

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***PROYECTO DE AUTOCONSTRUCCIÓN PARA
VIVIENDAS SOCIALES DE MADERA***

Estudiante	<i>Lando Alessandro</i>
Director/Directora	<i>Cuadrado Rojo Jesús</i>
Departamento	<i>Ingeniería Mecánica</i>
Curso académico	<i>2020-2021</i>

Bilbao, 10,09,2021

Índice

Abstract	5
Introducción	7
1. La cuestión de la vivienda.....	9
1.1. La dificultad del acceso a la vivienda.....	9
1.2. Condiciones de vivienda en Italia.....	11
1.3. Las viviendas sociales	15
2. Autoconstrucción	16
2.1. La autoconstrucción en la historia	16
2.2. Definición y tipos de autoconstrucción.....	18
3. Propuesta de proyecto	20
3.1. Diseñar para la autoconstrucción.....	20
3.2. Objetivos del proyecto	20
3.3. Opciones de diseño	23
3.3.1. Material	23
3.3.2. Estructura	24
3.4. Génesis del proyecto	27
3.5. Soluciones tecnológicas.....	29
3.5.1. Cimentaciones	29
3.5.2. Estructura	30
3.5.3. Uniones.....	35
3.5.4. Transporte	36
3.5.5. Montaje	38
4. Conclusiones.....	40
Bibliografía.....	42
Siteografía	42

Abstract

La cuestión de la privación de la vivienda es ahora un problema bien conocido en la mayoría de las zonas del mundo, y que es difícil de abordar con las viviendas sociales. En Italia, desde los años '90, el papel de las administraciones y los políticos se ha visto afectado por la ausencia de un plan sistémico que regule la demanda de viviendas sociales y permita así una rotación de las familias que las ocupan. Por lo tanto, es necesario crear herramientas que apoyen la labor de las autoridades para resolver este problema, y una de estas herramientas es la autoconstrucción.

La autoconstrucción es una solución que, junto con las intervenciones sistémicas, puede facilitar el proceso de que las familias tomen posesión de una vivienda de forma más o menos permanente a lo largo del tiempo. Este sistema ya se utiliza ampliamente en diferentes partes del mundo para resolver diferentes problemas, a veces relacionados con el bienestar del territorio. En el norte de Europa y América del Norte, la autoconstrucción es una alternativa válida a la construcción tradicional para reducir la necesidad de trabajadores especializados en la obra y, por tanto, el coste de la misma, trabajando en la industrialización de la obra y en la investigación de tecnologías cada vez más sofisticadas y sencillas de aplicar e implementar, de modo que sólo se pueda utilizar mano de obra ordinaria. En las zonas mediterráneas del mundo y, sobre todo, en Sudamérica, la autoconstrucción adquiere el papel de herramienta para resolver un problema político social.

El objetivo de esta tesis es crear un prototipo de estructura en la categoría de autoconstrucción, capaz de coordinar los aspectos tecnológicos e industriales con la resolución de un problema social correspondiente a la penuria de vivienda. En primer lugar, está hecho de madera, que es el material más sostenible y ligero que se puede utilizar en la construcción. Además, una estructura de madera, sobre todo si se construye totalmente en seco, reduce considerablemente las dificultades en la obra relacionadas con la presencia de medios para la manipulación de las piezas o la realización de vaciados. El prototipo presentado en esta tesis es una casa de una sola planta formada por varios módulos, que pueden ampliarse o reducirse según las necesidades de la familia. La flexibilidad de la forma permite utilizar la misma estructura para otras funciones además de la de vivienda: por ejemplo, podría convertirse en un lugar de reunión de la comunidad, un centro deportivo, una escuela, en definitiva, ofrece una expresión completa de la ocupación del espacio.

La presente tesis representa sólo la primera parte de una investigación más amplia que se concluirá en el Politécnico de Turín.

Introducción

Hay dos causas principales de la privación de la vivienda: la falta de una vivienda adecuada y las dificultades económicas de un gran número de personas para acceder a ella. Ambas son condiciones crónicas y estructurales que no pueden ser abordadas con soluciones temporales. Por otro lado, el mercado de la vivienda responde más a la lógica económica y empresarial que a las necesidades sociales, mientras que las administraciones locales o bien no logran promover estrategias capaces de responder a las necesidades de los colectivos más afectados o bien son incapaces de satisfacer las necesidades en términos cuantitativos. El carácter de emergencia del problema de la vivienda exige soluciones concretas y duraderas, pero éstas deben aplicarse a corto plazo. En este sentido, la autoconstrucción puede ser una respuesta eficaz para garantizar una vivienda de calidad a un coste asequible.

La autoconstrucción se refiere a un proceso de construcción en el que los usuarios finales participan activamente en las diferentes etapas del proceso de construcción. La verdadera autoconstrucción total también implica a los usuarios en el diseño y la transformación de las materias primas, renunciando de hecho a cualquier participación de empresas externas. Sin embargo, esta perspectiva ha resultado hasta ahora inadecuada para tratar los problemas de vivienda y, por tanto, es inviable en la práctica. La normativa exige un control escrupuloso de los procesos de construcción, lo que no puede hacerse sin la competencia y la experiencia de las figuras técnicas. Por lo tanto, no es reductor considerar la participación parcial de los profesionales para los fines propuestos, sino que, por el contrario, su contribución puede garantizar el nivel de calidad que a menudo falta en las viviendas de alquiler y sociales.

Además del objetivo fundamental de ahorrar dinero, la autoconstrucción es también una propuesta cultural. En otras palabras, ofrece una oportunidad para una cultura de cooperación generalizada y promueve un sentido de comunidad entre los participantes en nombre del mutualismo, la justicia social y el respeto al medio ambiente. Una autoconstrucción completamente espontánea e individualista quedaría de hecho vaciada de su valor y utilidad social.

Llegados a este punto, también hay que replantearse el papel del diseñador, que debe informar al usuario de sus opciones de vivienda autónoma con sus conocimientos técnicos y herramientas de fácil comprensión. Es decir, se trata de una autoconstrucción "asistida", en la que el técnico no se sitúa por encima del grupo sino que se integra en él porque cree en el valor humano y social del proyecto.

El objetivo final de la tesis es, por tanto, plantear una propuesta de diseño de una casa de madera, capaz de dar respuesta a situaciones de malestar habitacional mediante la autoconstrucción asistida. Por lo tanto, las directrices de diseño tendrán que cumplir requisitos específicos. Los componentes individuales, necesariamente prefabricados, se

optimizarán en términos de geometría, para contener los costes de producción, así como en términos de tamaño y peso, para facilitar las operaciones de transporte y montaje.

En segundo lugar, se contempla la posibilidad de desmontar todo o parte del edificio, con lo que se satisface una doble necesidad. Por un lado, liberar la propiedad del objeto del territorio significa facilitar la movilidad de las clases trabajadoras, muy dependientes de la demanda de los sectores industriales del territorio. Por otro lado, flexibilizar el volumen de la vivienda, adaptándolo a la variabilidad de las necesidades de los usuarios.

Además, todo el proyecto persigue el objetivo de la sostenibilidad medioambiental, tanto en la limitación del consumo como en la minimización del impacto en el territorio. La elección de la madera como material predominante, orientada en este sentido, permite reducir las emisiones tanto en la fase de producción como, gracias al montaje en seco, en la fase de construcción.

1. La cuestión de la vivienda

1.1. La dificultad del acceso a la vivienda

El hogar y su entorno determinan de manera importante el nivel de bienestar. Varios tratados internacionales y constituciones nacionales reconocen el derecho a la vivienda como un derecho humano fundamental. Hay muchas cuestiones relacionadas con el ejercicio del derecho a la vivienda, ya que es un requisito importante para la libertad, el trabajo, la familia, la salud, la seguridad y el bienestar.

Sin embargo, el derecho a la vivienda se ve obstaculizado por limitaciones estructurales y, por tanto, está mal protegido. De hecho, más que un derecho efectivo, es hoy un derecho financieramente condicionado, es decir, ligado a la capacidad de gasto y a la estabilidad financiera de los individuos o de las familias. Con el libre mercado, el significado "fuerte" del derecho a la propiedad ya no es válido. Lo que prevalece, en cambio, es el derecho de los necesitados a recibir beneficios, es decir, su significado "débil". Sin embargo, también en este caso el derecho está condicionado a la disponibilidad real de recursos por parte de la administración. Esto, junto con la creciente inseguridad económica y laboral que reduce las posibilidades de acceso al crédito, ha ampliado por tanto el área de vulnerabilidad.

En consecuencia, las categorías de riesgo se diferencian cada vez más en términos socioeconómicos y surgen nuevas formas de pobreza. Hoy en día, la penuria de vivienda ya no afecta sólo a los que se encuentran en situación de pobreza absoluta, sino que se ha extendido a los grupos de ingresos bajos y medios que pueden tener dificultades para mantener su posición adquirida, o pueden estar en desventaja para acceder a las oportunidades públicas y privadas, o pueden encontrarse en situaciones de marginación y exclusión absoluta. En general, se trata de las que se llaman "categorías débiles": inmigrantes, trabajadores precarios, parejas jóvenes, familias monoparentales o con un solo ingreso y personas mayores que viven solas.

Sin embargo, el aspecto económico no es el único obstáculo para vivir bien. Además de ser un bien material, la vivienda es un nodo en la red de relaciones de una comunidad y, junto con otros bienes y servicios, contribuye a satisfacer y proteger un sistema de necesidades complejas que definen las "necesidades de vivir". Reducir estas necesidades a la satisfacción de estándares cuantitativos vacía el hogar de su significado social. En otras palabras, tratar la vivienda como cualquier otro bien de consumo convierte a sus destinatarios en consumidores pasivos.

Dada la aparición de nuevas y más extendidas formas de privación de la vivienda, su medición es sin duda compleja. Puede definirse como la condición de privación o sufrimiento de quienes carecen de medios económicos para satisfacer las necesidades mínimas de vivienda. Por lo tanto, en términos generales, la pobreza de vivienda engloba todas aquellas situaciones que,

por diversas razones, se desvían de una condición de vida normal. Estas situaciones tienen características diferentes en cuanto al tipo y el grado de malestar. Sus causas pueden rastrearse principalmente en cuatro ámbitos: físico, jurídico, económico y territorial.

- **Ámbito físico:** inadecuación del espacio vital y su equipamiento básico. Esto se refiere tanto a las características estructurales y los servicios de que dispone la vivienda, medidos por indicadores físicos y técnicos, como a la disponibilidad de espacio vital, medida por los índices de hacinamiento.
- **Ámbito jurídico:** inseguridad vinculada a la titularidad de la vivienda. Entre otras cosas, el hogar representa para el ser humano un punto de referencia cognitivo, una percepción de seguridad ligada al control exclusivo y continuo de un espacio vital. Por lo tanto, la calidad de vida también viene determinada por la forma de ocupación de la vivienda: un título legítimo sobre la vivienda, como el alquiler o la propiedad, permite tener una vivienda estable, mientras que las ocupaciones sin título, los alquileres ilegales y los desahucios exponen a los habitantes a condiciones de vida precarias.
- **Ámbito económico:** desproporción entre los costes de la vivienda y los ingresos. En las sociedades urbanas contemporáneas, los costes de la vivienda representan la mayoría de los presupuestos familiares y, junto con los ingresos, determinan el nivel de recursos disponibles para el consumo. Los costes de la vivienda que son desproporcionados con respecto a los ingresos pueden llevar a un descenso del nivel de vida de la familia, mientras que unos costes de la vivienda insignificantes pueden aliviar las dificultades económicas de los hogares con ingresos bajos y medios. Por tanto, está claro que la calidad de la vivienda también depende de su asequibilidad.
- **Ámbito territorial:** molestias causadas por el contexto en el que se inserta la vivienda. Dado que las prácticas de vivienda tienen lugar en el territorio en el que se insertan, la definición de la calidad de la vivienda no puede prescindir de una evaluación de los aspectos relacionados con el tejido urbano. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, la prestación de servicios locales, la accesibilidad a diversas oportunidades urbanas, la presencia de problemas medioambientales y la percepción de seguridad.

