



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Arquitectura y diseño

Doctorado en Diseño

Metodología para el desarrollo de paneles ecológicos para una arquitectura saludable

Alumna Mónica Yesenia Andrade Martínez

Tutor Académico:

Dr. David Joaquín Delgado Hernández

Tutores Adjuntos:

Dr. Jesús Enrique de Hoyos Martínez

Dr. Gonzalo Martínez Barrera

Lectores

Dra. Liliana Romero Guzmán

Dr. Juan Carlos Arteaga Arcos

Marzo 2021

Contenido

Introducción	6
Problemática	7
Objetivo General	8
Objetivos específicos	8
Justificación	9
Hipótesis	12
Delimitación	12
Metodología	12
1. ARQUITECTURA Y SALUD.....	15
1.1. Bioconstrucción y geobiología para la construcción saludable.....	16
1.1.1. Bioconstrucción	17
1.1.2. Geobiología	22
1.2. Arquitectura saludable: el edificio sano y el edificio enfermo.....	25
1.2.1. Síndrome del edificio enfermo.....	25
1.2.2. El edificio sano.....	29
1.3. Niveles de incidencia de la salud en las construcciones.....	34
1.3.1. Sitio – entorno.....	35
1.3.2. Diseño – materiales	37
1.3.3. Estilo de vida	38
1.4. Factores de riesgo para la salud en las construcciones	39
1.4.1. Campos electromagnéticos naturales	40
1.4.2. Contaminación electromagnética	43
1.4.3. Contaminación atmosférica	44
1.4.4. Ionización del aire.....	46
1.4.5. Contaminación sonora.....	47
1.4.6. Luz, color e iluminación	48
1.4.7. Mala gestión de la humedad.....	49
1.5. Aspectos para un confort integral.....	51
2. CUALIDADES DE LOS MATERIALES EN BIOCONSTRUCCIÓN.....	53
2.1. Impacto de los materiales en la construcción	53

2.1.1.	Impacto por emisiones contaminantes y agotamiento de recursos....	55
2.1.2.	Impactos en la salud humana.....	58
2.2.	Características de Materiales Ecológicos y Saludables.....	62
2.2.1.	Definición de un material ecológico.....	62
2.2.2.	Definición de material saludable.....	64
2.3.	Criterios de elección de materiales ecológicos y saludables.....	67
2.3.1.	Criterios respecto a la composición del material.....	68
2.3.2.	Criterios respecto al comportamiento del material.....	71
2.3.3.	Análisis de Ciclo de Vida de los materiales.....	79
2.4.	Tipos de materiales según su procedencia, su aplicación y su función....	82
2.4.1.	Materiales de la biosfera.....	85
2.4.2.	Materiales de la litosfera.....	96
2.4.3.	Materiales de la tecnosfera.....	104
3.	LA CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA Y LA BIOCONSTRUCCIÓN.....	107
3.1.	Sistemas constructivos en bioconstrucción.....	109
3.1.1.	Cimentaciones.....	110
3.1.2.	Estructura.....	111
3.1.3.	Cubiertas.....	113
3.1.4.	Cerramientos.....	115
3.2.	Cualidades de la construcción prefabricada.....	117
3.2.1.	Función estructural.....	122
3.2.2.	Tamaño del panel.....	123
3.2.3.	Peso/densidad.....	124
3.2.4.	Tipos de ensamblajes.....	125
3.3.	Tipos de paneles.....	127
3.3.1.	Panel de marco estructural.....	128
3.3.2.	Paneles tipo sandwich.....	128
3.3.3.	Panel multicapa.....	128
3.3.4.	Panel de núcleo celular.....	129
3.3.5.	Paneles homogéneos monolítico.....	129
3.4.	Sistemas de paneles en bioconstrucción.....	129
3.4.1.	Sistema biopanel.....	130

3.4.2.	Paneles eco cocon	131
3.4.3.	Paneles ecopaja	131
3.4.4.	Tapia prefabricada.....	132
3.4.5.	Cannapanel	133
3.4.6.	Novofiber	134
3.4.7.	Otros paneles	134
4.	DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE PANELES	138
4.1.	Elección del tipo de panel	141
4.1.1.	Estructura y componentes del panel	141
4.1.2.	Características del panel	144
4.2.	Elección de materiales de los componentes	146
4.2.1.	Materiales para cada tipo de panel.....	148
4.2.2.	Materiales de acabado	150
4.2.3.	Técnicas constructivas de referencia	152
4.3.	Viabilidad técnica constructiva	155
4.3.1.	Normatividad para paneles.....	155
4.3.2.	Normatividad y mediciones para un confort integral.....	158
4.4.	Evaluación de calidad saludable ecológica.....	167
4.4.1.	Composición	167
4.4.2.	Comportamiento	169
4.4.3.	Ciclo de Vida.....	172
5.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA: DISEÑO DE UN PANEL.....	175
5.1.	Descripción del panel	176
5.1.1.	Diseño del panel	176
5.1.2.	Descripción de los materiales a utilizar	179
5.2.	Diseño experimental.....	181
5.2.1.	Hipótesis del comportamiento de los materiales	182
5.2.2.	Diseño de experimentos con mezclas	184
5.2.3.	Mezclas para material de acabado.....	185
5.3.	Experimentación.....	186
5.4.	Resultados	190
5.4.1.	Resultados de la experimentación.....	191

5.4.2. Evaluación de los materiales	195
CONCLUSIONES	199
REFERENCIAS	203
Anexos	211
Anexo 1 Análisis de patentes	211
Anexo 2 25 principios de bioconstrucción	216
Anexo 3 Parámetros de confort integral	217

Introducción

En la medida en que evoluciona la tecnología y cambian los modos de hacer las cosas, gracias a un mayor nivel de conciencia, la sociedad misma busca y empieza a aceptar los productos ecológicos, situación que empieza a ocurrir en cuanto a los medios de producción y la búsqueda de una reconexión con la naturaleza. En la construcción, no obstante, la transición ocurre más lentamente.

En la medida en que ocurre un deterioro ambiental por la contaminación que genera la producción industrial en general, el ambiente de las viviendas y la construcción también se ve afectado en una menor escala. Al analizar los diferentes artefactos y productos elaborados en las fábricas, con gran contenido de químicos artificiales, estos de una u otra forma van a parar en el hogar o en los lugares de trabajo como objetos de uso cotidiano y como parte de la construcción misma.

Sin embargo, poco se cuestiona sobre la inocuidad tanto de los materiales artificiales industrializados como de las tecnologías de la comunicación y otros elementos que son parte de la vida diaria. En este trabajo, se pretende profundizar sobre los aspectos que inciden para que una construcción propicie la salud de sus habitantes, específicamente en el ámbito de los materiales de construcción.

Se parte del hecho de que hoy en día los materiales de mayor uso en la construcción, que van desde los materiales estructurales hasta los materiales de acabados, tienen a desprender diferentes componentes a lo largo de su vida útil, muchos de ellos con efectos perjudiciales para la salud de los habitantes.

No obstante, tratar de implementar los materiales ancestrales en las técnicas tradicionales, que era comunes hasta hace pocas décadas, resultaría tarea imposible en un contexto urbano, dada las exigencias de la construcción actual, que demanda rapidez, bajo costo y durabilidad. Por ello se aprecia la construcción prefabricada como una posibilidad factible para reincorporar materiales naturales en la construcción.

Ante estas premisas, en el presente trabajo se propone una metodología para el desarrollo de elementos prefabricados con materiales ecológicos, que, a la vez que se adapta a las formas de construir de una sociedad a la vanguardia en tecnología, pueda ofrecer soluciones saludables y sustentables en el ambiente construido.

Problemática

Con el desarrollo en la era moderna del acero y concreto como materiales de construcción se han logrado en poco más de un siglo construcciones con alturas impensables. Así mismo, el desarrollo de la petroquímica ha dado lugar al surgimiento de diferentes polímeros y resinas para uso en la construcción y como aplicación en diferentes artefactos de la vida cotidiana.

Estos avances tecnológicos han marcado pautas importantes en la arquitectura, una de ellas es la construcción prefabricada, que ha traído importantes aportes en cuanto a la rapidez y ligereza de la construcción, lo que ha dado lugar a la construcción de grandes rascacielos en tiempo relativamente corto.

No obstante, el uso desmedido de los materiales industrializados y artificiales ha remplazado a los materiales naturales de uso tradicional de una manera exuberante. Esto empieza a tener efecto en la salud de las personas, al propiciar espacios con diversos componentes químicos sustenticos y artificiales, a las cuales el cuerpo humano no estaba preparado, que en muchos casos resultan ser tóxicos y que en la mayoría de ellos, ni siquiera se ha ensayado sus efectos en la salud. Aunado a esto se ha propiciado una desconexión con la tierra, con la naturaleza misma, al optar por vivir en construcciones altamente artificiales.

Hoy en día, incluso la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce el Síndrome del Edificio Enfermo “como aquellos síntomas o patologías que sufrían los trabajadores y usuarios habituales de edificios públicos generados por el propio edificio” (Silvestre, 2014). Estos efectos negativos también empiezan a detectarse a nivel de vivienda, lo cual tiene sentido si se asocia que un artefacto

producido en una fábrica que causa estragos en el medio ambiente, también los causara a menor escala en el hábitat donde se utiliza.

Ante estas premisas se detecta la necesidad de introducir nuevamente materiales naturales en las construcciones, para lograr la reconexión y el equilibrio del ser humano, propiciando ambientes bióticos. Es necesario pensar en adaptar los materiales naturales y ecológicos a las tecnologías y formas de construir actuales, por lo cual se plantea el desarrollo de elementos prefabricados a base de paneles que propicie las cualidades constructivas que la sociedad actual demanda.

Objetivo General

Desarrollar una metodología para el diseño de paneles constructivos a base de materiales ecológicos que permitan la construcción sana, partiendo de la geobiología y la bioconstrucción que definen los principios de una arquitectura saludable; el análisis de sistemas constructivos prefabricados, la normatividad aplicable y la evaluación y aplicación de materiales de acuerdo con su procedencia e impacto.

Objetivos específicos

- Identificar los factores que indiquen en que una construcción propicie la salud de sus habitantes
- Analizar la incidencia y las características de los materiales ecológicos y su aplicación en la bioconstrucción.
- Identificar las características de elementos prefabricados tipo panel, aplicaciones y análisis del mercado de sistemas constructivos prefabricados en bioconstrucción.
- Desarrollar un proceso metodológico que permita configurar diversas alternativas de paneles a partir del análisis de materiales más apropiados, el tipo de panel y las propiedades más relevantes.
-
- Diseñar y desarrollar un panel constructivo como caso de estudio con materiales ecológicos y valorar su factibilidad mediante la experimentación y evaluación.

Justificación

Al hablar del término salud, pocas veces se relaciona con las condiciones de habitabilidad que se tienen en los espacios construidos, es un tema que se asocia a otros múltiples factores, menos a las condiciones que tiene una vivienda o el lugar de trabajo en cuanto a materiales y otros aspectos. Sin embargo, en las últimas décadas, múltiples investigaciones realizadas en diferentes países han demostrado la existencia de varios factores que pueden incidir en que un espacio propicie la salud de sus habitantes o no, entre ellos el origen artificial de los materiales.

Hoy en día, gracias al avance tecnológico, a las ventajas de rapidez en la construcción que ha brindado la era industrial ha tenido lugar el desarrollo de múltiples materiales de construcción encaminados a ofrecer ventajas como protección contra el fuego, impermeabilidad de superficies, ligereza en la construcción, entre otras. Sin embargo, los efectos negativos, tanto en la propia salud como en el medio ambiente es algo que se ha dejado de lado.

Los agentes tóxicos están muy presentes en la vida cotidiana, tanto fuera como dentro de casa. Cientos de compuestos químicos forman parte del ambiente interior de las viviendas y convierten en potencialmente tóxico el aire que respiramos. La gran mayoría de los tóxicos presentes en el hogar se generan en su interior (Silvestre, 2014a).

La inclusión de materiales industrializados y a base de químicos sintéticos es muy reciente, no obstante, las repercusiones en la salud se han visto reflejadas a partir de entonces, aun cuando la relación salud-vivienda no está aceptada abiertamente por la sociedad. “Muchos productos químicos nuevos aparecieron en los edificios después de la Segunda Guerra Mundial y, junto con el endurecimiento de la envoltura del edificio en respuesta a las necesidades de conservación de energía, pronto se observaron resultados de salud más pobres y problemas de calidad del aire interior” (Petrovic, 2017)

En la actualidad las formas de construcción que prevalecen en el contexto urbano son a base de materiales sintéticos, que a pesar de que no se tiene en cuenta, representan importantes consecuencias de la salud de sus habitantes. “La humedad relativa baja, la electricidad estática, el campo eléctrico alterno, las ondas electromagnéticas, los materiales sintéticos, la falta de conexión de algunas estructuras a tomas de tierra, la presencia de compuestos orgánicos volátiles y una iluminación poco biótica, entre otros, pueden acabar comprometiendo el equilibrio del organismo” (Silvestre, 2014).

Los impactos ambientales que producen los materiales convencionales en la construcción, tomando en cuenta su ciclo de vida, están presentes en cada fase, pues por lo general implican procesos de producción muy contaminantes, desde su extracción hasta el fin de su vida útil cuando son desechados. “Uno de los problemas más graves que colabora en la contaminación del medio ambiente es la fabricación de materiales de construcción. La quema de combustible para la producción de estos materiales es una de las mayores consumidoras de energía” (Cedeño, 2010). Sin embargo, además de las emisiones a causa de la fabricación de materiales, estos por sí mismo también generas emisiones a causa de su procedencia, al incluir componentes agresivos para la salud.

Con lo anterior se detecta una necesidad urgente de reducir de manera importante las emisiones perjudiciales para la salud producidas por los materiales de construcción. Para lo cual es necesario implementar materiales constructivos inocuos para la salud. En este sentido, los materiales naturales resultan la mejor opción pues son totalmente compatibles con la biología del ser humano y durante siglos habían sido utilizados de manera normal, hasta la inclusión de materiales industrializados que los han reemplazado de manera importante.

Hoy por hoy, el objetivo principal de la edificación biológica es definir de nuevo las auténticas necesidades del hombre en cuanto a vivienda e intentar satisfacerlas mediante el empleo de materiales y métodos de construcción naturales (Osorno, 2001) “En la mayoría de los casos recurrir al concreto es inevitable, pero se puede limitar su uso y buscar alternativas cuando este no sea indispensable” (Gauzin-

Müller, 2002), lo que implicaría la combinación de técnicas constructivas, donde tendría cabida los materiales ecológicos, no necesariamente como materiales estructurales, sino como materiales de envolvente u otros elementos constructivos.

La construcción prefabricada trae muchas ventajas en el proceso constructivo. En el marco de una gestión global, los materiales deben ser considerados según varios tipos de criterios. Deben estar desprovistos de riesgos para la salud, ser renovables y reciclables. Respetar el medio ambiente es también optar por materiales cuya fabricación necesite poca energía y escoger productos locales con el fin de fomentar la economía regional y limitar el transporte por carretera (Gauzin-Müller, 2002).

