MUROS MIXTOS DE TIERRA Y MADERA: ORÍGENES, EVOLUCIÓN Y ABANDONO DEL SISTEMA EN ESPAÑA

Alicia Hueto Escobar[1], Camilla Mileto[2], Fernando Vegas López-Manzanares[3]

Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el desarrollo Sostenible (PEGASO),
Universitat Politècnica de València (España),
[1] alhuees@upv.es; [2] cami2@cpa.upv.es; [3] fvegas@cpa.upv

Palabras clave: técnicas tradicionales, entramados, encestados, fases históricas

Resumen

Los muros mixtos de tierra y madera son una técnica tradicional compleja que se ha desarrollado de forma diferente en función de la diversidad cultural y tecnológica, la disponibilidad material y los factores geográficos y ambientales de cada lugar. Como parte de una investigación de mayor amplitud que tiene como objetivo analizar la técnica y las variantes de muros mixtos en España, así como el estado actual y las transformaciones asociadas; la presente contribución pretende estudiar su evolución histórica, identificar el desarrollo de variantes y definir los factores que favorecieron o redujeron su uso. La metodología propuesta ha requerido de la revisión, clasificación y ordenación cronológica de múltiples fuentes indirectas de información. Las primeras fases históricas se han basado en publicaciones arqueológicas y antropológicas, mientras que las últimas han sido completadas con tratados de arquitectura españoles y franceses, normativas urbanísticas antiguas y catálogos de arquitectura popular del siglo XX. La investigación ha permitido concretar diferentes fases históricas, así como entender su evolución y las razones que influyeron en su utilización.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Aunque la arquitectura tradicional de tierra en España se asocia mayormente con técnicas como la tapia y el adobe, el uso de muros mixtos de tierra y madera es notable en determinadas zonas de la mitad noroeste del país. Principalmente, áreas montañosas donde la variedad de maderas y materiales han dado lugar a una gran diversidad de tipologías, geometrías, rellenos y acabados (Hueto Escobar; Mileto; Vegas, 2021). Cabe destacar el uso de muros entramados con rellenos de adobe en el Sistema Montañoso Ibérico (figura 1), con rellenos monolíticos de tapialete en el Sistema Montañoso Central (figura 2), y los muros encestados y emparrillados en la Cornisa Cantábrica (figura 3).

Figura 1. Muro entramado con adobe en Cepeda (Salamanca)

Figura 2. Muro entramado con tapialete en Valdazo (Burgos)

Figura 3. Muro emparrillado en Corullón (León)

Son zonas de poca población donde los edificios todavía se mantienen en menor o mayor grado y constituyen por tanto una fuente de información directa, a pesar del riesgo de

pérdida por abandono y falta de mantenimiento, así como las alteraciones producidas por transformaciones e intervenciones espontáneas (Hueto Escobar et al., 2020).

Aunque su origen se relacione con las primeras construcciones del ser humano y pueda ser considerado uno de los sistemas constructivos principales durante la Edad Media (Maldonado Ramos, Rivera Gámez, 2005; Foliente, 2000), las referencias concretas en la bibliografía sobre historia de la arquitectura son escasas respecto a su trascendencia histórica. Asimismo, dentro del reciente interés desarrollado por la arquitectura de tierra, las referencias a las técnicas mixtas en el contexto español son escasas y breves.

Este texto forma parte de una investigación de mayor amplitud que tiene como objetivo principal documentar el estado actual y analizar en profundidad la técnica tradicional de muros mixtos de tierra y madera en España. Definir las distintas variantes presentes en el territorio, así como estudiar su estado de conservación y las dinámicas de transformación asociadas, servirá para entender su lógica constructiva y establecer líneas guía de intervención encaminadas a su restauración y puesta en valor. Sin embargo, la comprensión de la técnica actual pasa por conocer su origen y evolución constructiva, que se remonta a los primeros refugios construidos por el ser humano con elementos vegetales trenzados y manteados de barro y que ha llegado a un alto grado de complejidad a través del desarrollo de la carpintería. El objetivo del presente texto es realizar un recorrido por la evolución histórica de los muros mixtos de tierra y madera, con especial atención al contexto español, identificando las distintas etapas y definiendo los factores que favorecieron o redujeron su utilización en determinados momentos.

2 ESTADO DEL ARTE

Una de las principales fuentes de conocimiento sobre los muros mixtos de tierra y madera en España han sido los tratados de arquitectura (Villanueva, 1827; Marcos; Bausa, 1879, Ger; Lóbez, 1898, Arias; Scala, 1893; Gaztelu, 1899), a pesar de que los capítulos estudiados son bastante más breves que aquellos dedicados a otras técnicas u elementos como las cubiertas. En tratados anteriores al siglo XVII, las referencias relacionadas con el uso de la madera en construcción se limitaban a la descripción del material, recalcando el riesgo ante incendios, y en ocasiones, algunas referencias a las distintas soluciones de cubierta; obviando el muro vertical entramado con su compleja concepción estática y estructural (Maldonado Ramos; Reviera Gámez, 2005). A partir de ese siglo comenzaron a aparecer en tratados franceses y alemanes, que posteriormente se expandieron por el resto del continente, algunas páginas enteras dedicadas a la descripción y construcción de los muros entramados, completadas a veces con láminas gráficas de gran interés y definiciones de los elementos constructivos (Gómez Sanchez, 2002). Viollet Le Duc en su influyente obra *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle* (1854) dedicó una extensa descripción al término *pans de bois*, con documentación gráfica muy detallada. En España, la primera referencia se encuentra en Elementos de Matemáticas de Benito Bails (1796), quien tradujo gran parte de los conocimientos sobre el cálculo estructural que se habían expuesto con anterioridad en tratados franceses.

La arquitectura vernácula española comenzó a ser estudiada durante el siglo XX desde un punto de vista tipológico y costumbrista, donde el tipo de edificio era la cuestión principal mientras que las técnicas eran simplemente citadas. A partir de 1920 aparecieron las primeras aportaciones fundamentales para entender y valorar en conjunto la arquitectura popular española (García Mercadal, 1930; Torres Balbás, 1933; Caro Baroja, 1946), pero no suponían un estudio técnico en profundidad, sino una catalogación y descripción estilística y funcional de los edificios. A pesar de todo ello, tras la publicación de los últimos tratados anteriores a la difusión del metal y el cemento como materiales de construcción, fue necesario esperar prácticamente hasta el cambio de milenio para que apareciera un verdadero interés por los muros de tierra y madera como técnica en particular, más allá de su asociación con la arquitectura popular.