1.2. Condiciones de vivienda en Italia

Según la clasificación propuesta por el sociólogo británico Jim Kemeny, el sistema de vivienda italiano es de tipo dual, es decir, compuesto por dos mercados en los que el sector privado y el público operan por separado. Es dentro de esta última donde sobreviven las viviendas sociales. En el sistema de vivienda italiano, 7 de cada 10 viviendas son de dominio absoluto: esto puede resultar curioso desde el punto de vista de un observador europeo que no haya vivido en la fuerte cultura del ladrillo de Italia. En realidad, menos de la mitad de las viviendas disponibles en el mercado privado después de la Primera Guerra Mundial eran en propiedad, pero el auge económico posterior a la Segunda Guerra Mundial invirtió claramente la situación debido a la presión política para subvencionar la compra de una primera vivienda por parte de la nueva clase media para asegurar su entrada en el mercado capitalista. Si queremos expresar la información anterior en forma de porcentajes, podríamos decir que en Italia el 70% de las viviendas son en propiedad, el 20% en alquiler y el 10% en usufructo o propiedad absoluta, una tendencia que no coincide con los estándares del norte de Europa, sino que coincide con los de Europa del Este.

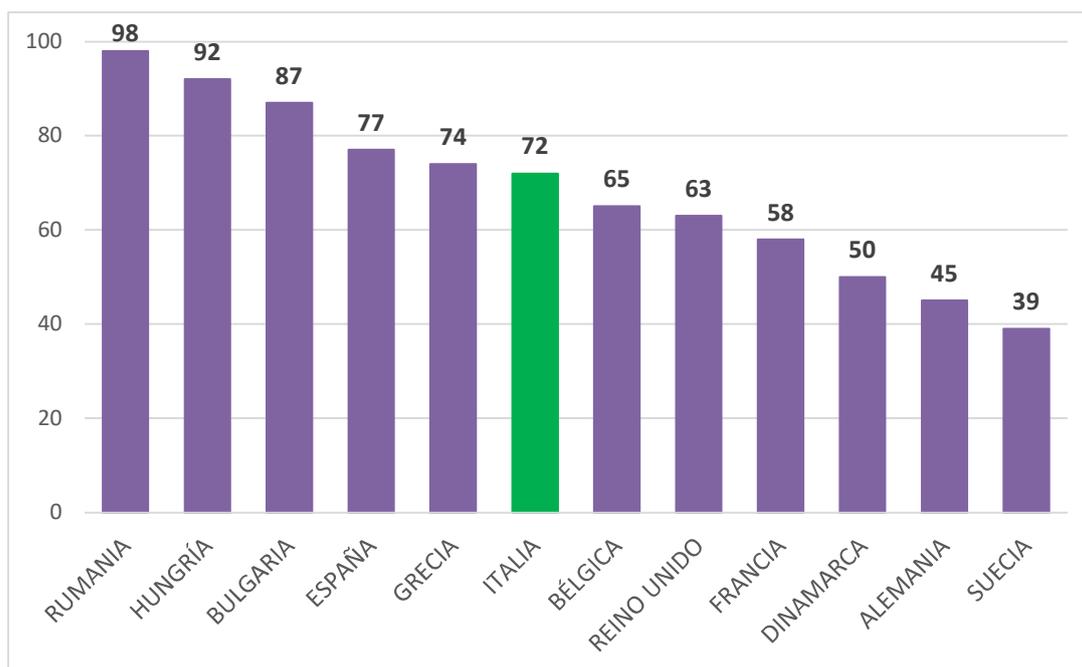


Ilustración 1 Porcentaje de viviendas ocupadas por sus propietarios en algunos países europeos.

Por ello, Italia es uno de los países europeos con menor porcentaje de viviendas sociales. FederCasa calcula que en Italia sólo hay entre un 3% y un 4% de viviendas sociales en el mercado de la vivienda, y que sólo las utilizan 700.000 familias. En los años 90, debido a la eliminación de las subvenciones a la vivienda social derivadas de las retenciones de las

nóminas de los trabajadores, la situación empeoró. Hoy en día, la gestión de las viviendas sociales se delega en los municipios, que en muchos casos, a falta de fondos estructurales del Estado, no pueden gestionar la cuestión. En 2020, se calcula que había 650.000 solicitudes de vivienda social pendientes. Esta cifra puede justificarse refiriéndose al hecho de que, una vez que un hogar ha entrado en una vivienda social, es difícil que la abandone, aunque cambien las condiciones de partida que determinaron su ocupación.

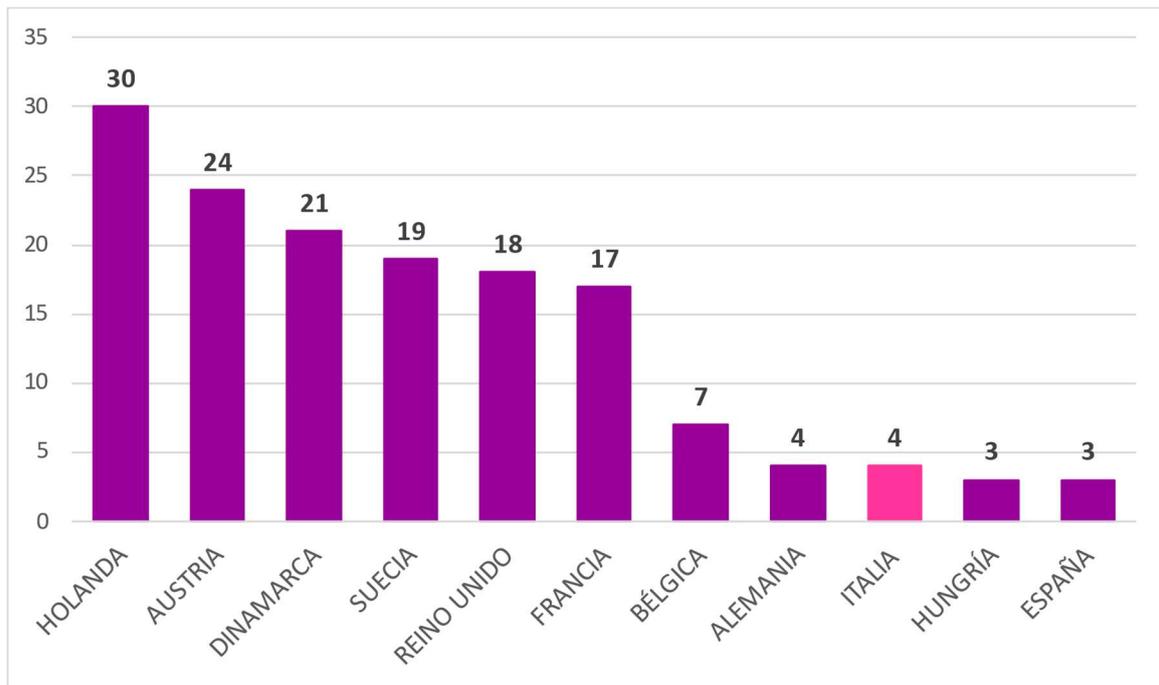


Ilustración 2 Proporción de viviendas asignadas a la vivienda social para algunos países europeos.

Sin embargo, los problemas no se acaban en la vivienda social: Federcasa calcula que 1,7 millones de italianos, y el 35% de los hogares alquilados en Italia con una situación de vulnerabilidad, dedican el 30% de sus ingresos mensuales a pagar el alquiler. En los 15 años anteriores a 2019, el porcentaje de ciudadanos pobres se duplicó, pasando del 3,6 % al 6,4 % de todos los hogares italianos. El porcentaje de pobres en el Norte ha aumentado, pero sigue sin ser superado por la pobreza en el Sur de Italia, que afecta principalmente a las familias con más de cinco hijos y a las familias monoparentales.

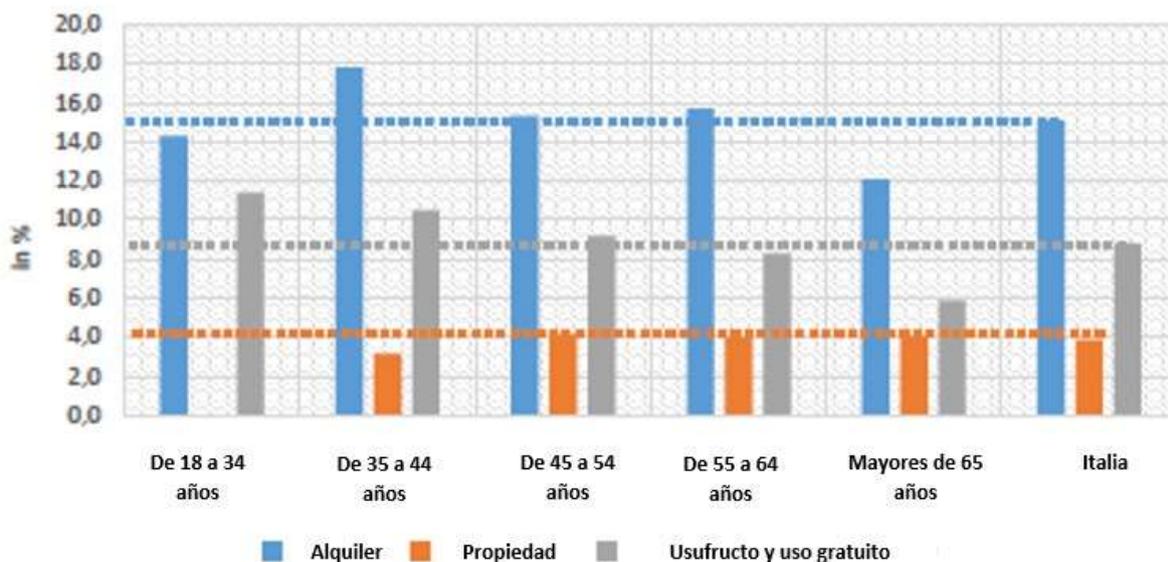


Ilustración 3 Título de propiedad de la vivienda por grupos de edad

El gráfico muestra que el fenómeno de la pobreza entre los hogares alquilados afecta principalmente al grupo de edad de 35 a 44 años, mientras que entre los hogares con casa propia se desplaza al grupo de edad de 45 a 65 años.

Además, dado que el 64% de los 2,2 millones de hogares con extranjeros son alquilados y que la pobreza es más común entre los alquilados, es de esperar que los extranjeros estén bien representados entre los hogares alquilados pobres.

Por último, el gasto sostenido por los hogares para el mantenimiento de sus viviendas representa el 41,5% del gasto medio y el 35% del gasto promedio. En Italia, Basilicata es la región con menor incidencia (28,3% del gasto medio) y, por el contrario, Lazio con la mayor (38,8% del gasto medio). El abanico trazado por estas dos regiones muestra territorios con economías diversificadas y, concretamente, diferencias en la accesibilidad y sostenibilidad de la vivienda. El componente del alquiler representa por sí solo el 64,5% del gasto en vivienda. El alquiler medio es de 412 euros al mes. El rango de variabilidad del alquiler oscila entre 293 euros/mes en las islas y 469 euros/mes en el centro de Italia.

