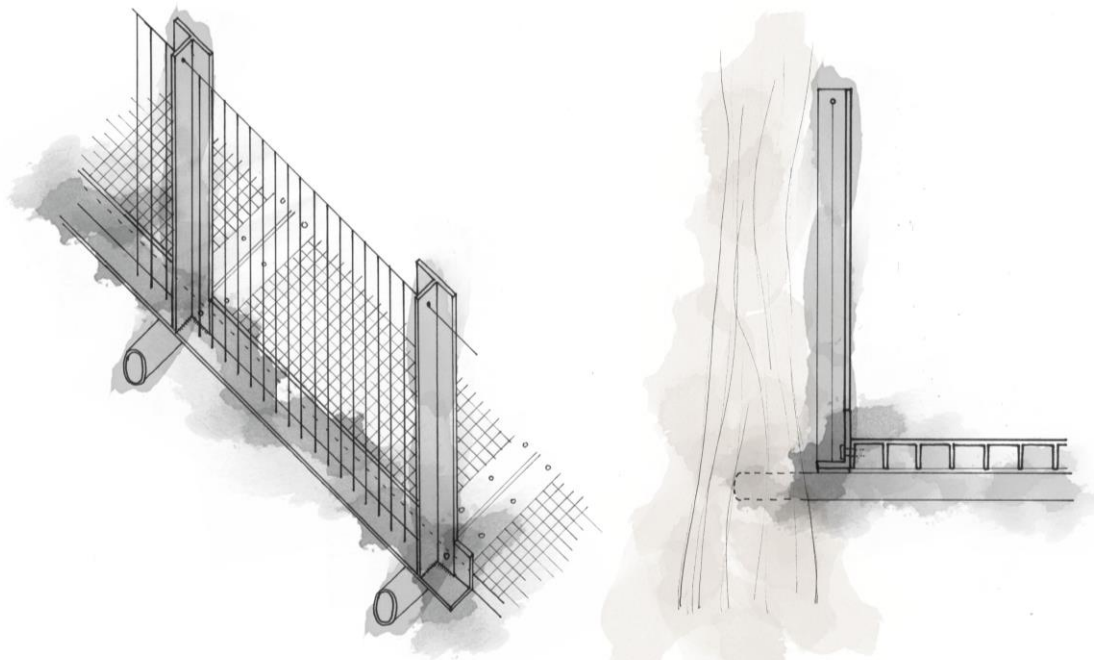
Elaboración Propia

Cornelius Hackenbracht contaba además con ejemplares colocados de manera diagonal, de forma que actúan como tensores y aportan rigidez a la estructura. Los paneles de trames se colocarán en módulos de 2 elementos, dando lugar a un ancho total de pasarela de 2m, los cuales apoyarán en un perfil plano metálico que, a su vez, se anclará al perfil tubular que desempeñará la función de viga y conducirá el peso de los pilares a las formaciones arbóreas de los laterales.



La especie escogida es la “**Salix Viminalis**”, o también llamada mimbrera blanca; se trata de un arbusto de la familia de las salicáceas que puede llegar a alcanzar los 10m de altura; las ramas son esbeltas, de color verde amarillento, con hojas alargadas de unos 5-15cm de longitud. Es una especie que florece en primavera, de manera que muestra el paso de las estaciones en su aspecto, y es utilizada popularmente para la elaboración de mimbre.

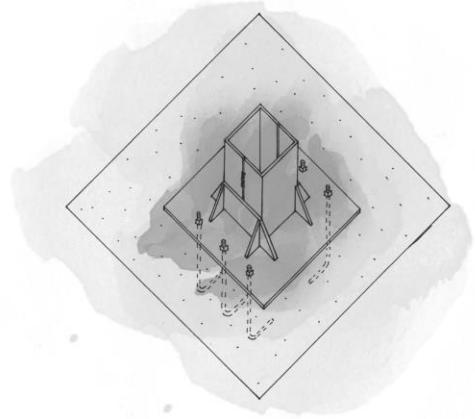
A medida que la pasarela gana altura, es necesario la incorporación de una barandilla de seguridad que evite el riesgo de caídas; es por esto que se colocará un **perfil en “L”** en el canto de toda la pasarela, el cual aparte de aportar mayor estabilidad a las bandejas de tramex, servirá como base para un **perfil en “T”** a través del cual pasarán unos **cables trenzados** de acero para dar lugar a la barandilla final (figura 56). Se opta por este tipo de barandilla debido a que el impacto visual que generará sobre el exterior serán unos **cables trenzados** de acero para dar lugar a la barandilla final. Se opta por este tipo de barandilla debido a que el impacto visual que generará sobre el exterior será mínimo.



