

Trabajo Fin de Grado

ENVOLVENTES NATURALES: hacia una arquitectura sostenible

Autor/es

Eva Martínez Oca

Director/es

Cristina Cabello Matud

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2014

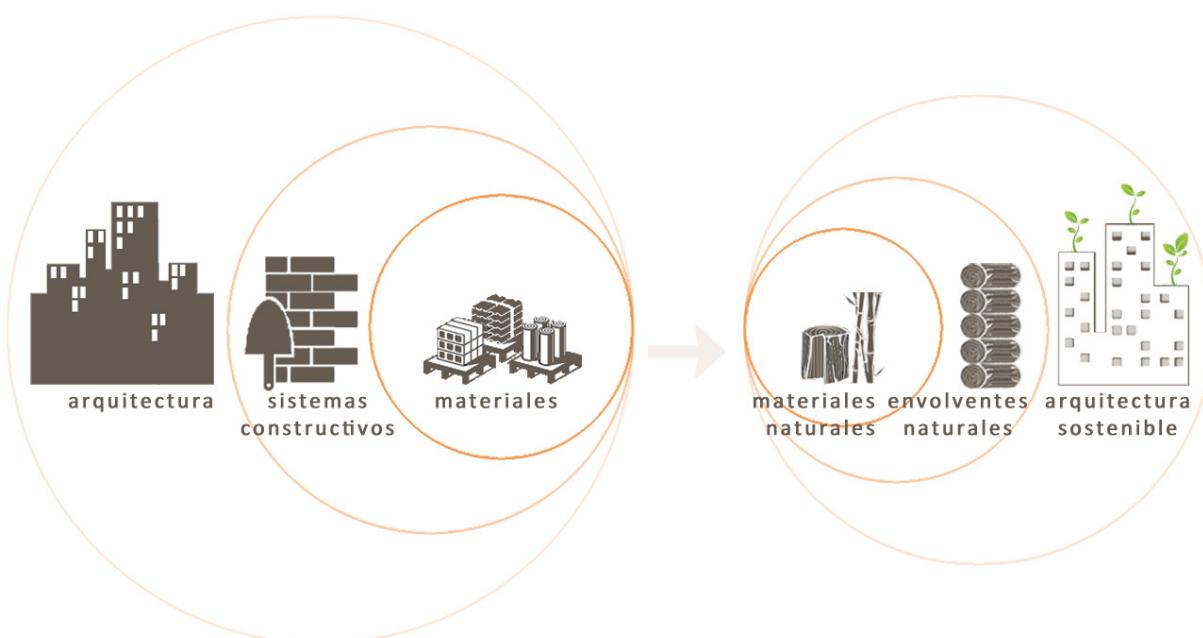
Resumen

La alarma comienza al averiguar datos como que la industria de la construcción consume más de un tercio de la energía total disponible, lo que implica una importante emisión de gases de efecto invernadero. Diversas cuestiones ecológicas, como el cambio climático, la polución del aire, el aumento del coste del combustible y la pérdida de biodiversidad, agravan la situación forzando el planteamiento de una arquitectura participante en el desarrollo sostenible.

Gran parte de la responsabilidad recae sobre la industria de los materiales, la cual está presente a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios y cuya actividad cambió notablemente el siglo pasado, buscando el progreso y olvidando sus bases tradicionales.

Por ello, el motivo de estudio de este Trabajo de Fin de Grado será la investigación sobre el papel que desempeñan los materiales naturales en la arquitectura, los cuales han estado presentes a lo largo de la historia de la arquitectura y que ahora se encuentran en un segundo plano. Concretamente, se considerará su aplicación a la envolvente valorando su notable interés, tanto por su componente funcional, como por su componente estética y formal. La comprobación de si esta privación de protagonismo es lógica, o no, se pretende abordar desde distintas escalas exponiendo la relación existente entre la sostenibilidad y la arquitectura, los sistemas constructivos y los materiales, incluyendo en éstos últimos los aislantes, considerados hoy en día componentes intrínsecos de la envolvente.

Las distintas escalas en las que estudiar la sostenibilidad marcarán diferentes fases en el Trabajo de Fin de Grado. La primera expondrá los parámetros de sostenibilidad a considerar en la arquitectura, para pasar a una segunda fase relativa a los sistemas constructivos. Tras estas fases de carácter general, se propondrán unos nuevos parámetros relativos a los materiales, analizando una selección de éstos y evaluándolos de manera práctica. Llegados a este punto, el Trabajo se centrará en los materiales naturales y, subiendo nuevamente de escala, se relacionarán con su puesta en obra para concluir con su aplicación general a la arquitectura. [Fig 0]



[Fig 0]. Esquema de las escalas estudiadas correspondientes a las fases del Trabajo. Elaboración propia

T a b l a d e c o n t e n i d o s

0	Introducción	5
1	Sostenibilidad y arquitectura	7
1.1	Parámetros	8
1.1.1	Coste real del edificio	8
1.1.2	Carácter social del edificio	8
1.1.3	Flexibilidad funcional	9
1.1.4	Reutilización de estructuras preexistentes..	9
1.1.5	Diseño arquitectónico pasivo	9
1.1.6	Ecología del emplazamiento	10
1.1.7	Elección del sistema constructivo	10
1.1.8	Elección de los materiales	10
1.1.9	Elección de las empresas que promueven estrategias de diseño sostenible	10
1.1.10	Producción y uso de energías renovables..	10
2	Sostenibilidad y sistema constructivo	13
2.1	Parámetros	13
2.1.1	Prevención ante la necesidad de mantenimiento y la posibilidad de sustitución de las partes	14
2.1.2	Reutilización o reciclaje de las partes	14
2.1.3	Simplicidad del sistema	14
2.1.4	Adecuación al lugar y a sus oficios	15
3	Sostenibilidad y materiales	17
3.1	Parámetros	17
3.1.1	Materias primas de origen renovable	18
3.1.2	Baja energía incorporada	18
3.1.3	Uso de materiales locales	19
3.1.4	Conductividad térmica	19
3.1.5	Máxima durabilidad con mínimo mantenimiento	20
3.1.6	Salubridad a lo largo de su vida útil	20
3.1.7	Mínimos residuos y correcta gestión de los mismos	21
3.1.8	Uso de materiales reciclados y capacidad de reciclaje	22
3.1.9	Materiales innovadores que ayudan a las estrategias de desarrollo sostenible	22

T a b l a d e c o n t e n i d o s

3.2	Materiales y características	23
3.2.1	Materiales de acabado	24
3.2.2	Materiales de aislamiento	35
3.3	Evaluación de parámetros en materiales	39
3.4	Conclusiones sobre materiales	46
4	Envolventes naturales	49
4.1	Madera	49
4.2	Piedra	50
4.3	Tierra	51
4.4	Ladrillo de tierra cocido	52
4.5	Morteros de cal y yeso	53
4.6	Aislantes	53
4.7	Otros materiales naturales	54
4.8	Evaluación de parámetros en envolventes	54
4.9	Reflexiones sobre envolventes	56
5	Hacia una arquitectura sostenible	57
5.1	Evaluación de parámetros en la arquitectura: Centro Medioambiental del Ebro	57
5.2	Comentarios finales	59
6	Conclusiones	61
	Bibliografía	64

Introducción

El siglo XX puede identificarse como un período que lleva consigo importantes avances históricos. En lo que se refiere al ámbito arquitectónico, son varios los asuntos que han podido ser relevantes en su progreso, como el desarrollo tecnológico, la producción estandarizada, la consecuente falta de importancia de la especialización, la abundancia de recursos y la globalización.

Así, la arquitectura evolucionó anteponiendo la mano de obra barata y la producción industrializada a los artesanos expertos y recursos locales, estimulando una industria consumista y derrochadora que, ante la falta de normativas reguladoras, poco consideraba el agotamiento de recursos y el deterioro del medioambiente. Estos hechos han dejado datos tan alarmantes como que el sector de la edificación sea el responsable del consumo de más de un tercio de la energía total y, en la mayoría de países, el origen más importante de gases de efecto invernadero¹.

Por otro lado, la generalización de la vida urbana provocó el distanciamiento entre ciudades y naturaleza, lo que conllevó a la desvinculación de la arquitectura con el entorno y los materiales y tradiciones locales. Esta disgregación, junto a la búsqueda de una arquitectura sostenible, conduce a la reflexión sobre la arquitectura de siglos atrás que, ante la falta de recursos, abogaba por el trabajo con materiales locales y conseguía bajos niveles de consumo energético.

Hoy, la arquitectura tiene la vista puesta sobre los nuevos objetivos europeos para 2020, los cuales se resumen en la búsqueda de la sostenibilidad energética y la reducción del cambio climático. Para ello, la Comisión Europea propone para Europa “emisiones de gases de efecto invernadero un 20% menores a los niveles de 1990, 20% de energías renovables y un aumento del 20% de la eficiencia energética”². En lo relativo a España, propone “emisiones de gases de efecto invernadero un 10% menores a los niveles de 1990, 20% de energías renovables y una reducción del consumo de energía de 25,20 Mtep, correspondiendo a 368 Mtep el aumento del 20% de la eficiencia energética propuesto para Europa”³. Estos objetivos nacionales colaborarán en el cumplimiento de los generales para Europa.

¹ UNEP, “Submission of the United Nations Environment Programme Sustainable Building Initiative”, 2009.

² Comisión Europea, “Objetivos Europa 2020”, Tercer objetivo: Cambio climático y sostenibilidad energética.

³ Ibídem, Tercer objetivo nacional para España.

Para adecuarse a ello, la industria de la construcción se está viendo envuelta en una serie de transformaciones necesarias, directas e indirectas, como son el uso de energías renovables, la reducción de la polución durante todas sus fases, la adecuación al clima y el uso de materiales con baja energía embebida, entre otras.

Concretamente, en España los cambios son muy paulatinos. Sorprende la todavía falta de concienciación sobre la sostenibilidad, y sobre su necesidad de ser un valor intrínseco de la arquitectura, y hace plantearse que quizás sea una cuestión de desconocimiento. Quizás la implantación de normativas específicas potencie una moralidad más cuidadosa con el tema. O quizás, simplemente, pocos sean conscientes de cuánto tenemos en nuestras manos.

Por todo ello, en el siguiente trabajo, se pretende dar pistas al lector sobre cómo la elección de materiales incide en el grado de sostenibilidad de un edificio, atravesando diferentes escalas y llegando a una visión más completa de la arquitectura.

“La arquitectura, para ser buena, lleva implícito el ser sostenible.”⁴

Souto de Moura.

⁴ DE MOURA, Souto, Entrevista EL PAÍS, 30 de junio de 2007.

Sostenibilidad y arquitectura

La RAE define sostenible como aquello “que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medioambiente”⁵. Sin embargo, se podría hablar de sostenibilidad, aplicada a la arquitectura, como un concepto mucho más específico. Se entiende que se trata de una característica gracias a la cual se asegura la satisfacción de las necesidades tanto del momento actual como de todos los momentos futuros y, para entenderlo mejor, puede plasmarse en una tríada buscando siempre el equilibrio entre el bienestar social –consiguiendo que los usuarios disfruten de la nueva arquitectura–, el desarrollo económico –viéndose cumplida la función del edificio eficazmente– y, por supuesto, el cuidado del medioambiente –siendo duradera la construcción y habiendo ocasionado los menores impactos posibles– ⁶. [Fig 1.1]

¿Por qué es necesario el desarrollo sostenible? El planeta se encuentra deteriorado medioambientalmente. En el caso de la arquitectura, su ejercicio ejerce cambios en el medio, los cuales, si no se producen sosteniblemente, conllevan grandes impactos. Éstos contribuyen con el cambio climático, el agotamiento de combustibles fósiles, la polución del aire, la deforestación, la desertización, la erosión del suelo, la alteración de hábitats, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento del agua, entre otros, ocasionando igualmente daños a la salud humana.

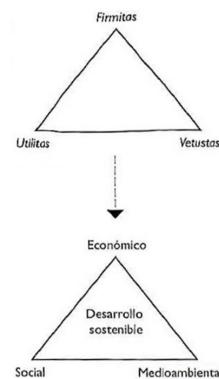
Gracias a acuerdos como el Protocolo de Kioto⁷, o posteriormente los objetivos Europa 2020, las instituciones se han visto impulsadas a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos. En el caso de España, son las Certificaciones Energéticas⁸ las que pretenden concienciar sobre la necesidad y ventajas de la edificación sostenible [Fig 1.2].

⁵ Definición del concepto SOSTENIBLE en el Avance de la vigésima tercera edición de la RAE. Cabe destacar que la definición actual limita su significado al de "que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace", y que ni siquiera aparece la palabra SOSTENIBILIDAD, aunque ya lo hará en la siguiente edición del diccionario, mostrando cómo éste se trata de un tema todavía en progreso.

⁶ EDWARDS, Brian, "Guía básica de la sostenibilidad" segunda edición, Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2008, p.161.

⁷ El Protocolo de Kioto se trata de un acuerdo internacional adoptado en Kioto (Japón) el 11 de diciembre de 1997, en el cual 84 países firmaron comprometidos con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

⁸ Las Certificaciones Energéticas valoran y comparan la eficiencia energética de los edificios, favoreciendo la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía. Son obligatorias en España desde el 1 de junio de 2013 por el Real Decreto 235/2013.



[Fig 1.1]. Referencia a la tríada vitruviana para explicar la tríada moderna de la sostenibilidad.
Brian Edwards.

© EDWARDS, Brian, "Guía básica de la sostenibilidad", Ed. Gustavo Gili.



[Fig 1.2]. Modelo de Etiqueta de Eficiencia Energética
<http://www.mineetur.gob.es>

Como es lógico, ésta no sólo se consigue respondiendo a un modelo único, sino que, aparte del “blanco y negro”, hay diferentes tonalidades de grises o, en este caso, de verdes.

Pretendiendo generar una visión global de los aspectos que influyen en la arquitectura y su sostenibilidad, se ha elaborado el siguiente apartado a partir de las herramientas VERDE⁹ y HADES¹⁰, junto con el apoyo de cierto material bibliográfico.

1.1 Parámetros

Para minimizar los impactos medioambientales que conlleva el ejercicio de la arquitectura, es imprescindible no dejar de buscar la sostenibilidad en todo el ciclo de vida del edificio, ya que no bastaría con proyectar un edificio sostenible si su uso posterior no se corresponde con esta idea. Desde el primer momento, la arquitectura debe proyectarse llevando a cabo todas las buenas prácticas posibles. Por ello, se presenta a continuación una interpretación y selección personal de los aspectos que habría que tener en cuenta para producir el mínimo impacto ambiental, pretendiendo satisfacer la mayoría de ellos en la mayor proporción posible:

1.1.1 Coste real del edificio

Es el coste total que supone el edificio a lo largo de su ciclo de vida. Desde su proceso de construcción hasta el fin de su vida útil, valorándolo tanto económica, como social, como medioambientalmente. Cuanto menor sea este coste, mayor carácter sostenible tendrá en este aspecto. El caso de las Viviendas Sociales es un buen ejemplo en cuanto al ajuste de presupuesto para su construcción, minimizando en lo posible los gastos para asegurar una vivienda de calidad a bajo coste. [Fig 1.3]



[Fig 1.3]. 19 viviendas sociales en Sa Pobla (Mallorca). Estudio RIPOLL•TIZON.
© José Hevia.

1.1.2 Carácter social del edificio

Que un edificio tenga una función social, sea accesible y útil para diferentes tipos de público otorga un grado de sostenibilidad. No es lo mismo que una misma superficie sea de uso exclusivo para un particular, a que sea para uso público. Además, influye el horario de apertura o uso, siendo preferible un uso prolongado y continuado en vez de escaso y puntual. Como ejemplo, se podrían mencionar los Centros Cívicos, que

⁹ La herramienta VERDE tiene como objetivo dotar de una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los edificios. <http://www.GBCe.es>.

¹⁰ HADES, acrónimo de Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles, es una herramienta pensada para ayudar al proyectista en el proceso de diseño, cuantificando las mejoras ambientales al aplicar criterios de sostenibilidad en el proyecto. <http://www.GBCe.es>.

tratan de ser un punto de encuentro para los ciudadanos de todas las edades.

1.1.3 Flexibilidad funcional

Aunque la forma de un edificio está íntimamente ligada a la función, se debe evitar proyectar edificios demasiado específicos a su uso. De este modo, dejando a un lado la exclusividad funcional, se posibilita la creación de espacios "polivalentes" que puedan utilizarse de diferente forma en función de las necesidades. Además, ligado al siguiente apartado, de este modo se abren puertas a la reutilización de una estructura, de manera que se pueda aprovechar al máximo la durabilidad de la misma ya que, en general, su vida útil será mucho mayor a la de la función del edificio. Esto puede conseguirse con estructuras sencillas y tabiquería móvil que permita adaptar las estancias fácilmente.