A raíz de las crisis económicas de 1973 y 1979, la aparición de una nueva consciencia sobre la necesidad de desarrollar modos de vida más sostenibles favoreció el interés por la arquitectura vernácula y las técnicas constructivas tradicionales.

En estas últimas décadas se ha desarrollado un notable progreso en el estudio de las técnicas de construcción con tierra y con madera, aunque en muy pocas ocasiones se hace referencia al uso combinado. Cabe destacar a Enrique Nuere, quien, a pesar de ocuparse principalmente de la carpintería de lo blanco, también aporta información sobre las casas entramadas españolas y su distribución geográfica (2000). Las investigaciones arqueológicas y antropológicas han sido fundamentales para poder establecer la evolución cronológica de estas técnicas, ya que debido a la naturaleza perecedera de los materiales empleados no se conservan demasiados ejemplos antiguos. Gracias al creciente interés desarrollado en las últimas décadas por la época medieval y por el proceso de petrificación de la arquitectura, las técnicas constructivas de tierra y madera han sido particularmente estudiadas en el ámbito arqueológico internacional (Fronza; Valenti, 1996; Bianchi, 2012; Schreg, 2012; Tejerizo, 2012) y nacional (Azkarate; Solaun, 2003, 2012; Vela Cossío, 1995, 2003).

3 PREHISTORIA: EL ARQUETIPO DE CABAÑA

El empleo combinado de la madera y la tierra como materiales de construcción se remonta a las primeras construcciones del ser humano (figura 4). Su uso recurrente a lo largo de la historia se ha visto favorecido por la versatilidad de la madera, capaz de desempeñar múltiples funciones y de solucionar diversos problemas, así como por la disponibilidad en gran parte del planeta de tierra, sin necesidad de grandes transformaciones o tecnología excesivamente compleja para su puesta en obra. Al principio de la humanidad, se recurría a tiendas móviles o refugios presentes en la propia naturaleza, como cuevas o salientes rocosos, donde en ocasiones se añadían pequeñas estructuras temporales de ramas y barro para mejorar la protección. La construcción de estructuras más perennes está relacionada con la transición entre un sistema cazador-recolector a un modelo de agrupaciones sedentarias (Hansen, 1971). En ese proceso, la domesticación del animal y la necesidad de almacenar productos derivados de la agricultura obligaron a desarrollar edificios de carácter más permanente y resistentes (Vela Cossío, 1995). Gracias al desarrollo de las herramientas de hierro que permitían trabajar la madera a voluntad (Laumain, 2011), se cambiaron los troncos simplemente apoyados por escuadrías trabajadas de mayor sección y resistencia, las techumbres de ramas por cubiertas realmente elaboradas y, sobre todo, implicó la aparición de ensamblajes cada vez más rígidos que favorecían una transmisión de cargas y una concepción estructural cada vez más elaborada.

La tierra era y sigue siendo un material abundante y presente en todo el planeta, fácilmente trabajable, moldeable y que permite crear revestimientos superficiales, aunque los conocimientos asociados están en peligro. La construcción con tierra se desarrolló de forma independiente en los principales centros de civilización: el Creciente Fértil, el valle del Nilo, las cuencas del Indo y del río Amarillo o valle del Supe; valles fértiles con abundante tierra de aluvión y donde el cultivo de cereales permitía incorporar paja para mejorar la solidez y durabilidad de la tierra. Ya fuera exportándose desde estos puntos o surgiendo de forma espontánea en otros lugares del mundo, aparecieron las primeras técnicas de construcción con tierra como el adobe, las glebas o la pared de mano. Estas técnicas fueron empleadas por la mayoría de las civilizaciones antiguas para la construcción tanto de edificios cotidianos como monumentales, tal y como demuestran las ruinas y restos arqueológicos de las culturas persa, asiria, babilónica, griega o romana (Rocha; Jové Sandoval, 2015, p. 21).

La madera era un material muy abundante en zonas boscosas, disponiéndose muy pronto de la tecnología y herramientas necesarias para su uso constructivo. Por ejemplo, la presencia en el norte europeo de *block-bau*, sistemas basados en el apilamiento horizontal de troncos unidos en las esquinas mediante cuerdas o encajadas, se remonta hasta la época neolítica (Vela Cossío, 2003). En el mediterráneo, el sistema más extendido debieron ser los muros encestados basados en una estructura de postes de madera con elementos

vegetales trenzados sobre los que podían aplicarse manteados de barro, con ejemplos en Turquía (9000 A.C.), Anatolia y Chipre (6500 A.C.) o Grecia (4000 A.C.) (Foliente, 2000).

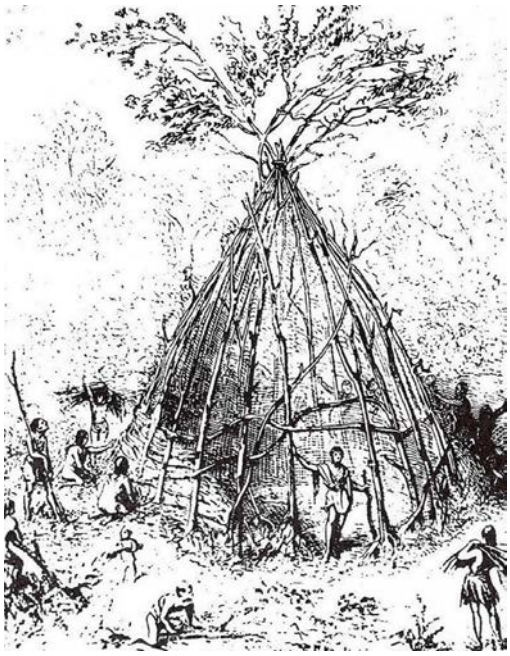

Figura 4. Ilustración sobre el concepto de la cabaña primitiva. (Viollet-le-Duc, 1875, p. 6)

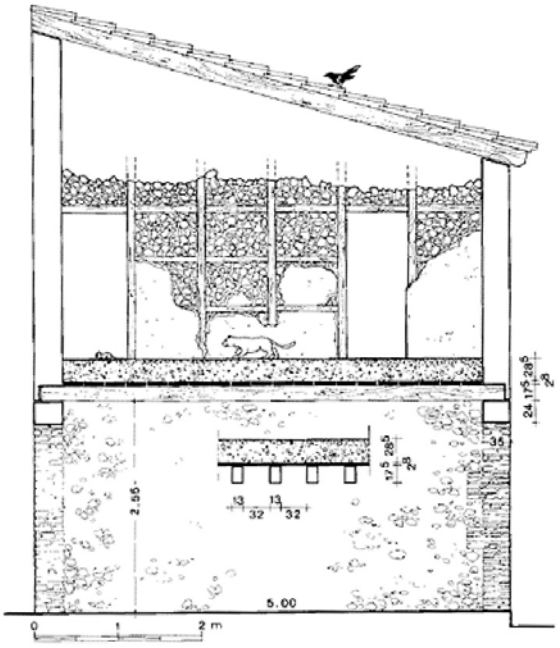

Figura 5. Vivienda en Herculano, con la planta superior construida mediante opus craticium (Adam, 2002)