(Figura 56): Esquemas de composición de la barandilla de la pasarela  
Fuente: *Elaboración Propia*

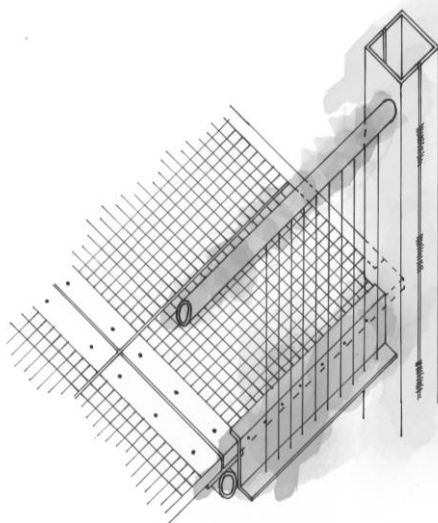
Para la **torre**, finalmente se optan por **dos plataformas** compuestas también por tramex

de idénticas dimensiones, a las cuales se podrán acceder por la rampa antes mencionada hasta el primer nivel, o por unas escaleras metálicas que conectan los dos niveles. Esta estructura será algo más potente que la anterior; se optará por pilares colocados en cada esquina de la plataforma cuadrada, formados por dos **perfiles en "C"** soldados entre sí. Estos pilares se anclarán al suelo mediante unas pletinas que unirán el pilar a una placa de anclaje, que a su vez se colocará sobre una zapata de hormigón (figura 57).

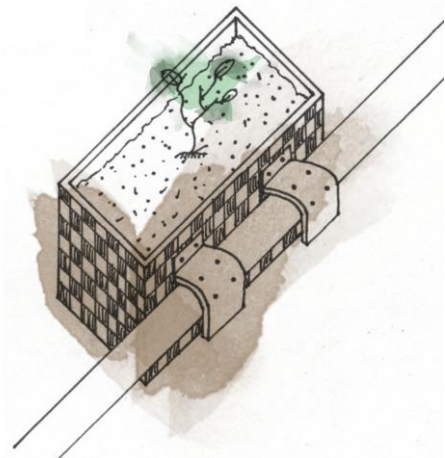


(Figura 57): Esquema de cimentación  
Fuente:  
Elaboración Propia

Bajo las parrillas de tramex, se situará un entramado formado por los mismos perfiles tubulares que forman la estructura de la pasarela, colocados de manera longitudinal y transversal, y recogidos en los bordes de la pasarela por un **perfil en "Z"** que será el elemento de unión entre el tramex, las "vigas" circulares, los pilares y la barandilla (figura 58); esta última seguirá la misma composición que la colocada en el desarrollo de la pasarela. A una altura intermedia entre las plataformas, se colocará un perfil tubular horizontal encargado de acoger y sostener los **maceteros de mimbre** (figura 59) encargados de añadir nuevos ejemplares de árboles a la estructura, así como crear una barrera de seguridad, descolgando cables de acero trenzados a modo de barrotes de barandilla.



(Figura 58): Esquema estructura de la torre  
Fuente: *Elaboración Propia*



(Figura 59): Esquema maceteros  
Fuente: *Elaboración Propia*

En este caso, los ejemplares escogidos pertenecen a la especie denominada **“Salix Alba”** o también llamado sauce blanco. Se trata de un árbol caducifolio perteneciente también a la familia de las salicáceas, que en este caso puede llegar a alcanzar los 25m de altura; las hojas muestran una morfología aserrada de color gris plateado de entre 5-12cm de longitud, que en primavera florece. Otra característica a destacar es su gran flexibilidad y el poco peso que presenta esta especie, lo cual la convierte en especialmente apropiada para este tipo de construcción en la que se debe adaptar y soportar cualquier movimiento que sufra la estructura.

La decisión de escoger dos especies diferentes de plantas para componer una misma estructura se debe a que, a pesar de formar un único conjunto, cada estructura responde a unas sollicitaciones diferentes, que hacen necesario que la especie vegetal que forme la estructura presente unas características especiales u otras; además ambas especies son perfectamente compatibles entre sí, lo cual propicia que puedan llegar a fusionarse como una única estructura.

### Planimetría y representación 3D

A continuación, se muestra la documentación gráfica que se ha realizado para la realización de este proyecto, con una representación virtual de la estructura sobre su entorno real.

En estas infografías se puede observar como el trazado de la rampa se asemeja al de la muralla medieval, creando una plataforma a un nivel intermedio que se aproxima para poder ofrecer una vista más cercana de la misma; de igual manera, se puede apreciar como la estructura de tramex crea un elemento permeable que no entra en conflicto con los árboles, que son los verdaderos protagonistas del proyecto. En la torre, se plantea la estructura romboidal que sería necesaria para la composición de su estructura final.