El tipo de familia, como muestra el gráfico siguiente, tiene un fuerte impacto en el consumo de vivienda, ya que los solteros, las personas mayores o las familias monoparentales y las parejas de edad avanzada registran un alto coste de la vivienda, mientras que en el otro extremo se encuentran las familias con hijos, con ambos padres empleados.

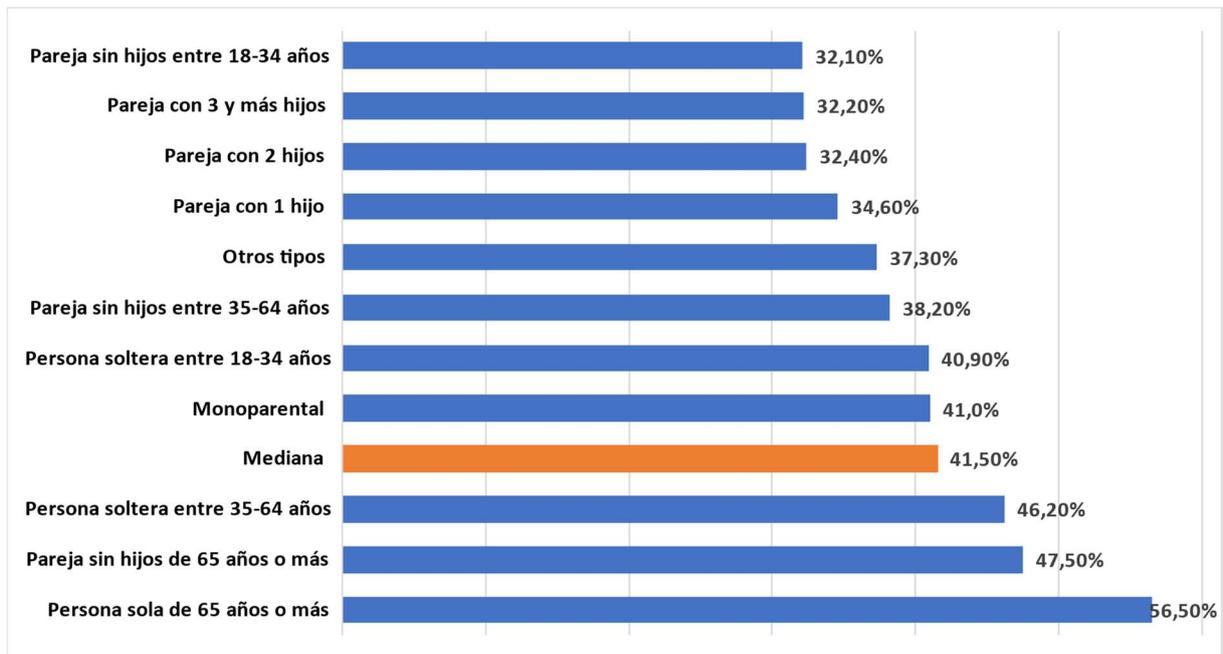


Ilustración 4 Incidencia del gasto mensual en vivienda en el gasto mensual medio total

1.3. Las viviendas sociales

La vivienda social se refiere a todas las formas de proporcionar viviendas y servicios con una fuerte connotación social a aquellos que no pueden satisfacer sus necesidades de vivienda en el mercado abierto, ya sea por razones económicas o por la falta de una oferta adecuada, buscando fortalecer su condición.

Las condiciones de dificultad y penuria estimulan una fuerte demanda de protección social. Por los problemas de exclusión social, el malestar de sectores crecientes de la población y las nuevas pobrezas metropolitanas, las políticas sociales y urbanas tienen que hacer frente a estos fenómenos en un plano diferente al de las políticas de bienestar del pasado, a las políticas tradicionales de bienestar.

Debido a la aplicación repetitiva de protocolos administrativos y de toma de decisiones, las políticas de vivienda no siempre responden adecuadamente al problema. Por ello, se necesitan iniciativas de abajo a arriba que, a través de la cooperación entre las personas, sean capaces de construir una alternativa duradera y generalizada.

Lo que se necesita son políticas cercanas a los habitantes y que los involucren directamente. El asistencialismo tradicional es ineficaz a largo plazo porque se limita a la producción cuantitativa de viviendas. La creciente responsabilidad de las comunidades locales en materia de bienestar es el llamado "bienestar activo", que se basa en:

- Una necesidad o deseo cuya satisfacción es urgente
- La movilización creativa de las personas que comparten esta necesidad
- Participación activa de los usuarios en la definición de la solución
- Una relación de cooperación entre personas e instituciones en la aplicación de soluciones

2. Autoconstrucción

La participación como intercambio de conocimientos, opciones y acciones presupone una forma de equilibrio entre los diferentes actores. Es la propia comunidad la que promueve su propia implicación y desarrollo de sí misma y del territorio con el que se identifica. La comunidad es el sujeto de la construcción y el ejercicio de un sistema de bienestar que pretende, ante todo, reconocer y potenciar la reciprocidad y la solidaridad presentes en la vida cotidiana y en la convivencia, para hacerlas interactuar con las políticas, las estructuras y las acciones de las instituciones administrativas.

En este sentido, la autoconstrucción puede ser una herramienta de apoyo a las formas de intervención existentes. El concepto es que un grupo de personas sin conocimientos técnicos o profesionales específicos se reúne, compra un terreno y construye su propia casa. Además de proporcionar ventajas económicas en la apropiación de una vivienda, la autoconstrucción permite que las personas pasen de ser usuarios pasivos de la casa a participantes activos.

El valor social inherente al voluntariado representa un nuevo modelo de relaciones. El fomento de esta función responde a las necesidades de la sociedad actual que, por el contrario, empuja hacia la reducción de las relaciones sociales y el aislamiento individual.

Sin embargo, la autoconstrucción por sí sola no puede considerarse la solución al problema de la vivienda, pero puede desempeñar un papel de apoyo a las formas de intervención existentes y practicarse con resultados positivos, especialmente en condiciones particulares.

2.1. La autoconstrucción en la historia

En Italia hay muchos pueblos rurales formados por casas que los campesinos construyeron a menudo sin grandes conocimientos técnicos ni maquinaria, con materiales disponibles en la zona o traídos de canteras y lugares cercanos. El arte de la construcción de casas tiene sus raíces en la autosuficiencia de los pueblos, las aldeas, las familias y las personas, que es anterior a la era de la rígida división del trabajo y la especialización y se refiere al hombre como arquitecto de su entorno.

La autoconstrucción tiene raíces antiguas y fue uno de los procesos de construcción más utilizados en siglos pasados. No fue hasta el siglo XX cuando la autoconstrucción se dejó de lado para dar paso a la especialización de los trabajadores profesionales, que se convirtieron en una necesidad tras la llegada de la urbanización y pronto formaron el gran grupo de pequeñas y medianas empresas de construcción en Italia.

A partir de los años 70, la autoconstrucción pasó de ser un fenómeno espontáneo a uno organizado: ya no era una iniciativa individual, sino una alternativa válida para las comunidades de ciudadanos que querían construir y vivir en asentamientos más complejos.

Estas comunidades, críticas con la escasez de los espacios, de las funciones, de las cualidades microclimáticas, ambientales y estéticas de la producción convencional de edificios industrializados, se esforzaron por conseguir unos estándares de vivienda mejores pero asequibles.

El intento de devolver la espontaneidad a un marco orgánico y organizado tuvo que tener en cuenta algunos problemas importantes de carácter político-legislativo, procedimental y técnico:

- Dificultades de procedimiento derivadas de una legislación, mecanismos de financiación, normas y reglamentos inadecuados
- La ausencia, dentro de los planes urbanísticos, de cuerpos de viviendas con tipologías edificatorias abiertas a hipótesis productivas distintas de las tradicionales
- Desinterés del mundo empresarial por la escasa productividad de estas inversiones
- Ausencia de normas y reglas para compatibilizar la presencia de diferentes operadores, tecnologías, materiales y componentes dentro del proceso.

Esta serie de problemas contribuyó a ahogar el interés que incluso grandes sectores de la población manifestaron por la autoconstrucción, haciendo prácticamente inexistentes algunas condiciones básicas para fomentar y permitir las iniciativas en este sentido, especialmente en las formas asociadas.

En el marco de la cooperación internacional, las prácticas de construcción colectiva del hábitat encontraron su laboratorio experimental en las experiencias de los años 60 en el contexto de las realidades urbanas pobres de los países pobres o en vías de desarrollo. Estas experiencias se reafirmaron, desarrollaron y perfeccionaron a lo largo de las décadas siguientes también en los países del norte del mundo, donde, por razones históricas, se trabajó mucho antes que en Italia en la búsqueda de respuestas innovadoras a la necesidad de vivienda para los grupos de bajos ingresos.

Históricamente, y en diferentes contextos geográficos, se han desarrollado dos tendencias profundamente distintas que expresan conceptualmente diferentes enfoques de la autoconstrucción:

- En los países del norte de Europa (Dinamarca, Inglaterra y Holanda) y Estados Unidos, el interés se centra principalmente en la innovación tecnológica de los procesos de construcción, orientada a la máxima facilidad de instalación. Así, este tipo de innovación permite ampliar el mercado formado por pequeñas empresas con un bajo número de trabajadores especializados.
- En los países del mediterráneo, Europa, África y América Latina, se favorece el componente participativo de la autoconstrucción y las nuevas relaciones de

socialización y apoyo mutuo que se establecen entre los diferentes actores. Este enfoque propone así una alternativa a los modelos tradicionales del proceso de construcción, en el que el papel del diseñador se extiende a la práctica de la construcción, a través de instrucciones operativas e información técnica fuertemente relacionada con las soluciones que se pueden adoptar en la obra, incluyendo el uso de materiales pobres con bajo contenido energético.

2.2. Definición y tipos de autoconstrucción

La autoconstrucción tiene la ventaja de reducir la secuencia de delegaciones y mediaciones que caracterizan el ciclo de construcción y, por tanto, el coste global de la intervención. Así, las funciones y actividades del proceso de construcción se concentran en dos actores principales:

- El usuario que realiza las actividades de principal, usuario y trabajador
- El diseñador que realiza las actividades de diseño, formación de los trabajadores, dirección de obra y organización de la producción fuera de la obra

Sin embargo, la autoconstrucción no debe entenderse como un consumismo o un individualismo exagerado. A menudo se convierte en un trabajo en grupo, una investigación conjunta, una puesta en común de los recursos materiales, culturales y profesionales. Es una búsqueda profunda para satisfacer necesidades reales, una respuesta a una necesidad real de autorrealización, una respuesta a las exigencias de la vida, una solución económicamente posible a la contradicción entre costes sostenibles y calidad deseada.

Hoy en día, la autoconstrucción puede representar una combinación de antiguas tradiciones rurales y de innovación tecnológica en las técnicas de producción, construcción y edificación.

Dentro del concepto genérico de autoconstrucción existen numerosas categorías que se diferencian entre sí según los procesos organizativos. Se distinguen principalmente por el grado de reducción de la delegación, es decir, el grado de implicación de los autoconstructores en el proceso de construcción (autoconstrucción total o parcial), y por la forma de agregación, es decir, el tipo de organización de los que toman la iniciativa (autoconstrucción individual o asociada).

Hoy en día, la perspectiva más deseable, que se toma aquí como orientación, es la de la autoconstrucción parcial y asociada.