No obstante, la prefabricación a pesar de ser una técnica muy antigua, considerada desde la elaboración del ladrillo, en las últimas décadas ha tenido lugar principalmente en la fabricación de elementos de concreto y metal, que reducen en gran medida los tiempos de construcción y permiten tener un mejor control de calidad de las obras sobre todo de ingeniería. Es así que el presente trabajo de investigación pretende aprovechar todas las ventajas que ofrece la tecnología de la construcción prefabricada, pero con la incorporación de materiales ecológicos.

La preocupación la mayoría de los profesionales de la construcción y sobre todo arquitectos de renombre, es estar a la vanguardia en tecnologías, materiales y diseños ostentosos. Sin embargo, se ha perdido la sensibilidad de pensar y ofrecer soluciones creativas que lejos de implementar artefactos para el acondicionamiento climático del espacio, sea el propio diseño y los materiales lo que hagan que el espacio sea óptimo tanto en la temperatura como en el confort ambiental. “Tenemos que evitar los errores de nuestro pasado próximo, en que, con ayuda de la técnica, se intentó construir en contra de las leyes de la naturaleza” (Osorno, 2001). Ahora es necesario construir de la mano con la naturaleza para contribuir a regenerar el equilibrio ambiental.

Hipótesis

Si se desarrollan paneles constructivos para su uso en muros de envolvente y divisorios, fabricados a base de materiales ecológicos y retomando las técnicas constructivas tradicionales, será posible reducir el impacto ambiental en la construcción, lo cual propiciara mayores condiciones de salud de los ocupantes, en comparación con los paneles de materiales convencionales actualmente en el mercado.

Delimitación

El estudio de delimita al desarrollo de componentes constructivos no estructurales para el uso de cerramiento, con énfasis a ser utilizados en elementos de cerramiento, tanto horizontales como verticales, que se definirá al momento de realizar el prototipo físicamente y realizar las pruebas pertinentes.

Metodología

La investigación por desarrollar comprende un enfoque mixto donde confluyen tres enfoques cuantitativo, cualitativo y experimental. El proceso metodológico incluye a grandes rasgos tres fases que integran aspectos teóricos, conceptuales, análisis de mercado y de normativa, y una fase experimental que permitirá aplicar la metodología desarrollada.

Tabla 1 descripción de las fases y la metodología de investigación

Etapaf ase	Descripción	Enfoque
1ra	Marco teórico, histórico y conceptual Definición de los términos salud y bioconstrucción Identificación de los factores que inciden en la salud, de los materiales ecológicos.	Cualitativo
2da	Análisis de sistemas prefabricado y su aplicación para conocer la incidencia de uso de materiales ecológicos.	Cuantitativo y cualitativo

	Descripción de las propiedades y características de materiales ecológicos	
3ra.	Diseño experimental y desarrollo de metodología, diseño de panel ecológico	Experimental

En la primera fase, dentro del marco teórico se tiene como objetivo el desarrollo de la definición y características de los materiales ecológicos para lograr construcciones sanas. Además, se pretende realizar una investigación exhaustiva de cuales materiales entrarían dentro de la categoría de ecológicos. Este estudio comprenderá el primer capítulo y se trata de un análisis mixto tendiente a lo cualitativo.

En el segundo apartado se identificarán diferentes tipos de paneles como elementos prefabricados para adaptar los materiales ecológicos a un sistema constructivo a base de paneles fijos y móviles, este es un estudio técnico en el cual se analizarán a fondo algunos sistemas constructivos en el mercado dentro de la prefabricación en bioconstrucción.

En la tercera parte comprende la fase experimental y el desarrollo de la metodología, se abordará el desarrollo de un prototipo de paneles ecológicos, se iniciará primero con seleccionar algunos materiales de los analizados en los apartados anteriores y se procederá a realizar algunas pruebas de aplicación con diferentes combinaciones, para ello se realizará un diseño experimental que servirá de sustento para registrar los resultados obtenidos. Con lo cual finalmente se evaluará el desempeño del panel propuesto en comparación con un panel puesto en el mercado actualmente. En la Figura 1 se muestra el esquema de investigación. que se plantea.



Figura 1 Esquema de investigación

1. ARQUITECTURA Y SALUD

Hablar de salud en el ámbito de la construcción suena un concepto un tanto alejado o fuera de ámbito. No obstante, la vivienda como el hábitat del ser humano que lo protege de las severidades del tiempo tiene una función que va más allá. “La bioconstrucción considera la envolvente de un edificio haciendo la analogía a nuestra tercera piel” (Baker-Laporte & Laport , 2005), y debe ser diseñada y construida como una extensión del propio ser humano, es decir, que represente un refugio que le permita potenciar su existencia y que tenga las condiciones y características propias para albergar un ser vivo.

De acuerdo con Bueno (1994), está claro que a nuestra propia piel no la cubriríamos con plástico, se le restringiría la respiración, lo cual sería muy perjudicial para la salud. Entonces, ¿por qué hacerlo con la propia vivienda o cualquier construcción en la que interactuamos día con día? Esto denota una importante falta de conciencia, falta de conexión con la naturaleza. A consecuencia de tantos distractores tecnológicos, se han dejado de escuchar y se han perdido las enseñanzas tradicionales, que a pesar de parecer técnicas obsoletas, guardaban una enseñanza que había trascendido miles de años, la construcción en armonía con la naturaleza, la bioconstrucción.

Hoy en día, la total aceptación de las consideradas técnicas modernas de una sociedad urbana en su mayoría comprende un obstáculo para regresar a las técnicas constructivas ancestrales, es su mayoría a base de arcilla y materiales orgánicos. Sin embargo, “lo que es una necesidad apremiante, es captar el espíritu de la arquitectura, la naturaleza y de la tradición constructiva y aplicarlo de acuerdo con nuestros tiempos” (Osorno, 2001), es decir, hacer uso de la tecnología para volver a implementar el uso de materiales ecológicos, en una sociedad que en su mayoría vive en hábitats urbanos.

Para ello es necesario profundizar sobre los aspectos que inciden en que una construcción propicie la salud de sus habitantes e identificar aquellos que la ponen

en riesgo. En este capítulo se analizan los factores que inciden en la salud y con base en ello, a lo largo de la investigación, realizar una metodología de propuestas constructiva que mitigue los efectos negativos para la salud que se propician en las construcciones. Para el análisis de dichos factores se recurre a las disciplinas bioconstrucción y geobiología que analizan la relación del hábitat construido con aspectos bióticos. Se parte del análisis de diversos estudios y autores que identifican elementos de alta toxicidad utilizados comúnmente en la construcción, que suelen ser perjudiciales para la salud.

1.1. Bioconstrucción y geobiología para la construcción saludable

A lo largo de la historia, el hombre ha evolucionado la forma de construir su hábitat, el cual tenía una estrecha conexión con la naturaleza y el contexto inmediato. No obstante, hoy en día con los avances tecnológicos producidos, la tecnología y la idea de progreso, han propiciado que en tan solo algunas décadas se diera una evolución drástica en la forma de construcción. Los materiales de mayor uso en la construcción son producto de procesos industriales agresivos tanto para el entorno, el medio ambiente, como para los propios usuarios de las construcciones. Lo cual puede incidir directamente en la salud.

Los materiales y las tecnologías y técnicas constructivas solo son una parte de la multiplicidad de factores que influye en que una construcción propicie un ambiente saludable para sus ocupantes. La complejidad del análisis de la salud y los trastornos potenciales propiciados por las construcciones conlleva a recurrir a disciplinas cuyo enfoque es precisamente la relación del hábitat construido con la salud de quienes lo habitan. Estas son la bioconstrucción y la geobiología, la cuales “podemos evidenciarlas como ciencias que se complementan la una de la otra” (Osorno, 2001). Ambas se enfocan en el cuidado de la vida y propiciar un hábitat saludable y abarcan diferentes aspectos complementarios.

1.1.1. Bioconstrucción

Los términos bioconstrucción, bioedificación o bioarquitectura que se pueden usar indistintamente, se basan en el prefijo “bio” que significa vida, lo que da la connotación a una construcción como apta para la vida o para preservar la vida en un sentido de integridad, cuyos “planteamientos se basan en diseñar y construir viviendas o cualquier otro edificio que obedezcan a criterios de salud y armonía para sus moradores” (Bueno, 1994). “Esta visión busca el equilibrio en todo el proceso constructivo, desde la identificación del lugar, y la integración con este, la concepción y la realización del espacio, los procesos vitales y de abastecimiento durante la vida útil del edificio hasta el reciclaje del material utilizado” (De Carvalho, 2015). Optar por una arquitectura saludable implica una mejora tanto a nivel global como a nivel personal, como se describe en la figura 1.1.

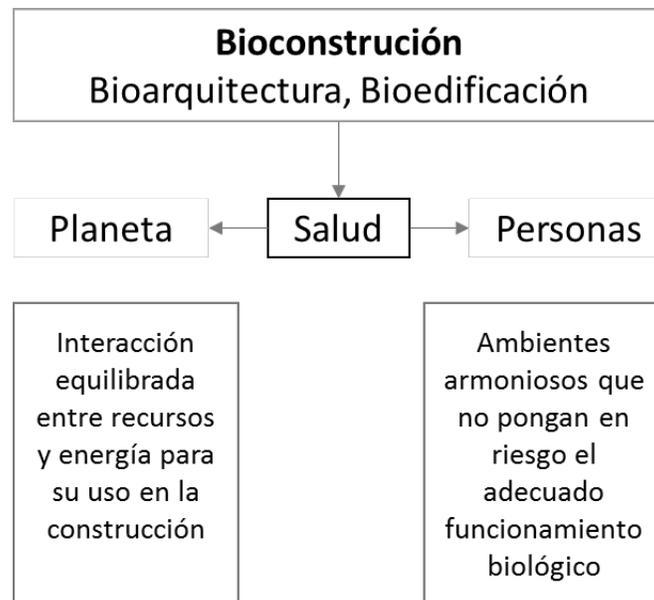


Figura 1. 1 niveles de incidencia de la bioconstrucción
Fuente: Elaboración propia

La bioconstrucción comprende un concepto integral para lograr condiciones bióticas para las personas que habitan los espacios, y relaciones de interacción en el entorno de manera equilibrada y consciente. Comprende una visión holística donde confluyen diversos factores que resultan en una construcción acorde o en equilibrio a las funciones biológicas de los ocupantes. “Persigue el uso adecuado

de los recursos, de acuerdo con el sitio y las circunstancias sociales y económicas de los usuarios” (Osorno, 2001). La salud comprendida en diferentes niveles, desde el individuo hasta el planeta entero.

En este sentido, la bioconstrucción está encaminada en lograr un confort transversal. “Todo ser humano necesita un cobijo o vivienda que le proporcione la intimidad en la que desarrollar la diversidad de aspectos materiales, físicos, energéticos mentales, emocionales, psicológicos y espirituales que le permitan potenciar el ser que es” (Martínez, 2015). La vivienda y los edificios en general deben ser construidos de manera consiente sobre los materiales a utilizar, y en el propio diseño se deben considerar factores para generar ambientes que propicien la calidad de vida de sus ocupantes y que busquen un equilibrio natural.

Desde el termino bioconstrucción, Martínez (2015) hace referencia al termino biorresponsabilidad, que implica entender a todos los seres vivientes como un todo, por tanto, lo que afecta a una parte afecta al todo. Esta biorresponsabilidad entendida como la preocupación y ocupación del cuidado de la vida. “El cuidado consiste, pues, en la suma total de las prácticas mediante las cuales nos ocupamos de nuestro bienestar, de los demás y del mundo natural” (Alvarez, et al., 2020)

La biorresponsabilidad se convierte así en la actitud de ser conscientes de todo cuanto existe, actuando en consecuencia y tratando toda vida como si fuera la vida propia (Martínez, 2015). Es decir, actuar con ética en todo momento. Morín (2011) enfatiza la necesidad de concebir una ética en tres dimensiones Individuo – sociedad – especie, lo que deja implícito la relación humano-naturaleza. Que implica la toma de decisiones pensando a nivel global, tomando en cuenta no solo a los seres humanos sino a todos los seres bióticos y abióticos que son parte inherente de planeta.

Construir biológicamente, es decir en forma apta para la vida, y, en consecuencia, economizando energía de manera natural, ha sido la característica esencial de toda arquitectura de vivienda en la historia (Osorno, 2001). “En los países

germánicos nació la baubiologie – biología de la construcción – como consecuencia de los problemas asociados al abuso del hormigón armado y materiales sintéticos, ligado a una arquitectura fría, impersonal e impregnada de asepsia que nos aleja de los procesos biológicos naturales” (Bueno, 1994).

Hasta la llegada de la industrialización, las construcciones mantenían ese carácter de construcciones pensadas para el ser humano. Sin embargo, el uso desmedido y la producción de materiales en su mayoría sintéticos, ha repercutido en la necesidad de concientizar e implementar nuevamente esta biorresponsabilidad en el uso de los recursos. La bioconstrucción plantea, por tanto, retomar nuevamente esta forma de construir, respetando la vida en diversos sentidos, sobre todo, al propiciar la salud de las personas en su hábitat, y por consiguiente la salud ambiental.

De Carvalho (2015) identifica dos vertientes que se han desarrollado en relación con la bioconstrucción. Una que propone el uso de la tecnología existente, cuyo enfoque busca reducir impactos en cuestión energética, pero atendiendo la demanda de recursos naturales a gran escala e industrializada. Y otra referida a las tecnologías apropiadas localmente, implementar diseños pasivos, una construcción artesanal con materiales naturales.

La visión de ambas partes buscan el equilibrio y contextualizando a las circunstancias locales, culturales económicas y físicas (De Carvalho, 2015). Si bien la primera vertiente está enfocada a un contexto urbano que demanda rapidez de construcción, el término más utilizado en este tipo de construcciones es el de sustentabilidad. La segunda visión se enfoca a personas que buscan vivir en equilibrio con la naturaleza y hacer uso de los recursos que se tienen a la mano, lo cual es más factible de lograr en un entorno rural.