(Figura 60): Planta norteada zona de actuación

Fuente:

Elaboración Propia



(Figura 61): Vista desde Av. Feria en dirección a Plaza Puebla de Sanabria

Fuente:

Elaboración Propia



(Figura 62): Vista acceso peatonal a la rampa vegetal

Fuente:

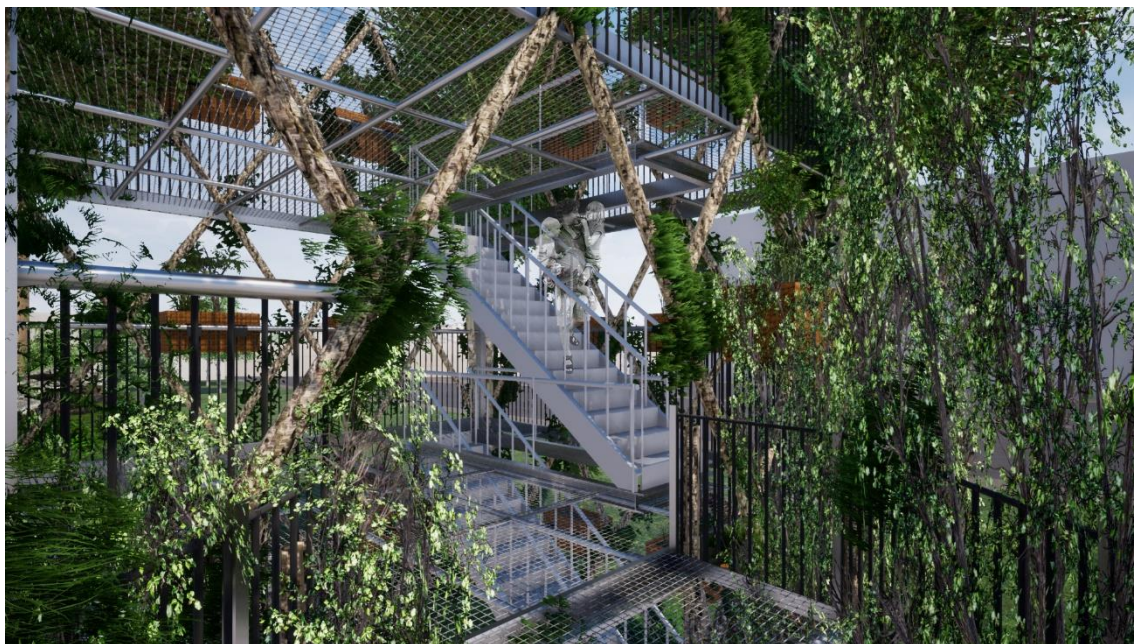
Elaboración Propia



(Figura 63): Vista bajo la pasarela vegetal hacia el acceso de la torre

Fuente:

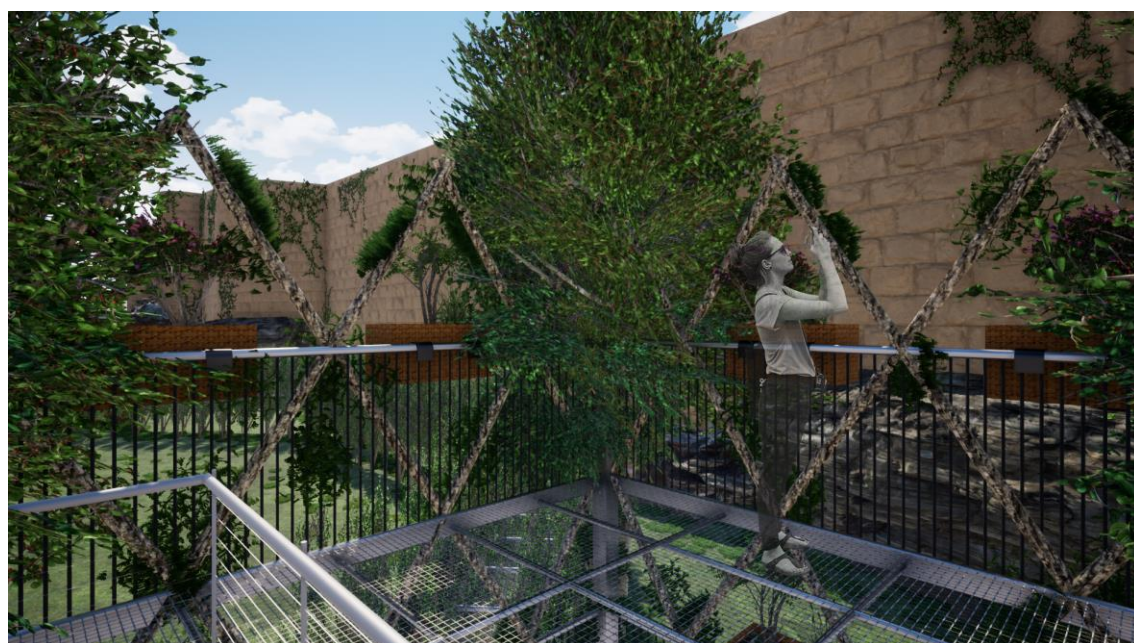
Elaboración Propia



(Figura 64): Vista desde la primera plataforma en conexión con la pasarela vegetal (+3'00m)

Fuente:

Elaboración Propia



(Figura 65): Vista desde la segunda plataforma hacia la muralla (+6'00m)

Fuente:

Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

Tras la labor de investigación enunciada en este trabajo, podemos comprender un poco más la importancia y trascendencia que ha tenido la arquitectura vegetal desde sus comienzos hasta la actualidad.