4 ANTIGÜEDAD CLÁSICA: EL IMPERIO ROMANO Y EL *OPUS CRATICIUM*

La Antigüedad clásica puede ser considerada una de las épocas más proliferas en cuanto al desarrollo y perfeccionamiento de técnicas constructivas; donde a parte de los conocidos templos de piedra, esculturas de mármol e importantes obras de ingeniería, también destacó el trabajo de la madera. En esta época convivieron tanto la arquitectura de piedra como la arquitectura de madera; sin embargo, debido a la falta de durabilidad de la madera solo han pervivido ejemplos de la primera. Por ejemplo, los primeros ejemplos de templos griegos derivan de las antiguas viviendas de madera y adobe, donde algunos elementos fueron gradualmente evolucionando hacia una construcción pétrea (Hansen, 1971).

Al igual que evolucionó el conocimiento técnico sobre la piedra, también evolucionó la construcción con madera. Por ejemplo, dentro del ámbito militar romano, el constante movimiento de tropas limitaba lo que podían transportar de un lugar a otro y, por tanto, debían desarrollar maquinas bélicas y campamentos con los recursos disponibles en la nueva localización. Alrededor de los campamentos militares o *castellums*, se formaban asentamientos periféricos llamados *canabae* para abastecer logísticamente a las tropas y cuyo carácter temporal permite pensar que estaban constituidos en gran parte por madera (Laumain, 2011), dado que era una materia prima abundante en muchos lugares que permitía una rápida ejecución. En la arquitectura naval, se construyeron grandes naves marítimas concebidas como carcasas flexibles con múltiples elementos de madera solicitados a diversos tipos de esfuerzos y donde los ensamblajes entre piezas eran el punto crítico. De los astilleros romanos pueden haber surgido algunos de los complejos ensamblajes entre piezas de madera empleados en los muros mixtos de tierra y madera, como por ejemplo el empalme entre vigas en forma de rayo de Júpiter (Adam, 2002).

El gran desarrollo constructivo en esos ámbitos generó soluciones que debieron trasladarse a la construcción, tanto en los edificios de madera como en los medios auxiliares y cimbras necesarias para ejecutar muchas de las técnicas romanas más conocidas. Vitrubio ofrece la primera referencia histórica escrita sobre una técnica de construcción mixta con tierra y madera llamada *opus craticium*, un entramado ortogonal relleno con ladrillo, cemento o

mampuestos, todavía visible en los asentamientos arqueológicos de Herculano y Pompeya (Figura 5). Durante este periodo se produjo una sistematización y regulación de la construcción, dentro del proceso de civilización con el que se asocia el mundo romano, pero no supone una gran diferencia conceptual con la construcción prehistórica (Maldonado Ramos; Rivera Gámez, 2005). Las piezas de madera empleadas eran todas iguales, con longitudes relativamente cortas y escuadrías pequeñas que podían ser encontradas fácilmente; y además podían trabajarse previamente en el taller creando las muescas necesarias para los anclajes y ser posteriormente montadas de forma rápida y sencilla por mano de obra poco cualificada, abaratando el coste final. Por ello, dentro de la dinámica de expansión romana que buscaba construir en plazos reducidos por cuestiones económicas, electorales y políticas, el *opus craticium* se posicionó como la técnica adecuada para construir insulaes (Langenbach, 2007). A pesar de todas sus ventajas, es necesario recordar el riesgo ante incendios de las estructuras de madera y su limitada durabilidad cuando no se plantean medidas de protección contra la humedad. Los restos conservados bajo las cenizas del Vesubio confirman que se construían zócalos de mampostería con una verdugada horizontal sobre la que se asentaban los muros mixtos, evitando así la transmisión de humedad desde el terreno (Adam, 2002). Gracias a aportaciones arqueológicas en el contexto español, se ha constatado la existencia de construcciones domésticas realizadas con madera en yacimientos alto imperiales, como en los castros de Llagu (Oviedo) y Berreaga (Guernica) (Azkarate y Quirós, 2001). La caída del Imperio Romano implicó la desarticulación de toda la estructura que hasta el momento había hecho viable el desarrollo de técnicas constructivas ejemplares, principalmente porque implicaba el cierre de las vías de comercio de las materias primas necesarias.

5 EDAD MEDIA: EL ARTE DE LOS CARPINTEROS

A pesar de su influencia e importancia, no se puede considerar que los muros entramados de la Península Ibérica deriven de forma directa del *opus craticium* romano. Dentro del proceso de evolución y perfeccionamiento de estos muros que aconteció en época medieval, es imposible discernir la aportación romana y la influencia de la construcción celtíbera (Hansen, 1971; Vela Cossío, 2003). El estudio de la evolución de estas técnicas está claramente condicionado por la falta de ejemplos conservados, el carácter perecedero de los materiales y la falta de documentación escrita de la época, por lo que es necesario apoyarse en aportaciones arqueológicas. Gracias a ello se ha podido superar la tradicionalmente aceptada división entre una Europa medieval de madera y otra Europa medieval de piedra, donde el uso de la madera se reducía a cubiertas y elementos puntuales debido a una menor presencia vegetal. Algunos hallazgos recientes confirman la coexistencia en zonas mediterráneas de arquitectura de piedra y arquitectura de madera durante la época medieval, con ejemplos de estructuras de madera y tierra en entornos rurales y en grandes ciudades tan dispares como Mérida, Valencia, Alfaro, Alcalá de Henares, León, Gijón etc. (Azkarate y Quirós, 2001).

Estas estructuras pueden clasificarse según el encuentro con el terreno (Fronza; Valenti, 1996), diferenciándose armaduras de postes directamente embutidos, armaduras apoyadas sobre zócalos de piedra o de madera, armaduras apoyadas sobre zócalos y con postes puntuales en el terreno, y finalmente, armaduras de madera apoyadas sobre muros de piedra que alcanzaban la altura completa de la planta baja. El empleo de estos zócalos implicó un gran avance, al permitir trabajar la topografía del terreno y mejorar la durabilidad de la madera ante los efectos de la humedad. Su desarrollo y expansión debió ser progresiva, a medida que se desarrollaba la técnica de extracción y trabajo de la piedra: en zonas septentrionales de Italia los primeros ejemplos de zócalos datan del siglo IV, aunque en la zona central del país solo se han excavados ejemplos posteriores al siglo XII (Bianchi, 2012); en Alemania comenzaron a aparecer en asentamientos rurales a partir del siglo XII (Schreg, 2012); y finalmente, en el noreste español los ejemplos datan entre los siglos VI-X d.C (Tejerizo, 2012). Siguiendo una lógica progresiva, en un primer momento se tratarían de zócalos de poca altura sobre los cuales se levantaban los pies derechos, construidos con materiales reutilizados o con piedra toscamente trabajada y sin conglomerantes.