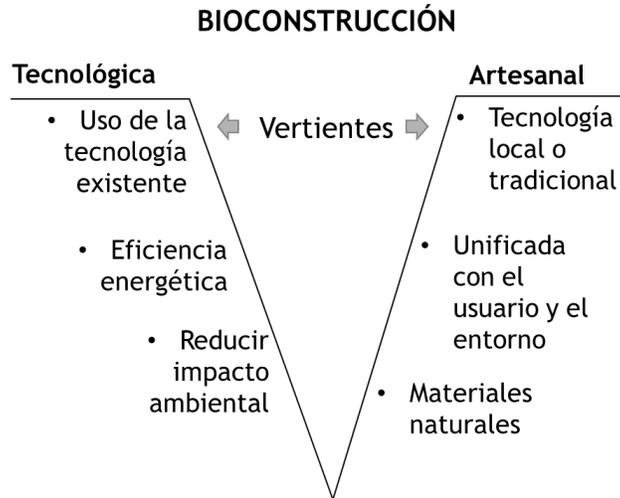


Figura 1. 2 Vertientes de la bioconstrucción

Fuente: elaboración propia con base en (De Carvalho, 2015)

Para fines de este trabajo, la bioconstrucción se plantea considerando ambas vertientes a la vez. Se plantea una visión integral que tome en cuenta los diferentes enfoques de una arquitectura en armonía con la naturaleza. En este sentido, existen diferentes connotaciones que describen características de una arquitectura pensada en reducir impactos ambientales, generar ambientes confortables y recurrir a materiales y técnicas locales de bajo impacto ambiental, lo que conlleva a una arquitectura saludable. Estos son: arquitectura bioclimática, sustentable, ecológica y autóctona, cuyos principios son considerados dentro de la bioconstrucción.

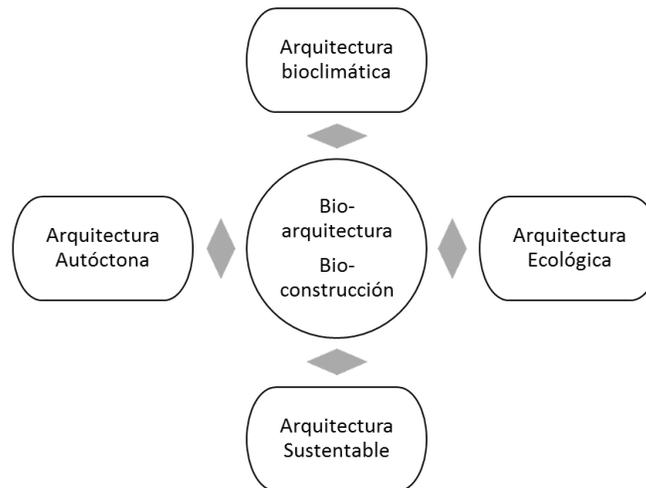


Figura 1. 3 términos de arquitectura

Fuente: Elaboración propia

La arquitectura bioclimática o diseño bioclimático, busca aprovechar las condiciones exteriores en función de un mejor aprovechamiento de la energía y lograr un confort térmico en el interior de la construcción. “Se basa en el aprovechamiento de las condiciones ambientales del entorno: la temperatura media en las distintas épocas del año, la isolación, la dirección predominante de los vientos, vegetación” (Bueno, 1994). Mientras que la arquitectura ecológica “asegure que el ciclo de vida del material este integrado al ecosistema, y por norma general esto nos lleva a materiales poco manipulados respecto a su origen natural” (De Carvalho, 2015). La arquitectura autóctona por su parte, se refiere al tipo de construcciones propias de un lugar, que incluirá materiales locales y característicos de la zona.

En tanto la arquitectura sustentable, con relación a lo establecido en el reporte de Brundtland y la definición del desarrollo sustentable, cuida del uso de los recursos que utilizamos de manera que se garantice los recursos también para las futuras generaciones, es decir, es un llamado a tomar decisiones y acciones para evitar el agotamiento de los mismos. Esto conlleva a usar de manera racional los recursos, optar por recursos renovables y realizar acciones para su regeneración y persistencia. “La arquitectura sustentable propone cinco rubros de manejo sustentables, los cuales son: manejo del sitio, manejo de la energía, manejo del agua, manejo de materiales y desechos y finalmente el manejo del confort al interior del edificio” (Hernández & Delgado, 2010), es decir, todo lo que implica el ciclo de vida del material.

De acuerdo con De Carvalho (2015) la bioconstrucción o bio-arquitectura plantea una visión global y considera los aspectos referidos en la arquitectura bioclimática, sustentable, ecológica y autóctona, adicionando un aspecto primordial que es la salud de las personas. esto se plantea a partir de una buena calidad del ambiente interior, la cual se define en parte importante por los materiales de construcción, que deben ser biocompatibles, es decir, libres de componentes sintéticos y/o tóxicos.

1.1.2. Geobiología

Al analizar los vocablos de la palabra geobiología es posible identificar que se refiere a geo – tierra y bio – vida, y se refiere al estudio de las emanaciones de energía procedentes de la tierra y su relación con la vida, los seres vivos. Para Bueno (1994), el termino geobiología se queda corto, dada la amplitud de aspectos que se estudian en esta disciplina. “La geobiología estudia la contaminación eléctrica o electromagnética, los materiales tóxicos empleados en la construcción y los efectos de las radiaciones y la radiactividad terrestre en nuestra vivienda, a las que debemos sumar las generados por el ser humano” (Bueno, 1994).

El nombre de esta “ciencia” se debe también a la comprobación de que muchas de las enfermedades y trastornos parecían asociados a las radiaciones procedentes del subsuelo de los lugares habitados (De Carvalho, 2015). Sin embargo, es importante subrayar que, aunque esta disciplina no está reconocida como ciencia oficial, existen diferentes estudios científicos que mediante la experimentación han podido demostrar la existencia de diversos fenómenos geobiológicos, incluso cada vez hay más avance en cuanto a instrumentación para la medición de dichos fenómenos.

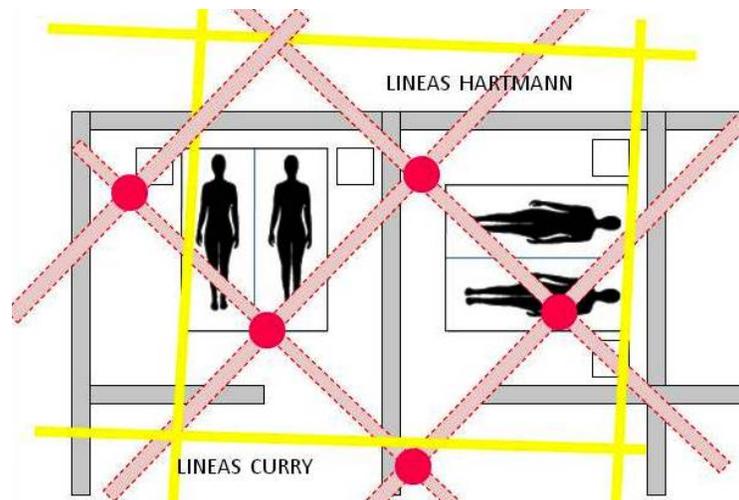
Existe multitud de redes magnéticas terrestres en toda la tierra. “Nuestro planeta es como un gigantesco imán, con dos polos que aproximadamente coinciden con los polos geográficos. Existe un gran campo magnético que cubre toda la superficie terrestre. Ese campo, en forma de malla, una red geomagnética natural, una especie de cuadrícula con celdas de 2 x 2.5 metros aproximadamente, orientada de norte a sur” (León, 2013). Aunado a esta malla, se ha descubierto una malla diagonal con separación entre líneas entre 6 y 7 metros. “Estas retículas son conocidas como líneas Hartmann y líneas Curry respectivamente” (Martínez, 2015), en honor al nombre de importantes científicos que contribuyeron a su descubrimiento.

A nuestro planeta llegan constantemente radiaciones y energías cósmicas, que sumadas a la reflexión de las mismas al entrar en contacto con la tierra y las

radiaciones emitidas por ésta, han contribuido a crear el ambiente adecuado para el desarrollo de la vida como la conocemos, cualquier elemento que haga variar esta interacción energética dará origen a lugares de radiación alterada y por lo tanto desde el punto de vista humano, a zonas geopáticas de mayor o menor intensidad (De la Rosa, 2013).

Parte de la geobiología estudia los efectos de las líneas Hartmann y líneas Curry y sus efectos en la salud, así como las diferentes emanaciones de energía procedentes de la tierra, como lo son las líneas de agua subterránea, fallas, radiaciones, entre otras, ya que la energía que emiten resulta perjudicial para la salud. “La gran mayoría de las enfermedades pueden tener su origen en una debilitación del sistema inmunológico producida en muchas ocasiones por las alteraciones del entorno, en especial las geofísicas” (De la Rosa, 2013).

Este fenómeno se da por la permanencia prolongada en lugares alterados, como ocurre en las habitaciones o en lugar de trabajo o estudio. Las alteraciones geofísicas naturales, sobre todo las procedentes del subsuelo, no se pueden evitar, no obstante es importante reconocer su ubicación para diseñar los espacios arquitectónicos a manera de evitarlas en estos espacios, como se observa en la Figura 1.4.



*Figura 1. 4 Proyección de las líneas Hartmann y Curry en el plano de una vivienda
Fuente: <https://es.scribd.com/document/181867000/La-Buena-Onda-Pere-Leon#>*

En términos generales “la geobiología trata especialmente de todo aquello que pueda afectar a la salud o al bienestar de las personas en su entorno y, más

concretamente, en su hábitat” (De la Rosa, 2013). “La incidencia de estas radiaciones es de una importancia vital, ya que determina la calidad biótica del suelo sobre el que las personas interactuarán, el lugar donde vivirán. El nivel biótico puede ser positivo, neutro o negativo y viene determinado por emanaciones energéticas de diferentes orígenes” (Martínez, 2015). Estos fenómenos son de origen natural.

No obstante, además de las alteraciones energéticas de forma natural, al igual como ha ocurrido con la incursión de materiales artificiales y químicos sintéticos en la construcción, el desarrollo de las diferentes tecnologías de la comunicación y de producción de energía han impactado de manera importante el equilibrio energético de los espacios arquitectónicos y, por tanto, contribuyen de igual manera a la alteración de la salud. “En la actualidad se observa un aumento en la incidencia de las alteraciones telúricas debido a que los materiales utilizados actualmente en la construcción, como el hormigón y las estructuras metálicas, amplifican las perturbaciones geofísicas, a lo que se suma una mayor incidencia de los rayos solares sobre la corteza terrestre y el impacto de los campos electromagnéticos artificiales en el espacio aéreo ambiental, que da lugar a terrenos más conductores. (De la Rosa, 2013). El estudio de estas influencias energéticas tanto naturales como artificiales es precisamente lo que compete a la geobiología.

Por tanto, la geobiología permitirá detectar los riesgos inminentes que existen en torno a una construcción, de manera que se tomen en cuenta desde el diseño de un proyecto arquitectónico, la elección del sitio y la misma construcción. Por su parte la bioconstrucción es la respuesta de una arquitectura en armónica con el entorno que habrá de evitar los riesgos potenciales en diferentes aspectos para generar una construcción saludable. Por lo tanto, de acuerdo con Osorno (2001), la geobiología y la construcción son disciplinas complementarias.

1.2. Arquitectura saludable: el edificio sano y el edificio enfermo

Al mencionar el termino edificio sano, podría parecer que la salud es una condición sin relación aparente a un edificio. Sin embargo, hoy en día hay cada vez más evidencias de que los edificios, la vivienda, el hábitat en general contribuye en gran medida a la salud de los ocupantes. “Salvo en algunas ciudades o zonas muy contaminadas, en general, en el interior de los espacios arquitectónicos estamos expuestos a muchos más agentes nocivos para nuestra salud que en el exterior de los mismo” (De Garrido, 2014). Lo cual es preocupante si se considera que gran parte de la población urbana permanece cerca de un 90% del tiempo en lugares cerrados.

La salud, en un sentido amplio, se refiere a un estado de equilibrio físico, mental y espiritual. Y por consiguiente, la vivienda y los espacios habitables en general, pueden incidir de manera importante en el estado de salud de las personas. Aspectos como un diseño armónico, la utilización de colores apropiados y la iluminación natural tiene la pauta de generar estímulos positivos a nivel psicológico. Lo cual es perceptible por los sentidos. Sin embargo, a nivel fisiológico, cuando hay una mala calidad del aire interior, o existen alteraciones geofísicas importantes, tienen efectos perjudiciales en el organismo que se dan paulatinamente y estos efectos por lo general no se perciben por los sentidos y tardan tiempo en manifestar alguna alteración en el organismo. Estos aspectos dan pauta al reconocimiento de edificios que pueden enfermar a sus ocupantes.

1.2.1. Síndrome del edificio enfermo

La condición de enfermedad o de diversos síntomas que han manifestado personas que trabajan en un mismo edificio ha dado pauta a la identificación de un síndrome reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que define el término Síndrome del Edificio Enfermo “como aquellos síntomas o patologías que sufrían los trabajadores y usuarios habituales de edificios públicos generados por el propio edificio” (Silvestre, 2014). “y debidas, entre otras causas, a la mala ventilación, la descompensación de temperaturas, la ionización, la radiación

electromagnética, las partículas en suspensión, los gases y vapores de origen químico (De Garrido, 2014).

Muchas respuestas del organismo a determinados estímulos surgen de manera inconsciente, a nivel metabólico. En el caso de los estímulos percibidos por los sentidos al inicio se detectan, sin embargo, si entra dentro del rango de lo tolerable, el cuerpo termina adaptándose y se vuelve algo inconsciente. De acuerdo con de Garrido (2014) las personas tienen respuestas fisiológicas distintas frente a un determinado contaminante.

No obstante, al prolongarse la exposición, se acostumbran a sus propias respuestas fisiológicas, y ya no son conscientes de ellas. “Frente a la exposición a un contaminante la respuesta natural del cuerpo es activar las defensas inmunitarias y enzimáticas. Aumenta el metabolismo en un intento por eliminarlo y si la exposición se prolonga, el cuerpo entra en una etapa depresiva donde ya no puede hacer frente a dicho contaminante y enferma” (De Garrido, 2014). Lo que determinará el efecto sobre la salud de un contaminante al que es expuesto el organismo es la cantidad y tiempo de exposición al toxico, así como la capacidad de adaptación de cada individuo.

El termino Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), surge en relación principalmente a edificios de oficina, sin embargo este fenómeno también se está dando a nivel vivienda. “Hay toda una serie de factores que van desde una mala regulación de la temperatura y/o la humedad, o una escasa renovación del aire, pasando por una iluminación artificial, materiales sintéticos, piso enmoquetado” (De Prada, 2013). La lista de factores resultaría muy amplia. No obstante, el presente trabajo busca reconocer los factores de riesgo para la salud en los edificios a manera de evitarlo y dar prioridad a construcciones saludables, a partir de actuar de manera consciente del problema.

Al hacer una retrospectiva en la historia y la evolución que ha tenido la construcción en el último siglo se han identificado dos cambios importantes en relación a los materiales que generan efectos negativos en la salud “Primero, se han incorporado miles de productos químicos sintéticos en los materiales de

construcción. Segundo, las envolventes de los edificios están sellados herméticamente de manera que los contaminantes generados por los químicos y los ocupantes permanecen atrapados dentro de las casas, donde se inhalan en los pulmones y se absorben en la piel (Baker-Laport, et al., 2014). Lo cual tienen efectos negativos en la calidad del aire interior.