1.1.4 Reutilización de estructuras preexistentes

La liberación de un edificio tras el cese de su uso, la falta de fondos que impida la financiación de una obra o el abandono de una construcción por causas naturales, son algunos de los diversos factores que pueden hacer que una estructura quede varada en su emplazamiento. La presencia de estos edificios es un problema contra la sostenibilidad. Una manera de evitar la construcción de una nueva obra y, de este modo, dar salida a estas estructuras preexistentes y en desuso es su reutilización en nuevos proyectos, como sucede en El Túnel en Zaragoza¹¹. [Fig 1.4]

1.1.5 Diseño arquitectónico pasivo

Para lograr un ambiente saludable se necesita una combinación de diversos factores: nivel de iluminación y calidad de la luz, ventilación, calidad del aire, confort termo-higrométrico... Por ello, se debe diseñar el edificio teniendo en cuenta el emplazamiento, la orientación y la distribución interior, entre otros puntos, de manera que el confort del usuario se logre conseguir de la manera más natural posible, con la mínima incorporación de nuevos elementos o equipos. Así, se podrá hablar de eficiencia energética, habiendo conseguido un edificio más sostenible respecto a aquél que no hubiera tenido en cuenta las necesidades de confort. Como ejemplo, se pueden mencionar las passivhaus¹². [Fig 1.5]



[Fig 1.4]. El Túnel en Zaragoza. Belén Gimeno, Francisco Berruete y Teófilo Martín. Fotografía extraída de la MEMORIA 2011 del Servicio de Juventud del Ayuntamiento de Zaragoza.



[Fig 1.5]. Casa pasiva en Lérida. Josep Bunyesc. ©Certicalia – Blog de certificación energética. <http://www.certicalia.com>.

¹¹ El Túnel se trata de un antiguo túnel ferroviario en Zaragoza, recuperado y acondicionado ahora como sala de ensayo de músicos. Obra de los arquitectos Belén Gimeno, Francisco Berruete y Teófilo Martín.

¹² Se trata de un término alemán con el cual vienen definidas aquellas viviendas pasivas cuya máxima es conseguir reducir el consumo energético al máximo, gracias al control exhaustivo del confort térmico desde proyecto.



[Fig 1.6] . Centro Ambiental del Ebro en Zaragoza. Magén Arquitectos.

© Jesús Granada.

1.1.6 Ecología del emplazamiento

Otro punto fundamental es la influencia del emplazamiento sobre el nuevo edificio. Que un proyecto distinga un entorno en el cual se integre, saludable, que asegure una calidad del aire interior, con fácil resolución del aislamiento acústico, con buen acceso, servicios y conexiones al contexto urbano, y que todo ello esté asegurado con los menores riesgos para la salud, será un punto a favor de la sostenibilidad del edificio. Un ejemplo de integración en un emplazamiento saludable es el Centro Ambiental del Ebro en Zaragoza. [Fig 1.6]

1.1.7 Elección del sistema constructivo

Se deben valorar las ventajas y desventajas que puedan tener la construcción con elementos prefabricados, la construcción en seco, la construcción más tradicional... Por otro lado, la elección del sistema de cerramiento para la envolvente influirá igualmente en la fase de ejecución – facilitando o no las tareas de puesta en obra–, en la fase de uso –facilitando o no la sustitución o el mantenimiento de las partes– y en la fase final –facilitando o no el desmontaje y su reutilización o reciclaje–.

1.1.8 Elección de los materiales.

Habrá de tenerse en cuenta los procesos de extracción, producción y transporte de los materiales, el comportamiento de éstos a lo largo de su vida útil, las posibilidades de gestión de residuos que ofrecen, su salubridad o por el contrario su toxicidad... Numerosos aspectos influyen en la elección sostenible de materiales. Por ello, todo este tema se explicará con detenimiento más adelante.

1.1.9 Elección de las empresas que promueven estrategias de diseño sostenible

Durante todo el ciclo de vida del edificio se debería asegurar la contratación de servicios o productos a empresas que trabajan con ensayos, siguiendo la normativa y proporcionando los sellos correspondientes, de manera que sea posible identificar rápidamente si su práctica pretende ser sostenible con el medioambiente. Esto será un valor a tener en cuenta, para asegurar la mayor sostenibilidad del nuevo proyecto.

1.1.10 Producción y uso de energías renovables

Que toda, o parte de, la energía utilizada desde el proceso de construcción del edificio, hasta su puesta en uso y su fin de vida útil sea de carácter renovable es un aspecto fundamental en la valoración de su sostenibilidad. Con ello,

se contribuiría a la **ausencia de emisión de CO₂**. Dado que la ausencia total de esta emisión es tarea prácticamente inviable, se plantea evitar dicha emisión al máximo, evitando igualmente todas las prácticas que acarreen la expulsión de CO₂, o reduciendo en lo posible su ejercicio, ya que produce graves impactos sobre el medioambiente. Del mismo modo, la inclusión de elementos que eliminan el CO₂ de la atmósfera, será un valor añadido en la evaluación de sostenibilidad del edificio.

Sostenibilidad y sistema constructivo 2

¿Qué es un sistema constructivo? ¿Qué papel tiene en la arquitectura? ¿Cómo se consigue su sostenibilidad? Todas estas cuestiones pueden parecer de evidente respuesta, sin embargo, no está de más comenzar el discurso resolviéndolas.

Un sistema constructivo puede definirse como un “conjunto de partes interrelacionadas e interdependientes que forman un todo unificado más complejo y que sirven a un propósito común”¹³. Sus finalidades pueden ser la generación de estructura, de cerramiento, de particiones interiores y de revestimientos, entre otras, pero estudiar todos estos aspectos sólo permitiría dar pinceladas dentro de la magnitud del tema. Por ello, para responder a la tercera cuestión planteada y poder centrar el tema del trabajo, se va a acotar el estudio en esta investigación a la envolvente de un edificio, ya que se considera que tiene un papel fundamental en la arquitectura. Por un lado, sus componentes y ejecución determinan en gran medida la eficiencia energética del edificio, por otro lado, es la parte responsable de introducir una correcta iluminación natural al interior, y por último, genera la componente estética de la arquitectura, la que supone un primer reclamo para el espectador. Por todo ello, el diseño de los ACABADOS debe estar trabajado para lograr tanto su atractivo como su sostenibilidad. A ella, se añadirán los sistemas de AISLAMIENTO, ya que se considera que van intrínsecamente ligados.

Entonces, ¿cómo se responde a la tercera cuestión? Numerosas variables tienen cabida en un sistema de acabado, o en un sistema de aislamiento, y serán ellas las que determinen, entre otras cosas, la sostenibilidad del sistema. Para poder desarrollar esta respuesta con mayor claridad, se redacta el siguiente punto a partir de las herramientas anteriormente mencionadas y con la ayuda de cierto material bibliográfico.

2.1 Parámetros

Del mismo modo que se ha procedido en el apartado 1.1, se van a presentar a continuación unos parámetros, o pautas, que ayudarán al lector a poder seleccionar los sistemas constructivos más saludables. Así, el mayor o menor cumplimiento y adecuación a éstos determinará el grado de sostenibilidad del sistema:

¹³ CHING, Francis y ADAMS, Cassandra, “Guía de construcción ilustrada”, Ed. Limusa, México 2008, p.2.02.



[Fig 2.1]. Pasarelas de mantenimiento. Torre del agua en Zaragoza. Enrique de Teresa Trilla.

© Fernando Alda.

2.1.1 Prevención ante la necesidad de mantenimiento y sustitución de las partes

Todos los sistemas precisan un mantenimiento regular, sea con mayor o menor frecuencia en función de los materiales utilizados, la exposición a la intemperie, etc. Además, en caso de deterioro, o simplemente por necesidad de renovación de las partes, es fundamental que se pueda efectuar de manera sostenible la extracción y la inserción posterior de la pieza. En función de la estandarización de las partes, la dificultad para encontrar ejemplares similares, o simplemente la accesibilidad que tengan los diferentes sectores de la envolvente, este mantenimiento o sustitución será en mayor o menor medida facilitada, requiriendo menores o mayores esfuerzos y consumos energéticos, que conllevan unos determinados impactos medioambientales, económicos y sociales [Fig 2.1]. Por supuesto, la durabilidad de los materiales será un factor a perseguir en este apartado, ya que será más sostenible aquel sistema cuyos componentes precisen la menor sustitución o reparación.

2.1.2 Reutilización o reciclaje de las partes

Cuando un edificio en desuso conserva piezas que se pueden reutilizar en una construcción, debería tramitarse su aprovechamiento. De este modo, se evitaría la creación de unas nuevas piezas y se alargaría la vida útil de unos elementos que ya se daba por finalizada, amortizando el coste económico y medioambiental de los mismos. Para ello, es imprescindible prever y facilitar la posibilidad de desmontaje, de manera que la división en partes y la cuidadosa elección de los materiales, tanto de las piezas como de las juntas, serán temas a tener en cuenta. Por poner un ejemplo, se deberán proyectar uniones reversibles, como las metálicas atornilladas, y no soldadas, ya que, del primer modo, la integridad del material posibilitaría su reutilización o reciclaje y, mediante soldadura, la pieza se vería contaminada por otros elementos extrínsecos a la misma imposibilitando su posterior aprovechamiento.

2.1.3 Simplicidad del sistema

La diversidad de elementos supone un mayor consumo energético en la fabricación y en el transporte de los mismos, encareciendo y dificultando la obra. La simplicidad de los sistemas permite una ejecución más limpia y eficaz, minimizando la posibilidad de error en el montaje y favoreciendo así la reducción de residuos en obra. Por otro lado, este aspecto colabora con los anteriormente mencionados ya que, tanto el mantenimiento o sustitución de las piezas como el desmontaje,

serán facilitados tanto más cuanta menos complejidad tenga el sistema.

2.1.4 Adecuación al lugar y a sus oficios

Bien es cierto que cada época tiene su arquitectura; sin embargo, aprender de las tradiciones puede ayudar a generar proyectos más completos a la vez que sostenibles. La arquitectura ha ido heredando a lo largo de la historia los diferentes hábitos constructivos que mejor se adecuaban a los recursos y al clima de cada lugar. Asumir estas enseñanzas como base puede ser clave para lograr el mejor rendimiento en los proyectos y, por tanto, para asegurar una mayor sostenibilidad. Además, la identidad de un lugar se ve muy reflejada en su arquitectura, por lo que una integración y adaptación a ésta puede ser fundamental para la aceptación social de los proyectos, otro de los aspectos claves de la sostenibilidad. [Fig 2.2]



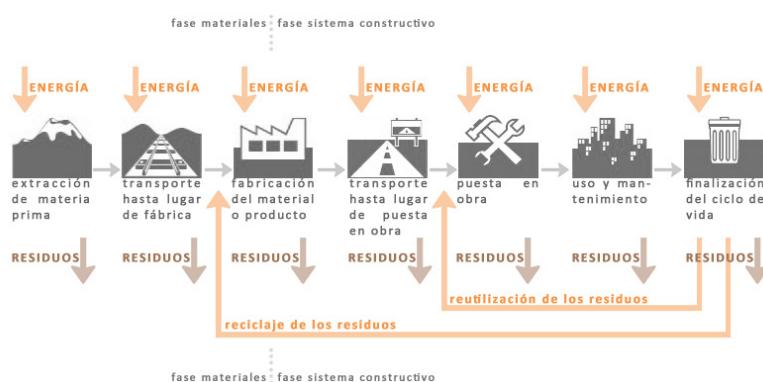
[Fig 2.2]. Uso del ladrillo como material del lugar. Biblioteca de Economía en Zaragoza. Basilio Tobías
<http://www.basiliotobias.com>

Sostenibilidad y materiales 3

La elección de los materiales de construcción se trata de un factor determinante a la hora de establecer si un edificio es más o menos sostenible. Se ha podido comprobar tanto en el estudio de la arquitectura y su sostenibilidad, como en la fase de sistemas constructivos. Por ello, este apartado y los siguientes dedicarán su estudio y análisis a este tema tan recurrente.

Antes de profundizar en el tema, se debe dejar claro el concepto de Análisis del Ciclo de Vida, ya que se considera una herramienta importante al servir de orientación para la búsqueda de la sostenibilidad. Se puede definir como un análisis que “*identifica los flujos de materiales, energía y residuos que genera un edificio durante toda su vida útil, de manera que el impacto ambiental pueda determinarse por adelantado*”¹⁴.

Todo esto puede explicarse de la siguiente manera. Los materiales no aparecen en la naturaleza preparados para su puesta en obra ya que, como poco, precisarán una fase de limpieza. Generalmente, serán varias fases las que conformarán su ciclo de vida: extracción, fabricación, transporte, eliminación en el fin de su vida útil... No obstante, los procesos que ocurran en cada fase serán muy diferentes en función del material considerado y de las decisiones de proyecto. Para entender de manera global lo que explica el ciclo de vida de un material, se diseña el siguiente gráfico que pretende relacionar el concepto con las fases de este Trabajo. [Fig 3.1]



[Fig 3.1]. Ciclo de vida de los materiales. Elaboración propia.

3.1 Parámetros

Como ya se ha dicho, serán varias fases las que afecten a un solo material, y en cada fase serán varias las consideraciones a tener en cuenta en busca de la

¹⁴ “Environmental technology best practice programme guide ET257: life-cycle assessment, an introduction for industry”, 2000, p.2.



Etiquetas gestión residuos envases



UE (Ecolabel)

España

tipo II: autodeclaraciones



tipo III: declaraciones ambientales de producto



[Fig 3.2]. Ejemplos de sellos ambientales y ecoetiquetas.

En la actualidad, existen diferentes tipos de sellos. Por un lado están los sellos obligatorios, que destacan aspectos ambientales del producto, y por otro los voluntarios, los cuales pretenden promover la demanda de aquellos productos con menor impacto ambiental. Dentro de estos últimos, existen tres tipos de etiquetas: las de tipo I – ecoetiquetas oficiales y otorgadas normalmente por una administración pública ambiental-, las de tipo II – autodeclaraciones informativas realizadas por los propios fabricantes-, y las de tipo III – declaraciones ambientales de producto, de extensión variable y con información cuantitativa detallada basada en Análisis de Ciclo de Vida–.

sostenibilidad. Sería conveniente que cada producto destinado a la construcción estuviera **eco-etiquetado**, de modo que a simple vista se pudiera hacer una selección rápida de los materiales que más interesan en función de cómo se han desarrollado estas fases, o de las características generales del mismo [Fig 3.2]. No obstante, todavía se está viviendo un proceso de cambio, por lo que se deben saber confrontar e interpretar diversos factores que nos permitirán la evaluación del grado de sostenibilidad de un material, para buscar generar el **menor impacto posible al medioambiente**.

Por ello, se enumera, a continuación, una selección personal de los parámetros que habrán de tenerse en cuenta, elaborada a partir de las herramientas VERDE y HADES y con la ayuda de cierto material bibliográfico:

3.1.1 Materias primas de origen renovable

Las materias primas que nos ofrece la naturaleza pueden clasificarse, según su disponibilidad, en renovables y no renovables. Renovables consideraremos aquéllas que se presentan de manera abundante, y cuya existencia parezca no agotarse con su utilización, debido a que su regeneración es más rápida que su consumo. Esto será así, siempre y cuando no se vea invertido este aspecto fundamental, ya que la sobreexplotación de un recurso podría convertirlo en no renovable de manera irreversible. Así pues, las materias primas de origen no renovable, serán aquéllas que no pueden ser producidas o regeneradas a un ritmo suficiente como para soportar los niveles de consumo.

Por ello, se deberá priorizar el uso de las primeras, y siempre valorar los hábitos saludables de las empresas que las gestionan, ya que, de lo contrario, podría verse afectada su significativa característica renovable. La comprobación de sellos y certificados, como el FSC para las maderas, asegurará la gestión sostenible en la extracción de materias primas.

3.1.2 Baja energía incorporada

Un material precisa un consumo de energía en sus fases de extracción, de producción y de transporte. Sin embargo, no todos incorporan la misma cantidad a lo largo de su ciclo de vida, y es que depende de factores como el proceso elegido para la extracción de la materia prima, la complejidad del procesado de la misma, el peso y el volumen de las piezas, así como la distancia recorrida en el transporte entre origen, procesado y puesta en obra.