Posteriormente, a medida que se desarrollaba la tecnología necesaria, llegarían a alcanzar la altura completa de planta baja reservando los muros mixtos para las plantas superiores. En asentamientos de fundación romana, se ha constatado la reutilización de estructuras murarías romanas sobre la cual se elevaron nuevas plantas con técnicas mixtas de tierra y madera (Bianchi, 2012).

En el contexto del noreste español (Azkarate; Solaun, 2003), durante un primer periodo (siglos V-VII) debieron convivir construcciones integras en madera y otras técnicas mixtas de tierra y madera con zócalos de piedra. En una segunda fase (siglos VIII-IX) debieron prevalecer las construcciones domesticas realizadas íntegramente con madera. Finalmente, las técnicas de construcción mixtas serían recuperadas a partir del siglo X, prevaleciendo definitivamente sobre las estructuras íntegramente construidas en madera. En cuanto a las técnicas empleadas para colmatar o cerrar los huecos formados por el armazón de madera (Rocha; Jové Sandoval, 2015), es probable que la técnica más antigua consista en el encestado de ramas. También se han documentado casos rellenos con tierra apilada, lo que requiere un ligero aumento en la especialización y organización del proceso constructivo para permitir un correcto secado. Finalmente, los rellenos de adobe, ladrillo y mampostería requieren una mayor especialización de la mano de obra y un trabajo previo de carpintería complejo, que permite pensar en una relativa estandarización de sus elementos y uniones.

Tras la caída del Imperio romano, se produjo una progresiva aparición de asentamientos con edificios organizados de forma alveolar que respondían a modelos ya conocidos. Con el cambio de milenio y el desarrollo del sistema feudal, las ciudades adoptarían modelos más organizados y lineales, con la calle como elemento articulador (Azkarate y Solaun, 2003). A partir de este momento, la construcción con técnicas mixtas de tierra y madera evolucionaría de forma diferenciada en el contexto urbano y en el contexto rural.

En el ámbito rural donde no existía limitación de espacio, se mantendrían modelos de vivienda conocidos hasta el momento (Vela Cossío, 2003). La madera había sido tradicionalmente un recurso disponible y económico; pero cuando aparecieron normativas que regulaban su extracción y comercio, se convirtió en un material no tan accesible para las poblaciones rurales. En consecuencia, se continuaría construyendo tipologías domésticas conocidas, pero combinando aquellos materiales de los que se podía disponer y generando así un amplio abanico de soluciones.

Sin embargo, el nuevo esquema urbano implicó la transformación de los modelos de vivienda prehistóricos, que fueron sustituidos por la vivienda entre medianeras y por la vivienda en altura, a medida que se producía un aumento de la población y una densificación de la trama urbana favorecida por el amurallamiento de las ciudades (Azkarate y Solaun, 2012). Progresivamente se fue recuperando o desarrollando el sistema de entramados con maderas cortas, que ya había sido empleado por los romanos pero que volvería a ser utilizado a partir del siglo XIII (Laumain, 2011). Su desarrollo debió ser lento y progresivo debido a la complejidad constructiva que suponía, ya que la elevación de verdaderos muros de fábrica superaba con creces los requerimientos tecnológicos de los elementales zócalos de piedra de periodos anteriores. Además, las nuevas estructuras de madera exigían unos conocimientos de carpintería mucho más especializados que los primitivos muros tejidos o los manteados de barro.

Este sistema consiste en empalmar varios elementos de madera hasta alcanzar la longitud deseada, pudiendo emplearse para construir plantas estructuralmente independientes donde prolongar las vigas del forjado y generar voladizos en fachada. De esta forma se podía aumentar el espacio útil de las viviendas, convirtiendo a los muros mixtos en un sistema óptimo para núcleos urbanos densos. Sin embargo, hacía necesario la incorporación de nuevas piezas que asegurasen la estabilidad y arriostraran todo el sistema, por ejemplo, sobrecarreras, riostras diagonales o soluciones más complejas como la cruz de San Andrés. De aquel entramado primitivo de piezas simples más o menos unidas; se había llegado en época medieval a un complejo sistema de elementos verticales, horizontales y oblicuos, cada uno de ellos diseñado para cumplir una función específica e interactuando unos con otros a través de complejas uniones (figura 6).

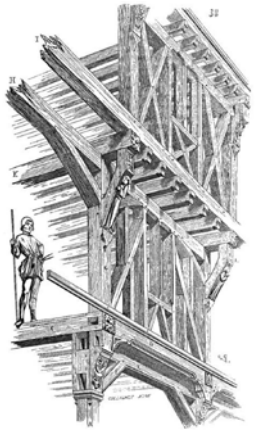

Figura 6. Fachada medieval con entramado. (Viollet-le-Duc, 1854, p. 55)

Figura 7. Recorte de la obra pictórica “Incendio de la Plaza Mayor de Madrid en 1790”, donde se ve colapsando un edificio con estructura de madera. (Jimeno, 1807)

6 EDAD MODERNA: ABANDONO DEL SISTEMA

La Edad Media puede ser considerada como el momento histórico de mayor desarrollo del sistema de muros entramados. Posteriormente, seguirán empleándose con la misma lógica constructiva, sin avances sustanciales en su concepción e introduciendo únicamente variaciones de carácter estético. El desarrollo de las ciudades y el aumento de la población generaron unas condiciones de vida cuestionables, cuya crítica y preocupación derivó en una cultura ordenancista que afectaba tanto a aspectos estéticos y de remodelación del entorno urbano, como a asuntos sanitarios y de seguridad. Esta búsqueda de decoro urbano, seguridad y circulación en las grandes ciudades, a través de normativas y ordenanzas higienistas, limitaron el uso de muros entramados a las viviendas de clases sociales más bajas, adquiriendo fuerza las construcciones de piedra o ladrillo. Sin embargo, los muros entramados constituían una técnica accesible, rápida, fácil de ejecutar y completamente asimilada en la cultura constructiva europea que continuó siendo utilizada durante siglos en muchos países.