Además, “con la llegada la era industrial y el suministro de electricidad, el equilibrio del campo eléctrico en que estamos inmersos se altera tanto por causas naturales como por causas del desarrollo industrial” (De Carvalho, 2015) y sumado a esto, las tecnologías de la comunicación de muy reciente incorporación, los riesgos a los que se está expuesto en los espacios construidos aumentan considerablemente. Por lo tanto, se tienen riesgos tanto físicos como químicos y biológicos que pueden interactuar en un espacio arquitectónico mediante ondas, partículas y microorganismos y viciar el ambiente convirtiéndolo en potencial riesgo para la salud.

Con el fin de evitar problemáticas como la humedad, la acumulación de polvo, entre otras, muchos materiales, principalmente los derivados del petróleo, tienden a generar superficies selladas herméticamente, pues son materiales de poro cerrado, que a diferencia de los de uso tradicional como la tierra, su relación con el aire interior es nula. Por ejemplo, “si se utilizan pinturas no porosas para pintar las envolventes arquitectónicas (en el interior y/o en el exterior) obtenemos edificios que no pueden transpirar, y que se convierten en un enorme peligro para sus ocupantes” (De Garrido, 2014). Pues el tema de la transpirabilidad es crucial en un edificio saludable.

Los elementos que contribuyen a generar una mala calidad del aire interior son diversos y no se limita a los materiales de construcción. “Aire acondicionado, repelentes de gérmenes patógenos, aislantes cancerígenos, sustancias químicas altamente tóxicas empleadas en materiales de construcción, pinturas o productos de limpieza, mala iluminación, aluminosis, etc.” (Bueno, 1994). No obstante, la detección de un espacio con el SEE resulta un tema complejo, y no es común a la fecha monitorear la calidad del aire interior de los edificios.

En ausencia de instrumentación para la detección química de pequeñas cantidades de algunos contaminantes del aire, los sentidos siguen siendo el sistema indicador más sensible” (Mølhave, 2011). Aunque muchos de los riesgos potenciales son imperceptibles o bien las personas se pueden acostumbrar en el caso de los olores, o en el caso de las radiaciones procedente del subsuelo o las de origen artificial, que no se perciben por los sentidos.

La aparición de los síntomas depende de la sensibilidad del ocupante al ambiente interior. Al mismo tiempo, diferentes factores de riesgo tendrán un poder diferente para desencadenar la aparición de tales síndromes (Wang, et al., 2008). En este sentido De Garrido (2014) señala que la sensibilidad de cada persona frente a la exposición de algún contaminante varía de acuerdo con cuatro factores: 1) la cantidad total de elementos dañinos que pueda soportar; 2) la adaptación, pues cada persona tiene una respuesta distinta frente a un determinado contaminante; 3) la bipolaridad, referida a la respuesta natural del cuerpo ante determinado contaminante, que puede verse agotada tras largos periodos de exposición y 4) la individualidad bioquímica, que se refieren a un comportamiento a nivel metabólico y del sistema inmunológico particular en cada persona.

Se considera que un edificio está enfermo cuando aproximadamente un 30% de la plantilla habitual muestra síntomas como dolor de cabeza, jaquecas, fatiga, falta de concentración, sequedad de mucosas – garganta, nariz, ojos –, lagrimeo, irritación, baja productividad, tos, dificultad respiratoria o febrícula (Silvestre, 2014). Incluso un padecimiento atípico que se le atribuye al SEE es la denominada “Lipoatrofia semicircular que es una es una lesión rara caracterizada por una depresión semicircular que aparece en la parte anterior o antero lateral del muslo, de carácter unilateral o bilateral” (Panella, et al., 2008). Que si bien se le atribuye al hecho de permanecer sentado durante largo periodo en un trabajo de oficina, el hecho de aparecer de forma horizontal lo relaciona de manera directa con las radiaciones procedentes del subsuelo, lo cual estudia la geobiología.

Derivado del SEE surge el término Síndrome de la Casa Enferma, que si bien, todavía no está reconocido por la OMS, resulta muy similar al SEE pero enfocado a edificios de vivienda. Se define como los "daños a la salud causados por la contaminación del aire interior, independientemente del lugar, la sustancia causal o la patogénesis" (Seki, et al., 2007). De acuerdo con Miyajama y otros (2015) los criterios para diagnosticar a una persona con este síndrome son principalmente tres: 1) La causa de la aparición de una enfermedad se relaciona con una mudanza, una nueva casa o edificio, la reconstrucción de una casa o edificio y/o el uso de artículos de tocador diarios nuevos o diferentes. 2) Los síntomas aparecen dentro de una habitación en particular y / o una casa/edificio en particular. 3) Cuando un paciente abandona la casa/edificio, los síntomas mejoran o desaparecen.

En muchos casos, el Síndrome de la Casa enferma es causado por el aire interior contaminado biológicamente y/o químicamente (Seki, et al., 2007). Lo que involucra, tanto productos de uso cosmético o productos de limpieza utilizados de manera cotidiana, como los materiales de construcción, de acabados y de mobiliario que constituyen la envolvente y el interior de la vivienda, además de la contaminación electromagnética a causa de las nuevas tecnologías. Los factores de riesgo son muy diversos, en términos de construcción se ahondara más sobre el tema en los siguientes apartados.

1.2.2. El edificio sano

Si bien, en un edificio enfermo quienes enferman son las personas que los habitan, de igual modo un edificio sano implica la salud de sus ocupantes. Para Martínez (2015), construir un edificio saludable es el arte de crear espacios que respondan a la multidimensionalidad del ser humano. En tanto para Luis de Garrido (2014) un edificio sano es aquel que garantice el bienestar y la buena salud de sus ocupantes. Lo cual se puede lograr al considerar diversos aspectos con respecto al propio diseño del edificio, tecnologías incorporadas y materiales de construcción.

En cuanto al diseño arquitectónico, implementar un diseño bioclimático que permita que el edificio se autorregule térmicamente, lo cual implica incorporar sistemas naturales de calentamiento, enfriamiento y ventilación. Una alta inercia térmica permitirá mantener una temperatura homogénea en el edificio. Así como diseñar una correcta iluminación, donde los espacios arquitectónicos durante el día estén iluminados de forma natural. En relación con las tecnologías, utilizar la menor cantidad posible de artefactos, para ello se debe evitar sistemas de aire acondicionado, y optar por calefacción por radiación, incorporar sistema de depuración de agua potable y captadores solares térmicos para el agua y fotovoltaicos para la electricidad. Además, impermeabilizar toda la superficie exterior del edificio en contacto con el terreno.

Respecto a los materiales de construcción de Garrido (2014) plantea utilizar materiales sencillos y poco elaborados, utilizar materiales sin aditivos, no utilizar tejidos, no utilizar materiales plásticos sintéticos, utilizar la menor cantidad posible de aglomerados de madera, y elegir con cuidado los tratamientos y las pinturas a utilizar. Estos criterios se enfocan a evitar materiales tóxicos y preferir por los menos procesados posible, a manera que la envolvente arquitectónica tanto interior como exterior sea de superficie porosa, es decir, sea respirable y exista una interacción entre la humedad y temperatura del interior y los materiales de los espacios arquitectónicos.

Existe 25 principios de bioconstrucción establecidos por el Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, que tiene origen en Alemania que presente algunas variantes de acuerdo con el Instituto Internacional de Bioconstrucción y ecología en Estados Unidos. Sin embargo, ambos establecen parámetros para la construcción de edificios saludables, aunque agrupados de diferente forma.

El IBN clasifica los principios en cinco parámetros: 1) aire interior saludable, 2) confort térmico y acústico, 3) diseño con base en el humano, 4) rendimiento ambiental sostenible, y 5) comunidades socialmente conectadas y ecológicamente sonoras. (IBN, 2020). Mientras que el Instituto Internacional de Bioconstrucción y ecología, los clasifica en cuatro grupos: 1) Diseño del sitio y la comunidad; 2)

bienestar y salud de los ocupantes; 3) seguridad de las radiaciones electromagnéticas naturales y artificiales; y 4) protección del medio ambiente, responsabilidad social y eficiencia energética.

Ambas versiones plantean parámetros tanto específicos como generales en diversos ámbitos. En términos de urbanismo y sitio, plantean asentamientos con accesibilidad tanto de vialidades como de equipamiento, donde le entono tenga las condiciones propicias para satisfacer las necesidades humanas y a la vez un ambiente saludable y protegido. Se plantean elegir sitios libres de peligros naturales o artificiales, así como de perturbaciones que generen algún tipo de contaminación por ondas (sonoras, electromagnéticas, etc.). En términos de urbanismo sustentable, los principios del INB hacen referencia a un uso de suelo mixto equilibrado en cuanto a infraestructura, para generar distancias corta; procurar suficientes espacios verdes en el entorno, y fortalecer las redes de suministro local y regional, así como fortalecer la autosuficiencia.

En términos de diseño, incluir un diseño bioclimático, que de acuerdo a las necesidades sea posible tener ganancias térmicas, ventilación natural e iluminación natural, al igual que lo plantea de Garrido (2014). Aunado a esto, se incluye un diseño pensado en el humano, con formas y proporciones armónicas, colores de acuerdo a la naturaleza, incluir un diseño sensorial que nutra las percepciones de la vista, el oído, el olfato y el tacto.

Referente a las cualidades de los materiales, plantean optar por materiales naturales, sin adulterar y sin tóxicos, con olor agradable o neutro, materiales higroscópicos que permitan amortiguar la humedad. Además de aislantes térmicos en los materiales a utilizar en climas que así lo requieran, será necesario que sean aislantes acústicos, y de radiaciones de radiofrecuencia. Se deberá considerar también aquellos con nivel de radiactividad lo más bajo posible. En cuanto al ciclo de vida, optar aquellos de menor impacto en todos los procesos y fases por las que pase, para ello es preferible optar por materiales locales y/o regionales, aquellos que no agoten los recursos no renovables o que sean de manejo sustentable en el caso de los materiales renovables.

Por último, estos principios de construcción hacen referencia a algunos aspectos de técnicas constructivas. Se plantea elegir técnicas de rápida disecación, así como aquellas para la exclusión del agua y humedad en los diferentes elementos constructivos, ya sea por efecto de capilaridad o por infiltraciones. Esto para evitar que en el edificio haya lugar a la proliferación de hongos o bacterias. Además se consideran aspectos, en cuanto al uso de artefactos y tecnologías como optar por iluminación no parpadeante, elegir calefacción mediante piso radiante, y buscar la eficiencia energética con tecnologías de ahorro de energía y agua y el uso de energías renovables. También plantean promover tradiciones y artesanías regionales de construcción. En el diagrama 3 se pueden apreciar todos los aspectos de acuerdo a los 25 principios de bioconstrucción.

MATERIALES

- Naturales y sin adulterar, no tóxicos
- De olor agradable o neutro
- Higroscópicos (amortiguadores de humedad)
- Aislantes
 - Acústicos
 - De radiación, radiofrecuencia
- De bajo nivel de radiactividad
- Preferir los materiales regionales con mejor Ciclo de vida

- Calefacción por radiación
- Técnicas de bajo contenido de humedad y rápida secado de los procesos constructivos
- Iluminación artificial sin parpadeo
- Eficiencia energética
- Promover tradiciones y artesanías regionales de construcción.

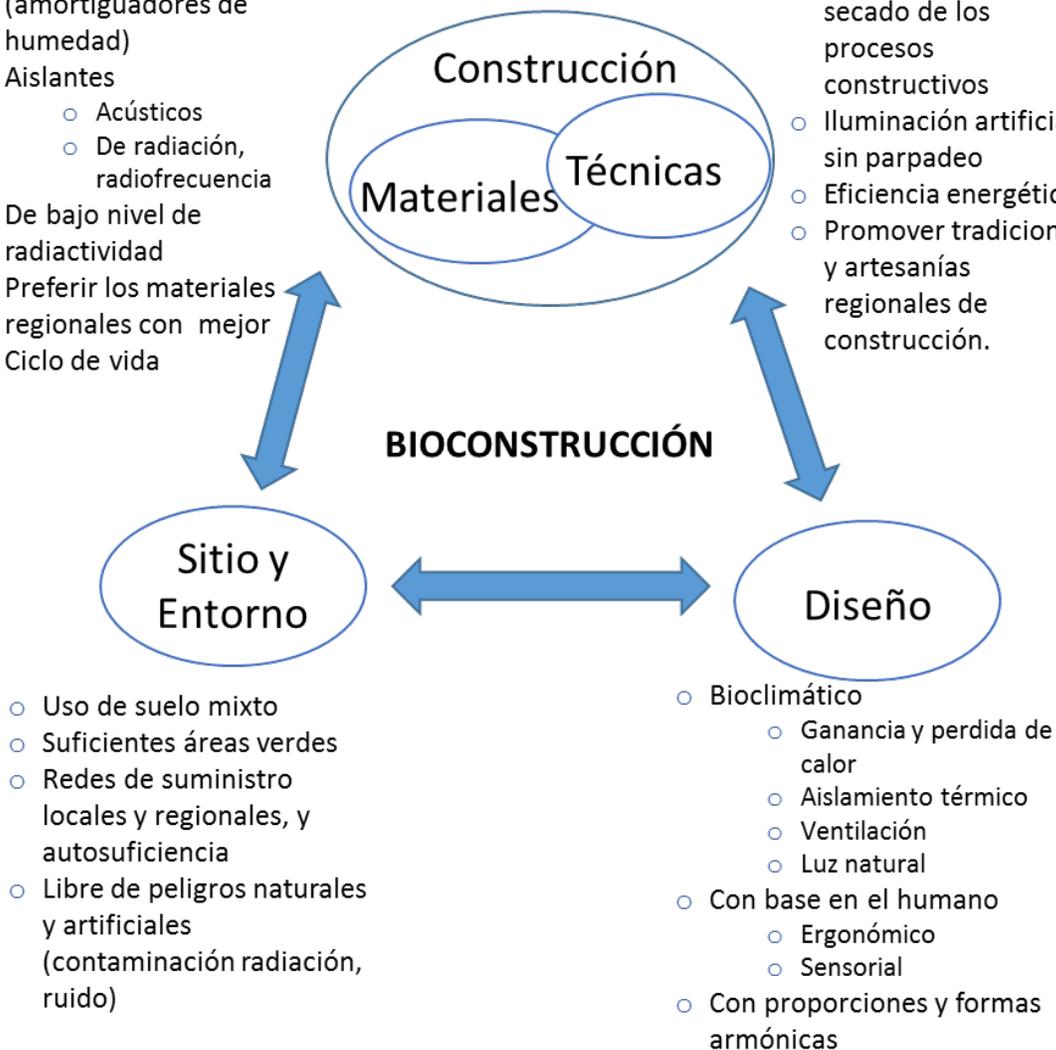


Figura 1. 5 Aspectos de bioconstrucción

Fuente: elaboración propia con base en los 25 principios de bioconstrucción (Baker-Laporte, et al., 2018) y (IBN, 2020)

Resulta muy amplio y complejo las condicionantes que definen que un edificio sano, pero de manera general lo que implica, es la implementación de edificios, viviendas, hábitats en general, que propicien las mejores condiciones posibles para reducir la incidencia de los factores de riesgo que se pueden afectar la salud

de los ocupantes. La bioconstrucción plantea las bases a tomar en cuenta para lograr construcciones que propicien la salud y estén en armonía con la naturaleza.