La autoconstrucción parcial es una opción casi obligada: las formas actuales de construcción dificultan enormemente el cumplimiento de todos los requisitos de la vivienda al responsabilizar al autoconstructor de todo el proceso. Asumir el diseño arquitectónico y la producción de los componentes sería excesivamente costoso para los autoconstructores y

quizás poco eficaz para cumplir las normas mínimas. Por tanto, no es limitante pensar en una autoconstrucción coordinada por un diseñador y realizada con componentes industrializados. Por supuesto, el diseño arquitectónico tendrá que estar concebido para la autoconstrucción y facilitar las operaciones del sitio. Además, debe completarse con una especie de manual de instrucciones que ofrezca pautas para organizar el trabajo, con dibujos específicos que puedan ser entendidos incluso por quienes no tienen mucha experiencia. No se descarta que el proyectista pueda seguir las obras y asistir a los autoconstructores en la obra. En este caso, sin embargo, no debe situarse por encima de los autoconstructores, reintroduciendo así los roles jerárquicos de la obra tradicional, que traicionan el carácter mutualista de la autoconstrucción. Por el contrario, deben ser capaces de integrarse en el grupo y creer en el valor social de la experiencia.

Por las mismas razones, la autoconstrucción asociada es preferible a la autoconstrucción individual como estrategia de lucha contra el malestar habitacional que promueve una política de vivienda social basada en la participación, la cooperación y la inclusión social. En este sentido, las cooperativas se identifican a menudo como la forma más adecuada de agregación entre los autoconstructores, proporcionando al grupo un apoyo organizativo y burocrático, indispensable para llevar a cabo la experiencia. Además, las cooperativas son entidades protegidas por la Constitución y disfrutan de considerables ventajas en términos de financiación, búsqueda de terrenos para construir y exenciones fiscales.

3. Propuesta de proyecto

3.1. Diseñar para la autoconstrucción

Diseñar para la autoconstrucción significa, en primer lugar, definir los criterios que determinan la viabilidad del proyecto para los no profesionales. Por lo tanto, incluso antes de definir el proyecto global a nivel definitivo, es necesario elegir en la fase preliminar qué sistemas constructivos y tecnológicos adoptar en función de las características y capacidades de los autoconstructores. A continuación, es necesario que el diseñador analice cada una de las fases del proceso, simulando mentalmente todas las operaciones manuales necesarias para conseguir el objeto. De este modo, es posible definir los elementos constructivos individuales que proporcionarán al autoconstructor la posibilidad de completar la obra de forma sencilla.

El desarrollo de un proyecto de autoconstrucción puede ser especialmente complejo, ya que requiere la capacidad de simplificar las operaciones de construcción sin sacrificar la calidad y sin utilizar tecnología cara. Ambas condiciones son esenciales para que no se desperdicie la motivación que ha motivado la decisión de construir por cuenta propia. Por tanto, la figura del proyectista es indispensable, ya que todos los problemas deben abordarse y resolverse con antelación, para minimizar los imprevistos durante la construcción.

Para ello, una vez definido el anteproyecto, hay que traducirlo para la fase de construcción en la obra mediante dibujos intuitivos en un lenguaje fácil de leer para todos. Esto significa que hay que elaborar un manual de construcción que ilustre las distintas fases de construcción con gráficos en 3D, para que los autoconstructores ya las hayan simulado y asimilado mentalmente cuando pongan en práctica las distintas operaciones.

3.2. Objetivos del proyecto

Los requisitos de diseño estrechamente vinculados a las necesidades de la autoconstrucción son básicamente de dos tipos: simplificación operativa y ahorro económico. A partir de ellos, se suceden una serie de requisitos más específicos:

- Utilización de componentes de peso y dimensiones reducidas.

Los componentes deben ser fáciles de manejar incluso por unas pocas personas, que pueden no tener la fuerza física adecuada para levantar cargas pesadas, limitando así también el riesgo de accidentes. Además, evitar o reducir el uso de equipos de elevación puede facilitar la organización y reducir los costes.

- Operaciones reducidas y repetitivas, fácil posicionamiento y montaje.

Es conveniente reducir la complejidad estructural del proyecto, para limitar el trabajo a operaciones elementales, claras y poco articuladas, que puedan ser fácilmente

comprendidas por los no expertos. Por lo tanto, es preferible el montaje en seco, ya que requiere uniones mecánicas reducidas y fáciles.

- Economía de producción.

Las necesidades actuales en materia de vivienda, incluso en términos de normativa, serían extremadamente difíciles de cumplir si la producción se dejara en manos de los autoconstructores. Por lo tanto, se considera más apropiado delegar la producción en la industria, también para transferir a ésta parte de la complejidad de la construcción in situ. No obstante, la simplificación de los procesos de fabricación de productos industriales puede ser ciertamente rentable. Además, esto permite subcontratar la producción a empresas no especialmente especializadas pero más cercanas al lugar.

- Reducción de la necesidad de equipos de construcción.

A menudo, el peso y el tamaño de los componentes del edificio exigen el uso de grandes vehículos, tanto para el transporte como para la instalación. Estos pueden ser costosos en términos de alquiler, que suele ser proporcional a su capacidad, pero también pueden crear problemas en zonas de difícil acceso debido a la morfología del terreno o a la falta de infraestructuras. El problema puede resolverse utilizando componentes de peso y tamaño reducidos, que puedan ser transportados por vehículos pequeños y, en la medida de lo posible, instalados a mano.

Tampoco hay que olvidar la cuestión de la sostenibilidad medioambiental, que es tan urgente como la cuestión social. En la actualidad, el sector de la construcción es responsable de casi el 40% del uso final de energía en el mundo, debido al enorme consumo que provocan tanto los procesos de ejecución como el uso del edificio durante su vida útil.

La simplificación operativa ya va en esta dirección en cierta medida: preferir el montaje en seco y reducir el número de vehículos de construcción, por ejemplo, supone reducir no sólo los costes sino también las emisiones contaminantes.

A ellos se decidió añadir los siguientes criterios como guía para el proyecto:

- Utilización de materiales de bajo impacto ambiental.

Es sin duda uno de los requisitos fundamentales que se aplican en el diseño sostenible hoy en día y también el más fácil de perseguir. El impacto medioambiental de los productos de construcción es una suma de varios factores que afectan a todo el ciclo de vida del componente: las necesidades de energía primaria (en relación con las fases de producción, transporte, uso y eliminación de un producto), la cantidad de emisiones contaminantes y su impacto en el calentamiento global, la demanda de agua necesaria para los procesos de fabricación y construcción. Por lo tanto, se consideran materiales sostenibles aquellos que están disponibles localmente, se pueden ensamblar en seco y tienen un balance global negativo, nulo o casi nulo de emisiones de CO₂.

- Posibilidad de desmontar y volver a montar todo el edificio.

El impacto de la construcción en el territorio también se debe en gran medida a la ocupación del suelo. En Italia hay 31 millones de viviendas, de las cuales 7 millones están vacías o abandonadas, es decir, alrededor del 22,6%. Excluyendo las segundas residencias, que son más de 3 millones, todavía hay un gran número de viviendas que, por diversas razones como el abandono o los procesos de urbanización, permanecen completamente deshabitadas y sin mercado. Diseñar edificios que puedan desmontarse y volver a montarse en otros lugares ayuda a combatir este fenómeno. Así, la casa puede venderse o verse en el mercado, sin relación con su contexto original, y una vez retirada vuelve a su estado original, dejando a lo sumo una mínima huella en la zona.

Hay otra posibilidad que vale la pena explorar y que combina bien con la intención de garantizar la facilidad de montaje y desmontaje: el concepto de la casa que se evoluciona, que es capaz de crecer y cambiar con el tiempo, adaptándose coherentemente a las necesidades cambiantes de sus usuarios. Una familia, por ejemplo, no tendrá siempre las mismas necesidades de espacio a medida que cambien sus miembros. Una familia, por ejemplo, no tendrá siempre las mismas necesidades de espacio cuando cambien sus miembros. Puede sentir la necesidad de una casa más grande cuando nacen los hijos o cuando hay que cuidar a un padre anciano y, por otro lado, puede tener dificultades para gestionar una casa grande cuando los hijos se mudan (piense, por ejemplo, en la limpieza, el mantenimiento rutinario o la pérdida de calor cuando hay habitaciones sin usar).

Por lo tanto, un hogar de desarrollo puede variar en función de estas necesidades, pero también de los requisitos económicos. A menudo, la demanda de casas autoconstruidas se refiere a familias jóvenes, aún en crecimiento y con recursos económicos limitados. El carácter evolutivo de la vivienda permite reducir el coste inicial y repartir los gastos a lo largo del tiempo, planificando las sucesivas ampliaciones en función de las necesidades y los recursos económicos.

Si desde el punto de vista tecnológico la facilidad de montaje y desmontaje responde bien al concepto de evolución de la vivienda, también hay que poner atención a la forma. La disposición espacial debe facilitar la conexión del núcleo original con la nueva extensión, sin alterar el equilibrio distributivo.

3.3. Opciones de diseño

3.3.1. Material

La madera es sin duda el material más adecuado para los fines propuestos. Es fácil de trabajar y permite el montaje en seco de la estructura que, gracias a los métodos de construcción simplificados, puede ser realizado por constructores no especializados. En comparación con otros materiales estructurales, tiene una relación resistencia-peso muy elevada, por lo que se pueden conseguir notables prestaciones con elementos ligeros y pequeños.

Al ser uno de los materiales más comunes del mundo, la madera es fácil de encontrar y su transporte tiene un impacto reducido en el medio ambiente. Además, gracias a su renovabilidad, la construcción de elementos estructurales de madera tiene un balance neto de producción de CO2 negativo, ya que durante el crecimiento del tallo se absorbe más CO2 del que se utiliza para su procesamiento, a diferencia de los materiales utilizados convencionalmente en la construcción de elementos estructurales.

La durabilidad es un factor clave para garantizar que la estructura se pueda desmontar y volver a montar. La madera también es adecuada para este propósito, ya que es un material duradero y de bajo mantenimiento.

Estructuralmente, la madera tiene un excelente comportamiento a la flexión, un buen comportamiento a la compresión y resiste mejor los esfuerzos de tracción axial que los metales.

Propiedades		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

La madera también es muy versátil y, además de ser un material estructural, tiene una buena capacidad de resistencia térmica.

Para secciones transversales y longitudes pequeñas, se puede evitar el uso de vigas laminadas y, por lo tanto, se eligieron vigas de madera maciza para la estructura de elevación. Las vigas laminadas tienen la ventaja de reducir las imperfecciones naturales de la madera, pero requieren procesos de fabricación industrial avanzados y un mayor consumo. Hoy en día, la producción de madera maciza incluye controles de calidad que garantizan un material homogéneo sin gran riesgo de deformación y grietas. Además, dentro de ciertos límites de longitud, ensambles tipo *finger joint* no son necesarios.

Las vigas de madera maciza pueden fabricarse con cualquier dimensión de sección transversal, siempre que estén dentro de las dimensiones de la madera que se corta del tronco. En comparación con las vigas laminadas o las vigas con juntas dentadas, tienen una gran ventaja estética, ya que dan el aspecto típico de la madera natural.

3.3.2. Estructura

La resistencia de una estructura no sólo viene determinada por el material y el tamaño de los elementos. Hay estructuras de las que se dice que son resistentes por su forma, que obtienen una gran resistencia mecánica principalmente por su geometría. Los elementos ligeros y pequeños pueden aumentar su eficacia si se disponen adecuadamente en el espacio, de modo que los esfuerzos se concentren en las direcciones en las que la resistencia es mayor. Al aprovechar la inteligencia de la forma antes que el poder de la tecnología, se pueden alcanzar los objetivos de ligereza y practicidad necesarios para la autoconstrucción.