Durante siglos el muro entramado había sido la técnica principal de construcción de edificios domésticos en zonas madereras, creando así un entorno extremadamente favorable a la propagación del fuego. Motivados por grandes catástrofes como el Gran Incendio de Londres en 1666 o el incendio de la Plaza Mayor de Madrid en 1790 (figura 7), en todo el continente europeo se implementaron normativas municipales que pretendían regular el uso de los muros entramados en las ciudades (Laumain, 2011). La mayoría optaron por medidas de control, entre las que era habitual limitar la altura total del edificio, establecer un espacio mínimo entre fachadas contrapuestas que evitara que los voladizos bloquearan la entrada de luz natural a la calle, y, sobre todo, obligar a enlucir los muros, tanto por razones estéticas como por razones de seguridad. Algunas de estas normativas urbanísticas intentaron directamente prohibir el uso de muros mixtos, como por ejemplo la ordenanza promulgada en 1607 por Enrique IV, donde el artículo 4 prohibía expresamente el uso de entramados de madera y voladizos en París (Walker, 1835, p. 165). No obstante, la prohibición no llegó a aplicarse en la práctica, tal y como demuestra la ordenanza de 1667 que obligaba a revestirlos con listones, clavos y yeso bajo posible multa de 150 libras (Walker, 1835, p. 241). Tras el Gran Incendio de Londres, la normativa para la reconstrucción de la ciudad establecía en el artículo 5 que el exterior de los edificios debía ser construido con ladrillo o sillería (Pickering, 1763, p. 235), de forma que durante siglos existió un gran contraste paisajístico entre la zona afectada por el incendio y zonas que todavía conservaban los históricos edificios de madera.

En el contexto español se encuentran ejemplos anteriores, como por ejemplo cuando en 1319 el Rey de Navarra instaba a sustituir las viviendas de madera del Valle de Araquil por viviendas de tapia recubiertas de teja (Yrizar, 1934) o las cédulas reales de Felipe II tras el

incendio de Valladolid en 1561, donde se promovía el uso de tapia o ladrillos y la construcción de cortafuegos de ladrillo o piedra (Arribas Arranz, 1960). El incendio de la Plaza Mayor de Madrid en 1790 se vio favorecido por la estructura de madera de los edificios (Imprenta Real, 1790), por lo que la instrucción dispuesta para su reconstrucción obligó a construir tanto fachadas como medianeras con sillería o fábrica de ladrillo, así como a proteger y revestir la madera de las buhardillas (Consejo Real de Castilla, 1791). A pesar de los informes de Juan de Villanueva que solicitaba nuevas reglas de edificación para evitar los incendios, la obligación de revestir los muros entramados de madera con ladrillo, tanto al exterior como al interior, no se formalizaría hasta las Ordenanzas Municipales de 1892 (Ayuntamiento de Madrid, 1892).

Este cambio de mentalidad también se vio reflejado en los tratados de arquitectura y construcción de la época, que pasaron de centrarse únicamente en la correcta combinación de los órdenes clásicos a analizar las técnicas constructivas. Las normativas, impulsadas por ese temor generalizado al fuego, habían hecho que la madera dejara de ser empleada en edificios nobles y templos, y a pesar de que en esta época proliferaron las bóvedas encamonadas, los tratadistas comenzaron a preocuparse por esa pérdida progresiva de conocimiento relativo a la carpintería de lo blanco. Villanueva con su tratado Arte de albañilería (1827) refleja claramente la dualidad entre la preocupación generalizada sobre la vulnerabilidad del sistema ante el fuego y su aceptación en la cultura constructiva debido a su coste, rapidez y eficacia estructural. En consecuencia, muchos tratadistas de la época recomendaban relegar el uso de este tipo de técnicas a aquellos puntos del edificio donde menor peligro de fuego existía, como medianeras, testeros y tabiquería interior, o por lo menos protegerlos mediante aplacados, revestimientos o enlucidos continuos.

A pesar de ello, el sistema de muros entramados seguiría siendo utilizado tanto en el mundo rural español (González Iglesias, 1945) como en algunas ciudades (González Redondo, 2015) hasta la generalización del uso del hormigón armado y el ladrillo industrial durante el siglo XX (Figura 8). Al mismo tiempo, en otros lugares con riesgo sísmico relevante se diseñaban y promovían sistemas constructivos basados en armazones de madera triangulados. Por ejemplo, la casa *baraccata* en Italia tras el terremoto de Calabria en 1783 (Dipasquale, Omar Sidik; Mecca, 2014), el muro *pombalino* en Portugal tras el terremoto de Lisboa en 1755 (Stellaci, Rato; Poletti, 2017) o un sistema de refuerzo con muros de madera internos en Grecia tras el terremoto de Lefkas en 1825 (Touliatos, 1996).

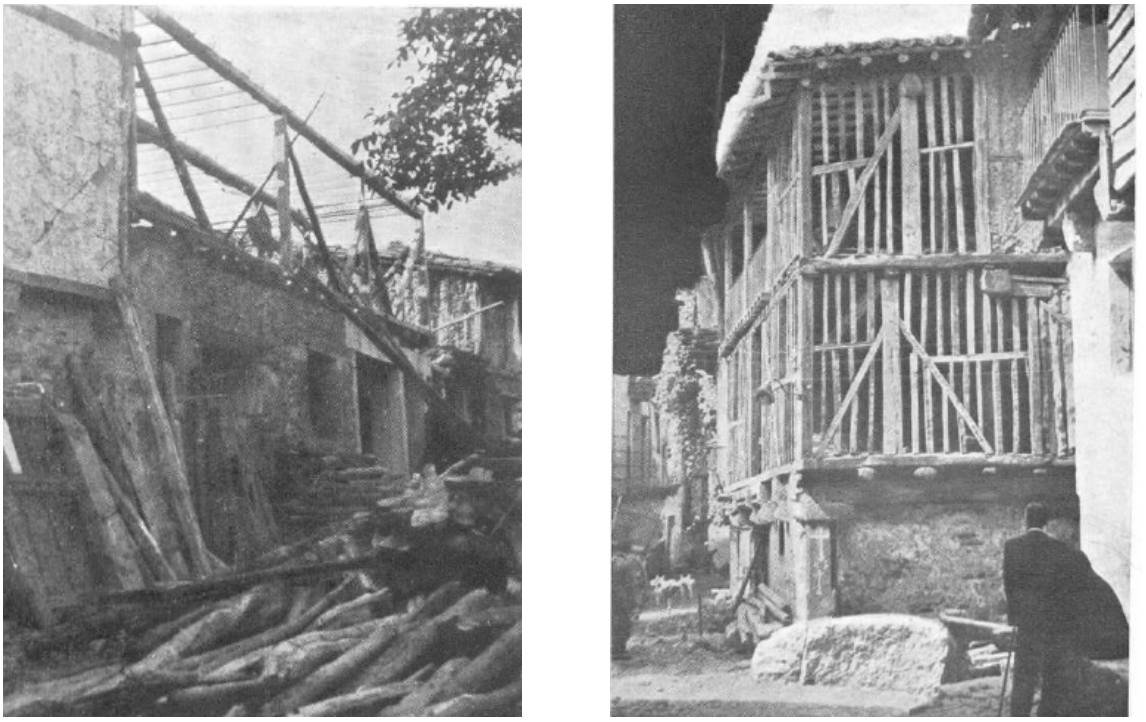

Figura 8. Construcción de entramados en La Alberca, Salamanca. (González Iglesias, 1945, p. 119)