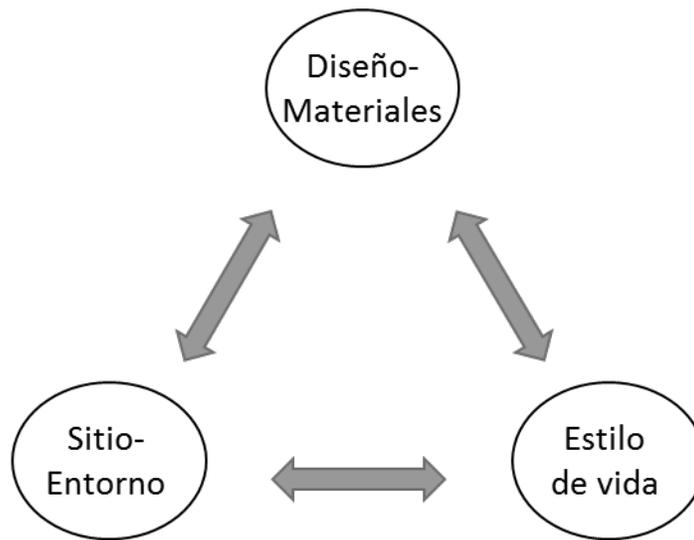
En términos de construcción, un edificio sano será aquel que evite el uso de materiales tóxicos, que propicie una ventilación y/o calefacción natural, que este diseñado a manera de evitar las radiaciones y emanaciones de energía procedentes del subsuelo, que propicie las condiciones de instalaciones adecuadas a manera de reducir contaminación electromagnética en el interior, así como evitar lo más posible la entrada de ondas electromagnéticas del exterior.

La arquitectura biológica y ecológica tiene vocación holística. No es una “vista atrás” hacia un pasado constructivo aparentemente sano, ni tampoco un nuevo lujo para unos pocos, sino que tiene la misión de unir aspectos de las artes de la construcción, la cultura arquitectónica, la salud del hábitat, cuestiones socio ecológicas y también tecnologías constructivas modernas (De Carvalho, 2015)

1.3. Niveles de incidencia de la salud en las construcciones

La salud de las personas es un tema asociado directamente a la relación salud-dieta en las últimas décadas se le ha dado mucha fuerza a la relación salud-estrés, no obstante, un aspecto que aún no se es muy consciente de ello es la relación salud-vivienda o salud-edificio. Pues si bien el entorno de trabajo o vivienda no necesariamente puede suponer una causa de contraer alguna enfermedad, sin embargo, puede potenciar o inhibir su desarrollo en personas con predisposición a adquirirla.

Son múltiples los factores que influyen en el entorno construido que puede incidir a una buena o mala salud de sus ocupantes. A grandes rasgos y en relación con la literatura revisada, se identifican tres grandes grupos o niveles en que una vivienda o construcción en general pueden incidir en la salud, que representan tres importantes fases con respecto al proceso constructivo y fases del ciclo de vida de un edificio, estos son: Entorno-sitio, diseño-materiales y estilo de vida (ver diagrama 4). Cada uno de estos grupos implica actores y escalas diferentes, dentro de la complejidad que esto supone, se busca simplificar su análisis a través de esta agrupación.



*Figura 1. 6 Niveles de incidencia de los factores de riesgo
Fuente: Elaboración propia*

1.3.1. Sitio – entorno

El análisis del entorno y del sitio son de escala macro a micro. El sitio como tal, es el terreno de emplazamiento del edificio, donde además de tomar en cuenta aspectos físicos como el tipo de suelo y la resistencia mecánica, se debe considerar otros aspectos que no son percibidos a través de la vista. Para Bijlsma (2017), al elegir una ubicación, un sitio para construir se deben considerar diversos aspectos: investigar el uso pasado y presente del suelo, evitar el estrés geopático y los depósitos radiactivos debajo del suelo donde se va a construir, evitar construir en zonas inundables o industriales, sitios de desechos o sitios sagrados aborígenes, además de evitar los lugares utilizados anteriormente como laboratorios de drogas. Lo cual indica los peligros potenciales que puede haber directamente en el sitio de construcción.

En términos de geobiología, se debe analizar la existencia de zonas geopatógenas de importantes emanaciones procedentes del subsuelo. “La tierra emite distintas radiaciones comprendidas en el espectro electromagnético. Las más conocidas son las formadas por partículas altamente energéticas, como las ionizantes, es decir las radiactivas. Los niveles telúricos de radiactividad varían de una región a

otra de la tierra y dependen fundamentalmente de la composición del subsuelo” (De la Rosa, 2013). Dichas emanaciones de energía señalan la importancia de conocer el tipo de suelo en que se desea construir. El análisis del sitio dará las pautas para definir la forma y distribución del mobiliario en el diseño arquitectónico más adecuado para generar espacios saludables.

Otro aspecto importante a conocer del sitio es lo que Martínez (2015) describe como la memoria etérica de los lugares, es decir, conocer la historia y los usos anteriores del terreno, lo cual también puede influir en la actividad a desarrollarse en los espacios. Esto implica investigar aspectos como: “conflictos históricos y familiares, relaciones emocionales, rellenos residuales, escombreras, la existencia de enterramientos o cementerios, yacimientos arqueológicos, etc.” (Martínez, 2015). Lo cual puede influir tanto en la carga energética emocional del sitio, como en la presencia de químicos contaminantes que pueden ser un peligro potencial.

En lo referente al entorno, los riesgos potenciales son muy diversos y es necesario tomar medidas de distanciamiento adecuadas para estar protegido. En el contexto urbano, los peligros se relacionan con diversos aspectos en cuanto a infraestructura de servicios, entre ellos los de suministro de energía eléctrica y tecnologías de la comunicación; el tráfico, los aeropuertos y actividades como la construcción son una fuente importante de ruido. Mientras que en el contexto rural y agrícola los mayores riesgos son en cuanto a la exposición de pesticidas utilizados en la actividad agrícola. Bejlsma (2017) señala las distancias seguras a tomar en cuenta ante la exposición de los diferentes riesgos existentes (ver tabla 1.1).

Tabla 1. 1 Distancia apropiada ante zonas de exposición

Peligro	Zona de exposición
Líneas eléctricas	5 Metros
Líneas de tranvía	5 Metros
Torre de telefonía celular	400 Metros
Contaminantes del aire relacionados con el tráfico	500 Metros
Líneas de transmisión de alto voltaje.	600 Metros
Torres de radio y televisión	600 Metros

Exploración de gas de veta de carbón	800 Metros
Deriva de pesticidas	2 Kilómetros
Turbinas de viento	2 Kilómetros
Aeropuertos	8 Kilómetros
Minería, carbón encendido	70 Kilómetros

Fuente: (Bijlsma, 2017)

El análisis del entorno implicaría la primera fase, si se pretende diseñar un edificio que propicie la salud de los ocupantes. Por tanto, es de suma importancia hacer un análisis exhaustivo que permita tener la mayor información posible para tomarla en cuenta al momento de diseñar y se logre realmente el objetivo. No obstante, este análisis va más allá de ver lo físico. Esto implica poner atención tanto a lo que se ve como a lo que no se ve, aspectos físicos, tangible, así como aspectos invisibles como lo son las energías y ondas presentes en la atmosfera así como el análisis del contexto.

1.3.2. Diseño – materiales

El diseño y los materiales representan la respuesta arquitectónica con relación al sitio analizado y los diferentes factores de riesgo potenciales identificados. Cuando no es posible elegir un terreno libre de riesgo, que es lo más común en el contexto urbano, el diseño y los materiales a elegir serán la clave para genera una construcción saludable. En este nivel de incidencia será de gran importancia la preparación del equipo de profesionistas en el ámbito de la construcción para dar soluciones que favorezcan tanto a los usuarios como al medio ambiente.

En este sentido, será necesario un diseño que proporciones condiciones de confort en todo los aspectos. En cuanto a confort higrotérmico, lumínico y de buena calidad del aire, como ya se ha mencionado anteriormente, será necesario recurrir a un diseño bioclimático, en el que se tomaran en cuenta todas las condicionantes del clima y elementos físicos del entorno para diseñar un ambiente confortable. En los referente a un diseño base humano, se deben tomar en cuenta las proporciones armónicas, así como aspectos sensitivos que estimulen la vista, el acto, el olfato y el tacto. Además de estos aspectos, se debe conocer las características del suelo en términos de geobiología para realizar una distribución

de los espacios adecuada, y evitar los lugares con geopatías en sitios de mayor permanencia.

Los materiales de construcción tienen una influencia importante en la calidad del aire interior de los edificios. Se ha comprobado que varios materiales de construcción. “Los materiales desempeñan una serie de papeles importantes en el impacto sobre el medio ambiente. Su cosecha o extracción puede ocasionar daños ecológicos duraderos, desempeñan un papel importante en la energía del ciclo de vida y la eficiencia energética de los edificios, influyen en la calidad del aire interior y, al final de su vida útil, a menudo se convierten en desechos voluminosos” (Petrovic, et al., 2017). Si bien, el diseño del edificio influye de manera importante en la salud de los ocupantes. los materiales tienen una influencia mucho mayor, que no solo se ve reflejada en la calidad del aire interior y por consiguiente en la salud de las personas, sino que también influye en la salud ambiental.

1.3.3. Estilo de vida

El estilo de vida, implica la fase de la ocupación de la vivienda, y se refiere a aspectos relacionados al cuidado del espacio donde se desenvuelven las relaciones de los ocupantes, esto es lo que Mariano Bueno (1994) denomina la química del hogar. En este apartado implica características de los productos utilizados en la limpieza del hogar, el mobiliario, elementos de decoración, equipos electrodomésticos utilizados, y uso de dispositivos y tecnologías de comunicación que son generalmente inalámbricas.

En términos de construcción, existen diversos elementos que constituyen la envolvente arquitectónica: los materiales de construcción de muros, plafones, cancelería, etc. y los elementos de instalaciones principalmente. Sin embargo, durante la fase de ocupación y el desarrollo de las diversas actividades que tienen lugar en el espacio arquitectónico, confluyen diversos elementos tanto bióticos como abióticos que influirán en la calidad del aire interior del recinto. Los cuáles serán definidos por el estilo de vida que lleva la familia, cuando se trata de una vivienda, o el personal de trabajo cuando se trata de una oficina o lugar de trabajo.

La fase de ocupación de un edificio comprende el periodo más largo en el ciclo de vida de un edificio. Y si se toma en cuenta que el estilo de vida actual en el contexto urbano, se pasa un gran porcentaje mayor del tiempo dentro de los edificios, una buena calidad del aire será determinante para tener espacios saludables. Sin embargo, en la actualidad el aire interior puede estar más contaminado que el aire exterior. “Basta analizar el polvo doméstico de cualquier casa media para encontrar en él centenares de sustancias químicas tóxicas” (De Prada, 2013).

De acuerdo con Vargas y Gallego (2005) hay tres razones que contribuyen a un ambiente interior con mayores tóxico que el exterior: 1) las concentraciones de contaminantes no se reducen significativamente cuando el aire exterior entra en los edificios, 2) las personas consumen aproximadamente el 90% de su tiempo en espacios interiores, 3) dentro de los edificios se concentran nuevas fuentes de contaminación del aire por cientos de productos que se utilizan en ellos. Aunado a estas razones está el uso de diversos artefactos tecnológicos contribuyen a ionizar el aire interior y generar un ambiente electrostático, poco saludable.

Los agentes tóxicos están muy presentes en la vida cotidiana, tanto fuera como dentro de casa. Cientos de compuestos químicos forman parte del ambiente interior de las viviendas y convierten en potencialmente tóxico en aire que respiramos en el hogar (Silvestre, 2014). En este sentido, el concepto de Calidad del Ambiente Interior (CAI) se define como el conjunto de condiciones ambientales del espacio interior - niveles de contaminación microbiológica, química y agentes físicos que rodean a las personas – que no perturban las capacidades de los usuarios, que no afectan adversamente su salud y sobretodo que promueven su bienestar (Silvestre, 2014).

1.4. Factores de riesgo para la salud en las construcciones

Los elementos contaminantes o perturbadores para el organismo en el espacio habitable se pueden dividir en tres tipos: ondas, partículas y microorganismos-biopartículas, que corresponden a factores de riesgo de origen físico químico, y biológico, sucesivamente. Las primeras atraviesan o chocan con el cuerpo

humano causando desequilibrios o alteraciones. “Hay ondas en los diferentes estados de la materia, vibración acústica, ultrasonidos e hipersónicas” (Jenny, 2001), y las segundas están en contacto a través de la piel, los ojos, etc., o bien son inhaladas mediante la respiración. Por otro lado, el confort en un espacio se logra en diferentes niveles: lo perceptible, atribuido a las sensaciones físicas y psicológicas; y lo no perceptible que son las reacciones del organismo a nivel inconsciente. En la tabla 1.2 se pueden observar algunos de los principales contaminantes de cada tipo según su naturaleza.

Tabla 1. 2 Tipos de agentes ambientales según su naturaleza

Físicos (ondas)	Químicos (partículas)	Biológicos (biopartículas)
Radiactividad	Humos de contaminación	Bacterias
Gas radón	Compuestos Orgánicos Volátiles	Mohos
Electricidad estática	Compuestos orgánicos Persistentes	Ácaros
Capos eléctricos alternos	Metales pesados	Polen
Ondas electromagnéticas		Pelo de mascotas
		Parásitos
		Plagas

Fuente: elaboración propia con base en (Silvestre, 2014)

1.4.1. Campos electromagnéticos naturales

La termino telúrico hace referencia a la tierra, lo terrestre, Mariano Bueno (1994) define a las alteraciones telúricas como el “conjunto de energías y radiaciones que hallamos presentes en la superficie terrestre procedente del subsuelo y que de algún modo son susceptible de afectaron o de crear algún desajuste biológico, metabólico o psicológico”, para los sitios afectados por dichas alteraciones usa el término “zonas geopatógenas”. Y es conveniente detectarlas para poder evitarlas, o con base en ello decidir la forma más adecuada de distribución de los espacios.

Para León (2013) Una geopatía es una alteración energética de un lugar, que tiene una repercusión en la salud de las personas que habitan o trabajan en él.

Existen diferentes tipos de alteraciones que pueden tener lugar en el sitio a construir. La emanación de este tipo de energía se da de forma vertical. Entre las alteraciones o genopatías que pueden tener lugar en el sitio están las siguientes:

Líneas Hartmann o red global y líneas Curry

Dado que estas líneas constituyen una retícula muy próxima, es prácticamente imposible evitarlas. Sin embargo, aquí lo importante a considerar son los cruces de dichas líneas, ya que al ubicar espacios de descanso o de trabajo donde la permanencia es prolongada, sobre algún cruce, el riesgo es el debilitamiento del sistema inmunológico, por tanto, si la persona tiene predisposición a alguna enfermedad, las posibilidades de enfermarse aumentan considerablemente.