El uso estratégico de la forma en la construcción tiene orígenes antiguos. El caso más evidente e históricamente extendido es el de la técnica del arco, que ya se utilizaba en las antiguas civilizaciones mesopotámicas pero que se perfeccionó y sistematizó definitivamente en la época romana. Desde un punto de vista estático, el principio del arco, en el que se basan las bóvedas y las cúpulas, consiste en la compresión recíproca entre bloques que se apoyan mutuamente, descargando las fuerzas resultantes en el pie sobre las estructuras de soporte. De este modo, elementos pequeños y ligeros como los ladrillos podían cubrir grandes vanos utilizando únicamente el principio de la forma.

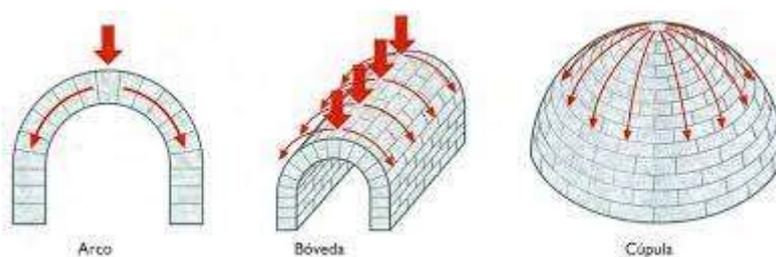


Ilustración 5 Distribución de tensiones en arcos, bóvedas y cúpulas

En Occidente, la construcción de estructuras abovedadas y con cúpula perdió rápidamente importancia a partir de la segunda mitad del siglo XIX, cuando las vigas de hierro (y más tarde de hormigón) estuvieron disponibles a precios competitivos. Las estructuras horizontales más extendidas en la actualidad se basan casi exclusivamente en las prestaciones tecnológicas de los materiales, que exigen una industrialización avanzada que no siempre es barata y a menudo implica grandes costes de producción y transporte. Las construcciones de hormigón armado no sólo requieren una gran cantidad de agua y energía, sino que también implican una gran cantidad de equipos y maquinaria de obra que no son adecuados para una mano de obra inexperta. Los elementos horizontales montables en seco, como las vigas de acero y madera, que suelen ser pesadas y grandes, también son difíciles de manipular y requieren el uso de maquinaria de elevación.

Estructuras recíprocas

Otro ejemplo de estructuras resistentes a la forma son las estructuras recíprocas. Una estructura recíproca se define como un conjunto tridimensional de elementos que se apoyan mutuamente mediante simples restricciones de soporte, con el fin de crear estructuras de una envergadura mucho mayor que los elementos individuales que la componen.

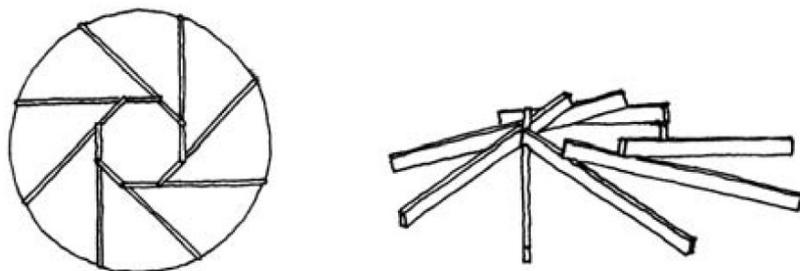


Ilustración 6 Ejemplo de estructura recíproca

Este principio está presente en la arquitectura tradicional japonesa y china y se estudió en Occidente en la época medieval. En la Edad Media se construyeron muchos edificios con suelos de madera, pero la longitud de los troncos disponibles no siempre era suficiente para cubrir grandes vanos. Varios arquitectos, como Villard de Honnecourt y Sebastiano Serlio, abordaron este problema y propusieron soluciones basadas en estructuras recíprocas.

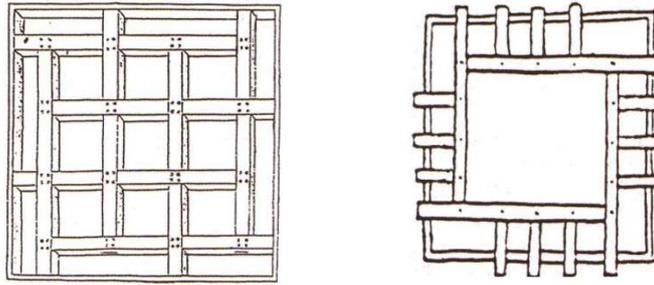


Ilustración 7 Esquemas con vigas recíprocas diseñados por Villard de Honnecourt y Sebastiano Serlio

Los estudios más famosos sobre el comportamiento de las estructuras recíprocas son los de Leonardo da Vinci. Sus códices contienen numerosos dibujos de cúpulas geodésicas basadas en diferentes módulos geométricos.

El puente autoportante de los folios 69AR y 71V del Codex Atlanticus sorprende por su sencillez constructiva y estructural. Las vigas de las que se compone son mucho más cortas que su luz y se ensamblan sin utilizar juntas ni tirantes. Una vez montado, el peso del puente es suficiente para ejercer la presión necesaria para que los montantes bloqueen los travesaños, impidiendo que la estructura ceda. Este efecto, y por tanto la estabilidad del puente, aumenta a medida que aumenta la carga en la parte superior.

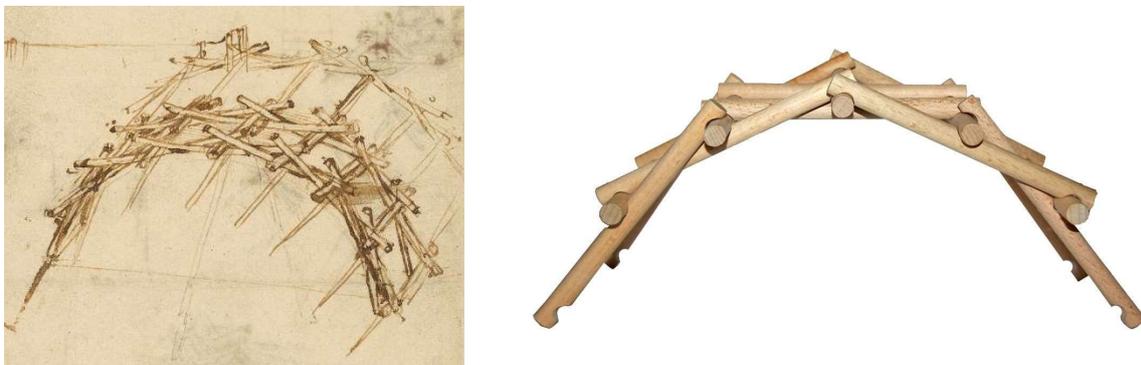


Ilustración 8 Puente autoportante de Leonardo da Vinci

El principio estructural se basa en el hecho de que cada viga soporta las vigas adyacentes y al mismo tiempo se apoya en ellas. Así, dos vínculos consecutivos, aunque sólo sean soportes, crean en realidad un enclavamiento entre las dos vigas que unen. Por lo tanto, se puede suponer que el comportamiento global es el de una estructura isostática coherente y unitaria capaz de transferir tensiones de una viga a otra hasta que estas tensiones se descarguen en los soportes externos.

Es probable que Leonardo tuviera la intención de vender el proyecto al ejército: de hecho, una solución así podría ser extremadamente útil porque era modular, fácil de transportar y montar, pero también de desmontar, para evitar que los ejércitos enemigos la utilizaran. Hoy en día estas mismas características pueden ser una ventaja, en términos de flexibilidad y reversibilidad, para un proyecto de autoconstrucción. Por esta razón, se decidió aplicar los principios de funcionamiento del puente autoportante de Leonardo a la propuesta de diseño.

3.4. Génesis del proyecto

La propuesta de diseño descrita en este capítulo es el resultado de un intento de diseñar un prototipo de casa que sea coherente con los principios de la autoconstrucción. Teniendo en cuenta la importancia de la participación activa de los autoconstructores en la definición de los espacios que habrán de habitar y con los que deberán identificarse, el proyecto se limitará a aportar las soluciones tecnológicas que los futuros habitantes de la casa adaptarán a sus necesidades.



Ilustración 9 Modelo estructural inspirado en el puente autoportante de Leonardo da Vinci

Para simplificar, el tipo de vivienda previsto es una casa unifamiliar. Estructuralmente está configurado como una sucesión de arcos, hechos de vigas cortas de madera que se apoyan entre sí según el principio del puente autoportante de Leonardo. Este enfoque no sólo reduce el tamaño de los elementos estructurales y facilita su montaje, sino que también aporta grandes ventajas en términos de flexibilidad en el espacio y el tiempo. Por un lado, la gran envergadura obtenida por los arcos genera un gran espacio vacío en el interior, libre de impedimentos estructurales, que los autoconstructores pueden subdividir y modificar con el tiempo a su gusto. Por otro lado, el desarrollo de la estructura mediante arcos sucesivos

permite ampliar o reducir el espacio habitable añadiendo o quitando arcos según sea necesario (según el principio de la casa que se evoluciona descrito en el apartado 3.2).

La acción de empuje de los arcos puede ser contrarrestada por el suelo, que también está hecho de vigas cortas de madera. Para la conexión al suelo, se prevé el uso de pilotes de cimentación de tipo tornillo, que son fáciles de plantar y fácilmente desmontables.

Al principio se pensó en desarrollar la envolvente sobre la forma de la estructura, creando una especie de cubierta abovedada sin un verdadero cierre vertical. Sin embargo, esta solución habría creado problemas considerables, anulando las simplificaciones aportadas por las opciones estructurales. Las complicaciones estaban relacionadas principalmente con la estanqueidad del edificio, la disposición de las ventanas y puertas en los tejados inclinados y la distribución de los espacios interiores. Por tanto, parecía más apropiado encontrar la manera de adaptar la forma más sencilla y tradicional de envoltura a una estructura tan inusual: los cierres verticales y la cubierta a dos aguas.

Se decidió añadir dos pilares, también de madera, cerca de los dos extremos de cada arco. Los pilares no tienen una función estructural dominante (a lo sumo pueden soportar los arcos), sino que sirven principalmente como soporte de los muros verticales exteriores, lo que simplifica enormemente el diseño y la instalación de los elementos de fijación y cierre. Además, esta solución crea una especie de galería que puede utilizarse como zona de filtración entre el interior y el exterior, expuesta al aire pero protegida del sol y la lluvia.

Para facilitar la instalación del tejado a dos aguas, se añadieron elementos, sin excesivas complicaciones, para garantizar una perfecta coplanaridad con el tejado. Al elevar la línea del alero se crea un voladizo con una inclinación más adecuada para proteger de la lluvia y recoger el agua de lluvia. En cambio, la elevación de la línea de cresta ha resultado útil para crear aberturas de ventilación.