Dado que influyen tantas variables en la suma de la energía incorporada, es necesario hacer un seguimiento para

cada material en cada obra. No obstante, sería posible hacer una comparación entre distintos materiales si se conociera su energía de fabricación¹⁵, procurando minimizar el consumo de energía en el resto de fases de su ciclo de vida y priorizando el uso de energías renovables, que se presentan de manera ilimitada y son mínimamente perjudiciales para el medioambiente.

3.1.3 Uso de materiales locales

Como es bien sabido, el proceso de transporte, a lo largo de toda la vida útil de un material, tiene una importante presencia en temas como la contaminación medioambiental, la emisión de CO₂, los gastos energéticos y económicos, así como en otros muchos relacionados con la sostenibilidad. Por ello, es preferible reducir al máximo este proceso, accediendo a materias primas cercanas al lugar de procesado y de puesta en obra, minimizando todos los efectos de su transporte.

Este aspecto no es de carácter general, sino que deberá evaluarse en cada proyecto, tanto si se comparan diferentes materiales, como si se estudian varios casos de un mismo material gestionado por diversas empresas. Se deberá comparar la suma de distancias recorridas en cada caso, desde la extracción de la materia prima hasta su puesta en obra, pasando por todos los puntos de procesado que precise. Así pues, será preferible aquel material que necesite recorrer el menor número de kilómetros hasta llegar a su puesta en obra, considerándose locales aquéllos “*producidos en un radio de 200 km del emplazamiento de la obra*”¹⁶. Por otro lado, el uso de transportes con mayor capacidad de carga conlleva menores emisiones, por lo que Ignacio Zabalza propone el uso de transporte ferroviario en el caso necesario de recorrer media-larga distancia, planteando una nueva red mallada en detrimento de la radial¹⁷.

3.1.4 Conductividad térmica

El diseño pasivo es un tema de vital importancia en la arquitectura sostenible, y los materiales toman un papel sustancial en él. Por ello, la conductividad térmica será un valor fundamental en este estudio ya el aislamiento del interior

¹⁵ Éste suele ser un dato desconocido por los arquitectos, ya que en pocas ocasiones los fabricantes proporcionan esta información. No obstante, diferentes bases de datos ofrecen a modo orientativo estos valores, aunque para cada caso particular podrían variar en función de cómo se desarrolle el proceso de extracción. En el caso de este estudio, se obtendrá dicho dato del programa CES Selector.

¹⁶ “GEA VERDE NE Equipamiento v.1”, 2012, p.75.

¹⁷ Propuesta de Ignacio Zabalza Bribián incluida en su Tesis Doctoral “Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España”.

ante los cambios de temperatura exterior será conseguido con mayor facilidad cuanto menor sea su valor. Esto ayudará a conservar la temperatura interior, favoreciendo la climatización de los espacios interiores con la menor ayuda de sistemas activos, que, aunque tengan que estar presentes, necesitarán un consumo menor, consiguiendo así una mayor eficiencia energética.

Por otro lado, la inercia térmica de un material, definida como "*la capacidad de retener o ceder calor en el ciclo considerado*"¹⁸, también se trata de un concepto clave ya que, cuanto mayor sea su valor, mayor será su capacidad de acumular calor durante el día y liberarlo por la noche, facilitando variaciones térmicas más estables. Quizá éste pueda parecer un concepto más completo, sin embargo, su cálculo depende de variables que no se incluyen en este estudio, como el volumen de material utilizado, y que dificultan su comparación.

Por ello, buscando la posibilidad de comparar los materiales entre sí de un modo automático, se optará por valorar positivamente aquéllos con menor conductividad térmica, dejando la inercia para estudios más particularizados.

3.1.5 Máxima durabilidad con mínimo mantenimiento

La vida útil de los edificios suele ser prolongada, por lo que todos sus materiales habrían de ser lo más longevos posible. Según el GBCe, Green Building Council España, un material puede considerarse durable cuando su vida útil es, como mínimo, igual a la de la estructura¹⁹. Sin embargo, es igualmente significativo que su mantenimiento y limpieza se pueda llevar a cabo de la manera más natural posible, ya que las labores complicadas dificultarían el proceso, encareciendo su coste económico y medioambiental.

Para evitar ceses inesperados de la vida útil del material, o posibles mantenimientos o tratamientos añadidos, se deberá tener en cuenta la resistencia que éste tiene ante agentes externos como son el fuego, los disolventes orgánicos, la oxidación, el agua, la radiación solar, el desgaste... No obstante, cuantificar estas resistencias es una tarea compleja, por lo que la comparación entre materiales será algo más abstracta que la de otros parámetros.

3.1.6 Salubridad a lo largo de su vida útil

La preservación tanto de la salud humana como de la natural es un aspecto primordial a la hora de seleccionar

¹⁸ SERRA, Rafael y COCH, Helena, "Arquitectura y energía natural", Ed. UPC, Barcelona 1995, p.306.

¹⁹ "GEA VERDE NE Equipamiento v.1", 2012, p.159.

un material, no sólo por las posibles emisiones del material en sí, sino también por las que los procesos de extracción, producción y mantenimiento puedan acarrear.

Diversos factores podrán ser objeto de consideración, pero los que se exponen a continuación deberían ser evaluados inevitablemente en los diferentes materiales a comparar. Por un lado, primará comprobar la ausencia de contaminación, incluyendo la acústica, optando por utilizar materiales limpios, que no exongan riesgos a la salud. Por otro lado, se preferirá la exclusión de materiales electromagnéticos, radiactivos o que emitan radioactividad, dada su clara peligrosidad.

Este parámetro no podrá evaluarse cuantitativamente. Sin embargo, bastará con apreciar el no cumplimiento de alguno de los aspectos anteriormente mencionados, o la presencia de cualquier otro elemento, como la toxicidad, que pueda considerarse una amenaza contra la salud, para tener razones que justifiquen el descarte de ese material o la predilección por otro más saludable.

3.1.7 Mínimos residuos y correcta gestión de los mismos

Los residuos generados en la fase de extracción, producción, transporte o puesta en obra de un material deben ser gestionados de manera que puedan aprovecharse, ya que de otro modo tendrían que ser desechados. Hay que tener en cuenta que, ante un fragmento de material sin aparente utilidad, se debe optar en primer lugar por su reutilización y, en caso de no ser posible, por su reciclaje. Frente a la inviabilidad de las anteriores, se debería pensar en su incineración para aprovechar su energía de combustión y controlar las posibles emisiones que pueda conllevar, sin dejar cabida al abandono en vertederos. No obstante, se deberá haber previsto esta gestión en fase de proyecto, habiendo seleccionado antes materiales de alta calidad y un uso de embalajes mínimo, con la constante idea de perseguir la menor generación de residuos posible.

En cuanto a la fase de demolición, la técnica de derribo debe haberse escogido teniendo en cuenta la necesaria separación de los residuos ya que, aunque la mayoría de los generados en esta industria no representen un peligro notable, la recogida no selectiva dificulta o impide su aprovechamiento.

Así pues, tal y como se define en el II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición, el II PNRCD, una correcta gestión de estos residuos, conocidos como RCD, ha de comprender “*el conjunto de actividades encaminadas a dar a estos residuos el destino más adecuado, de acuerdo*

con sus características, para proteger la salud humana, los recursos naturales y el medio ambiente”²⁰.

3.1.8 Uso de materiales reciclados y capacidad de reciclaje

Como se ha visto en el parámetro anterior, el reciclaje es un proceso capaz de prolongar la vida útil de un material, en el momento en que la reutilización del mismo no tiene cabida. Por ello, será un valor añadido utilizar materiales reciclados o con posibilidad de ser reciclados, ya que, al conseguir un ciclo de vida más duradero, el coste de su fabricación, tanto económico como ambiental, se verá amortizado de algún modo. Por poner un ejemplo, el aluminio tiene una gran energía incorporada, pero su capacidad de reciclaje es infinita, lo que podrá compensar finalmente los recursos que se han necesitado para su fabricación. Esto se puede comparar en diversos materiales gracias a la tasa de reciclaje, que ofrece información sobre el comportamiento que presenta el material ante la posibilidad de ser reciclado.

Además, reciclando, se evitan los costes, el consumo de recursos y materias primas, y la emisión de CO₂ que acarrean las diferentes fases de producción de nuevos materiales que, aunque algunos de estos aspectos estén también presentes en el proceso de reciclaje, siempre serán muy inferiores a los primeros.

3.1.9 Materiales innovadores que ayudan a las estrategias de desarrollo sostenible

La preocupación por el desarrollo sostenible hace que día a día sean más quienes toman cuidadosas decisiones en distintos campos de la industria de la construcción. Sin embargo, en cuanto a materiales se refiere, no sólo se vigila su elección, sino que también se está innovando en su fabricación. Poco a poco se va haciendo más usual la aparición de materiales que promueven la salud hidrológica del lugar, que reducen el CO₂ atrapando el carbono de la atmósfera, que reducen el consumo de energía y de agua en la puesta en obra, o que tienen propiedades favorecedoras de cara a la sostenibilidad.

Este aspecto no puede tenerse en cuenta en todos los materiales, sino que habrá que valorarlo como positivo en aquellos que presenten alguna de estas características, tomándolo como un valor añadido al resto de propiedades sostenibles que puedan tener.

²⁰ Gobierno de España - Ministerio de Medio Ambiente, “II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (2008-2015)”, 2007, p.409.

El conjunto de los parámetros aquí expuestos permite la evaluación del material que corresponda, o la comparación entre varios de ellos. Un parámetro por sí solo, no puede determinar si un material es más o menos sostenible que otro, ya que, como se ha visto, otros aspectos pueden compensar la balanza. Por ello, se deberán estudiar todos y cada uno de ellos, buscando la suma más sostenible posible.

3.2 Materiales y características

La industria de la construcción presenta una gran infinidad de materiales que se pueden distinguir, en función de la necesidad que presenten de ser procesados o transformados antes de su puesta en obra, dentro de tres grandes grupos:

-Por un lado, se identifican los conocidos como NATURALES. Éstos sólo necesitan antes de su puesta en obra tratamientos de limpieza o de manipulación, pero nunca de transformación de la materia prima.

-Por otro lado, se encuentran aquellos materiales naturales que precisan una ligera transformación de la materia prima, como la conseguida con el aporte de temperatura en hornos. Sin embargo, este proceso no conlleva un importante consumo de energía por lo que, para simplificar este estudio, estos materiales de PRIMERA TRANSFORMACIÓN se considerarán dentro del primer grupo.

-Por último, los que se conocen como ARTIFICIALES precisan fases complejas de manufactura o transformación de la materia prima, siendo ésta mezclada o reaccionada con otras materias o productos. Estos materiales artificiales son los que hoy en día poseen mayor protagonismo en la construcción.

materiales de acabado		materiales de aislamiento	
NATURALES	ARTIFICIALES	NATURALES	ARTIFICIALES
Madera	Hormigón	Corcho	Poliestireno
Granito	Cemento	Aislante de celulosa	Polietileno
Caliza	Vidrio		Poliuretano
Arenisca	Acero	Lana de oveja	
Mármol	Aluminio		
Tierra	Cinc		
Ladrillo de tierra cocido [de 1º transf.]	Cobre		
	PVC		
Mortero de cal/yeso [de 1º transf.]			

[Tabla 3.1] Relación de materiales estudiados.

Dentro de este abanico de posibilidades, se ha decidido hacer una selección de aquéllos más representativos en la ejecución de envolventes en la arquitectura, considerando ejemplos generales de ambos grupos y presentando sus características en cada caso. Todos ellos se muestran en la tabla anterior [Tabla 3.1].

Los datos que se van a presentar para cada material han sido obtenidos de la base de datos del programa CES Selector²¹ y se han contrastado con la información facilitada por el Catálogo de elementos constructivos del CTE. Sin embargo, éstos podrían variar en función de los catálogos que se consulten. Por ello, y tal como se ha sugerido antes, sería oportuno que cada fabricante facilitase esta información a los compradores, mediante ecoetiquetas, y exponiendo los impactos que acarrea cada material en lo que lleva de ciclo de vida.

No obstante, más adelante se manifestarán resultados comparativos que permiten intuir qué materiales de construcción conllevarán los menores impactos. Pero para ello, se explicarán primero cada uno por separado.

3.2.1 Materiales de acabado

3.2.1.1 Madera

La madera [Tabla 3.2] es uno de los materiales más antiguos utilizados en la construcción, por lo que se dispone de una amplia y sólida base en técnicas y conocimientos relativos a la misma. Se trata de un material ligero, resistente, duradero, cómodo de trabajar, con belleza propia y, algo muy importante, renovable, siempre y cuando se utilicen las técnicas de silvicultura adecuadas.

	Materia prima renovable	Energía de Fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	C gestión de residuos
Madera Baja densidad	Sí sello FSC	0,50 2,00	0,05 0,24	5/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.
Madera Densidad media	Sí sello FSC	0,50 2,00	0,07 0,45	5/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.
Madera Alta densidad	Sí sello FSC	0,50 2,00	0,14 0,60	5/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.

[Tabla 3.2] Propiedades de la madera.

²¹ El programa CES Selector, es una aplicación de software para PC que ofrece un análisis avanzado de datos sobre materiales desarrollado por Granta Design Ltd. en colaboración con el Dpto. de Ingeniería de la Universidad de Cambridge. Los datos que en él aparecen cuentan con la licencia de otros proveedores líderes o son fruto de la investigación, recopilación y mantenimiento de un equipo de expertos. <http://www.grantadesign.com>

Las maderas que se encuentran en la naturaleza se pueden clasificar según su dureza, contemplando dos tipos. Si su origen son árboles de hoja caduca, la madera será dura, debido a su lento crecimiento, y presentará flexibilidad antes de estar ya seca, facilitando su manufactura. Si procede de árboles de hoja perenne, la madera será blanda, con baja densidad, y necesitará tratamientos químicos para aumentar su durabilidad y resistencia, lo que penará su sostenibilidad, aunque su transporte y manipulación será más fácil.

Es uno de los materiales más limpios y sanos que menos contamina. Se forma de manera natural y es capaz de estabilizar su humedad interna, actuando así como unidad de filtración de aire. No obstante, la madera no permite que los campos electromagnéticos la atraviesen, siendo los microorganismos que forman las moléculas de las resinas el único aspecto nocivo para la salud. Aun así, estos últimos no representan un grave problema.

Por otro lado, se puede comprobar que su energía de fabricación no es elevada, aunque puede subir cuanto más se procese el material. Es decir, en caso de generar tableros de madera contrachapada, por poner un ejemplo, la cifra podría subir de los 10 MJ/kg, por lo que estas opciones se descartan en este estudio.

Además, la sostenibilidad está presente en este material desde el momento en que absorbe dióxido de carbono para su propio crecimiento, superando dicha absorción a la emisión en las fases de fabricación y transporte, en el caso de que la madera sea local. Sin embargo, este balance se está viendo alterado. Por un lado, cuando la madera se importa de orígenes tropicales, el CO₂ emitido supera al absorbido. Por otro lado, cuando la tala no está controlada y supera sus posibilidades de regeneración, se pone en riesgo la continuidad de los bosques, llegando a su destrucción. De este modo, no sólo se está eliminando un “sumidero” de dióxido de carbono, sino que además se contribuye a aumentar la cantidad de gases de efecto invernadero durante la tala de estos árboles.

Cabe añadir que ya hay organizaciones preocupadas por esta catástrofe global. La más representativa es el FSC (Forest Stewardship Council²²), la cual promueve el consumo de maderas provenientes de fuentes controladas, evitando así la destrucción de los bosques y la pérdida de biodiversidad. Por ello, se deberían aceptar únicamente aquellas maderas que dispongan de su sello. Como alternativa al sello FSC, se deberán aprovechar maderas reutilizadas de una fuente conocida y

²² El FSC es una organización global, sin ánimo de lucro, dedicada a promover la gestión forestal responsable en todo el mundo.



[Fig 3.3]. Tradicional descenso de troncos en el Pirineo Aragonés. Navatas²³ en el río Cinca, 2013.

©jesusc12. Usuario en <http://www.flickr.com>.

sostenible o aquéllas producidas localmente para evitar consumos importantes de energía en su transporte [Fig 3.3].

El mantenimiento y reparación de la madera es clave para su longevidad, ya que está sujeta a su degradación biológica y fotoquímica. Es importante seleccionar maderas duraderas, conservar su valor de aislamiento y someterlas a un régimen de mantenimiento con tratamientos de aceites o resinas vegetales, para evitar hongos e insectos, evitando el uso de conservantes.

Por otro lado, la madera produce un residuo capaz de ser reutilizado, pudiendo pasar de un edificio a otro. En caso de no poder ser considerada su reutilización, su reciclaje será contemplado. De hecho, es habitual ver productos hechos con restos de madera, entre ellos el papel, los tableros de fibra, la madera contrachapada, los paneles laminados, los tableros de partículas... Aunque para la fabricación de éstos se precise un consumo de energía, siempre serán mejor opciones que la de desaprovechar el material.