Corrientes de agua

También se suele llamar venas de agua que fluyen por diferentes capas del subsuelo, “no es que el agua en sí sea perjudicial, sino que los iones de hidrógeno que emite el agua en movimiento al friccionar con el subsuelo generan un campo electromagnético que sube en vertical atravesando cualquier capa terrestre” (León, 2013). De acuerdo con De la Rosas (2013), estas emanaciones de energía implican un riesgo mayor para la salud debido a que afectan la producción de melatonina y por tanto la regeneración celular que se produce durante el sueño.

Fallas Geológicas

La ruptura de las capas geológicas de la tierra hace que los diferentes materiales que la componen generen una diferencia energética (Martínez, 2015), lo cual puede ocasionar radiaciones ionizantes o incluso emanación de gas radón, dependiendo del tipo de material que componga el suelo.

Chimeneas cosmotelúricas

Son cilindros emergentes fluctuantes, similares a chimeneas, cuya ubicación es aleatoria. Situarse sobre ellas es similar a situarse sobre una red permanente de energía, que altera el estado normal, dada su cualidad cambiante de polaridad (Martínez, 2015).

Emanaciones radiactivas

El agua, la tierra mojada, las cisternas, fosas sépticas producen una radiación gama secundaria, intensa y permanente (Bueno, 1988). Así mismo el gas radón es también una emanación importante que tomar en cuenta, el cual es un gas incoloro e inodoro, lo cual lo hace indetectable por los sentidos. Su principal procedencia es el subsuelo y puede infiltrarse tanto en grietas del material en contacto directo con el suelo, como por las tuberías (ver figura 1.7).

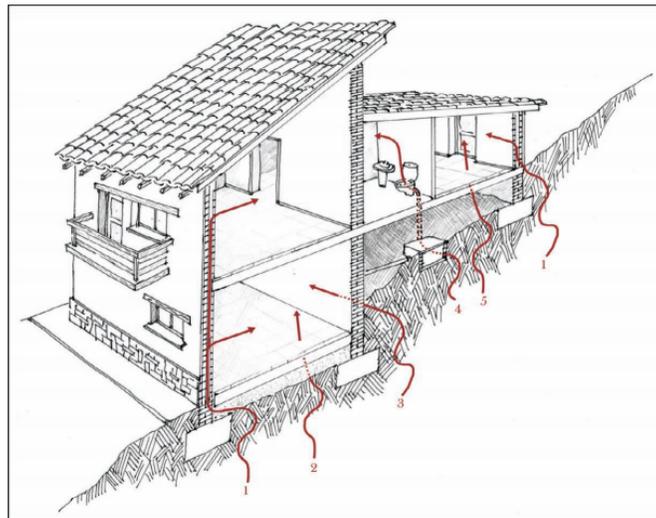


Figura 1. 7 Filtración del gas radón

Fuente: (Frutos, et al., 2011)

El gas radón es la principal fuente de radioactividad natural en los espacios arquitectónicos, aunque también es importante la utilización excesiva de granito y piedras naturales que incluyan fuertes dosis de radioactividad (De Garrido, 2014). La presencia del gas radón en el interior de las construcciones puede proceder de dos fuentes principalmente: el subsuelo y de los propios materiales de construcción. “El radón se forma a partir del radio proveniente de la desintegración del uranio, elemento químico sumamente activo presente en casi todas las rocas del suelo de todo el planeta. Su concentración depende del tipo de roca y suelo” (Quindós, 1995).

Todas las emanaciones descritas anteriormente, son parte de la complejidad de ondas naturales, que emite el propio planeta. Sin embargo, esto no quiere decir que no sean perjudiciales para la salud (ver figura 1.8). En las civilizaciones

antiguas de las diferentes culturas del mundo tenían presentes estos fenómenos, y los tomaban en cuenta al momento de elegir el lugar de asentamiento o para buscar agua. No obstante, este conocimiento se ha ido perdiendo.

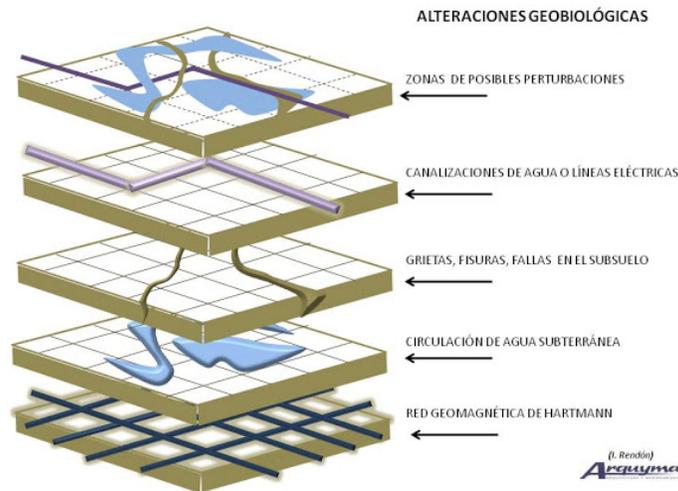


Figura 1. 8 Alteraciones geobiológicas

Fuente: <http://arquyma.blogspot.mx/2013/09/radiaciones-naturales-artificiales-y.html>

La forma de detectar estos fenómenos precisa de lo que Mariano Bueno (1994) considera, un consenso entre empirismo y tecnicismo. Que si bien, hoy en día existen artefactos que detectan las diferencias energéticas (magnetómetros, galvanómetros, sensores piezoeléctricos, termómetros de infrarrojos, etc.), se recurre con mayor frecuencia a especialistas con la sensibilidad muy agudizada que ejercen estas detecciones mediante lo que se denomina radiestesia. Asimismo, la observación del entorno puede indicar la presencia de alguna de estas emanaciones de energía. Un indicador importante sería la presencia de árboles torcidos o inclinados.

1.4.2. Contaminación electromagnética

La contaminación electromagnética aparece al crear campos eléctricos y magnéticos en el espacio proveniente de un conductor que transporta una corriente (Bueno, 1988). Esto implica la existencia de líneas de alta o baja tensión, los transformadores o centrales eléctricas, antenas de radio, TV, radar o microondas. Estos elementos suponen una exposición prolongada a la emisión de

ondas de diferente frecuencia que tienen efectos importantes en la salud, ya que alteran los procesos biológicos.

Las fuentes de radiación eléctrica y electromagnética de manera artificial son muy variadas, y se pueden dar tanto en el exterior mediante la infraestructura para la instalación eléctrica que existe en diversas formas en un contexto urbano, como dentro de la misma vivienda e incluso los aparatos que utilizan los vecinos.

Estas pueden ser: líneas aéreas de transporte y distribución de energía eléctrica de alta y media tensión, líneas eléctricas subterráneas, transformadores, líneas de baja tensión y alumbrado público; antenas de emisión de radio y televisión; la instalación eléctrica de la vivienda, Conexión prolongada de aparatos eléctricos (incluso sin ser utilizados), entre otros.

1.4.3. Contaminación atmosférica

Al hablar de contaminación atmosférica se piensa esta problemática en término de aire exterior, de las grandes industrias contaminantes, las emisiones por el tráfico vehicular. Se piensa que en el hogar se está libre de todos esos contaminantes. Si bien el hábitat, la vivienda que debiera ser un refugio ante todas los riesgos del exterior, lo cierto es que “la contaminación que podemos respirar dentro de los edificios puede ser mayor y estar castigando nuestra salud más que la del aire exterior (De Prada, 2013). Los diversos químicos que se encuentran en los edificios desprenden contaminantes que han pasado desapercibidos, que producen efectos negativos en la salud.

La contaminación atmosférica a nivel exterior es la más conocida y comprende diversos elementos. “La presencia de industrias contaminantes, vertederos incontrolados, zonas donde se estancan los gases de la combustión de los sistemas de calefacción o de los vehículos se consideran de alto riesgo para las personas que padecen trastornos respiratorios” (Bueno, 1994). Fenómenos para tomar en cuenta al momento de analizar el entorno donde se desea construir. Mientras que en el interior de los edificios se tienen aspectos como “la toxicidad de los materiales utilizados, iluminación, ventilación, descompensación de

temperaturas, cargas iónicas (eléctricas) y electromagnéticas, partículas en suspensión, gases y vapores de origen químico, aerosoles, ruidos y olores” (De Carvalho, 2015).

En ambos casos constituyen un riesgo importante para la salud. Los elementos presentes tanto en la vivienda como las edificaciones en general son muy variados y contribuyen de una u otra forma a viciar el ambiente. No obstante, el ambiente interior puede suponer un riesgo de mayores concentraciones de químicos peligrosos que el exterior (ver tabla 1.3), esto debido a los largos periodos de tiempo que se permanece en espacios cerrados, lo que representa aproximadamente el 90% del tiempo.

Tabla 1. 3 Concentración de contaminantes en exposición por día

Contaminantes peligrosos en el aire	Exposición estandar diaria	
	Aire interior	Aire exterior
	<i>mg/m³</i> para 21.6 horas (90% del tiempo)	<i>mg/m³</i> para 2.4 horas (10% del tiempo)
Acetaldehido	<216	<7.2
Benceno	108	12
Tetracloruro de carbono	<108	204
Cloroformo	21.6	0.48
Estireno	43.2	1.44
Tetracloroetileno	108	4.8
Tricloroetileno	108	1.2

Fuente: (Vargas & Gallego, 2005)

De Prada (2013) refiere una lista muy amplia de los agentes contaminantes del hogar: productos de limpieza, ambientadores, biocidas, anti-mohos, pinturas detergentes, plásticos, electrodomésticos y electrónica, muebles, materiales de construcción de pared y techo, aislamientos, entre otros, y comprende elementos tanto de la misma construcción como de uso cotidiano o incluso el mobiliario. Luis de Garrido (2014), por su parte, en términos específicos de la arquitectura y la construcción, identifica algunos de los elementos constructivos más perjudiciales: pinturas, sistemas de aire acondicionado, tratamientos de la madera, recubrimientos textiles, paneles laminados y aislamientos.

Si bien, existen diversos elementos que contribuyen a viciar la calidad del aire en el espacio interior, el aire a pesar de ser un gas está integrado de diversas micropartículas: biopartículas, Compuestos orgánicos Volátiles (COV), partículas en suspensión. Que al mezclarse por el efecto de la temperatura constituyen un verdadero coctel de químicos, cuyos efectos en la salud son incalculables. En la tabla 1.4 se pueden observar algunos agentes patógenos del aire interior.

Tabla 1. 4 Agentes patógenos en los espacios interiores arquitectónicos

Gases	Compuestos Orgánicos Volátiles		Partículas en suspensión	Bio partículas
Ozona	Amoniaco	Fenoles	Aluminio	Polen
Radón	Acrilonitrilo	Formaldehído	Asbesto	Detritus
Monóxido de carbono	Benceno	Pentaclorofenol	Cadmio	Ácaros
Dióxido de carbono	Butadieno	Policlorobifenilos	Cobre	virus
Óxido nítrico	Cloruro de vinilo (CV)	Policloruro de vinilo	Crisotilo	Bacterias
Dióxido de Nitrógeno	Cloro	Poliestireno	Dióxido de	Hongos
dióxido de azufre	Cloroformo	tetracloroetileno	titanio	Protozoos
Humo de tabaco	Cloroflourcarbonos (CFCs)	Tetracloruro de carbono	Fibra de vidrio	
Gases del cigarrillo	cloro diflourmetano (R-22)	Tricloroetileno	Lana de roca	
electrónico	Dioxinas, Furanos y Bifelinos	Tolueno	Mercurio	
	Estireno	Xilenos	Plomo	

Fuente elaboración propia con base en (De Garrido, 2014)

Los COVs son liberados por la quema de combustible, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo (De Garrido, 2014). Comprenden diversos elementos químicos incorporados en muros, mobiliario, entre otros.

1.4.4. Ionización del aire

La ionización se refiere al fenómeno que ocurre cuando un átomo pierde electrones y se carga positivamente, lo que genera un ambiente electrostático. Un ambiente con carga negativa es mucho más saludable para el cuerpo humano. La ionización del ambiente interior se puede atribuir a diversos aspectos, las diferentes micropartículas que constituyen la química del aire interior de la vivienda, en combinación con las ondas electromagnéticas que emiten diferentes artefactos aun cuando no estén encendidos.

Todo elemento puede estar en estado ionizado cuando le falta o le sobra uno o más de los electrones de las orbitas, respecto a los que le correspondería para equilibrar los protones del núcleo. Estas circunstancias provocan que el átomo se enlace fácilmente tanto a otras moléculas del ambiente como de los seres vivos (De Carvalho, 2015), esto provoca la acumulación de estática en el ambiente, lo que se da sobre todo en materiales sintéticos tanto de la segunda como la tercera piel (la envolvente construida y la ropa) y afecta el equilibrio energético del cuerpo humano, al provocar un ambiente pesado energéticamente y riesgoso para la salud.

1.4.5. Contaminación sonora

El sonido no solo es una forma de comunicación imprescindible que nos da información o avisos, sino un motivo de placer cuando se manifiesta en forma de música, de los sonidos armoniosos de la naturaleza o de la conversación, pero también puede ser un motivo de molestia, de perturbación o de daño físico (Neila, 2004). Cuando un sonido rebasa los niveles tolerables por el oído entonces es considerado como ruido, y dependiendo de su intensidad puede ser perturbador y causar desde molestias hasta daños auditivos permanentes. “El límite máximo se establece en los 65 dB. Según los especialistas, por debajo de los 45 dB casi nadie siente molestias. Un 10% de la población se siente incómodo cuando el ruido alcanza los 55 dB, cuando se producen los 85 dB se producen un agotamiento generalizado” (Bueno, 1994)

El sistema auditivo se resiente ante una exposición prolongada a la fuente de un ruido, aunque este se ha de bajo nivel, generando un déficit auditivo (De Garrido, 2014). Los ruidos prolongados e intensos provienen en su mayoría del exterior, “viviendas situadas en calles demasiado ruidosas por la presencia de bares o salas de fiesta, así como la proximidad de carreteras, autopistas, aeropuertos o zonas industriales, cuyos ruidos hemos comprobado que afectan al sistema nervioso o produce sordera (Bueno, 1988). Sin embargo, también en el interior se generan diferentes tipos de ruidos, sobre todo si se trata de viviendas unifamiliares o lugares de trabajo con uso de maquinarias ruidosas.

Dependiendo el medio por el cual se disipen puede darse de tres formas, de acuerdo con Neila (2004):

1. **Ruido aéreo**, cuando se propaga a través del aire
2. **Ruido de impacto**, cuando se propaga a través de un elemento sólido como consecuencia de un golpe o impacto
3. **Ruido de vibración**, cuando se propaga a través de un elemento sólido como consecuencia de una la vibración de una maquina u otro elemento próximo a él.