Ilustración 10 Render de una posible solución de diseño

3.5. Soluciones tecnológicas

3.5.1. Cimentaciones

Una forma rápida y práctica de crear una base sólida para soportar estructuras no demasiado pesadas es la cimentación con tornillos. Los tornillos de cimentación son tubos de acero galvanizado en espiral que se atornillan directamente al suelo. Por sus características son especialmente adecuadas para los objetivos del proyecto propuesto:

- No es necesario realizar excavaciones ni movimientos de tierra, lo que evita la producción de escombros y ahorra tiempo y costes.
- La estructura puede levantarse en cualquier tipo de suelo que no sea demasiado rocoso, en diferentes regiones climáticas y en cualquier época del año (a la profundidad a la que se sumergen las puntas de la vid, la temperatura del suelo es siempre estable, por lo que las condiciones meteorológicas no afectan a la resistencia de la estructura).
- Ofrecen la posibilidad de construir en terrenos escarpados y mantener las estructuras a gran altura del suelo, mejorando la ventilación y, por tanto, el aislamiento y la durabilidad.
- Se instalan de forma eficaz, precisa y en poco tiempo y están listos inmediatamente para anclar la estructura.
- El atornillado es en seco y no requiere el uso de cemento.
- Se pueden atornillar con miniexcavadoras, pero también sin necesidad de utilizar equipos especiales.
- Son fácilmente extraíbles, reutilizables y reciclables.
- El coste total es un 30-40% inferior al de una cimentación de hormigón.



Ilustración 11 Tipos de tornillos de cimentación e instalación con una simple excavadora

Existen diferentes tipos de pilotes de tornillo entre los que se puede elegir en función de las condiciones del terreno y de las características de la estructura. Se diferencian por el diámetro, el número y el tamaño de las cuchillas, el tipo de púas, la capacidad de carga, el grosor del acero y el tipo de revestimiento anticorrosivo. A efectos de diseño, la elección dependerá exclusivamente de la geometría que mejor se adapte a la estructura de la casa. En cada caso concreto también habrá que considerar con más detalle los demás parámetros para saber qué producto se adapta mejor a las características del terreno.

Una vez que el suelo se ha colocado según el patrón prescrito, el marco de madera que sostiene el suelo se monta en las bridas de la cabeza de los tornillos. El armazón de madera se compone de un armazón principal, que forma la base de los arcos, y de un armazón secundario que los une en la dirección transversal. Las vigas de la estructura principal están ancladas a los pilotes de la cimentación y conectadas entre sí mediante juntas de madera de cabeza a cabeza. También están diseñados para ser pequeños y tener la misma longitud, igual a la distancia entre los pilotes de cimentación.

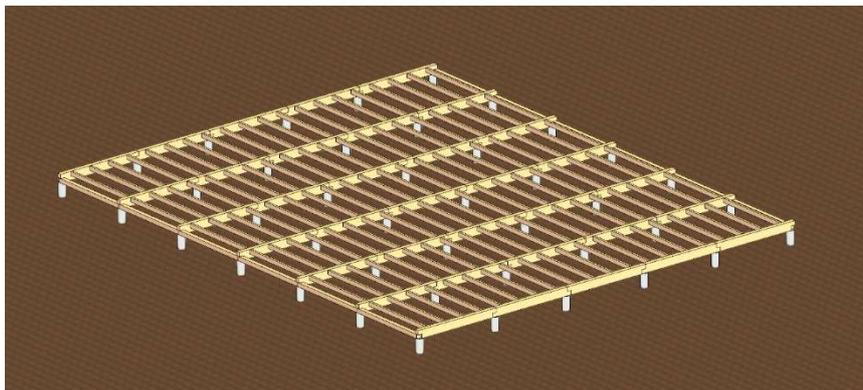


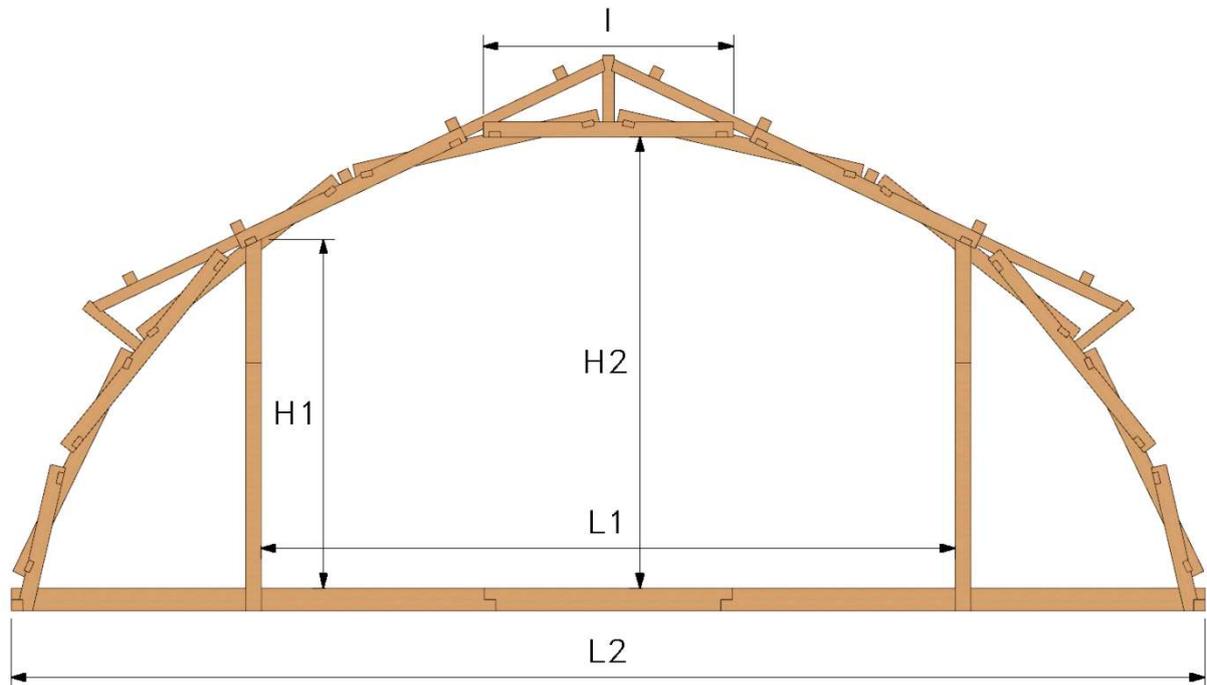
Ilustración 12 Disposición de los tornillos de cimentación y de las vigas del forjado

3.5.2. Estructura

La estructura elevada se ha diseñado para que las piezas sean lo más idénticas posible a fin de reducir el desperdicio de material y simplificar la producción, el transporte y el montaje. El propio concepto de estructura recíproca es especialmente adecuado para ello, ya que se basa en la repetición esquemática de un mismo módulo. En este caso concreto, el modelo basado en el puente de Leonardo y propuesto para la estructura principal se compone únicamente de dos tipos de piezas: las vigas propiamente dichas que forman el arco y los elementos transversales que permiten su enclavamiento entre sí. La única excepción, por razones geométricas, son las piezas de los extremos, que en cualquier caso se toman del módulo de la viga principal. El mismo principio se aplica a los elementos que, como se describe en el apartado 3.4, se han añadido para soportar los cierres verticales y el techo.

Una vez definidas las proporciones geométricas de las piezas, el sistema estructural puede escalarse a diferentes dimensiones según sea necesario. Si es necesario limitar el tamaño de

las piezas o si se quiere construir un edificio pequeño, se utilizarán tamaños más pequeños. Si las condiciones lo permiten, se pueden utilizar tamaños más grandes, incluso a costa de utilizar más equipos de construcción, pero con vanos considerables. La elección también puede variar en función del uso previsto de la estructura, por ejemplo si se va a utilizar como lugar de reunión, donde es más útil dejar grandes espacios abiertos. Así, la luz y la altura de la estructura varían en función del tamaño de las piezas que componen el arco. En el cuadro siguiente se proponen varios tamaños.



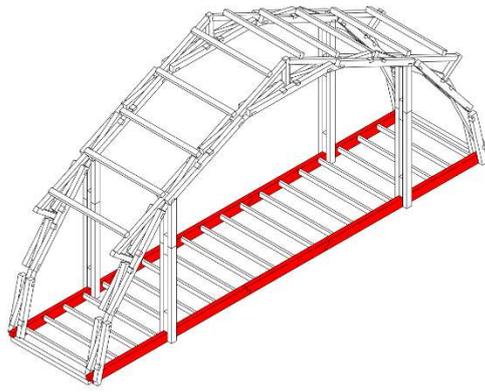
Longitud viga	Luz interior	Luz exterior	Altura mínima	Altura máxima
I [m]	$L1$ [m]	$L2$ [m]	$H1$ [m]	$H2$ [m]
2,20	6,10	10,50	3,09	3,99
2,40	6,66	11,46	3,37	4,36
2,60	7,21	12,41	3,65	4,72
2,80	7,76	13,36	3,93	5,08
3,00	8,32	14,32	4,21	5,45
3,20	8,87	15,27	4,49	5,81
3,40	9,43	16,23	4,77	6,17

Considerando una residencia como el uso previsto, se elige un tamaño de viga de 2,60 m. En consecuencia, el interior tendrá unas medidas brutas, es decir, netas de la envolvente, de 7,21 m de luz y 4,72 m de altura.

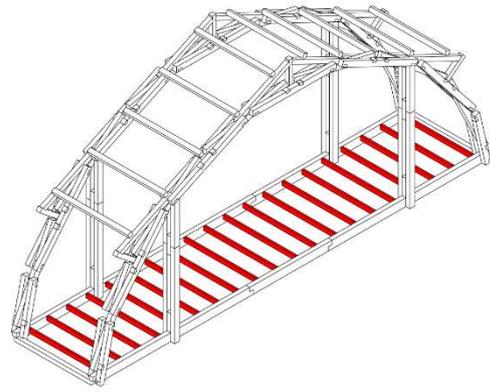
En la configuración final, las piezas que componen la estructura son 12 en total, y como algunas de ellas se derivan del corte de otras, se pueden considerar un total de 5 familias de objetos. Sobre la base de este principio, se ha asociado a cada pieza un código de dos caracteres. El primer carácter es una letra que identifica la familia de objetos procedentes de la misma pieza "madre". El segundo carácter es un número que identifica de forma exclusiva el tipo individual, empezando por el tipo "1", que identifica la pieza más grande, y terminando por la más pequeña.

Familia	Sección [cm]	Codigo	Longitud [cm]	Peso [kg]
A	12x24	A1	258	35,39
B	6x12	B1	204	8,21
		B2	36	1,30
C	12x12	C1	240	17,28
		C2	182	12,85
		C3	86	6,09
		C4	86	5,98
D	12x16	D1	260	23,36
		D2	156	13,79
E	12x16	E1	260	24,96
		E2	130	12,06
		E3	52	4,99

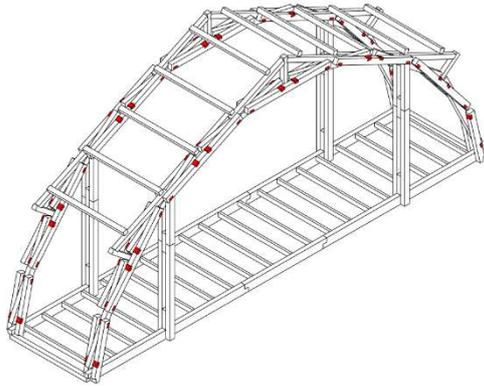
Estos códigos serán útiles tanto en la fase de producción como en el manual de instrucciones de autoconstrucción, donde se darán para facilitar la descripción del montaje.