Por otro lado, la colonización de América supondría la exportación de muchos de los sistemas constructivos europeos al nuevo continente, donde la madera era un recurso mucho más abundante y donde los muros entramados se convertirían en el sistema idóneo que permitía a los colonos extenderse rápidamente por todo el territorio. En la zona americana más meridional, donde la influencia española y portuguesa era mayor, el uso de la madera compartiría protagonismo con otras técnicas de construcción con tierra, como la tapia o el adobe. Muchos de los sistemas de construcción en tierra y madera que actualmente son usados en América Central y Sudamérica pueden ser considerados como la convergencia entre las técnicas nativas precolombinas y los métodos tradicionales de construcción con tierra y madera del Mediterráneo (Langenbach, 2007; Font Arellano, 2013). Las técnicas monumentales importadas por los colonos españoles estaban construidas principalmente con ladrillo y piedra, pero su implantación fracasó debido principalmente a dos factores: el aumento de coste, transporte y tiempo de ejecución que suponía la escasez de esas materias primas en el nuevo continente y el mal comportamiento de los sistemas masivos ante las acciones sísmicas tan comunes en esas zonas (García Álvarez, 2002). Mientras en Europa se sucedían las normativas que restringían el uso de la madera por miedo a los estragos del fuego, a principios del siglo XVIII y motivados por cuestiones sísmicas, se aprobaba la primera normativa en Perú que obligaba a utilizar la quincha en los muros de las plantas altas en viviendas, así como en las bóvedas y cúpulas altas de las iglesias (Schilder Díaz, 2000).

El uso de la madera en la construcción de muros entramados se desarrollaría principalmente en la zona norte de América, con ejemplos de asentamientos franceses en la zona del Mississipi y de asentamientos germanos en algunas zonas de Pensilvania (Langenbach, 2007). Con el desarrollo de la Revolución Industrial, estas técnicas tradicionales exportadas se transformarían en sistemas más estandarizados, principalmente el sistema *balloon frame* y posteriormente el sistema *platform frame* (Figura 9); que acabarían convirtiéndose durante los siguientes siglos en el principal método de construcción norteamericano. El primero emplea postes verticales relativamente cercanos y de altura igual a la altura total del edificio, con tablas diagonales que rigidizan la estructura y finalmente tablas verticales u horizontales como cerramiento. El segundo difiere en la longitud de los postes principales, que en este caso corresponden a la altura de una planta, quedando las plataformas de forjado intercaladas en cada planta. Ambos sistemas se basan en el uso de escuadrías de menor tamaño que los sistemas tradicionales, separados unas distancias moduladas que coinciden con las medidas de puertas, ventanas y revestimientos. En lugar de las laboriosas uniones tradicionales, basadas el uso de pernos y en el labrado de formas geométricas que transmiten las cargas por contacto, el empleo de clavos y uniones metálicas agiliza y abarata el proceso constructivo.

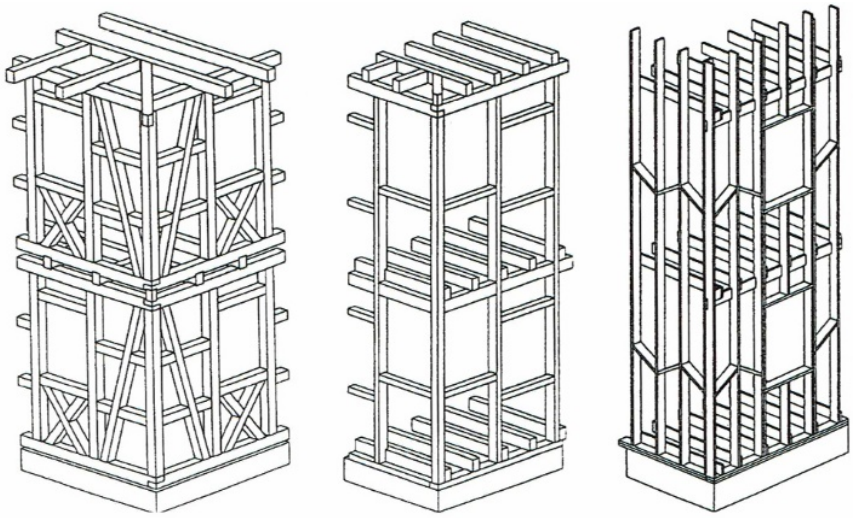

Figura 9. Proceso de estandarización del sistema entramado tradicional. (Oliver, 1997, p. 228)

7 EDAD CONTEMPORANEA: EL CAMBIO DE LA INDUSTRIA

Con la Revolución Industrial, que comenzó en Inglaterra en 1760 y fue extendiéndose por el resto de Europa durante el siglo siguiente, se produjeron grandes cambios que condicionaron el mundo de la construcción y el futuro de las técnicas de construcción tradicionales, marcando el inicio de un claro declive en la utilización tradicional de la madera. Por un lado, el desarrollo de nuevas tecnologías facilitó tanto el comercio como la producción industrial del ladrillo, del hierro fundido y forjado, y finalmente del acero. Por otro lado, el cambio socioeconómico y el éxodo rural conllevaron la pérdida del acceso a los recursos tradicionalmente vinculados a la tierra.

Respecto al empleo de la madera, este periodo implicó la aparición de nuevas tecnologías que permitían en principio un uso más óptimo de material y una construcción más fácil: los sistemas de producción de serrado mecánico, conformado y secado al vapor que permitían estandarizar y controlar mejor la calidad de las piezas; los nuevos medios de transporte que permitían exportar madera a aquellas zonas donde era un recurso más limitado; y finalmente, los grandes avances en el cálculo estructural que permitían un dimensionado más óptimo de las piezas con el consecuente ahorro en material, tiempo de ejecución y coste final de la obra. La aparición de sustancias protectoras mejoró la durabilidad de la madera, aspecto que hasta el momento había condicionado su uso; el límite de longitud de las piezas condicionado por la naturaleza se superó gracias a la aparición de la madera encolada, y la complejidad de ejecución de las uniones se redujo mediante el empleo de uniones metálicas.