Los ruidos provenientes del exterior generalmente viajan a través del aire, es decir, son ruidos aéreos, producidos por diferentes fuentes, en el contexto urbano, las principales fuentes de emisión son el tráfico y el despegue y aterrizaje de aviones. En tanto en el interior de los edificios se generan diferentes tipos de ruidos de impacto que se propagan a través de los diferentes espacios en el edificio, lo cual puede resultar molesto, sobre todo cuando se trata de edificios de vivienda multifamiliar. Además de daños auditivos que pueden causar la exposición prolongada a ruidos, de acuerdo con Bueno (1994), también podría atribuirse la repercusión en enfermedades cardiovasculares.

Para asegurarse que ningún ocupante de los edificios tenga ningún tipo de daño debe realizarse una arquitectura capaz de evitar la transmisión de ruidos aéreos, de impacto y por vibración (De Garrido, 2014), para lo cual se pueden recurrir a diversos elementos en la construcción y diseño de un edificio como pueden ser: protección auditiva con materiales absorbentes o barreras acústicas en la distribución de los espacios arquitectónicos.

1.4.6. Luz, color e iluminación

La luz siempre ha estado vinculada al hogar y la salud. Los ambientes luminosos siempre se han considerado más sanos y confortables que los oscuros, [...] No hay ninguna superstición en todo esto ya que en la actualidad está perfectamente comprobado que hay una autentica relación entre la luz y la salud (Neila, 2004).

La iluminación es esencial para todo el cuerpo, ya que rige los ciclos biológicos a través de la luz y la temperatura.

En la vivienda, la luz será siempre un elemento vivificante, a las propiedades bactericidas de la radiación ultravioleta, se le añade la estimulación y la alegría psicológica que dan los espacios correctamente iluminados, frente a los tétricos, lúgubres y deprimentes que resultan los espacios oscuros, grises o mal iluminados (Bueno, 1994). La iluminación de los espacios al igual que los colores a utilizar en el diseño de interiores impacta de manera directa en la psicología y la percepción de confort de los usuarios. El estado de ánimo de una persona se ve influenciado por estos elementos.

Solo se tiene conciencia de una escala de percepción muy reducida. De acuerdo a la longitud de onda solo se puede ver un rango muy corto de la luz. También esto pasa con los sonidos, las condiciones ambientales, la energía, etc. Lo cual no significa que no tengan efecto sobre el organismo y las funciones vitales. “La luz y otras radiaciones son manifestaciones de la energía, viajan por el espacio a la máxima velocidad permitida: la velocidad de la luz” (Fontal, 2005). Sin embargo el espectro electromagnético que es percibido por la vista es muy corto.

1.4.7. Mala gestión de la humedad

La gestión del agua en las construcciones es un aspecto de alta relevancia a tomarse en cuenta, ya que puede afectar de manera importante el confort de los espacios en cuanto a regulación higrotérmica, así como propiciar ambientes adecuados para la proliferación de moho y microorganismo en el interior de las construcciones, lo que implica efectos negativos en la salud como asma u otras enfermedades respiratorias.

La presencia de agua en los edificios tienen diversos orígenes, de acuerdo con Coutinho (2012) pueden ser: humedad por filtración, humedad de capilaridad, humedad accidental, humedad de obra y humedad de condensación. La primera se refiere a la humedad que entra del ambiente exterior a través de los elementos constructivos. El agua puede entrar a través de fisuras, juntas constructivas,

deficiencias en instalaciones de desagüe pluvial, o a través de los poros de los materiales.

La humedad por capilaridad tiene origen en el subsuelo. “la succión capilar determina la penetración y movimiento del agua en un material poroso, no por defecto de la presión que el agua ejerza sino debido a la atracción entre el agua y el material” (Coutinho, 2012). En tanto, la humedad accidental se refiere a aquella que aparece en puntos específicos a causa de fugas en tuberías de agua u otros elementos.

Por otro lado, la humedad de obra se relaciona a la cantidad de agua contenida en los elementos y sistemas constructivos, y su disipación puede verse afectada por revestimientos impermeables que se aplican como acabados. De acuerdo con Martínez (2020) en un piso de concreto de 80m² queda contenido un aproximado de 1000 lt de agua, los cuales tardan bastante tiempo en disiparse, si aunado a esto se trata de un elemento en contacto directo con el suelo, el contenido de agua es mayor. Esta humedad lo hace un material conductor en términos de temperatura, por lo cual propicia ambientes fríos y húmedos, que dan pauta a la proliferación de microorganismos y moho.

Otra forma de humedad es por condensación que se da a causa de las actividades relacionadas con agua y liberación de vapor que estas generan en el interior de los espacios. Cuando el vapor de agua entra en contacto con superficies más frías, cambia a su estado líquido y humedece el material. Esto puede ocurrir de dos formas: a nivel superficial cuando se trata de un material de poro cerrado e impermeable; o internamente, cuando el material tiene poros permeables al vapor de agua.

En cualquiera de los casos, la mala gestión de la humedad que se ve reflejada en los elementos constructivos supone importantes problemas que pueden afectar tanto el propio material, como la salud de los ocupantes, además de generar ambientes poco confortables. Es por ello que dentro de los principios de bioconstrucción se plantea el uso de técnicas de bajo contenido de humedad y de

secado rapido, asi como el uso de materiales higroscopicos que puedan gestionar la humedad de manera eficiente.

1.5. Aspectos para un confort integral

El cuerpo humano es un receptor de información de diferente índole en todo momento. Recibe estímulos tanto perceptibles como imperceptibles para los sentidos. “Infinidad de biosensores distribuidos por todo el cuerpo le aportan todo tipo de información: temperatura ambiental, grado de humedad, cantidad de oxígeno en el aire, ionización, campo magnético terrestre, diferentes sustancias químicas necesarias o tóxicas presentes en el aire que respiramos, el agua que bebemos o el vestido que llevamos” (Bueno, 1994). A nivel psicológico y emocional, “estos estímulos provocan sensaciones placenteras o molestas en el organismo, de tal modo que podemos calificar al ambiente o al factor ambiental del que se recibe el estímulo como confortable o no confortable” (Neila, 2004). A sí mismo, el impacto que pueda tener sobre el organismo determinara su carácter de saludable o peligroso.

En los espacios habitables los estímulos perceptibles a nivel de los sentidos son: la vista, la calidad del aire interior a través del olfato, la sensación higrotérmica, los sonidos. Bueno (1994) se refiere a los receptores de estímulos como biosensores que en se encargan de codificar la información del organismo, enviando las señales adecuadas para regular las múltiples funciones corporales que permiten la supervivencia. Todo el organismo se integra por una gran cantidad de biosensores necesarios para diferentes procesos vitales que sería imposible detectarlos conscientemente.

La cualidad por excelencia de los espacios arquitectónicos es generar ambientes confortables, para lo que se considera principalmente la percepción de los sentidos, en lo referente a la temperatura, la iluminación, el sonido, los olores. De acuerdo con Neila (2005), lo que se busca es la sensación integral de bienestar. Para lograr un confort ambiental integral en los espacios arquitectónicos confluyen diversos elementos y no siempre se tiene consciencia de ellos, o no son percibidos por los sentidos. Cuando se logra esta condición es más factible atribuir

la cualidad de espacios saludable, donde las personas se sienten bien física y psicológicamente, pero también el organismo descansa, se regenera y hay un equilibrio en las funciones vitales.

La presencia de ondas y partículas procedentes de campos electromagnéticos resultado de la tecnología, de los materiales de construcción, de los productos para la limpieza, los aparatos electrodomésticos, etc. son aspectos del estilo de vida del siglo XXI con lo que es necesario aprender a convivir sanamente. La clave en este aspecto es abordar de manera consciente el diseño, materiales, mobiliario e instalaciones en los espacios arquitectónicos, tomando en cuenta los diferentes aspectos para un confort integral.

Los materiales de construcción inciden de manera importante en lograr el confort en diferentes aspectos: calidad del aire ambiental, confort acústico, confort higrotérmico, e incluso confort electromagnético. La cualidad de aislamiento y la nula o baja toxicidad contribuirían en gran medida a generar espacios saludables. En el primero de los casos se habla de aislamiento térmico, acústico, de ondas electromagnéticas, cuyos parámetros serán determinados de acuerdo al lugar geográfico y tipo de edificación.

El diseño del espacio habitable también es determinante para lograr construcciones saludables. Un aspecto es la distribución de los espacios en relación a los campos electromagnéticos naturales a manera de evitarlos en lugares de estancias prolongadas, como el lugar de dormir o trabajar. Asimismo, un diseño estratégico de vanos permitirá una ventilación e iluminación natural que reducirá de manera importante el uso de artefactos tecnológicos. En cuanto a la tecnología utilizada de manera consciente puede ser mediante aparatos de iluminación que emulen la luz natural, el uso alámbrico de la tecnología de comunicación y la instalación eléctrica conectada a tierra, por mencionar algunos ejemplos.

2. CUALIDADES DE LOS MATERIALES EN BIOCONSTRUCCIÓN

Los materiales con que se construye un edificio repercuten en gran medida para generar condiciones bióticas y por tanto un ambiente saludable. Principalmente aquellos que permanecen expuestos, como lo son los materiales de acabados. Para comprender la manera en que incide un material constructivo se retoma la analogía de ver la envolvente arquitectónica como la tercera piel, cuyo atributo principal es la transpiración. Sin embargo, son diversos los parámetros necesarios para que un material contribuya a generar un confort y cualidades bióticas a los usuarios.

Los materiales permiten la existencia física de la construcción, la materialización del proyecto, comprenden la envolvente del edificio. Por tanto, una adecuada elección de materiales resulta crucial para lograr la salud en los espacios arquitectónicos. Sin lugar a duda la naturaleza de los materiales tendrá amplia relevancia tanto en la salud de los ocupantes de los espacios arquitectónicos, como la salud del planeta mismo al tener en cuenta los impactos negativos que éstos generan y buscar reducirlo lo mayor posible.

2.1. Impacto de los materiales en la construcción

Los materiales de construcción son los elementos determinantes para la ejecución de un proyecto. Su procedencia y condiciones bióticas son de gran importancia para generar espacios saludables en diversos sentidos. Desde el punto de vista del impacto ambiental que pueden tener, es importante reconocer que ningún material carece de impacto, pues, aunque se trate de un material totalmente natural, el hecho de tomarlo de su sitio original para utilizarlo como material de construcción, ya sea en el mismo sitio o que tenga que trasladarse, esto implica un gasto energético en transporte y maquinaria y por consiguiente emisiones contaminantes. Sin embargo el grado de impacto y la energía contenida será muy diferente cuando se trate de materiales tradicionales, semi-industriales y con alto grado de industrialización, y a menor procesamiento menor será el impacto.

De acuerdo con Petrovic, Vale y Zari (2017), existen tres razones fundamentales para repensar la relación entre los materiales y la arquitectura: el clima global, los ecosistemas y la salud humana (ver figura 2.1). La primera referente al cambio climático que tienen lugar por las grandes cantidades de contaminantes que llegan a la atmósfera. La segunda razón referente a la extracción de los recursos de manera ilimitada y que por consiguiente ocasionan la degradación de los ecosistemas. Y el tercer aspecto implica la salud humana por el uso de materiales industrializados sintéticos, “aquellos que están fabricados artificialmente a partir de compuestos químicos derivados del petróleo. Proviene de recursos no renovables, con procesos de fabricación, uso y desecho que generan un gran impacto ambiental (Bautista, 2020), ya que son de baja o nula biocompatibilidad.



*Figura 2. 1 Escalas de impacto de los materiales de construcción
Fuente: elaboración propia*

Esto denota importantes impactos referentes a los materiales de construcción en dos escalas. A nivel global, que implica emisiones contaminantes de diferente índole en el medio ambiente y la obtención de la materia prima de los ecosistemas. Y a nivel individual, cuando los impactos negativos se ven reflejados en la calidad del aire interior de los espacios, al desprender diversos Compuestos Orgánicos Volátiles que vician el aire y por consiguiente perjudican la salud de las personas.

Algunas consecuencias a corto y mediano plazo del impacto ambiental pueden ser: cambio climático y efecto invernadero, agotamiento del ozono, pérdida de biodiversidad, contaminación de marina, gasto de recursos no renovables, contaminación atmosférica, contaminación de aguas, deterioro del mar y costas, residuos tóxicos, riesgos industriales, erosión y desertización, abuso de recursos renovables, ocupación del suelo con vertido, subida del nivel del mar acabando con ciudades, acabando con las zonas de corales y otras formas de vida del ecosistema (De Carvalho, 2015).

Los impactos negativos asociados al uso de materiales de construcción son numerosos, y si se considera que más de la mitad de los recursos materiales extraídos en todo el mundo son utilizados en la construcción, buscar alternativas para reducir dichos impactos se vuelve de vital importancia.

2.1.1. Impacto por emisiones contaminantes y agotamiento de recursos

La industria de la construcción es una de las mayores consumidoras de recursos a nivel mundial. Más de un tercio de todos los materiales que se cosechan, desentierran, extraen y procesan en el planeta terminan en entornos construidos (Petrovic, et al., 2017). En términos de energía incorporada, se estima que alrededor del 40% de todo el consumo final de energía en todo el mundo se realiza en edificios (Garay-Martínez, 2017), (Coreira, et al., 2018). Estos generan impactos negativos en dos sentidos: agotamiento de recursos y emisión de contaminación. Además del sector de la construcción, produce casi el 50% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (Aouba, et al., 2016).

En lo referente a la extracción de los recurso de manera ilimitada. “Los materiales de construcción representan aproximadamente la mitad de todos los materiales extraídos de todos los ecosistemas biológicos para actividades humanas. Mientras que al menos el 40% de lo que la sociedad considera "desperdicio" proviene de actividades de construcción y demolición” (Petrovic, et al., 2017). Esto implica una demanda de recursos y materia prima nueva, y una generación de desechos excesivas.

La presión que se ejerce al ambiente para la obtención de materiales de construcción es bastante. Y por consiguiente la degradación de los ecosistemas aumenta de manera alarmante. “Hemos tomado prestado del planeta durante mucho tiempo, excediendo su capacidad de carga, y si nuestra sociedad y economía no se transforman, corremos el riesgo de descender a condiciones urbanas poco saludables, pérdida de valiosa biodiversidad y agotamiento de materiales vírgenes” (Lehmann, 2013).

Esto se debe en parte a que el sistema de fabricación prevaleciente en la actualidad se basa en el principio del agotamiento de los recursos naturales para la producción. “Significa un metabolismo lineal en lugar de ser incluido en un ciclo metabólico y modelo de flujo de bienes y recursos” (Hebel, et al., 2014). En el contexto urbano, a partir de la revolución industrial se ha dado un incremento importante en el uso de materiales provenientes de los hidrocarburos, y los metales, los cuales “tienen coste medioambientales de producción y desecho muy altos, una toxicidad y radiactividad elevada, una alta electricidad estática y se caracterizan por una falta de transpiración” (Bautista, 2020). Lo cual agota los recursos, contribuye a la degradación de ecosistemas naturales y a la degradación de la salud humana.