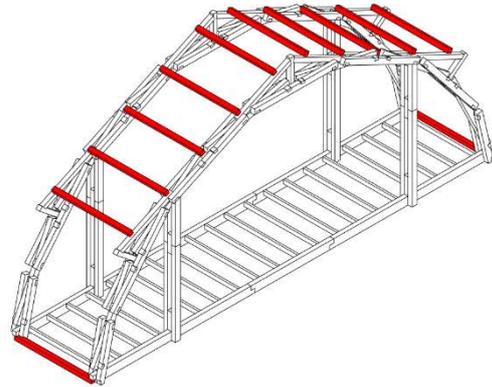
A1



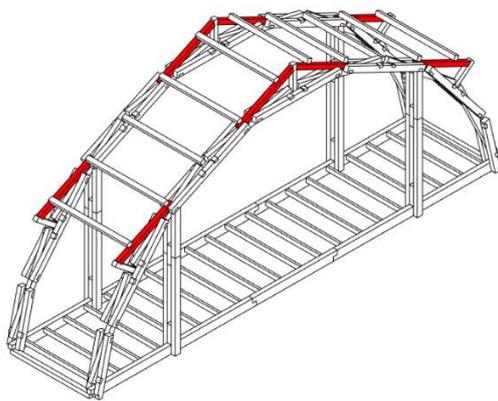
B1



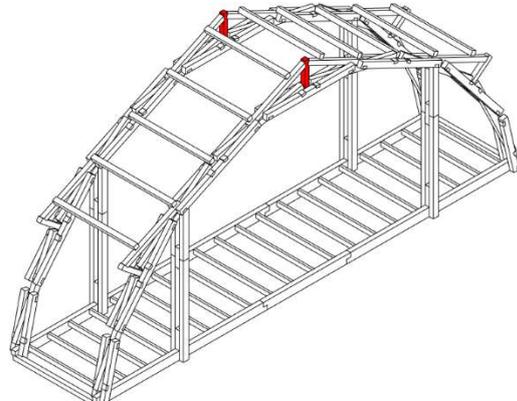
B2



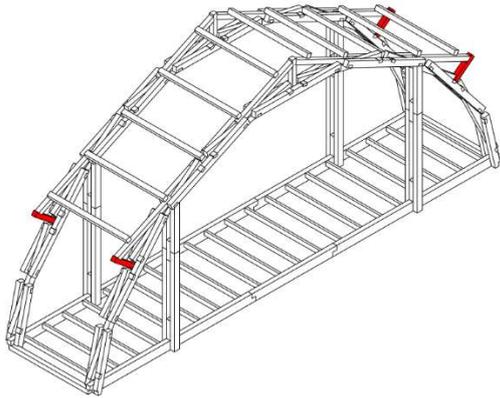
C1



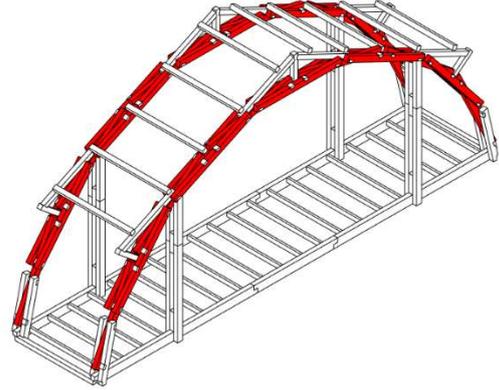
C2



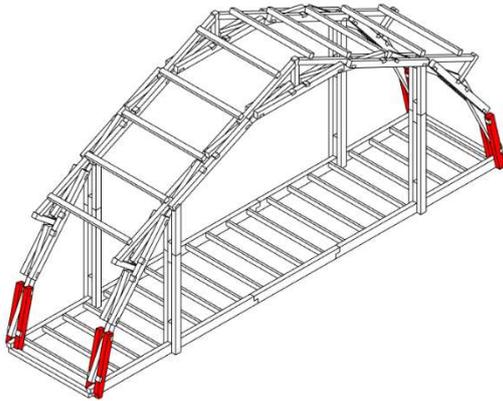
C3



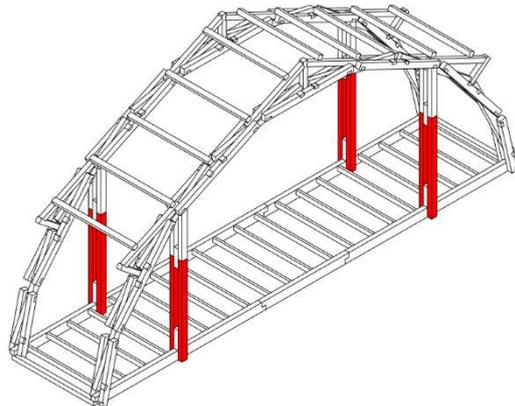
C4



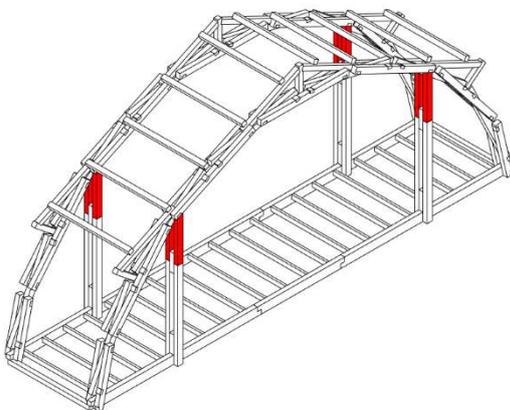
D1



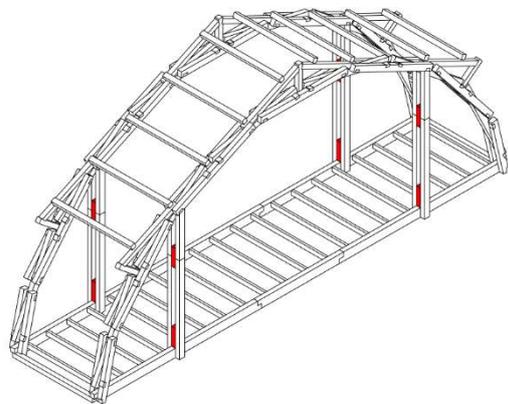
D2



E1



E2



E3

3.5.3. Uniones

Los arcos autoportantes que componen la estructura principal están diseñados de manera que se apoyan únicamente en las juntas mutuas entre las piezas, es decir, sin necesidad de juntas mecánicas. Sin duda, esto puede ser útil para garantizar el buen funcionamiento del sistema a nivel teórico, pero en la aplicación práctica no es suficiente para garantizar una estabilidad suficiente de la estructura y el cumplimiento de la normativa, sobre todo teniendo en cuenta los esfuerzos horizontales y dinámicos como las acciones de viento y sísmicas. Por lo tanto, es necesario que las piezas también estén constreñidas por medio de uniones mecánicas.

La mayoría de las uniones utilizadas en las construcciones de madera se realizan con tornillos autorroscantes, es decir, tornillos que se atornillan directamente en la madera sin necesidad de perforar antes. Este sistema es eficaz porque proporciona un buen agarre y no requiere ningún trabajo previo ni cálculos de precisión, pero imposibilita la reutilización de la estructura una vez desmontada. Hoy en día, los anclajes desmontables tienen poca cabida en la construcción, pero se utilizan a menudo para los muebles. Uno de ellos es el tornillo telescópico. El tornillo telescópico está formado por un elemento macho, el tornillo, y un elemento hembra, un casquillo con rosca interior que funciona como una tuerca pero tiene un cuerpo y una cabeza largos como el tornillo. Los sistemas de este tipo podrían diseñarse ad hoc y utilizarse en estructuras desmontables, de modo que las piezas queden inalteradas para su reutilización.

De momento, el sistema de unión de las piezas de la estructura sigue siendo sólo una propuesta conceptual que se desarrollará en futuros desarrollos del proyecto, pero podemos intentar dar una idea de cómo resultaría.



Ilustración 13 Tornillo telescópico para elementos de mobiliario y posible aplicación en la estructura

3.5.4. Transporte

En un proyecto de autoconstrucción, la posibilidad de elegir el emplazamiento en el que construir una vivienda puede verse limitada por las dificultades de acceso, ya sea por la morfología del terreno o por la insuficiencia de las infraestructuras viarias. Por lo tanto, es importante identificar un medio de transporte adecuado, que minimice el riesgo de encontrarse con problemas de tráfico y que además ahorre costes. Por ello, la investigación se dirigió en primer lugar a los vehículos pequeños, pero también teniendo en cuenta el número de viajes necesarios para el transporte. En esta parte de la investigación sólo analizaremos el transporte de la estructura, dejando para futuros desarrollos el transporte de los demás componentes de la construcción.

Para determinar la carga útil necesaria, primero hay que definir las dimensiones de la casa. Una casa básica de cuatro naves tiene una superficie bruta de 71,83 m² y su estructura tiene un volumen de 11,72 m³ y un peso de 5,86 t.

Teniendo en cuenta que cada bahía añade aproximadamente 17,31 m² de superficie, 2,49 m³ de volumen y 1,25 t de peso, el resultado es:

		Número de tramos				
		4	5	6	7	8
Superficie bruta del suelo	[m²]	71,83	89,14	106,45	123,76	141,07
Volumen de la estructura	[m³]	11,72	14,21	16,70	19,19	21,69
Peso de la estructura	[t]	5,86	7,10	8,35	9,60	10,84

A partir de estos datos se puede deducir cuántos y qué vehículos se necesitan para transportar la estructura. Tenga en cuenta que la cifra de volumen es indicativa, ya que las piezas de la estructura no llenarán el compartimento de carga del vehículo de transporte de manera uniforme y su tamaño dependerá de su disposición.

Entre los vehículos más adecuados para el transporte de materiales de construcción, la furgoneta es el más pequeño que se puede considerar. En comparación con los camiones, las furgonetas son más compactas, ágiles y seguras porque su cabina está incorporada a la carrocería, pero suelen tener menor capacidad de carga. Tomando un ejemplo de las furgonetas más grandes, los valores alcanzados son:

- Longitud del vehículo (B) 7264 mm
- Anchura del vehículo 2051 mm
- Altura del vehículo 2849 mm

- Longitud del compartimento de carga 4860 mm
- Anchura del compartimento de carga 1800 mm
- Altura del compartimento de carga 1900 mm

- Volumen del compartimento de carga 16,62 m³
- Carga útil 3,97 t

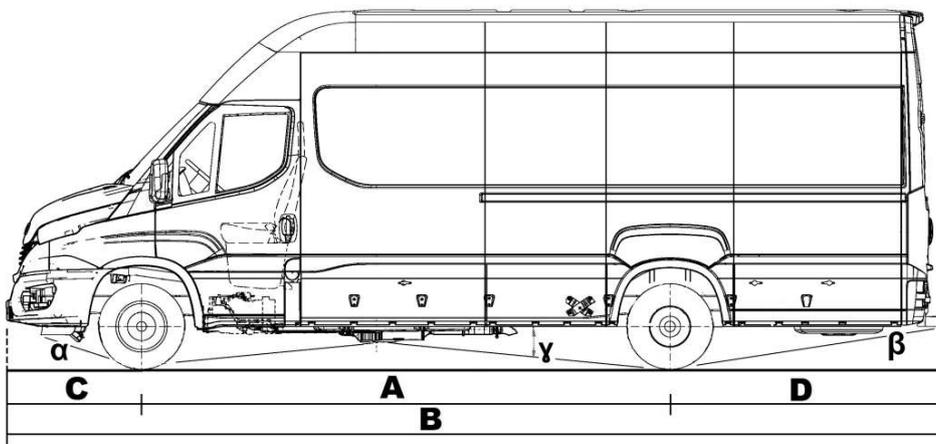


Ilustración 14 Esquema de la furgoneta

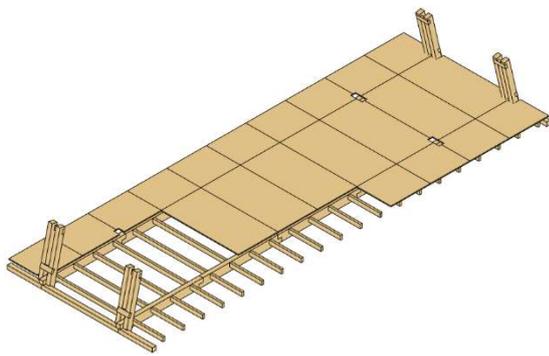
Aunque el volumen sería suficiente para transportar una estructura de 4 tramos, confirmando la ligereza de la madera, una sola furgoneta no es suficiente para 5 tramos. Por otro lado, es posible transportar hasta 5 tramos con dos viajes y hasta 8 tramos con tres viajes.