Sin embargo, esta época supone una gran disminución de los recursos madereros en el continente europeo, por lo que el entramado tradicional fue sustituyéndose progresivamente por fábricas de ladrillo, reservándose la madera para elementos concretos como puertas, ventanas, escaleras, revestimientos y artesonados. En aquellos países donde la madera seguía siendo un recurso de fácil acceso, económico y claramente vinculado a la tradición constructiva, como por ejemplo Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Holanda, así como algunas zonas de Inglaterra y Alemania, los entramados tradicionales continuaron siendo utilizados para la construcción de viviendas, aunque en menor medida. Sin embargo, el uso de esta técnica se descartó de forma generalizada para edificios públicos, edificios colectivos de gran altura, y en general, para todos aquellos proyectos que buscaran durabilidad y menor mantenimiento. En países como España o Portugal, de menor tradición maderera, su uso quedó relegado prácticamente a la carpintería menor, que también entraría en crisis con la aparición de los nuevos materiales.

8 CONCLUSIONES

La combinación de tierra y madera para la construcción se remonta a los primeros refugios construidos por el ser humano y a lo largo de la historia ha ido evolucionando hasta generar un amplio abanico de soluciones y sistemas constructivos, en función de la diversidad cultural y tecnológica, disponibilidad material y factores geográficos y ambientales. La revisión realizada ha permitido entender el uso o desuso de los muros mixtos de tierra y madera en la arquitectura tradicional española a lo largo de diferentes fases históricas

En la época prehistórica, la aparición de los primeros muros encestados se relaciona con el proceso de sedentarización del ser humano y está condicionada por el desarrollo de las herramientas de hierro necesarias para el trabajo de la madera. A pesar de que el Imperio Romano es un momento clave en el desarrollo de este tipo de técnicas, el origen de los muros entramados que todavía se conservan en el territorio español debe relacionarse también con técnicas celtibéricas. Tal y como demuestran los múltiples hallazgos arqueológicos, la evolución de las técnicas murarías mixtas durante esta época está vinculada con el desarrollo del trabajo de la piedra y la aparición de los primeros zócalos. La Edad Media puede considerarse el momento de máxima expansión y utilización de este tipo de técnicas, debido al desarrollo de la carpintería medieval y porque el aumento de la población y el amurallamiento de los núcleos urbanos hacían necesarias técnicas que

permitieran optimizar el espacio. A pesar de que los grandes incendios de la época y las preocupaciones higienistas promovieron la aparición de normativas urbanas que prohibían o relegaban su uso a zonas ocultas o revestidas, siguieron utilizándose en menor medida hasta casi el siglo XX. Asimismo, fueron exportadas durante la colonización americana, mezclándose en la zona hispana con técnicas precolombinas y dando lugar a técnicas industrializadas como el *balloon frame* en la zona norteamericana. La industrialización supuso el inicio de un claro declive en la utilización de las técnicas tradicionales, debido por un lado al desarrollo de las comunicaciones y los materiales industriales y por otro lado al cambio socioeconómico y el éxodo rural. Sin embargo, el desarrollo tecnológico del sector de la madera en las últimas décadas y el incremento de la conciencia medioambiental junto con la valorización de las técnicas tradicionales podrían plantear un panorama óptimo para la recuperación y conservación de los muros mixtos de tierra y madera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adam, J.P. (2002). *La construcción romana: materiales y técnicas*. León: Editorial de los Oficios.

Arias y Scala, F. (1893). *Carpintería Antigua y Moderna,* 3º Edición. Barcelona: F. Nácente Editor.

Arribas Arranz, F. (1960). *El Incendio de Valladolid en 1561*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Ayuntamiento de Madrid (1892). *Ordenanzas Municipales de la Villa de Madrid*. Madrid: Imprenta y Litografía Municipal.

Azkarate, A.; Quirós, J.A. (2001). Arquitectura doméstica altomedieval en la Península Ibérica. Reflexiones a partir de las excavaciones arqueológicas de la catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz, País Vasco. *Archeologia Medievale,* nº 28, 25-60.

Azkarate, A.; Solaun, J.L. (2003). Después del Imperio Romano y antes del año mil: morfología urbana, técnicas constructivas y producciones cerámicas. *Arqueología de la Arquitectura*, nº2, 37-46.

Azkarate, A.; Solaun, J.L. (2012). Tipologías domésticas y técnicas constructivas en la primitiva Gasteiz (País Vasco) durante los siglos VIII al XII d.C. *Arqueología de la Arquitectura*, nº9, 103-128.

Bails, B. (1796). *Elementos de matemáticas.* Madrid: Imprenta de la Viuda de D. Joaquín Ibarra.

Bianchi, G. (2012). Building, inhabiting and perceiving private houses in early medieval Italy. *Arqueología de la Arquitectura*, nº9, 195-212.

Caro Baroja, J. (1946). *Los pueblos de España: ensayo de etnología*. Barcelona: Editorial Barna.

Consejo Real de Castilla (1791). *Instrucción dispuesta para la reedificación de las casas arruinadas en la Plaza Mayor, con motivo del incendio ocurrido la noche del día dieciséis de agosto de 1790.*

Dipasquale, L., Omar Sidik, D., Mecca, S. (2014). Local seismic culture and earthquake-resistant devices: Case study of casa baraccata. *Vernacular Architecture: Towards a Sustainable Future*. Londres: Taylor & Francis Group. p. 255-260.

Foliente, G. C. (2000). History of Timber Construction. En: S. J. Kelley, J. R. Loferski, A. Salenikovich, y E. G. Stern (Eds.), *Wood Structures: A Global Forum on the Treatment, Conservation, and Repair of Cultural Heritage*. Philadelphia: American Society for Testing & Materials. p. 3-22.

Fronza, V. y Valenti, M. (1996). Un archivio per l'edilizia in materiale deperibile nell'altomedioevo. En: M. Valenti (Ed.), *Poggio Imperiale a Poggibonsi (Siena). Dal villaggio di capanne al castello di pietra.* Florencia: Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti. p.159-218.

García Álvarez, S. (2002). La construcción tradicional con tierra: dos experiencias americanas. En: L. Maldonado Ramos, D. Rivera Gámez, F. Vela Cossío (Eds.), *Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e innovación.* Madrid: Mairea. p. 53-65.

García Mercadal, F. (1930). *Arquitecturas regionales españolas*. Madrid: Espasa Calpe.