3.2.1.2 Piedra

La piedra [Tabla 3.3] es el material tradicional con mayor historia, ya que comenzó su aprovechamiento en las cuevas, donde ya se apreciaban sus cualidades térmicas. Su posibilidad de reciclaje, su resistencia, su alta capacidad térmica, su belleza y su durabilidad la hacen ser una opción muy atractiva. Sin embargo, su sostenibilidad radica en

Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Granito	No 0,40 0,44	1,70 4,00	7,5/10	40 - 50 %	Reutiliz.
Caliza	No 0,18 0,20	1,20 2,20	7,5/10	40 - 50 %	Reutiliz.
Mármol	No 0,24 0,26	2,50 7,50	7,5/10	40 - 50 %	Reutiliz.
Arenisca	No 0,18 0,20	0,90 5,70	7,5/10	40 - 50 %	Reutiliz.

[Tabla 3.3] Propiedades de diferentes piedras.

²³ "La navata es una plataforma de troncos atados para ser conducidos flotando por el río. Fue, durante siglos, la manera de transportar los árboles, talados en los bosques del Pirineo aragonés, hasta las villas y ciudades situadas en el centro de la región o hasta Tortosa, cerca ya del mar. El viejo sistema de transporte fluvial de la madera dejó de utilizarse a mediados del siglo XX. En las últimas décadas vuelven a navegar navatas por el ríos Cinca y Gállego, pero sólo como parte del programa de actos de ciertas jornadas festivas o reivindicativas". PALLARUELO, Severino, "Navateros", Ed. Prames.

esta última, la durabilidad, ya que permite su reutilización, amortizando así su impacto en la fase de producción.

Sus existencias en la naturaleza son abundantes, pero limitadas. Algunos tipos de piedra son escasos y hay zonas donde la piedra carece de calidad para la construcción. Además, no es renovable, y debe considerarse el fuerte impacto que conllevan su producción y transporte, este último evitable, en cierto modo, utilizando piedra local, como la de Uncastillo o Calatorao en nuestro caso [Fig 3.4]. No obstante, en uso, es un material con muchas virtudes que precisa poco mantenimiento. Por ello, en la mayoría de los casos, es primordial asumir su reutilización, de manera que se amorticen todos los costes.

El concepto de reutilización en este caso, se ve reforzado por su máxima durabilidad, ya que esto permite que pase innumerables veces de un edificio a otro. Sin embargo, para que esto sea así, se debe cuidar su puesta en obra, de modo que un simple limpiado de la superficie prepare las piezas para su posterior uso. El problema viene cuando la piedra se reutiliza en la construcción de carreteras, mezclándose con otros materiales e impidiendo su posterior reciclaje.

Por último, es uno de los ejemplos de materiales tradicionales que no satisface totalmente los criterios de salud, en el sentido de que genera una gran cantidad de polvo en su producción. Además, alberga bacterias y otros microorganismos en su superficie. Pero no permite electromagnetismo ni radioactividad, que serían los aspectos más peligrosos.



[Fig 3.4]. Canteras de Piedra arenisca en Uncastillo.
<http://www.areamineral.com>

3.2.1.3 Tierra

La tierra [Tabla 3.4] quizá sea el material de cerramiento más antiguo utilizado, lo cual ha permitido que numerosas culturas hayan ido innovando su técnica constructiva. Está siempre disponible en cantidades abundantes y además es renovable. Teniendo una energía incorporada escasa, puede ofrecer una gran durabilidad, dureza y resistencia si se trabaja bien su grado de compresión y se consigue la máxima

Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Tierra	Si 0,02 0,03	0,52 1,10	6,5/10	-	No residuos

[Tabla 3.4] Propiedades de la tierra.

adherencia entre partículas de tierra, pudiendo alcanzar las del hormigón.

Sus componentes básicos son piedras en pedazos de diferentes granulometrías, arcilla y agua, descartando los materiales orgánicos que puedan encontrarse. La arcilla constituye el ingrediente activo ya que, su presencia, determina la consistencia de la tierra, agrietándose al secar si está en un alto porcentaje, o desmenuzándose si se presenta en pocas cantidades.

Las construcciones en tierra no dejan residuo, ya que desaparecen con el tiempo. Es el material de construcción más abundante, hallándose en el mismo lugar de la obra, al excavar los cimientos o limpiar el solar. Por ello, son edificios que crecen *in situ*, con lo que los costes del transporte que conllevan son mínimos, así como los del procesamiento. Además, es fácil de reparar, aunque conociendo la técnica de construcción, se puede garantizar la durabilidad de los muros y minimizar las labores de mantenimiento.

Así pues, el impacto medioambiental que ocasiona la tierra como material es casi nulo. Las técnicas de extracción son fáciles, y el ruido que produce la excavación es mínimo, a menos que se trate de una gran excavación en la que participen maquinarias pesadas. Además, no contiene contaminantes, aunque puede contener polvo y microorganismos.

No destaca como aislante térmico, propiedad que varía según su grado de humedad y su densidad. Sin embargo, conserva muy bien la energía, con lo que, gracias a su inercia térmica, supone un buen acumulador de calor. Además, es capaz de regular la humedad interna, evitando condensaciones, y de eliminar el aire contaminado. Por otro lado, presenta unas buenas propiedades acústicas, no permite la radioactividad, ni el electromagnetismo.

3.2.1.4 Ladrillo de tierra cocido

El ladrillo de tierra cocido [Tabla 3.5] es una pieza de construcción que se obtiene a partir de una mezcla de arcilla y arena, normalmente extraídas ambas de canteras próximas, cocida a altas temperaturas. Otros elementos que puede contener, como hierro, magnesio, carbonato cálcico y varias sales, le otorgan su color característico, además de determinar su comportamiento frente a la cocción y al desgaste. El ladrillo como material proporciona destacables propiedades térmicas y es posible su reutilización y su reciclaje.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Ladrillo de tierra cocido	No	1,88 2,07	0,04 1,40	7/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.

[Tabla 3.5] Propiedades del ladrillo de tierra cocido.

Los ladrillos conservan las propiedades de la tierra sin hornear pero llevan consigo un coste energético mayor, ya que la cocción a altas temperaturas implica un consumo de combustible considerable y, a su vez, produce una emisión de contaminantes igualmente importante. La arcilla que se precisa es abundante pero no renovable, y su extracción puede ser perjudicial. Por todo ello, se deberá cuidar la procedencia de los componentes para su fabricación, buscando obtener ladrillos de la mejor calidad, con buena resistencia al desgaste, a los ácidos y a los alcalinos.

Por ello, también se deberían minimizar los costes relacionados con el transporte entre las canteras y la planta de producción. Por ejemplo, Ignacio Zabalza considera necesario el aprovechamiento de la arcilla de pasta roja de las provincias de Teruel y Castellón en detrimento de las arcillas de pasta blanca que se importan de países lejanos consiguiendo así una importante reducción de la energía incorporada²⁵ [Fig 3.5].

De este modo, suponiendo la gran durabilidad de los ladrillos, se debería siempre cuidar su puesta en obra para que sea posible su reutilización, o su reciclado nuevamente en cerámica, de manera que se vieran satisfechos los costes de su producción.

Por último, cabe destacar que las paredes de ladrillo son ideales como almacenamientos térmicos. Por ello, tradicionalmente, la chimenea de las casas siempre se construía de ladrillo, de manera que ésta actuara como radiador de almacenamiento. Además, durante su uso, no emite contaminantes, a menos que se produzca polvo por erosión. Tampoco emite radiación peligrosa ni campos electromagnéticos.

3.2.1.5 Morteros de cal y yeso

Los morteros [Tabla 3.6] son materiales aglomerantes formados a partir de la mezcla plástica de un conglomerante –que puede ser cal, yeso o cemento–, arena y agua. Su



[Fig 3.5]. Área Natural "Las Arcillas", Teruel.
Fotografía de Carlos Ávila extraída del catálogo LIFE+Teruel.
Archivo Ayuntamiento de Teruel.
<http://life.teruel.es>

²⁵ Propuesta de Ignacio Zabalza Bibrián incluida en su Tesis Doctoral "Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España", p.201.

finalidad suele limitarse a revestimientos o a la unión entre piedras o ladrillos. En función del conglomerante que incluyan, los morteros tendrán diferentes características.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Mortero de cal	No	0,80 1,40	1,30 1,80	6,5/10	0 %	-
Mortero de yeso	No	2,90 4,50	0,40 0,80	5/10	0 %	-

[Tabla 3.6] Propiedades de los morteros de cal y yeso.

El mortero de cal, se trata de un mortero flexible, resistente y de fácil aplicación gracias a su lenta velocidad de fraguado, aunque su característica más importante quizá sea su permeabilidad al vapor de agua, que posibilita la transpiración de los edificios. Su energía de fabricación corresponde principalmente al proceso de calcinación de la piedra caliza, que se apaga después hidratándola con agua. El polvo, o pasta, resultante se conoce como cal, y variará sus propiedades en función de la pureza de la roca inicial. A pesar de este proceso, la energía de fabricación no es muy elevada y, en cuanto a la emisión del CO₂ de la fase de quemado, es durante el fraguado cuando el material necesita reabsorber CO₂ de la atmósfera. Como punto a destacar, se podría decir que si se utiliza como mortero en muros de ladrillo o bloques, sus características permiten la recuperación de éstos para ser reutilizados.

Por otro lado, el mortero de yeso no es tan resistente como los demás, entre otras cosas por su vulnerabilidad ante la absorción de agua, pero tiene la virtud de endurecer rápido. En cuanto a la energía de fabricación, de nuevo es la fase de cocción la más importante, en este caso del mineral de yeso, aunque previamente se precisa un procesamiento, molido y aplastamiento de la materia prima que hace crecer esta cifra.

Por último, cabe citar en estas líneas al mortero de cemento, el cual se expondrá más adelante en la sección relativa al cemento, una vez vistas las características propias de su conglomerante.

3.2.1.6 Vidrio

El vidrio [Tabla 3.7] es un material de gran dureza y fragilidad con una antigua tradición, en uso desde hace unos 4000 mil años, que se obtiene a partir de la mezcla a 1500 °C de la combinación de arena de sílice, carbonato de sodio y

caliza. Su uso en los edificios supone una pequeña proporción del total en comparación con otros materiales, por lo que, su gran cantidad de energía incorporada y de emisiones se compensa con creces gracias a los beneficios de su uso, tanto lumínicos como térmicos.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Vidrio	No	58,40 64,60	1,40 1,56	9,5/10	30 - 60 %	Reciclab.

[Tabla 3.7] Propiedades del vidrio.

Su larga historia, permite saber que la fórmula puede ser ligeramente modificable según las características finales que se busquen, aunque el cambio puede desmejorar su sostenibilidad.

En uso no contamina y es uno de los materiales más fáciles de mantener limpio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que sus materias primas proceden de reservas limitadas y que se precisa un alto nivel de energía para su producción, ya que el horno ha de alcanzar temperaturas muy elevadas, aunque para generar superficies planas tan sólo se necesita el efecto de la gravedad y de la tensión superficial.

Por todo lo expuesto anteriormente, es imprescindible considerar su reciclaje, aunque, en la actualidad, sólo una pequeña parte de él se recicla.

3.2.1.7 Cemento

El cemento [Tabla 3.8] es un material conglomerante que, al mezclarse con agua, tiene la propiedad de fraguar y endurecerse. No se trata de un material de construcción en sí, sino que es la base para la producción de morteros y hormigones, y será por la comprensión de estos últimos por los que se estudian sus características. Su buena resistencia al agua le permite conservar su fuerza y estabilidad en aplicaciones exteriores tras su endurecimiento.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Cemento	No	7,70 8,51	0,80 0,90	7,5/10	5 - 10 %	Reciclab.
Mortero de cemento	No	1,33 2,00	1,40 1,80	7,5/10	0 %	-

[Tabla 3.8] Propiedades del cemento.

La palabra cemento hace referencia a todo aquel material conglomerante que incluya cal entre sus compuestos. Sin embargo, el cemento más conocido en Europa es el cemento Portland. Éste se obtiene a partir de la piedra caliza, que se desintegra y se muele con silicatos, de arena, arcilla o ceniza volátil, y pequeñas cantidades de minerales, de hierro o aluminio. Todo el material molido, es quemado a temperaturas muy altas, de hasta unos 1500 °C, para que todos los materiales se combinen pero no se lleguen a fundir. El material resultante es el Clinker, el principal componente del cemento Portland, al que se le añade yeso para mejorar sus características. Las proporciones de esta mezcla de componentes determinan las propiedades del cemento, que ha de hidratarse posteriormente con agua para su puesta en obra.

Como se puede apreciar, la producción del cemento produce un importante impacto. El proceso de quemado requiere altas temperaturas y un gran consumo de energía, sin olvidar que las reacciones químicas que suceden en el horno emiten dióxido de carbono. Todo esto depende de la calidad del horno y del tipo de combustible utilizado, pero las cifras aproximadas rondan el 1,1 kg de CO₂ por cada kilogramo de cemento²⁶. No obstante, existe la posibilidad de disminuir ligeramente su impacto, fabricándolo a partir de un Clinker en el que los combustibles fósiles sean parcialmente sustituidos por residuos procedentes de otras actividades.

Con todo ello, no es posible calcular el impacto exacto que su producción supone, pero se intuye que tiene un alto coste, tan sólo cabe pretender minimizar su aplicación y buscar otras alternativas.

Ante el interés de compararlo con las otras alternativas más adelante, se han querido plasmar igualmente los datos relativos al mortero de cemento. Se debe entender que, en el caso de la energía de fabricación, cabría sumar los datos previos correspondientes a la obtención del cemento necesario ya que, como ocurre en el resto de morteros, se precisa la mezcla del conglomerante con arena y agua. En este caso, se podría decir que el mortero de cemento goza de una gran resistencia, pero ésta se ve truncada ante su falta de flexibilidad, pudiendo agrietarse fácilmente.

²⁶ HERNÁNDEZ PEZZI, Carlos. "Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible", Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2007, p.131.

3.2.1.8 Hormigón

El hormigón [Tabla 3.9] es un material que se obtiene a partir de la mezcla de un conglomerante, generalmente cemento, con áridos y agua. Su fabricación es a lo que se destina la mayor parte de la producción de cemento Portland, mezclándose éste, con agua, arena y grava, piedra machacada u otro árido. El transporte de todos sus componentes genera el mayor impacto medioambiental y habría que sumarlo a los correspondientes al hormigón.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Hormigón	No	1,05 1,16	0,70 2,60	7,5/10	5 - 10 %	Reutiliz. Reciclab.

[Tabla 3.9] Propiedades del hormigón.

Además, se deben considerar los impactos que producen cada uno de sus componentes, como el impacto sobre el medio local que produce la extracción de los que son no renovables y la energía adicional necesaria para triturar la piedra machacada. Éstos podrían evitarse utilizando residuos industriales o áridos reciclados o reutilizados en su lugar.

En cuanto a las emisiones de CO₂, la fase de mayor gravedad resulta corresponder a la de producción del cemento. Para evitarla en cierta medida, se puede sustituir un 15-35% del cemento por ceniza volátil²⁷, disminuyendo así el impacto.

Es un material con gran compacidad y con muy buena respuesta ante las tensiones de compresión. En caso de alojar armaduras de acero para garantizar la respuesta ante las tensiones de tracción, éstas se ven protegidas frente a la corrosión gracias al hormigón que las recubre.

Por último, cabe mencionar que, en ocasiones, puede precisarse el empleo de aditivos, para mejorar o modificar algunas de sus propiedades, que suelen tratarse de sustancias químicas y, en la mayoría de los casos, son muy contaminantes. Se debe valorar si el impacto de su uso se ve satisfecho con las mejorías que se consiguen en las características del material.

²⁷ HERNÁNDEZ PEZZI, Carlos. "Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible", Ed. Gustavo Gili, Barcelona 2007, p.132.

3.2.1.9 Metales

Los metales [Tabla 3.10] se obtienen a través de la minería. El proceso de extracción altera el entorno tanto física como medioambientalmente, ya que se requieren grandes cantidades de energía y se ocasionan emisiones tóxicas durante el mismo. Limitar las extracciones de los diferentes minerales, haría que se priorizara el reciclaje de los metales, consiguiendo así satisfacer su condición de no renovables y compensar los altos costes de su producción.

Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Acero	No 23,40 25,80	45,00 55,00	8/10	80 - 90 %	Reciclab.
Aluminio	No 184,00 203,00	80,00 220,00	7,5/10	80 - 90 %	Reciclab.
Cobre	No 63,00 69,70	147,00 370,00	9/10	80 - 90 %	Reciclab.
Cinc	No 46,80 51,70	100,00 125,00	7/10	70 - 80 %	Reciclab.

[Tabla 3.10] Propiedades de diferentes metales.

Acero:

El acero es el metal más utilizado en construcción. Se trata de una aleación de hierro y carbono. Como otros metales, tanto su transporte como su producción necesita mucha energía, pero su reciclaje no es tan fácil como los demás, aunque, aun así, es habitual. No resiste a la corrosión, por lo que necesita tratamientos con pintura o revestimientos, que resultan ocasionar un fuerte impacto.

Aluminio:

El aluminio es un metal ligero que se obtiene por electrólisis a partir de la bauxita. Es un proceso con gran impacto medioambiental, ya que se precisa un gran consumo de energía para llevarlo a cabo. No obstante, posee durabilidad y resistencia a la corrosión y, dado que su reciclaje sólo consume un 5% de la energía necesaria para la producción, conviene siempre considerarlo, ya que parece ser el material de construcción con mayor posibilidad de reciclaje.

Cobre:

El cobre es un metal muy denso que se obtiene a partir de minerales oxidados o sulfurados, entre estos últimos la calcopirita, la calcosina y la bornita. Es duradero, resistente a la corrosión y tiene facilidad de reciclaje. Sus propiedades

biocidas hacen que su uso sea adecuado para exteriores, aunque puede ocasionar escorrentías tóxicas.

Cinc:

El cinc es un metal que, en vez de utilizarse por sí solo, se utiliza generalmente como recubrimiento de otros metales, mediante un proceso de galvanización que permite prolongar la vida útil de los mismos, de modo que ambos quedan ligados, dificultando así su reciclaje. No obstante, el cinc también se utiliza en forma de láminas, representando una alternativa menos tóxica que el cobre.

3.2.1.10 PVC

El policloruro de vinilo [Tabla 3.11], más conocido como PVC, es uno de los plásticos más versátiles y antiguos que existen. Es un polímero que se obtiene a partir del cloruro de sodio y del petróleo a través de varias reacciones y descomposiciones. Su producción conlleva grandes impactos, sobre todo en la fase intermedia de obtención del cloruro de vinilo, ya que se precisan grandes cantidades de petróleo.

Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes extremos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
PVC	No 121,00	66,50 0,39	0,15	7,5/10	9 - 55 % Reciclab.

[Tabla 3.11] Propiedades del PVC.

La resina obtenida en su producción puede generar tanto productos rígidos como flexibles, gracias a la adición de estabilizantes o plastificantes, por lo que se considera altamente versátil. Sin embargo, los altos impactos energéticos y ambientales, las emisiones tóxicas producidas en su fabricación y su baja posibilidad de reciclaje, si se pretende mantener la calidad del producto, hacen verlo como un material a sustituir, optando por otros que conlleven menos desventajas a lo largo de su vida útil.

3.2.2 Materiales de aislamiento

3.2.2.1 Aislantes sintéticos

Continuando con la industria de los plásticos, se explican ahora los aislantes de origen sintético [Tabla 3.12]. Éstos se conocen como polímeros y derivan de la industria del petróleo gracias a una serie de procesos químicos. Son productos diseñados específicamente para su aplicación, presentando impermeabilidad, flexibilidad y bajo coste económico, lo cual

puede explicar que los materiales aislantes tradicionales hayan quedado relegados a un segundo plano.

Sin embargo, su coste ambiental es significativo, teniendo en cuenta el elevado consumo energético y las emisiones que conlleva su fabricación, y su naturaleza no biodegradable supone un problema a largo plazo, ya que presentan una difícil eliminación. Su reciclaje sólo es posible en algunos casos, quedando exentas de ello grandes cantidades de residuos generadas en el proceso de fabricación. Además, si se degradan o destruyen por agentes externos, como el fuego, los productos resultantes presentan una importante toxicidad.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Poliestireno	No	105,00 116,00	0,03 0,04	5,5/10	10 - 20 %	Reciclab.
Polietileno	No	113,00 125,00	0,04 0,06	6/10	10 - 50 %	Reciclab.
Poliuretano	No	122,00 134,00	0,02 0,03	6/10	0%	-

[Tabla 3.12] Propiedades de diferentes aislantes sintéticos.

Poliestireno:

La espuma de poliestireno es el material más utilizado en construcción, dentro de la categoría de materiales sintéticos. Es un aislante que resiste altamente ante agentes meteorológicos y el envejecimiento. Se presenta de dos formas, conocidas como EPS y XPS, correspondiendo dichas siglas al poliestireno expandido y al poliestireno extruido, respectivamente. En su producción, además de que se utiliza un disolvente tóxico, las emisiones que genera incluyen una larga lista de compuestos químicos, entre los cuales destaca el estireno.

Polietileno:

El polietileno es un termoplástico que se obtiene a partir de procesos de alta temperatura y alta presión. Es un buen material aislante, flexible, que no reacciona con agua ni ácidos. Este tipo de materiales, no son degradables, ni por agentes meteorológicos ni por bacterias.

Poliuretano:

El poliuretano es un material con una gran capacidad aislante y con un óptimo comportamiento ante la humedad ambiental. Sin embargo, su alto grado de combustión, lo convierte en un material vulnerable, que hace plantear su sustitución por otros de características ignífugas.

3.2.2.2 Corcho

El corcho [Tabla 3.13] es un material natural con gran capacidad de aislamiento térmico, que se obtiene a partir del tronco del alcornoque. Su extracción es muy respetuosa con el entorno y con el propio árbol, ya que no se precisa su tala. Sólo se le quita la corteza al tronco cada diez años, especialmente en los meses estivales, permitiendo su renovación y generando un bajo impacto. Este proceso empieza a los 25 años de vida del árbol y finaliza a sus 200 años.

Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Corcho sello FSC	Si 31,50	28,50 0,04 0,05	6,5/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.

[Tabla 3.13] Propiedades del corcho.

Cuando es recolectado, el corcho se almacena, generalmente, durante dos años, para conseguir que se estabilice y que pueda ser tratado. Su fabricación permite aprovechar al máximo los posibles residuos que se generan en las diferentes fases, ya sea como leña o combustible, o como base para la generación de distintos aglomerados y aislamientos térmicos, tras ser limpiados y triturados los restos. Por ello, aunque la energía incorporada sea ligeramente notable, se está hablando de un material con una vida útil prácticamente ilimitada, amortizando así sus costes. La gestión de los bosques de alcornoques conlleva notables beneficios ambientales. Entre otros aspectos, estos árboles frenan la desertización gracias a su fuerte anclaje al terreno y a la protección que le ofrecen frente a la erosión provocada por las fuertes lluvias. Además, el CO₂ que retiene el corcho a lo largo de toda su vida útil ayuda a frenar el cambio climático, y su biodegradación favorece que sea fácilmente eliminado.

Por último, cabe destacar que España es el segundo mayor país productor de corcho, después de Portugal, lo que le otorga el carácter local al material.

3.2.2.3 Aislante con base de celulosa

Otro material aislante natural es el formado a base de celulosa [Tabla 3.14]. Aproximadamente, el 75% de este aislante está compuesto de papel reciclado triturado, combinándose con sales bóricas naturales u otros aditivos para mejorar su resistencia al fuego y a los hongos. Tiene unas excelentes propiedades térmicas y, a diferencia de los aislantes sintéticos, su energía de fabricación es reducida y su reciclaje

es posible. No obstante, se debe cuidar y prever su protección ya que no presenta una buena resistencia ante agentes externos.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad Térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Aislamiento de celulosa sello FSC	Sí	32,00 35,40	0,03 0,04	3/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.

[Tabla 3.14] Propiedades del aislamiento de celulosa.

El aislamiento de celulosa se presenta como capa homogénea, estanca al viento pero permitiendo su transpiración. Además, proporciona unas buenas propiedades acústicas.

3.2.2.4 Lana de oveja

Dentro de los aislantes naturales, se encuentra la lana de oveja [Tabla 3.15]. Es un material tradicional, que se ha venido utilizando a lo largo de la historia por todas las civilizaciones gracias a sus buenas cualidades aislantes. Hoy en día, se ve más como un “residuo” que como un material aprovechable, debido a la falta de empresas que la administren con tal. Sin embargo, su gestión y tratamiento permitiría su aprovechamiento convirtiéndola en una materia prima barata y abundante.

	Materia prima renovable	Energía de fabricación [MJ/kg]	Conductividad Térmica [W/mK]	Resistencia a agentes externos	Tasa de reciclaje	Gestión de residuos
Lana de oveja	Sí	16,10 17,70	0,03 0,04	6,5/10	40 - 50 %	Reutiliz. Reciclab.

[Tabla 3.15] Propiedades de la lana de oveja.

Para su puesta en obra como aislamiento térmico, se debe tratar la lana con sal de bórax, con la intención de aumentar su durabilidad y resistencia al fuego. Del mismo modo, se deberán prevenir los ataques de insectos, polillas...

El impacto producido por la fabricación de lana procedente de oveja es difícil de calcular, ya que influyen factores muy diversos, incluyendo la creación de cobertizos. No obstante, la oveja no solo se cría para la obtención de su lana, por lo que, considerándose ahora un residuo, su aprovechamiento podría verse como una ventaja.

3.3 Evaluación de parámetros en materiales

Una vez expuesto cada material por separado, se va a comprobar cómo responde cada uno a los parámetros expuestos anteriormente. No habrá ninguno que exactamente presente las mejores respuestas ante todos ellos, pero sí que puede generarse una idea global de cuáles son aquéllos que mejor se adaptan a estas propuestas sostenibles.

Para ello, se detallan a continuación los parámetros presentados anteriormente, creando una comparativa entre los materiales estudiados. Para clarificar los resultados, se diferenciará entre materiales de acabado y materiales de aislamiento, de modo que se podrá generar una comparación más directa.

Materias primas de origen renovable:

Como se ha expuesto con anterioridad, se valorarán positivamente aquellos materiales que procedan de recursos renovables. Los estudiados responden al parámetro de esta manera [Tabla 3.16]:

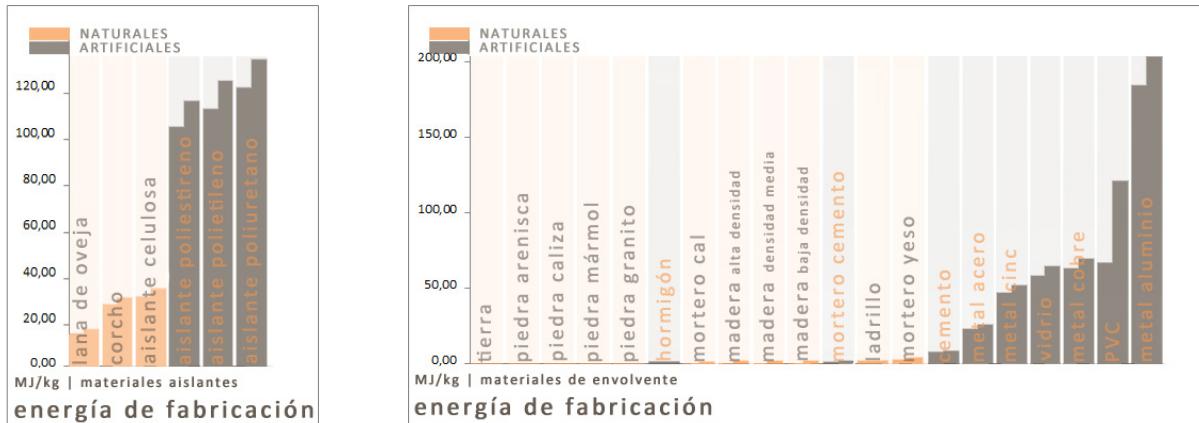
materiales de acabado		materiales de aislamiento	
RENOVABLES	NO renovables	RENOVABLES	NO renovables
Madera	Piedra	Corcho	Aislantes sintéticos
Tierra	Ladrillo de tierra cocida	Aisl. de celulosa	
	Morteros yeso/cal	Lana de oveja	
	Vidrio		
	Cemento		
	Mortero cemento		
	Hormigón		
	Metales		
	PVC		

Se puede comprobar que el abanico de materiales de origen renovable no es muy amplio. De hecho, únicamente una parte de los materiales naturales gozan de esta característica, quedando exentos de ella todos los artificiales, tanto si consideramos los materiales de acabado, como los aislantes. Por ello, en este caso, serán los materiales naturales los que serán valorados positivamente, ganando sostenibilidad sobre los artificiales.

[Tabla 3.16] Relación de materiales estudiados en función del origen de su materia prima.

Baja energía incorporada:

En cuanto a la energía incorporada, se va a estudiar la energía de fabricación, ya que la utilizada en el resto de fases depende de factores externos y se debe hacer un seguimiento del material en todo su ciclo de vida para hacer una aproximación.



[Fig 3.6] Energía de fabricación de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia. Datos obtenidos en el programa CES Selector.

Como se observa en la gráfica [Fig 3.6], los materiales de acabado naturales se sitúan en los primeros puestos con llevando la menor energía de fabricación. Entre ellos, parece colarse el hormigón y el mortero de cemento. Sin embargo, esto no es del todo correcto, ya que para su producción se precisa previamente la fabricación del cemento que incorporan, material con una energía embebida mayor que la de los materiales naturales. Por otro lado, cabe destacar la diferencia abismal que presentan los primeros materiales respecto a los últimos en la gráfica, llegando el aluminio a suponer 200 veces la energía de fabricación de la tierra o la piedra.

Si se comentan los materiales aislantes, sucede algo similar a lo anterior. En este caso, los materiales sintéticos triplican la energía de fabricación que suponen los naturales.

Por todo lo expuesto en este análisis, los materiales naturales se anteponen a los artificiales, en cuanto a energía incorporada, ganando otro punto en sostenibilidad.

Uso de materiales locales:

Dado que este parámetro varía según el caso, independientemente del material que se esté valorando, no podrá evaluarse de un modo general. Por ello, no podrá tenerse en cuenta en este estudio.

No obstante, se va a presentar un mapa esquemático [Fig 3.7] que ilustre las distancias que recorren distintos materiales para llegar a Zaragoza. En este caso, se han representado los materiales naturales, ya que el lugar de extracción y de procesado generalmente coincide. Sin embargo,

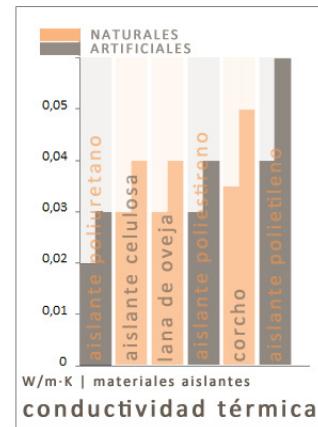
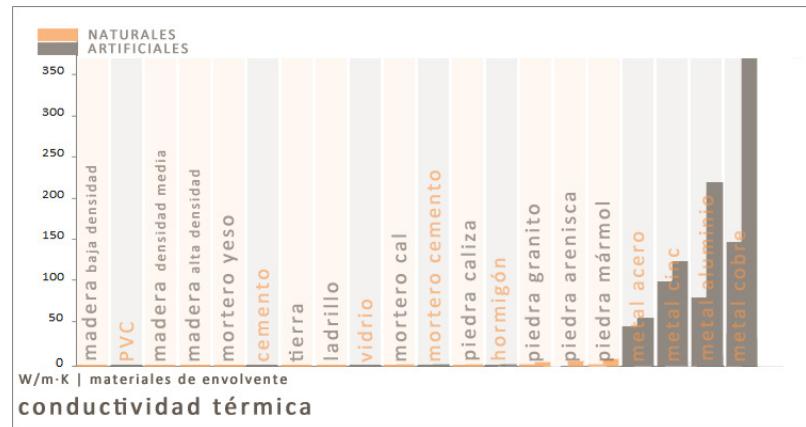
los artificiales incluyen diversas materias primas en su elaboración y es muy difícil conocer el recorrido que hace cada una de ellas hasta la fábrica y posteriormente a Zaragoza.



[Fig 3.7] Mapa de recorridos de distintas materias primas de origen natural. Elaboración propia.

Conductividad térmica:

En el caso de la conductividad térmica, como se muestra en la gráfica [Fig 3.8], la gran mayoría de los materiales de acabado se comportan de un modo similar, a excepción de los metales que se quedan muy por detrás del resto con una cifra notablemente distanciada.