3.5.5. Montaje

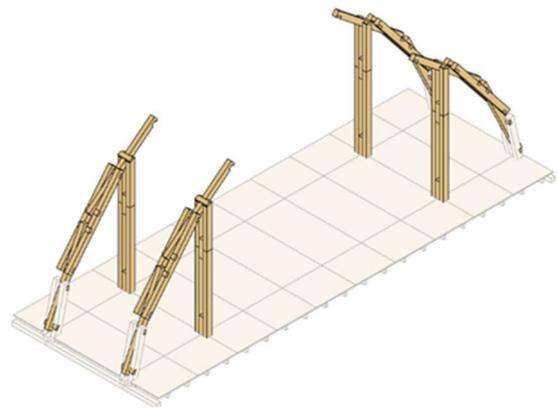
Cuando se trata de autoconstrucción, la fase de montaje es sin duda la más delicada de tratar. Hay muchas soluciones diferentes, dependiendo de varios factores, y hay que encontrar un compromiso entre ellas. Por ejemplo, es importante saber hasta qué punto el autoconstructor puede arreglárselas con sus propias manos sin ayuda de maquinaria y sin poner en riesgo su seguridad. La realización de operaciones manuales puede resultar a veces demasiado laboriosa y peligrosa, y corresponde al proyectista evaluar cuándo es necesario utilizar equipos de construcción.

Por estos motivos, se consideró más apropiado examinar el plan de montaje en una segunda fase de la investigación. En esta fase, nos limitaremos a proponer un esquema general del plan de montaje.

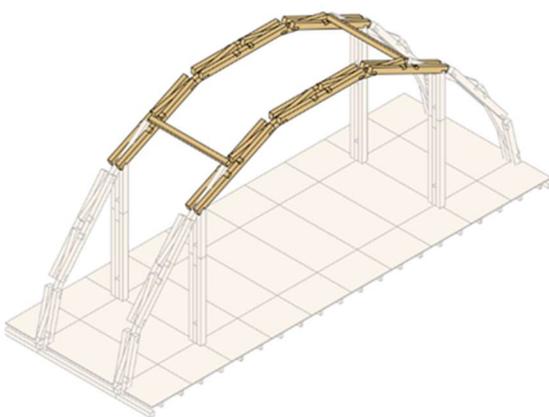
El plan de montaje propuesto consta de las cuatro etapas descritas en la figura siguiente:



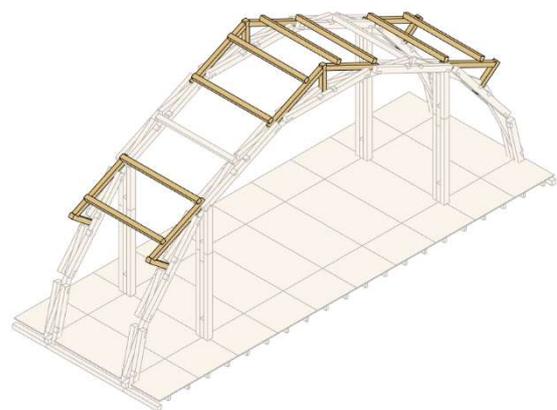
Fase 1



Fase 2



Fase 3



Fase 4

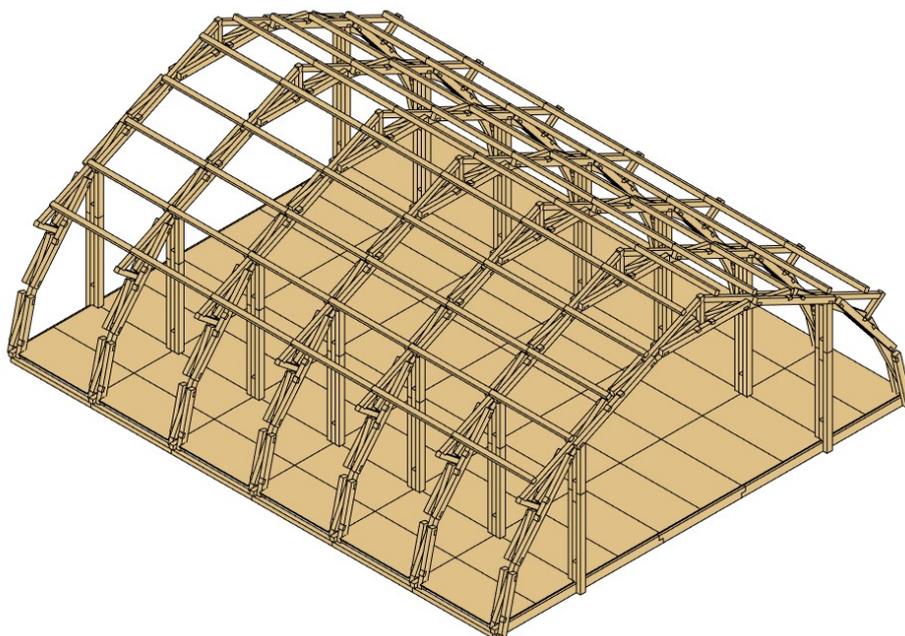
Dado que los arcos son planos, es aconsejable montar dos o tres de ellos a la vez (dependiendo de si los vanos son pares o impares) para asegurar una mayor estabilidad en la dirección perpendicular a los mismos. Para simplificar el dibujo, el conjunto se ha representado mediante pares de arcos.

Antes de la fase 1, se fijan los cimientos de los tornillos al suelo, una operación que requiere una precisión extrema y que, por tanto, debe realizarse con la ayuda de técnicos profesionales. A continuación, comenzamos a montar la estructura, empezando por el armazón de madera que sostiene el suelo. En esta fase, antes de colocar el suelo, deben colocarse las primeras vigas (D2) en la base del arco.

En la fase 2, se montarán las vigas sobre el balcón (D1) y los pilares sobre los que se apoyarán. Ya en esta fase será necesario utilizar un andamio para alcanzar niveles superiores.

En la fase 3, se llevarán a cabo las mismas operaciones de montaje de las vigas para completar el arco en la parte superior. Una vez completado el arco, hay que fijar la primera viga transversal que conecta los dos arcos para garantizar una mayor estabilidad de la estructura.

El montaje de los arcos finaliza en la fase 4 con la colocación de las vigas auxiliares en la cumbre y los voladizos de la cubierta y la finalización de las conexiones transversales entre los arcos.



4. Conclusiones

La redacción de esta tesis ha sido una oportunidad para profundizar en el tema de la autoconstrucción, sus usos y, sobre todo, la posibilidad de simplificar la resolución de ciertos problemas mediante su adopción.

Para un ingeniero, analizar y correlacionar los datos de la autoconstrucción con el problema de las viviendas incómodas es tan importante como dominar la física de la construcción. De hecho, es importante aprovechar cualquier buena oportunidad para aumentar la sensibilidad personal y profesional para responder a ciertos problemas que no tienen solución desde hace muchos años, con la esperanza de poder colaborar con colegas e instituciones para una intervención sistémica que dé un avance en la solución del problema. Por otra parte, el hecho de tratar con un sistema autoconstruido que pretende simplificar la obra e industrializar las partes de la estructura nos ha obligado a elaborar una lista de los problemas típicos que se encuentran en la obra y que necesitan de figuras especializadas formadas en este campo para ser resueltos. El objetivo es obtener un esquema de montaje y maniobra de los elementos que sea lo más fácil posible para un simple trabajador o incluso para el propio propietario de la casa o estructura.

Siendo que esta es sólo la primera parte de una investigación más amplia que se concluirá en el Politécnico de Turín, la parte tratada hasta ahora no está completa con los detalles constructivos, las especificaciones técnicas de las piezas individuales y el plan de montaje con un manual de instrucciones complementado con dibujos específicos para que el proyecto sea comprensible para los trabajadores sin experiencia. Los documentos mencionados son fundamentales para apoyar la tesis de la simplicidad, la linealidad, la sostenibilidad y la colaboración entre el técnico y el propietario de la estructura. La ventaja de realizar una tesis de este tipo e investigar el tema de la autoconstrucción es la obligación de encontrar una solución a los problemas de la obra, que a veces son difíciles de abordar incluso por el personal experto y los técnicos del oficio, desde el punto de vista de alguien que es totalmente nuevo en la actividad de la construcción y que participa en la obra de su propia casa. Se trata de un ejercicio que se mueve en una gran dicotomía en la que, por un lado, se ve la complejidad del pensamiento que hay detrás del diseño de una estructura de este tipo, que debe evitar las dificultades, contrastándola con la sencillez del producto final, que puede ser utilizado por casi todos los usuarios.

Bibliografia

Bertoni, M. et al. (2008). Autocostruzione associata ed assistita in Italia. Editrice Dedalo.

Ceragioli, G. et al. (1988). Note introduttive alla tecnologia dell'architettura: raccolte preparate per il corso di tecnologia dell'architettura della facoltà di architettura del Politecnico di Torino. Clut.

Kemeny J. (2001). "Comparative Housing and Welfare: Theorising the Relationship", in Journal of Housing and Built Environment, vol. 16.

Larsen, O. (2008). Reciprocal frame architecture. Architectural press.

Nomisma, Federcasa. DIMENSIONE DEL DISAGIO ABITATIVO PRE E POST EMERGENZA Covid-19. NUMERI E RIFLESSIONI PER UNA POLITICA DI SETTORE.

Pisano, G. (2018-2019). Emergenza abitativa. ipotesi di recupero edilizio funzionale nella struttura salesiana di Valdocco. Politecnico di Torino.

Rogora, A. et al. (2013). Costruire alternativo. Materiali e tecniche alternative per un'architettura sostenibile. Wolters Kluwer.

Siteografia

Bernasconi, A. et al. (-). I prodotti di legno per la costruzione. Promo legno. Última consulta 28/09/2021. <https://www.promolegno.com/fileadmin/promolegno/media.it/corsi/base-docu/prodottilegno-docucorsobase-promolegno.pdf>

Colombo, F. (2020). la grande questione abitativa italiana, spiegata bene. Última consulta 28/09/2021. <https://www.lenius.it/questione-abitativa-italiana/>

Colombo, M. et al. (2010). L'autocostruzione: una opportunità per il social housing. Fondazione Giovanni Michelucci onlus. Última consulta 2/09/2021. http://www.michelucci.it/wp-content/uploads/2010/09/sintesi_ricerca_autocostruzione.pdf

Ferraris, M. (2015). Diritto alla casa. Última consulta 24/08/2021. <https://sites.google.com/site/programmazione sociale/home/box-di-approfondimento/7-diritto-alla-casa?authuser=0>

Pizzigoni, A. (-). Leonardo & the reciprocal structure. Universidad de Bergamo. Última consulta 1/09/2021. <http://www.pizzigoni.it/leonardo%20Eng.pdf>

<http://www00.unibg.it/dati/corsi/20013/27901Pizzigoni%20Le%20Str.Sp.Rec.%20x%20CTE%209.03.2008.pdf>