Gaztelu, L. (1899). Carpintería de Armar. En: *Pequeña Enciclopedia Práctica de Construcción publicada bajo la dirección de L.A. Barré.* Madrid: Librería Editorial Bailly-Bailliere e Hijos.

Ger y Lóbez, F. (1898). *Tratado de Construcción Civil.* Badajoz: La Minerva Extremeña.

Gómez Sanchez, I. (2002). Las estructuras de madera en los Tratados de Arquitectura (1500-1810). Tesis doctoral. Madrid: Univ. Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, AITIM.

Hansen, H. J. (1971). *Architecture in Wood: A History of Wood Building and Its Techniques in Europe and North America*. Nueva York: The Viking Press.

Hueto Escobar, A., Diodato, M., Vegas, F., Manzano Fernández, S. (2020). Approximation to the use of Half-Timbered Walls with Earth Infills in Spanish Traditional Architecture. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIV-M-1-2020, 1033–1040.

Hueto Escobar, A., Mileto, C., Vegas, F. (2021). The constructive variety of half-timbered walls with earth infill. Proposal for the geographical classification of the Spanish territory. *Earthen and Wood vernacular heritage and climate change.* Lund, Suecia: Lunds universitet. p. 134-139.

Imprenta Real (1790). Noticias del Incendio de la plaza Mayor de Madrid. En: *Memorial literario, instructivo y curioso de la Corte de Madrid*, Tomo XX. Madrid: Imprenta Real. p. 532-558.

Langenbach, R. (2007). From Opus Craticium to the Chicago Frame: Earthquake-Resistant Traditional Construction. *International Journal of Architectural Heritage*, Vol. 1, nº1, 29-59.

Laumain, X. (2011). Nuevas perspectivas sobre el opus craticium romano, técnica constructiva olvidada. *VII Congreso Nacional De Historia De La Construcción*. Madrid: I. Juan de Herrera. p. 699-708.

Maldonado Ramos, L.; Rivera Gámez, D. (2005). El entramado de madera como arquetipo constructivo: De la arquitectura tradicional a los sistemas modernos. *Actas del IV Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT Cádiz. p. 687-697.

Marcos y Bausá, R. (1879). *Manual del Albañil.* Madrid: Biblioteca Enciclopédica Popular Ilustrada.

Nuere, E. (2000). *La carpintería de armar española.* Madrid: Munillalería.

Oliver, P. (1997). *Encyclopedia of vernacular architecture of the world.* Cambridge: Cambridge University Press.

Pickering, D. (1763). *The Statues at Large from the Twelfth Year of King Charles II to the Laft Year of King James II inclusive,* Vol. VIII. Cambridge: Joseph Bentham.

Rocha, M.; Jové Sandoval, F. (2015). *Técnicas de construcción con tierra. Introducción*. Lisboa: Argumentum Ediçoes.

Schilder Díaz, C.C. (2000). La herencia española: las bóvedas y cúpulas de quincha en El Perú. *III Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Madrid: I. Juan de Herrera, Univ. de Sevilla, Junta Andalucía, COAAT Granada, SEdHC, Ministerio de Fomento, CEHOPU, CEDEX. p. 1019-1026.

Schreg, R. (2012). Farmsteads in early medieval Germany, architecture and organisation. *Arqueología de la Arquitectura*, nº9, 247-265.

Stellacci, S., Rato, V., Poletti, E. (2017). Structural Permanence in Pre- and Post-Earthquake Lisbon: Half-Timbered Walls in Overhanging Dwellings and in Pombalino Buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(3), 363-381.

Tejerizo, C. (2012). Early medieval household archeology in Northwest Iberia (6th-11th centuries). *Arqueología de la Arquitectura*, 9, 181-194.

Torres Balbás, L. (1933). La vivienda popular en España. En: F. Carreras y Candi (Ed.), *Folcklore y Costumbres de España,* Tomo III. Barcelona: Editorial Alberto Martín. p. 137-502.

Touliatos, P. (1996). Seismic Disaster Prevention in the History of Structures in Greece. En: V. Petrini y M. Save (Eds.), *Protection of the Architectural Heritage Against Earthquakes*. Nueva York: Springer-Verlag Wien GmbH. p. 261-284.

Vela Cossío, F. (1995). Para una Prehistoria de la vivienda. Aproximación historiográfica y metodológica al estudio del espacio doméstico prehistórico. *Complutum*, nº 6. 257-276.

Vela Cossío, F. (2003). *Espacio doméstico y arquitectura del territorio en la prehistoria peninsular: tipología y razón constructiva en la arquitectura celtibérica.* Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad Geografía e Historia.

Villanueva, J. (1827). *Arte de Albañilería*. Madrid: Oficina de Don Francisco Martínez Dávila.

Viollet-le-Duc, E.-E. (1854). *Dictionnaire raisonné de l'architecture*. Paris: B. Bance.

Walker, M. (1835). *Collection complete, par ordre chronologique, des lois, edits, traités de paix, ordonnaces, declarations et réglemens d'intérêt general antérieurs a 1798, restés en vigueur,* Tomo I. Paris: AP. Moessard et Jousset Éditeurs.

Yrizar, J. (1934). Arquitectura popular vasca. *V Congreso de Estudios Vascos: Arte Popular Vasco*. Donostia: Sociedad de Estudios Vascos. p. 80-91.

NOTA

La presente contribución forma parte de una tesis doctoral financiada con una Ayuda para contratos predoctorales para la formación de profesorado FPU-2018 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España (FPU18/01596).

AUTORES

Alicia Hueto Escobar, investigadora predoctoral FPU (2019), máster universitario en Conservación del Patrimonio Arquitectónico MCPA de la Universitat Politècnica de València UPV (2019), arquitecta UPV (2017). Técnico superior de investigación en el Centro de investigación PEGASO en la UPV.

Camilla Mileto, catedrática del Dpto. de Composición Arquitectónica UPV (2018), doctora UPV (2004), máster MCPA-UPV (2002) y arquitecta IUAV (1998). Directora del Centro PEGASO, directora de la Cátedra UNESCO de Arquitectura de Tierra, Culturas Constructivas y Desarrollo Sostenible en España y directora de la revista Loggia: Arquitectura y Restauración.

Fernando Vegas López-Manzanares, catedrático del Dpto. de Composición Arquitectónica UPV (2018), doctor UPV (2000) y arquitecto UPV (1999). Subdirector del Dpto. de Composición Arquitectónica, director de la Cátedra UNESCO de Arquitectura de Tierra, Culturas Constructivas y Desarrollo Sostenible en España y director de la revista Loggia: Arquitectura y Restauración.