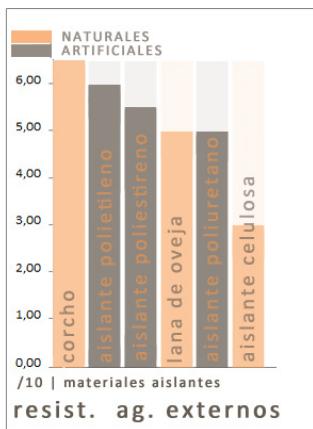
[Fig 3.8] Conductividad térmica de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia. Datos obtenidos en el programa CES Selector.

Si son los aislantes el motivo de estudio, se puede comprobar que los naturales presentan las mismas buenas características ante los cambios térmicos que los materiales sintéticos, por lo que en este aspecto se pueden escoger los naturales sin miedo a que su respuesta térmica no sea la adecuada.

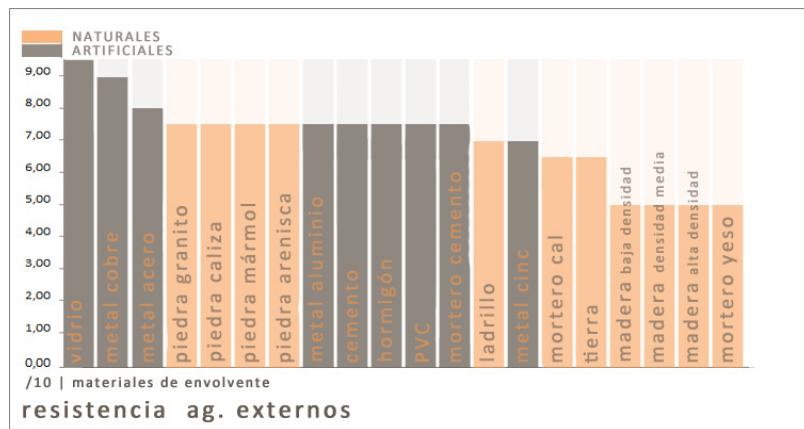
No obstante, este análisis no será definitivo, ya que ambos grupos presentan una respuesta térmica similar, por lo que no favorecerá a ninguno de ellos en la comparativa que se está desarrollando.

Máxima durabilidad con mínimo mantenimiento:

Para valorar la durabilidad de los materiales, se evaluarán sus resistencias ante diferentes agentes externos. No se puede considerar un valor exacto, ya que se ha obtenido a través de una serie de estimaciones no numéricas que han tenido en cuenta la resistencia ante la inflamabilidad, los disolventes orgánicos, la oxidación, el agua dulce, el agua salada, los ácidos, los alcalinos, los rayos UV y el desgaste. Sin embargo, permite generar una idea aproximada de la respuesta de cada material en comparación con el resto.



[Fig 3.9] Resistencia a agentes externos de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia. Datos obtenidos en el programa CES Selector.



Contemplando la gráfica [Fig 3.9], refiriéndonos a los materiales de acabado, sobresalen en primer lugar algunos de naturaleza artificial. Sin embargo, si se echa un vistazo a la gráfica en general, se puede apreciar que tanto éstos como los naturales aparecen entremezclados, presentando características similares, quedando las maderas sin tratar a la cola.

En cuanto a los aislantes, poco puede diferenciarse de nuevo entre los artificiales y los naturales, viendo cómo se comportan cada uno de ellos sin agruparse según su naturaleza.

Por ello, este análisis tampoco será definitivo para ninguno de los grupos, sino que únicamente podría ayudar a comparar un material con otro y a demostrar que los naturales pueden tener las mismas aptitudes que los artificiales.

Salubridad a lo largo de su vida útil:

Muchos factores pueden interferir en la salubridad de un material, de modo que todo aquello que pueda presentar un riesgo para la salud, tanto humana como ambiental, se deberá tener en cuenta. No obstante, en este estudio se considerarán aspectos de carácter general que puedan forjar una imagen de cada material para compararlos entre sí. Además, se añadirán cuestiones que puedan ayudar a mejorar la salud medioambiental. Así, los impactos considerados se

plasman en las siguientes tablas.

Por un lado, se puede comprobar que tanto materiales de acabado naturales como artificiales presentan problemas para la salubridad. [Tabla 3.17] ¿Cuál es la diferencia entre ellos? Parece que los naturales presentan impactos de mucha menor gravedad, incluyendo la presencia de microorganismos o la producción de polvo, ya que dichos impactos no suponen riesgos importantes para la salud. Sin embargo, los artificiales incluyen emisiones tóxicas –como los ftalatos en el caso del PVC–, abundante CO₂ o componentes contaminantes –como los metales pesados en el caso del hormigón–, impactos que superan con creces a los correspondientes a los naturales.

Materiales de acabado	Aspecto que ayuda a la sostenibilidad	Possible presencia de bacterias o microorganismos	Producción de polvo en alguna de sus fases	Acumulación de electricidad estática	Emissions tóxicas en alguna de sus fases	Emissions abundantes de CO ₂ en producción	Componentes o aditivos contaminantes
Madera	Retiene CO ₂						
Piedra							
Tierra							
Ladrillo h.c.							
Mort. yeso							
Mort. cal							
Cemento							
M. cemento							
Hormigón							
Vidrio							
Metales							
PVC							
Materiales aislamiento	Aspecto que ayuda a la sostenibilidad	Possible presencia de bacterias o microorganismos	Producción de polvo en alguna de sus fases	Acumulación de electricidad estática	Emissions tóxicas en alguna de sus fases	Emissions abundantes de CO ₂ en producción	Componentes o aditivos contaminantes
Sintéticos							
Corcho	Retiene CO ₂						
Celulosa							
Lana oveja							

[Tabla 3.17] Relación de materiales de acabado estudiados en función de su salubridad.

[Tabla 3.18] Relación de materiales de aislamiento estudiados en función de su salubridad.

Por otro lado, con los materiales aislantes [Tabla 3.18] sucede algo similar, siendo los naturales los que menor riesgo suponen para la salud.

De este modo, se puede decir que serán los materiales naturales los que sean preferibles ante los artificiales, considerando su respeto por la salud humana y natural y ganando así otro punto en la comparativa entre ambos grupos.

Mínimos residuos y correcta gestión de los mismos:

Para favorecer la sostenibilidad, la gestión de los residuos de los materiales debe ser estudiada y pensada en la fase proyectual. Los aspectos a valorar serán los expuestos en las siguientes tablas, considerando positivos aquellos que se sitúen más a la izquierda. Es decir, el orden de preferencia será el llevado en estas tablas.

materiales de acabado			
SIN RESIDUOS	REUTILIZABLE Y RECICLABLE	RECICLABLE	NO reutilizable NO reciclablE
Tierra	Madera Piedra Ladrillo de tierra cocida Hormigón	Vidrio Cemento Metales PVC	Mortero cal Mortero yeso Mortero cemento

[Tabla 3.19] Relación de materiales de acabado estudiados en función de sus residuos.

Como se puede ver en la tabla [Tabla 3.19], la gran mayoría de los materiales de acabado estudiados pueden reutilizarse o reciclarse, independientemente de su naturaleza, a excepción de los morteros que no contemplan su reaprovechamiento. Bien es cierto que, a excepción del hormigón, los materiales artificiales únicamente pueden reciclarse, sin dar opción a su reutilización. Por otro lado, todos los materiales naturales ofrecen ambas posibilidades a excepción de los morteros de cal o yeso.

materiales de aislamiento			
SIN RESIDUOS	REUTILIZABLE Y RECICLABLE	RECICLABLE	NO reutilizable NO reciclablE
	Corcho Aislante celulosa Lana de oveja	Poliestireno Polietileno	Poliuretano

[Tabla 3.20] Relación de materiales de aislamiento estudiados en función de sus residuos.

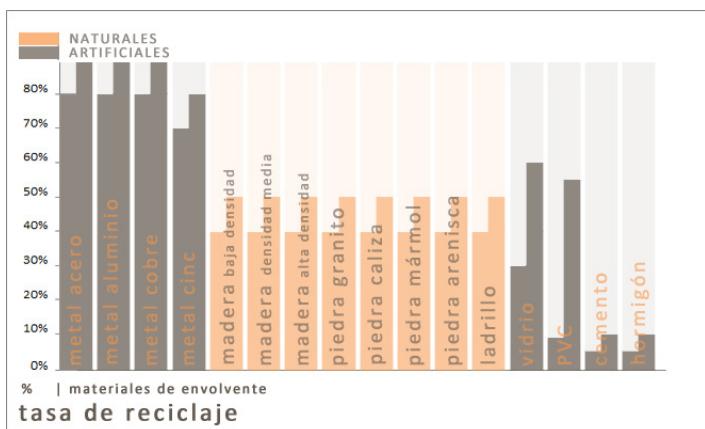
En el caso de los materiales de aislamiento [Tabla 3.20], existe una clara diferencia entre naturales y artificiales, siendo los primeros mucho más versátiles a la hora de ser gestionados como residuos. Los aislantes sintéticos únicamente permiten su reciclaje en ocasiones, presentando incluso ejemplos que imposibilitan tanto su reutilización como su reciclaje, dejando como única solución su incineración que debe ser controlada

por las sustancias tóxicas que pueden emitir.

Por todo ello, en el caso de los aislantes, los naturales nuevamente se anteponen a los artificiales. En el caso de los materiales de acabado, la diferencia no es tan grande, pero parece que son también los naturales los que presentan mejores condiciones que sus opuestos.

Uso de materiales reciclados y capacidad de reciclaje:

Relacionado con el análisis anterior, se presenta este parámetro estudiado a través de la tasa de reciclaje. Ésta muestra las posibilidades que ofrece el material a ser reciclado sin variar notablemente su aspecto y propiedades.



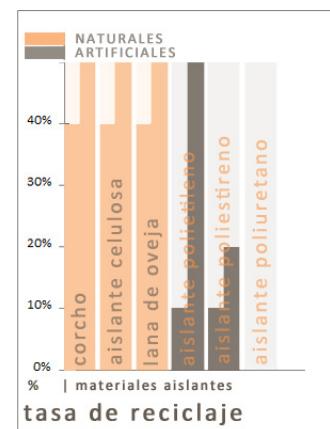
Como se puede comprobar [Fig 3.10], los metales son materiales que presentan muy buenas tasas de reciclaje, sobresaliendo por encima del resto de los estudiados. No obstante, después de ellos, son los naturales los que adelantan a los artificiales, quedando el cemento y el hormigón como los últimos de la lista.

En el caso de los aislantes, los naturales quedan muy por encima de los artificiales, llegando estos últimos, en ocasiones, a no permitir su reciclaje, como ya se había anticipado en el análisis anterior.

Por ello, no tanto en el caso de los materiales de acabado que podríamos considerar a ambos grupos igualados, en cuanto a materiales de aislamiento se refiere, los naturales serían preferibles ante los artificiales.

Materiales innovadores que ayudan a las estrategias de desarrollo sostenible:

Por último, este parámetro no podrá tenerse en cuenta en el estudio actual, ya que no es de carácter general, sino que se trataría de un valor añadido que presentase un ejemplar específico de material. En caso de ser conocida dicha situación, habría de tenerse en cuenta valorando este aspecto positivamente.



[Fig 3.10] Tasa de reciclaje de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia. Datos obtenidos en el programa CES Selector.

*La tierra y los morteros, tanto de cal y yeso como de cemento, han sido excluidos en este estudio debido a la falta de información sobre el parámetro.

3.4 Conclusiones sobre materiales

Finalizada y expuesta la comparativa anterior, es oportuno presentar las conclusiones obtenidas [Tabla 3.21]. De nueve parámetros expuestos, sólo siete han podido ser evaluables de un modo general y, de estos siete, cuatro han resultado ser favorables para el grupo de materiales naturales, llegando hasta cinco si se consideran únicamente los aislantes. Además, el resto de parámetros no han favorecido a los artificiales, sino que han demostrado que presentan características similares a los naturales.

Mayor sostenibilidad en cuanto a su:	materiales de acabado		materiales de aislamiento	
	NATURALES	ARTIFICIALES	NATURALES	ARTIFICIALES
Origen renovable	✓		✓	
Energía incorporada	✓		✓	
Conductiv. térmica	=	=	=	=
Durabilidad	=	=	=	=
Salubridad	✓		✓	
Gestión de residuos	✓		✓	
Tasa de reciclaje	=	=	✓	

[Tabla 3.21] Tabla resumen de materiales y sostenibilidad. [Tabla 3.21] Tabla resumen de materiales y sostenibilidad.

Es posible que, si se quieren evaluar los materiales desde el punto de vista técnico, los artificiales ganen puntos sobre los naturales en algún aspecto. Sin embargo, es importante insistir en todo lo que conlleva la fabricación de los artificiales, tanto los costes económicos, como los medioambientales.

No obstante, si consultamos las exigencias del Código Técnico correspondientes a la envolvente –principalmente incluidas en el DB-HS: Salubridad, el DB-HE: Ahorro de energía y el DB-HR: Protección frente al ruido–, comprobamos que los materiales naturales pueden responder positivamente.

En primer lugar, el DB-HS, en la sección HS1, exige principalmente que las fachadas garanticen la estanqueidad en el ambiente interior, además de la resistencia y durabilidad a los cerramientos. Podemos afirmar que los materiales naturales en general responden tan bien como los artificiales en estos aspectos, como se ha comprobado con la gráfica [Fig 3.9] Resistencia a agentes externos.

Por otro lado, en cuanto al DB-HE, será la sección HE1 la que hable de exigencias en cuanto a la transmitancia térmica, concepto directamente relacionado con la conductividad

térmica que ha sido evaluada en la gráfica *[Fig. 3.8]* *Conductividad térmica*, obteniendo una respuesta similar tanto en artificiales como naturales.

Por último, estaría el DB-HR, referente a la acústica, la cual no se ha contemplado en este trabajo. Sin embargo, no es extraño que los estudios relativos a la sostenibilidad pasen por alto esta materia, cuestión que podría dar pie a otras líneas de investigación.

Por lo tanto, si se centra el discurso en la sostenibilidad, que es el motivo de este estudio, y teniendo en cuenta todo lo anterior, incluidos los aspectos técnicos, se puede afirmar que el uso de materiales naturales es más que acertado en la búsqueda de arquitectura sostenible. Así, el apartado siguiente se centrará en la definición, aplicación y valoración de las envolventes naturales.

Una vez justificado su uso, es preciso estudiar las aplicaciones que ofrecen los materiales naturales en la industria de la construcción, pretendiendo mostrar una vía poco explorada actualmente. El desinterés por estos materiales parece fundamentarse en el desarrollo de la industria de la construcción, que ha permitido, y sigue haciéndolo, la creación de nuevos materiales diseñados cada vez más exclusivos a su uso, dejando a un lado lo tradicional, creyéndolo obsoleto, y primando las nuevas tendencias y tecnologías, sin valorar sus costes energéticos y medioambientales.

Además, la falta de conocimientos acerca del correcto aprovechamiento de estos materiales puede hacer que presenten un bajo rendimiento si no se trabajan correctamente. Por ello, se van a presentar las posibilidades más elementales de cada material, para poder seleccionar el sistema más conveniente, o incluso mejorarlo, y buscar siempre la máxima sostenibilidad.

4.1 Madera

La madera es un material que bien tratado ofrece mucha mayor resistencia que en su estado más natural. Por ello, es preciso cuidar su tratamiento con aceites o resinas naturales, de modo que no se vea truncado su carácter sostenible y se preserven al máximo sus propiedades. No obstante, será principalmente importante seleccionar la especie de la madera en función de su uso y exposición posteriores.

Generalmente, es un material muy sensitivo capaz de otorgar confort y calidez con su sola presencia. Esta es una de las razones por la que su uso es deseado en numerosas ocasiones para resolver revestimientos, ya sea en interior o exterior. En lo referido al último caso, el revestimiento puede generarse de las siguientes formas:

-Rollizos de madera. Es la tradicional construcción con troncos cuya unión ahora ha evolucionado y se puede realizar mediante encajes geométricos sin necesidad de otro material. Este método puede servir como estructura para pequeñas construcciones [Fig 4.1].

-Lamas machihembradas o solapadas. Es una solución frecuente en fachadas que generalmente se ejecuta con una subestructura a la que las lamas van clavadas, ya sea horizontal o verticalmente [Fig 4.2].



[Fig 4.1] Construcción con rollizos de madera.

Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.



[Fig 4.2] Detalle casa Sturges (1939), lamas de madera de conífera.

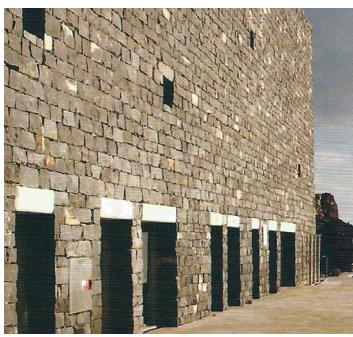
Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.