En mi opinión, no somos realmente conscientes de la presencia e importancia que puede desempeñar un elemento vegetal incorporado a una construcción actual, ni podemos llegar a comprender las infinitas posibilidades que nos ofrece la madre naturaleza para crear nuevas arquitecturas con ellas. Nuestros conocimientos actuales limitan el uso de la vegetación al arte de la jardinería, las paredes vegetales o las cubiertas ajardinadas, cuando en realidad, proyectos innovadores están demostrando que la vegetación puede llegar a ser el alma del edificio.

El descubrimiento de Baubotanik da una nueva perspectiva con respecto al papel de la naturaleza en el mundo de la construcción, arquitectura e ingeniería. Desde mi punto de vista presenta muchas ventajas, tales como que la introducción de especies vegetales como elementos propios del edificio, enriquece tanto a la propia construcción como al entorno en que se sitúa; pero la gran ventaja que presenta esta técnica es que obliga a un cuidado y mantenimiento continuo de los proyectos ejecutados bajo estas directrices, ya que es necesario responder con rapidez ante cualquier imprevisto o daño que puedan sufrir las especies naturales que conformen el edificio, a fin de que este sufra el menor daño posible. Este mantenimiento continuado permite la especialización y creación de nuevos trabajos y técnicas constructivas, además de crear una relación muy cercana entre el hombre y el edificio, con un entorno más amable y acogedor.

Por otro lado, el mayor inconveniente es que estos tipos de construcciones aún se encuentran en proceso de investigación, y los resultados hasta ahora obtenidos muestran aún muchas limitaciones a la hora de construir edificios cuya estructura esté enteramente compuesta por especies vegetales. No



obstante, los resultados obtenidos a partir de los proyectos experimentales hasta ahora realizados son prometedores, y se tienen grandes expectativas con respecto al futuro de estas construcciones.



## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

[AAOO\*] (2018): *Arquitectura vegetal | Plant Architecture*. Ed.: ediciones asimétricas, 2018, España. ISBN: 978-84-949178-1-3.

A. Bahamón, P. Pérez y A. Campello (2006): *Arquitectura vegetal. Analogías entre el mundo vegetal y la arquitectura contemporánea*. Ed.: Parramón, Barcelona, 2006. ISBN: 978-84-342-2783-5.

Alessandro Rocca (2011): *Arquitectura Low-Cost Low-Tech. Creatividad y propuestas de una nueva vanguardia*. Ed.: Oceano Ambar, 2011, Barcelona. ISBN: 9788475567594.

Calderón Quintós, Fernando (2018): *Filosofía vegetal: cuatro estudios sobre filosofía e historia natural*. Ed.: Abada editores, 2018, Madrid. ISBN: 978-84-17301-11-8

Fernández, Jorge Juan (2000): *Zamora*. Ed.: Ámbito, 2000, España. ISBN: 8481830720.

Gamoneda, Antonio (1970): *Zamora*. Ed.: Everest, 1970, León. ISBN: 8424144104

Ramos de Castro, Guadalupe (1978): *Las murallas de Zamora*. Ed.: Servicio De Publicaciones De La Delegacion provincial Del Ministerio De Cultura, 1978, Zamora. ISBN: 8450029058.

### Publicaciones en internet

<https://www.3cotectura.com/eficiencia-energetica/el-concepto-de-arquitectura-low-tech-optimizando-recursos/>

<http://patiodesombras.com/low-tech/>

<http://futurearchitectureplatform.org/projects/537905c7-70ab-4bbb-a4a9-3ef833f1c078/>

<https://www.archdaily.com/775884/baubotanik-the-botanically-inspired-design-system-that-creates-living-buildings>

<https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/baubotanik-arquitectura-viviente>

<http://www.ecohabitar.org/arquitectura-vegetal/>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18957/PFG%20Maxi%20Zel%20ikowicz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<http://www.ar.tum.de/gtla/forschung/baubotanik/>

TRABAJO FIN DE GRADO  
UNIVERSIDAD DE ARQUITECTURA  
MIRIAM HERNÁNDEZ CARRETERO  
TUTOR: FÉLIX JOVÉ SANDOVAL