[Fig 4.3] Facultad de Económicas Univ. de Utrecht (1997), revestimiento con tableros de madera.
Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.



[Fig 4.4] Chillas en cubierta.
Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.



[Fig 4.5] Piscinas de las Salinas (2006), muro de bloques de piedra.
Tectónica, nº 27. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2008.

-Tableros de madera en fachada ventilada. Esta opción presenta numerosas posibilidades, recubriendo mayores superficies con menor cantidad de elementos. Se precisa para su ejecución una subestructura para generar la fachada ventilada a la que anclar los paneles, y un cuidado en el sellado de las juntas para evitar la entrada de agua [Fig 4.3].

-Chillas en fachada o cubierta. Los revestimientos con lajas de madera se desarrollan de un modo similar a las fachadas de lamas, ya que precisan ser clavadas a otra superficie o estructura [Fig 4.4].

4.2 Piedra

La gran resistencia y durabilidad de la piedra han hecho de ella un material muypreciado por la gran mayoría de civilizaciones. Actualmente, parece verse como un material pesado, quizás por haber evocado permanencia y ensalzado poder en casi toda su historia. Sin embargo, la ligereza del gótico está conseguida igualmente con piedra. Es decir, se trata de un material con numerosas posibilidades y en nuestras manos está generar piezas según nuestros intereses de uso y expresión finales.

Asimismo, su colocación puede variar en función del sistema que se pretenda generar. De hecho, el espesor de las piezas utilizadas está reduciéndose actualmente para adaptarse a los mismos y facilitar su transporte y puesta en obra. A continuación se enumeran aquellos sistemas que opten por dejar la piedra expuesta al exterior, generando la envolvente que estamos estudiando a lo largo del trabajo:

-Bloques de piedra. Esta opción genera la tradicional estructura portante con muros de fábrica. Es posible gracias a la generación de piezas prismáticas rectas a partir de los bloques extraídos de la cantera [Fig 4.5]. En Galicia, por ejemplo, estas piezas se conocen como perpiñños y mantienen el aspecto natural de la fractura.

-Aplacados mediante anclaje. Es una solución en la cual, gracias a un sistema de anclaje, el peso del aplacado se lleva al resto del cerramiento y éste lo transmite a la estructura. Se debe ejecutar de modo que el revestimiento sea estanco al agua o, en caso contrario, con un sistema de fachada ventilada, generando una cámara ventilada y asegurando la estanqueidad de la hoja interior.

-Aplacados trabados o encadenados. Se trata de una hoja exterior autoportante de piedra de reducido espesor que precisa su encadenamiento a una fábrica de ladrillo para asegurar su estabilidad, generando finalmente un muro híbrido de ladrillo y piedra [Fig 4.6].

-Cubierta con placas. Se trata de un sencillo acabado para la cubierta en el que la importancia recae en conseguir el correcto solape de las piezas [Fig 4.7]. Generalmente, para ello se utilizan piezas delgadas de granito o pizarra que se disponen en hiladas desfasadas entre ellas $\frac{2}{3}$ en vertical y $\frac{1}{2}$ en horizontal, tomando de referencia las dimensiones de las piezas.

-Cubierta plana. Se plantean dos posibilidades en este caso, ya que puede ser transitable o no transitable. En el primer caso, se utilizarán baldosas de piedra que pueden ser adheridas sobre mortero o flotantes sobre una cámara ventilada. En el segundo caso, simplemente con gravillas se puede generar la protección pesada que necesitan las diferentes capas de la cubierta.



[Fig 4.6] Ampliación Ayto. Murcia (1998), muro autoportante adherido a cerramiento de ladrillo.

Tectónica, nº 27 Ed. ATC Ediciones, Madrid 2008.



[Fig 4.7] Detalle revestimiento de cubierta con placas de pizarra verde.

Tectónica, nº 27 Ed. ATC Ediciones, Madrid 2008.

4.3 Tierra

La inmediatez de su obtención y el coste mínimo de la tierra son dos de las ventajas de este material, además de otras como su sostenibilidad. Sin embargo, su baja resistencia al agua genera deterioros ante la lluvia, por lo que precisa un atento mantenimiento. Éste debe consistir en revestir el muro con capas de barro, que aseguren la continuidad de las propiedades de la tierra, ya que si se hicieran con cemento se anularía la transpiración de la misma, llegando a generar condensaciones perjudiciales para la integridad del muro.

Normalmente, la tierra suele utilizarse para la construcción de muros gruesos que potencien su almacenamiento térmico. Aunque sean sistemas estructurales, también forman parte de la envolvente visible de las construcciones. Por ello, se exponen a continuación los considerados más relevantes:

-Cob. Es la técnica más sencilla y consiste en hidratar la tierra para levantar muros a mano, sin moldes ni formas.

-Tapial. Esta técnica deriva de la anterior, ya que consiste en la compactación de tierra húmeda, *in situ*, entre dos encofrados, con el posterior desencofrado y secado al aire libre.



[Fig 4.8] Muro de fábrica de adobe.
<http://www.construtierra.org>.

-Fábrica de adobe. Esta solución consiste en la generación de bloques de barro de dimensiones manejables, con altas proporciones de arcilla y secados al sol, para posteriormente generar muros apilando los bloques y uniéndolos mediante arcilla [Fig 4.8]. Para mejorar sus propiedades pueden añadirse a la masa elementos vegetales como la paja.

-Fábrica de BTC. Se trata de un sistema similar al de la construcción con adobes, salvo que en este caso los bloques son de tierra comprimida, mejorando así sus propiedades mecánicas. La masa generalmente incluye también elementos vegetales.

4.4 Ladrillo de tierra cocido

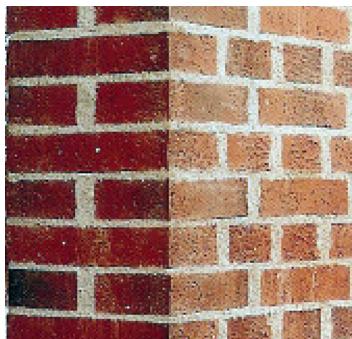
El ladrillo es un material muy versátil, capaz de adaptarse a prácticamente cualquier situación gracias a su escala y sus propiedades. Su recorrido en la historia nos ha dejado numerosas técnicas constructivas. Sin embargo, las técnicas modernas todavía no han investigado lo suficiente sobre este material, aunque obviamente sí pueden verse avances que conjugan tradición e innovación.

La evolución del material ha quitado protagonismo a su función estructural para dar paso a su uso como piel. Para comprobarlo, se muestran a continuación los sistemas que dan lugar a envolventes de ladrillo:

-Fábrica de ladrillo. Se trata de la superposición de piezas de ladrillo según diferentes modelos de aparejos, asegurando la unión entre ellas y la horizontalidad de las hiladas [Fig 4.9]. La cohesión se garantiza con mortero entre las piezas, y la posibilidad de mejorar las propiedades mecánicas del muro se resuelve con armados verticales u horizontales, según el caso. Esta opción de fachada podrá ejecutarse de manera convencional o como fachada ventilada.

-Piel cerámica. Esta opción surge a partir de la voluntad de ocultar la estructura. Inicialmente se resolvía como un aplacado con los formatos de ladrillo tradicionales. Hoy en día se buscan soluciones en seco más ligeras, con piezas de menor espesor y con la ayuda de una subestructura [Fig 4.10].

-Cubiertas abovedadas con fábrica de ladrillo in situ. Originalmente, se construían gracias al simple efecto de la gravedad y el único mortero que se utilizaba era el que rellenaba las juntas. Ahora, se construyen con morteros cuya fuerte adherencia creando estructuras que pretenden ser monolíticas.



[Fig 4.9] Detalle fábrica de ladrillo.
Tectónica, nº 15. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2003.



[Fig 4.10] Detalle piel cerámica.
Tectónica, nº 15. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2003.

4.5 Morteros de cal y yeso

Los morteros de cal han sido utilizados en la construcción prácticamente hasta finales del XIX cuando se introdujo el cemento y éstos pasaron a un segundo plano. Durante siglos, fue el principal aglomerante en los muros de fábrica, aunque también se utilizaba para revestimientos.

Ocurre lo mismo con los morteros de yeso, aunque era en sus inicios cuando se utilizaban como revestimiento y, a medida que se desarrolló la técnica, se empezó a utilizar como material de unión, añadiéndole cal en ocasiones para modificar tiempos de fraguado y propiedades.

Así pues, sea mortero de cal o mortero de yeso y cal, las aplicaciones son parecidas, pudiendo servir como material aglomerante para fábricas de ladrillo o bloques, con la ventaja de que posibilita la recuperación de las piezas, o como material de acabado aplicado sobre la superficie, consiguiendo texturas similares al hormigón.

4.6 Aislantes térmicos

Cada material aislante tiene diferentes particularidades para su puesta en obra, aunque no presenten tantas variables como las que encontramos en el caso de los materiales de acabado. Por ello, se van a mostrar aquí las formas más comunes para cada uno de los estudiados:

-Corcho

El corcho para aislamientos suele presentarse en forma de láminas o planchas en las que los granos de corcho triturado han sido aglutinados gracias a la propia resina natural del material mediante un proceso de cocción [Fig 4.11]. Estas láminas tienen una puesta en obra sencilla, ya que basta con que sean encoladas o clavadas sobre el cerramiento a aislar. No obstante, para aplicaciones más concretas como el relleno de cámaras de aire, entre otras, puede utilizarse el corcho desmenuzado, sin aglutinar.



[Fig 4.11] Detalle plancha de corcho.
<http://www.barnacork.com>

-Aislante de celulosa

El aislante con base de celulosa procede generalmente de papel de periódico reciclado que se Tritura y trata con sales bóricas para mejorar su resistencia. Este proceso condiciona en gran medida su aplicación ya que, al presentarse en forma de "copos" y para evitar un mayor procesado del material, su puesta en obra se produce mediante el insuflado del material triturado dentro de los espacios huecos a llenar.

-Lana de oveja

La lana de oveja es por naturaleza un excelente aislante natural, ya que sirve a éstas para protegerse de las temperaturas extremas. Se trata de un material ligero, por lo que es adecuado en caso de limitaciones estructurales. Tras su extracción en los meses previos al verano, la lana se limpia y trata para aumentar su resistencia y, finalmente, se carda para presentarla suelta o en forma de mantas. Estas disposiciones diferencian poco su puesta en obra, permitiendo ambas adaptarse perfectamente al cerramiento, aun cuando presenta irregularidades.

4.7 Otros materiales naturales

En el apartado anterior se ha hecho una selección general de los materiales constructivos más comunes en la arquitectura, para llegar a la conclusión de que los naturales respondían sosteniblemente. Aquí, se ha concretado la aplicación de estos últimos para conocer sus posibilidades más habituales. Sin embargo, la naturaleza puede ofrecernos un sinfín de recursos que sería difícil enumerar, ya que todo depende del ecosistema en el cual nos situemos. Podríamos encontrar construcciones con paja –a través de fardos simulando una fábrica de ladrillos enormes–, con cañas –ya sean utilizadas para resolver estructuras o cerramientos–, con bambú –generando estructuras, cerramientos con tableros de esterilla o tejas–, o incluso con aislamientos a base de plumas de ave, entre otros.

Las variables son infinitas, ya que todo lo que presenta la naturaleza puede utilizarse de un modo u otro para resolver hasta mínimos detalles en la arquitectura, siempre dentro de unos límites. Por todo ello, la lista no podría terminarse, ya que el grado de experimentación e investigación sobre este campo podría dar nuevas opciones además de las que ya se conocen. Como referencia a esto último, se podría citar a Shigeru Ban quien, ante la falta de recursos, genera construcciones de cartón, material que no se contempla generalmente dentro del mundo de la construcción. [Fig 4.12]



[Fig 4.12]. Casas de cartón en Kobe, Japón. Shigeru Ban.
Aunque no se trate de un material natural 100%, no cabe duda de que podría considerarse uno de primera transformación, tal y como se ha explicado en el apartado 3.2.
<http://www.shigerubanarchitects.com>.

4.8 Evaluación de parámetros en envolventes

Está claro que las soluciones plasmadas podrán ser más o menos sostenibles en función de la facilidad de mantenimiento o sustitución de las partes, de la posibilidad de reutilización de las piezas, de la simplicidad de la puesta en

obra o de la adecuación a oficios locales –parámetros desarrollados en el apartado 2.1–. Sin embargo, es muy difícil evaluar estos sistemas si no se contemplan en su conjunto, ya que las diferentes decisiones de proyecto podrán modificar su grado de sostenibilidad. No obstante, se van a hacer unas aproximaciones muy generales para los principales materiales estudiados para intuir cómo respondería cada uno.

En cuanto a la MADERA, los cuatro sistemas propuestos anteriormente se pueden considerar de construcción seca, lo cual facilitará los dos primeros parámetros. Además, son sistemas de ejecución medianamente sencilla. Sin embargo, el carácter local no se verá reforzado si hablamos de nuestra región, ya que no es uno de los materiales que mejor respondan a nuestro clima, por lo que el mantenimiento posterior habrá de ser constante.

En segundo lugar se han propuesto los sistemas de construcción en PIEDRA. A excepción de la construcción con bloques, la mayoría de ellos se realizan mediante anclajes o solapes, lo cual nuevamente es construcción seca que favorece los dos primeros parámetros. En cuanto a la simplicidad de puesta en obra, los habrá con diferente grado de dificultad, pero no podemos hablar de técnicas muy complejas. Por último, podríamos hablar de la piedra como un material con trayectoria en nuestra región, valorando positivamente el cuarto parámetro.

Si nos referimos a la TIERRA, sus sistemas constructivos son sencillos y muy tradicionales. Sin embargo, exigen un continuo mantenimiento, lo cual se podría considerar un aspecto negativo. Aun así, podemos encontrar numerosos ejemplos de estas construcciones en municipios de nuestra región, por lo que la tradición local está presente. Actualmente, este material se utiliza sobre todo para crear cubiertas ajardinadas, lo cual podría considerarse una innovación constructiva, que parece una buena opción en casi cualquier emplazamiento, siempre que la vegetación sea autóctona.

En cuanto al LADRILLO, se puede decir que es un material con profunda tradición en nuestro territorio. La mayoría de sus técnicas constructivas precisan la adición de un material aglomerante, pero, cuidando la naturaleza de éste, se podría conseguir la facilidad de mantenimiento, sustitución o extracción de las piezas para su reutilización. Además, no se precisan labores muy complejas, por lo que parece un material excelente en nuestra región.

Por último, se han presentado los aislantes de CORCHO, CELULOSA y LANA DE OVEJA. Su puesta en obra parece

sencilla, aunque su accesibilidad para el mantenimiento o la extracción del material dependerá del resto de capas del cerramiento. Por otro lado, cabe destacar que no se presenta una extensa tradición de uso en nuestra región, dato curioso sabiendo que las materias primas sí pueden encontrarse. No obstante, en la actualidad comienzan a incorporarse.

4.9 Reflexiones sobre envolventes

Hemos visto cómo los materiales naturales pueden responder de manera sostenible en su puesta en obra. Del mismo modo, se ha mostrado que, a través de la experimentación, se pueden descubrir nuevas formas de construir adaptadas al momento. Por ello, parece oportuno proponer la combinación de tecnología y tradición en busca de la innovación constructiva.

De hecho, las envolventes aquí expuestas son las soluciones más comunes que podemos encontrar con estos materiales. Sin embargo, su amplia tradición de uso ha permitido desarrollar diversas combinaciones que apuestan por mejorar los modelos y técnicas iniciales, como el uso de paja en la fabricación de ladrillos para aligerarlos y reducir las emisiones de CO₂²⁸ o como la creación del muro de bahareque, que combina cañas entretejidas con barro para mejorar su resistencia antisísmica.

Por otro lado, soluciones como la de Santiago Carroquino en la envolvente de la Escuela Infantil del Actur, en Zaragoza [Fig 4.13], muestran cómo una envolvente natural se ha podido generar a partir de lo que en otros casos podría ser un producto de desecho in situ, valorando en este caso la reutilización y consecuente optimización del proceso.

Es decir, cada caso concreto tiene sus particularidades, y deberá ser proyectado teniendo en cuenta parámetros como los mostrados en el apartado 2.1, buscando siempre su cumplimiento, y con ello su sostenibilidad, tanto en el sistema de envolvente como en el proyecto en general.



[Fig 4.13] Escuela Infantil Actur. Santiago Carroquino Arquitectos. En este caso, las tablas del encofrado de la envolvente de hormigón se reutilizan para generar los acabados en madera.

© Ana Mostajo

²⁸ Propuesta de Ignacio Zabalza Bribián incluida en su Tesis Doctoral "Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España".

Hacia una arquitectura sostenible 5

Se entiende que la totalidad del presente estudio no puede tener una aplicación directa, ya que algunas cuestiones presentadas dependen, entre otras cosas, del **lugar**. Por ello, será este aspecto el que determine y condicione la última fase a estudiar, el lugar, en este caso **Zaragoza**.

Puesto que en esta fase será la arquitectura quien tome protagonismo, se pretenden encontrar edificios sostenibles en el lugar propuesto que puedan ilustrar el final de este estudio. Principalmente, la búsqueda se ha centrado en aquéllos que respondan a la tipología de equipamientos pequeños, ya que se ha considerado que los de mayores dimensiones suelen conllevar unos programas, como son las oficinas o el servicio terciario, que llevan intrínsecos usos que pueden dificultar su sostenibilidad y que los residenciales, generalmente, tienen menos opciones para incluir estrategias de diseño pasivo o intenciones formales en su envolvente. Lamentablemente, pronto descubrimos que la sostenibilidad no es el punto fuerte de la arquitectura de nuestra ciudad. Bien es cierto que encontramos algún ejemplo, como el **Centro Medioambiental del Ebro**²⁹, que manifiesta esta preocupación. Sin embargo, no se podría presentar una extensa lista de aquéllos que, como éste, gocen además de una presencia y calidad arquitectónica destacable.

A continuación, se va a presentar el proyecto mencionado para poder evaluarlo y, así, destacar diferentes respuestas a los parámetros de sostenibilidad.

5.1 Evaluación de parámetros en la arquitectura: Centro Medioambiental del Ebro

El Centro Mediambiental del Ebro, gracias a la sensibilidad de su propuesta, reúne diversos parámetros de sostenibilidad de los que se han visto en el apartado 1.1. En primer lugar, se podría destacar su ecología de emplazamiento, ya que se encuentra en un punto de relación entre la ciudad construida y el parque lineal del Ebro, concretamente al lado de la Plaza Europa. Indudablemente, goza de buenas conexiones con el contexto urbano al mismo tiempo que su entorno es natural. Además, el proyecto trata de relacionarse intensamente con el paisaje, por lo que su definición formal consigue esta integración. [Fig 5.1]



[Fig 5.1] Centro Medioambiental del Ebro visto en su emplazamiento.
© Jesús Granada



[Fig 5.2] Sala polivalente del Centro Medioambiental del Ebro.
© Pedro Pegenaute



[Fig 5.3] Cerramiento de madera del Centro Medioambiental del Ebro.
© Pedro Pegenaute

Por otro lado, es importante la flexibilidad funcional que presenta, ya que permite desarrollar diferentes actividades en función de las necesidades de cada momento, lo cual es posible gracias a la sala polivalente que se encuentra en el interior [Fig 5.2] y a la terraza graderío que se encuentra en el exterior, donde el pequeño huerto que encontramos comparte escenario con los actos que allí pueden desarrollarse.

En cuanto a la elección del sistema constructivo en la envolvente, cabe mencionar que se trata de una fachada ventilada, solución positiva tanto por su instalación en seco como por las ventajas térmicas que acarrea.

Por otro lado, la elección de materiales tiene diversos puntos a comentar. Basándonos en la parte de envolvente natural, por ser el tema de estudio de este trabajo, se pueden valorar tanto los cerramientos de madera [Fig 5.3] como la sección de cubierta ajardinada. En cuanto a los acabados en madera, se comprueba que la mayor parte de la envolvente se resuelve con este material. Ya se han expuesto las ventajas que lleva intrínsecas la madera, sin embargo, cuestiones como la procedencia de los materiales se deben evaluar en este momento. En este caso, se trata de madera de Ipé, procedente de bosques brasileños, lo cual no parece a priori una solución muy sostenible. Sin embargo, es una madera que posee la certificación FSC, y se caracteriza por ser muy resistente y durable, lo cual es necesario en este caso, ya que la madera no es el material que mejor responda en nuestro clima. De hecho, otras maderas precisan un mantenimiento y tratamiento constante para evitar que se degraden con el sol. Además, sus características responden a la intención formal de los arquitectos de poder resolver con un único material tanto la envolvente exterior como la interior en todas sus formas, entre ellas lamas de acabado, de control solar, pavimentos y falsos techos. Por ello, quizás los costes del transporte puedan verse compensados por su prolongada durabilidad respecto a otras maderas de carácter local. Por otro lado, en cuanto a la zona con cubierta ajardinada, ya se han expuesto las ventajas de la tierra como material, aunque no en este tipo de sistema. La presencia de una cubierta ajardinada, en este caso con especies autóctonas, siempre es un valor positivo en la sostenibilidad, ya que proporciona un espacio adicional para el cultivo vegetal con todos los beneficios ambientales que esto proporciona, como es la absorción de CO₂ y la producción de oxígeno.

La producción y uso de energías renovables que se encuentran en este proyecto también sería un aspecto a destacar. En este caso, se ha apostado por el uso de placas solares en cubierta que proporcionan al edificio energía solar térmica y energía solar fotovoltaica. Además, es importante la selección de los equipos eficientes energéticamente.

Para finalizar, cabe destacar su carácter social, ya que su uso está destinado a toda clase de público [Fig 5.4], lo cual se refuerza gracias al amplio horario de apertura del centro. Como se ha explicado anteriormente, será valorado positivamente un edificio con estas características, puesto que no limitará su uso a un grupo reducido de personas.



[Fig 5.4] Grupo de ciudadanos participando en una actividad del Centro Medioambiental del Ebro.

<http://magenarquitectos.wordpress.com>

5.2 Comentarios finales

En este apartado han pretendido exemplificarse los parámetros expuestos con anterioridad para entender su aplicabilidad. Para ello, se ha elegido un edificio con una cierta sensibilidad sostenible, de modo que pudieran destacarse las características que la hacían posible. Está claro que cada caso de estudio merecería su tiempo particular de evaluación y, por supuesto, que no hay un modelo único a perseguir para lograr arquitectura sostenible, sino que debe buscarse el equilibrio social, económico y medioambiental comentado anteriormente.

Para finalizar, habría que aclarar que los parámetros son interpretables y deberían adaptarse a cada situación. Además, como ya se ha propuesto, deben utilizarse como guía y orientación a la hora de proyectar un edificio. Una vez construido, únicamente nos servirán para comparar diferentes respuestas y aprender para futuras experiencias.

Conclusiones 6

Para poder apreciar la importancia que tienen los materiales en el ámbito de la sostenibilidad, ha sido necesario conocer los parámetros que determinan esta virtud en la arquitectura y averiguar cuáles de estas cuestiones dependen directamente del sistema constructivo elegido. Así, se ha comprobado que es imposible buscar la aportación de un material en sí mismo a la sostenibilidad de un edificio sin haber considerado antes las repercusiones propias del sistema constructivo y el lugar.

Destacando su relevancia y repercusión en todas las escalas, se entiende finalmente que debe ser inevitable cuidar su elección, introduciendo aquéllos con el menor impacto medioambiental, siendo determinante en esta valoración la energía consumida en su ciclo de vida. Los efectos en la salud y la seguridad de los usuarios, único parámetro no ligado con la energía, también son relevantes.

Por ello, la propuesta aquí mostrada es la de **priorizar el uso de materiales naturales**, asegurando su sostenibilidad, y combinarlos con materiales artificiales cuando se precisen determinadas características que no se puedan conseguir con los primeros y que repercutan en el cumplimiento de las exigencias normativas o incluso en las intenciones proyectuales. No obstante, en caso de utilizar materiales artificiales, siempre se debe buscar la mayor sostenibilidad mediante criterios como los ya mostrados en el apartado 3.1, como el uso de materiales reutilizados o reciclados o de máxima durabilidad.

Para finalizar, insistir en que los materiales no son sostenibles por sí solos, sino que han de verse en un sistema constructivo y en un lugar determinado. En el caso de Zaragoza, en lo que a la envolvente de los edificios se refiere, teniendo en cuenta el clima, las materias primas y tradiciones locales, entre otros aspectos, la propuesta de innovación debería producirse a partir de materiales como el ladrillo, la piedra, el mortero de cal o el de yeso puesto que son materiales que responden bien en nuestra región. Además, es posible encontrarlos en las proximidades de nuestra ciudad, con lo que los costes asociados al transporte se minimizarían. Para seguir con el discurso sostenible, los sistemas deberían ser fácilmente desmontables, posibilitando la reutilización o el reciclaje de las piezas, o, en caso contrario, deberían incluir morteros de cal o yeso que permitan su limpieza posterior. Conociendo las virtudes de estos materiales y barajando la posibilidad de mejorarlos al mismo tiempo

que se conserva su carácter sostenible, es inevitable pensar en la innovación a partir de ellos como una solución a los problemas medioambientales.

La total construcción con materiales naturales no parece entenderse en un mundo cuyas exigencias evolucionan tan rápido como el progreso tecnológico. Sin embargo, su progresiva presencia en la arquitectura volvería a darles protagonismo, pudiendo abrir una **nueva vía de innovación constructiva, tanto en materiales como en sistemas constructivos**. Por todo ello, en este trabajo se ha preferido hablar del material en su esencia para mostrar sus posibilidades más generales, pudiendo aprender de su tradición y encontrar soluciones adaptadas al momento actual, equilibrando técnica y naturaleza, y, como no, buscando siempre la sostenibilidad.

B i b l i o g r a f í a

BAÑO NIEVA, Antonio y VIGIL-ESCALERA, Alberto. Guía de construcción sostenible. Ed. Paralelo - Ministerio de Medio Ambiente, 2005.

CALKINS, Meg. Materials for Sustainable Sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials. Ed. John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.

EDWARDS, Brian. Guía básica de la sostenibilidad. 2^a edición. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 2008.

GOTTFRIED, David A. [ed.]. Sustainable Building Technical Manual: Green Building Design, Construction and Operations. US Green Building Council, 1996.

HERNÁNDEZ PEZZI, Carlos. Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 2007.

PIERAGO CARRETERO, Francisco y TORNERO FRANCO, Javier. Guía de materiales para una construcción sostenible. Ed. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia, Murcia, 2008.

RYAN, Carole. Traditional Construction for a Sustainable Future. Ed. Routledge, Londres, 2011.

SAUER, Bruno [ed.]. Hacia una arquitectura sostenible. Ed. Icaro - Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, Valencia, 2006.

SERRA FLORENSA, Rafael y COCH ROURA, Helena. Arquitectura y energía natural. Ed. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1995.

ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio, «Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España». Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2011.

AVELLANEDA, Jaume. «Fábricas de ladrillo». Tectónica, nº 15. Ed. ATC Ediciones, Madrid, 2003.

Bibliografía

AVELLANEDA, Jaume. «La construcción en madera hoy», Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.

BERMÚDEZ GRAÍÑO, José M.. «De la madera y sobre la evolución del tablero». Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid, 2000.

FERRATER, Carlos. «La actualidad del uso de la madera». Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.

FERNÁNDEZ MADRID, Joaquín. «Sistemas de construcción en piedra». Tectónica, nº 27. Ed. ATC Ediciones, Madrid, 2008.

LÓPEZ COTELO, Víctor. «La piedra». Tectónica, nº 27. Ed. ATC Ediciones, Madrid, 2008.

ROCHA TAMAYO, Eduardo. «Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA». Revista nodo, vol. 6, nº 11, julio 2011, Universidad de Bogotá.

SARRABLO, Vicente. «La cerámica avanzada». Tectónica, nº 15. Ed. ATC Ediciones, Madrid, 2003.

«Catálogo de elementos constructivos», Código Técnico de la Edificación, 2010.

«Herramienta de Ayuda al Diseño para una Edificación más Sostenible: HADES», Green Building Council-España, Madrid 2011.

«VERDE Nueva Edificación: Equipamiento v.1. Guía para el evaluador acreditado», Green Building Council-España, Madrid 2012.

<http://www.construmatica.com/>

<http://www.ecohabitar.org/>

I m á g e n e s

[Fig 0]. Esquema de las escalas estudiadas correspondientes a las fases del Trabajo. Elaboración propia.

[Fig 1.1]. Referencia a la tríada vitruviana para explicar la tríada moderna de la sostenibilidad. Brian Edwards. © EDWARDS, Brian, "Guía básica de la sostenibilidad", Ed. Gustavo Gili.

[Fig 1.2]. Modelo de Etiqueta de Eficiencia Energética. <http://www.minetur.gob.es>.

[Fig 1.3]. 19 viviendas sociales en Sa Pobla (Mallorca). Estudio RIPOLL•TIZON. © José Hevia.

[Fig 1.4]. El Túnel en Zaragoza. Belén Gimeno, Francisco Berruete y Teófilo Martín. Fotografía extraída de la MEMORIA 2011 del Servicio de Juventud del Ayuntamiento de Zaragoza.

[Fig 1.5]. Casa pasiva en Lérida. Josep Bunyesc. ©Certicalia – <http://www.certicalia.com>.

[Fig 1.6]. Centro Ambiental del Ebro en Zaragoza. Magén Arquitectos. © Jesús Granada.

[Fig 2.1]. Pasarelas de mantenimiento. Torre del agua en Zaragoza. Enrique de Teresa Trilla. © Fernando Alda.

[Fig 2.2]. Uso del ladrillo como material del lugar. Biblioteca de Economía en Zaragoza. Basilio Tobías. <http://www.basiliotobias.com>.

[Fig 3.1]. Ciclo de vida de los materiales. Elaboración propia.

[Fig 3.2]. Ejemplos de sellos ambientales y ecoetiquetas. Elaboración propia.

[Fig 3.3]. Tradicional descenso de troncos en el Pirineo Aragonés. Navatas23 en el río Cinca, 2013. ©jesusc12. Usuario en <http://www.flickr.com>.

[Fig 3.4]. Canteras de Piedra arenisca en Uncastillo. <http://www.areamineral.com>.

[Fig 3.5]. Área Natural "Las Arcillas", Teruel. Fotografía de Carlos Ávila extraída del catálogo LIFE+Teruel. Archivo Ayuntamiento de Teruel. <http://life.teruel.es>.

[Fig 3.6]. Energía de fabricación de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia.

[Fig 3.7]. Mapa de recorridos de distintas materias primas de origen natural. Elaboración propia.

[Fig 3.8]. Conductividad térmica de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia.

[Fig 3.9]. Resistencia a agentes externos de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia.

Imágenes

[Fig 3.10]. Tasa de reciclaje de los diferentes materiales estudiados. Elaboración propia.

[Fig 4.1]. Construcción con rollizos de madera. Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.

[Fig 4.2]. Detalle casa Sturges (1939), lámas de madera de conífera. Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.

[Fig 4.3]. Facultad de Económicas Universidad de Utrecht (1997), revestimiento con tableros de madera. Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.

[Fig 4.4]. Chillas en cubierta. Tectónica, nº 11. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2000.

[Fig 4.5]. Piscinas de las Salinas (2006), muro de bloques de piedra. Tectónica, nº 27. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2008.

[Fig 4.6]. Ampliación Ayto. Murcia (1998), muro autoportante adherido a cerramiento de ladrillo. Tectónica, nº 27 Ed. ATC Ediciones, Madrid 2008.

[Fig 4.7]. Detalle revestimiento de cubierta con placas de pizarra verde. Tectónica, nº 27 Ed. ATC Ediciones, Madrid 2008.

[Fig 4.8]. Muro de fábrica de adobe. <http://www.construtierra.org>.

[Fig 4.9]. Detalle fábrica de ladrillo. Tectónica, nº 15. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2003.

[Fig 4.10]. Detalle piel cerámica. Tectónica, nº 15. Ed. ATC Ediciones, Madrid 2003.

[Fig 4.11]. Detalle plancha de corcho. <http://www.barnacork.com>.

[Fig 4.12]. Casas de cartón en Kobe, Japón. Shigeru Ban. <http://www.shigerubanarchitects.com>.

[Fig 4.13]. Escuela Infantil Actur. Santiago Carroquino Arquitectos. © Ana Mostajo.

[Fig 5.1]. Vista del Centro Medioambiental del Ebro en su emplazamiento. © Jesús Granada.

[Fig 5.2]. Sala polivalente del Centro Medioambiental del Ebro. © Pedro Pegenaute.

[Fig 5.3]. Cerramiento de madera del Centro Medioambiental del Ebro. © Pedro Pegenaute.

[Fig 5.4]. Grupo de ciudadanos participando en el Centro Medioambiental del Ebro. <http://magenarquitectos.wordpress.com>.

[Tabla ...]. Todas las tablas son de elaboración propia.