Sistemas constructivos a base de cemento, que requieren la extracción de importantes cantidades de materia prima, contribuyen a la degradación de entornos. “Después del agua y la arena, el cemento es el material más utilizado en todo el mundo, lo que lo convierte en el mayor contaminador del mundo” (Andres, et al., 2016). Además de los impactos que generan todos los agregados del concreto con su extracción y deterioro de ecosistemas y las emisiones contaminantes por el uso de maquinaria en el proceso, el cemento es sometido a un proceso de cocción para su fabricación que requiere temperaturas de hasta 1,400 °C, por lo que los impactos negativos incrementan considerablemente.

En tanto, la materia prima vegetal de mayor uso en la construcción es la madera. Sin embargo, existe poco control con respecto a su procedencia, y la problemática de la tala ilegal está muy presente. “El proceso de la tala y quema de grandes

espacios forestales es otro factor que ha contribuido en gran parte a la acumulación de gases de invernadero que llevan al aumento de temperatura del planeta” (Alvarado, 2019). “Tala clandestina que no reforesta y que deja los suelos a merced de la erosión. Por otro lado, una mala aplicación de la legislación protectora de áreas forestales, hace que los bosques envejeczan, lo que provoca baja o nula producción de oxígeno y bajo sumidero de bióxido de carbono y por tanto propicia el incremento del calentamiento de la atmósfera (Bianconi, 2011). Por ello la importancia de un manejo sustentable de los bosques y promover el consumo de madera certificada, que garantice la renovación de los bosques sin llegar a la deforestación y desertificación de los mismos.

Por otro lado, los materiales sintéticos, que son fabricados en proceso industriales tienen un consumo energético mayor, ya que por lo general son sometidos a elevadas temperaturas en proceso de cocción o cambio de estado como los plásticos y los metales. Procesos que implican también importantes consumos energéticos en cuanto a electricidad. En la tabla 2.1 se puede observar el contenido energético de algunos materiales en volumen y peso, donde se puede apreciar que los materiales metálicos, aluminio, cobre y acero tienen los mayores gastos en volumen, seguidos del vidrio, el block de concreto y materiales plásticos.

Tabla 2. 1 Contenido energético de los materiales

Contenido energético de los materiales		
Material	Contenido energético	
	Por peso (mJ/Kg)	Por Volumen (mJ/m ³)
Poliuretano expandido	180	2,500
Aluminio	170	459,000
PVC	90	11,000
Cobre	78	698,000
Vinílico	45	6,000
Hierro y acero	40	300,000
Fibra de vidrio	38	2,000
Vidrio	26	67,000
Block de concreto	22	35,000
Ladrillo cerámico hueco	7.5	1,000
Yeso	2.4	1,700
Ladrillo común	1.8	3,000
Concreto armado	1.8	4,000
Concreto	1.8	2,600
Adobe	0.2	320

Fuente: (Cedeño, 2010)

El gasto energético va de la mano con la procedencia de la materia prima para la fabricación de los materiales, por lo general los materiales pétreos y los componentes del concreto, son de materia prima virgen, al igual que los metales. Y los desechos de construcción, producto de demoliciones difícilmente son incorporados nuevamente al ciclo productivo, es decir, se mantiene un proceso lineal en el uso de los recursos. Lo mismo pasa con la mayoría de los materiales y productos que se fabrican para los diferentes aspectos de la vida cotidiana. Lo cual agrava los impactos de emisiones contaminantes, entre ellas la generación de importantes cantidades de residuos; y degradación de ecosistemas. Por lo tanto, promover el reciclaje, en la reintegración de los residuos como materia prima es una alternativa importante que permite reducir los impactos en este sentido.

2.1.2. Impactos en la salud humana

En cuanto a la salud humana, aunque no se tiene muy presente su influencia de los espacios y los materiales de construcción, se ha visto degradada de manera importante. Actualmente no se tiene claro la procedencia y los compuestos de

gran parte de los materiales de nueva creación en relación con los efectos en la salud. “Recientemente se ha estimado que se han desarrollado más materiales nuevos en los últimos 20 años que en el resto de la historia combinada” (Petrovic, et al., 2017). De los cuales en las últimas décadas se ha visto un incremento importante de nuevos padecimientos, lo cual va de la mano con los avances tecnológicos, entre ellos, nuevos materiales en la industria de la construcción. Incluso existen los padecimientos catalogados como “enfermedades ambientales”, ampliamente estudiadas por Martin Pall, como lo son la fibromialgia, el Síndrome de Fatiga crónica, de la Sensibilidad Química Múltiple, entre otros.

Los materiales que utilizamos en la construcción pueden tener un efecto negativo en el medio ambiente. Su producción y transporte consumen recursos y energía agotándolos y contaminando el medio ambiente (Palacios, 2011). La cantidad de energía incorporada es un indicador importante del nivel de procesamiento de un material. A menor energía incorporada, en el mayor de los casos, será un material más sano, ya que producirá pocas emisiones en el medio ambiente y también en el espacio construido donde sea utilizado. No obstante, en términos de salud y calidad del espacio interior, los materiales de construcción pueden incidir de varias formas en las cuales se puede ver degradada la calidad del espacios.

En términos de campos electromagnéticos naturales y artificiales, y radiaciones diferente tipo, los materiales de construcción, de acuerdo a su naturaleza, tienen comportamientos específicos. Existen materiales minerales con fuertes dosis de radiactividad como el granito y piedras naturales. “Los elementos radiactivos se encuentran distribuidos en forma bastante uniforme en los suelos y rocas de la corteza terrestre, la cual está constituida principalmente por basalto y granito” (De Garrido, 2014). Que contribuyen a ambientes con alto contenido de gas radón.

Por otro Lado, están los materiales altamente conductores, como los son los metales, y los materiales sintéticos que tienden a producir electricidad estática y por consiguiente generar espacios que debilitan el organismo. Pues contribuyen con la ionización del aire, aunado a esto, están las ondas emitidas por diversos artefactos tecnológicos. “Estas radiaciones se conocen como ionizantes, ya que

afectan directamente el estado de equilibrio de átomos y moléculas, por lo que su influencia es altamente negativa para los procesos biológicos” (De la Rosa, 2013).

Como hace referencia Martínez (2015), los metales alteran el comportamiento electromagnético de cualquier elemento susceptible a ello (una brújula por ejemplo), si se toma en cuenta que el cuerpo humano está compuesto en su mayoría por agua, elemento altamente conductor; y que su funcionamiento se base en electricidad y magnetismo, el hecho de estar cerca de elementos metálicos tiende a generar alteraciones en su funcionamiento. Ante exposiciones por corto tiempo el organismo se recupera fácilmente. Sin embargo, cuando la exposición es prolongada se desequilibra el sistema de defensas del cuerpo, se ve en situación de vulnerabilidad y surgen afecciones crónicas degenerativas. Esto ocurre ante exposiciones de importantes cantidades de metal, lo cual es común en edificios contemporáneos con sistemas constructivos de estructura de acero.

En relación con las ondas electromagnéticas procedentes de las tecnológicas de comunicación tiene diferentes cualidades con relación a la frecuencia y ancho de onda. Algunas de ellas se generan dentro del mismo espacio. No obstante, las ondas de baja frecuencia, que tienen una longitud de onda muy amplia y proceden del exterior (antenas de telefonía) pueden pasar a través de los materiales de construcción, por lo cual un aspecto a considerar para evitar estas condiciones es el apantallamiento de los muros y ventanas.

Otro aspecto importante en el impacto negativo de los materiales es la composición de los mismos, pues pueden desprender Compuestos Orgánicos Volátiles o compuestos orgánicos persistentes, ambos con consecuencias importantes en la alteración de la salud de las personas, cuyos efectos se ven reflejados en problemas respiratorio, al ser partículas fácilmente inhalables. En este aspecto los materiales procedentes de los hidrocarburos son los de mayor impacto, y su aplicación en la construcción es muy diversa; así como los metales contenidos en pinturas, como el plomo o el aluminio.

El comportamiento del material en cuanto a la contaminación sonora también es un impacto a tomar en cuenta, pues un material tiene la posibilidad de aislar o

reducir notablemente la exposición de ruido el exterior en los espacios y con ello generar ambientes confortables acústicamente. En cuanto a aspectos como luz color e iluminación, la incidencia del material es principalmente el color cuando se trata de materiales opacos, el cual influirá en generar ambientes armoniosos en términos de psicología. Mientras que un material traslucido, puede incidir en dejar pasar o no ciertas ondas de la luz solar, y con ello potenciar espacios cálidos y bien iluminados. En la tabla 2.2 se puede observar los diferentes efectos negativos a tomar en cuenta en los materiales dentro de cada grupo de facto de riesgo.

Tabla 2. 2 Incidencia de los materiales de construcción en la salud

FACTOR DE RIESGO	INCIDENCIA DE LOS MATERIALES
Campos electromagnéticos naturales	Materiales que emiten radiación
	Alteraciones energéticas que debilitan algunos procesos vitales (los metales)
Contaminación electromagnética	Permeabilidad al paso de las radiaciones electromagnéticas
	Producción de estática que ionizan del aire (Polímeros artificiales)
Contaminación atmosférica	Desprendimiento de Compuestos Orgánicos Volátiles y otras partículas
Contaminación Sonora	Paso de ondas sonoras
Luz, color e iluminación	Efecto en el estado de ánimo, propiedades bactericidas de la luz ultravioleta.

Fuente: Elaboración propia

La incidencia que tienen los materiales constructivos sobre la salud es muy amplia, comprende diversos aspectos a tomar en cuenta (ver tabla 2.2). La calidad ambiental de aire interior, así como “la contaminación eléctrica, magnética, sonora y lumínica inciden en nuestro organismo y alteran los ritmos de regulación biológica, provocando nuevas enfermedades o empeorando otras ya previamente conocidas” (Silvestre, 2014). Sin embargo, para minimizar los efectos negativos que implican el uso de diversos materiales de construcción se optara siempre por aquellos que afecten lo menor posible los ecosistemas y la salud de los humanos

y del planeta mismo. En este sentido se plantea optar por materiales ecológicos y saludables, cuyas propiedades físicas y químicas generen ambientes confortables en un sentido amplio.

En tanto, reducir los impactos que generan los materiales de construcción implica “La utilización de materiales adecuados, que signifiquen un menor costo energético en su producción, que provengan preferiblemente de fuentes renovables, con posibilidades de reciclaje, y que además no afecten a la salud, son los requisitos para hacer de nuestras construcciones un lugar ambientalmente sensible, económicamente sustentable y humanamente habitable” (De Carvalho, 2015). Y con ello lograr un equilibrio y aprender a cohabitar el planeta sin poner en riesgo la salud y la integridad tanto de las personas como del planeta mismo.

2.2. Características de Materiales Ecológicos y Saludables

Se parte de que un material ecológico implica una relación humano-naturaleza, criterios que también se consideran dentro de la bioconstrucción. Por lo tanto, un material para propiciar las condiciones bióticas debe tener ciertas propiedades y prescindir de otras. En tanto un material saludable tendrá las cualidades necesarias para interactuar con los humanos sin generar efectos perjudiciales a su salud, es decir deberán ser biocompatibles. “El concepto de biocompatibilidad, muy utilizado en medicina, garantiza una respuesta adecuada por parte del material en un medio biológico en el que se utiliza” (Bautista, 2020).

2.2.1. Definición de un material ecológico

Por su parte, el término ecológico proviene de la palabra ecología, a grandes rasgos se podría decir que estudia la relación de los seres vivos con su entorno. De acuerdo con Morín es la primera ciencia que resucita la relación entre el hombre y la naturaleza. “La ecología, que es una nueva ciencia, versa sobre un complejo en el cual las interacciones entre las partes constituyen un sistema global” (Morin, 2011). Las relaciones entre la naturaleza y los humanos requieren dejar de verla como medio ambiente susceptible a saquear los recursos de manera inconsciente. Esta perspectiva refleja una necesidad de reconectar y re

significar la obtención de recurso en todos los ámbitos, así como su procesamiento.

La cualidad de ecológico impregna a los materiales y su correcta elección en torno de biorresponsabilidad que describe Martínez (2015), la cual implica su utilización de manera ética. retomando las tres dimensiones que refiere Morín (2011) Individuo – sociedad – especie. La elección de materiales de construcción implica la toma de decisiones pensando a nivel global, tomando en cuenta no solo a los seres humanos sino a todos los seres bióticos y abióticos que son parte inherente de planeta.

En la bioconstrucción es imprescindible que los materiales tengan la cualidad de ser ecológicos, Hernández (2010) define a los materiales ecológicos como aquellos que acompañan el desarrollo sostenible y permiten evitar la contaminación del medio ambiente, los cuales a lo largo de sus diferentes fases de ciclo de vida no generan daños brutales al ambiente gracias a su características físicas y químicas. En este sentido, de acuerdo con lo que plantea Faud-Luke (2002), los materiales ecológicos serian básicamente los que se encuentran en la biosfera y litosfera, es decir, tanto los materiales renovables procedente de elementos orgánicos, como aquellos no renovables e inorgánicos obtenidos de las diferentes capas de la corteza terrestre, sin necesidad de ser procesados o modificados en lo que denomina la tecnosfera.

Por lo tanto, un material ecológico tendrá un bajo impacto ambiental y requerirá poco o nulo procesamiento. En este sentido, lo ideal sería que regresara a su ciclo natural una vez terminado su vida útil como elemento constructivo. Esta característica se ve muy presente en construcciones antiguas hecha de adobe u otras técnicas constructivas con materiales naturales. En ambientes rurales una construcción de estas características que se deja abandonada y se derrumba por si sola vuelve a formar parte del entorno natural. Lo cual no suele ocurrir con construcciones que incluyen materiales sintéticos de difícil degradación.

Lo ecológico va muy de la mano con lo saludable en todos los sentidos. En términos de construcción, un material de bajo procesamiento y hecho de

materiales naturales inocuos, por consiguiente, emitirá menos contaminantes al ambiente exterior, y a su vez no tendrá la adición de tóxicos, y como resultado al ser utilizado en algún elemento constructivo, no emitirá Compuestos Orgánicos Volátiles u otras partículas perjudiciales para la salud.

2.2.2. Definición de material saludable

En términos de la salud global implica pensar en materiales que promueban una eficiencia energética a través de buena respuesta en climas extremos, es decir, que favorezcan un diseño bioclimático, y de esta manera reducir el uso de combustibles fósiles y energías utilizados para climatizar espacios. No obstante, la definición de materiales saludables implica diversas condiciones y características físicas y químicas en función de crear ambientes libres de todo elemento perjudicial para la salud.

Un material saludable protege y aísla del exterior, permitiendo la transpiración (el paso del vapor) sin cerrar poros, y es buen regulador de la humedad, ayudando a mantener a raya la proliferación de microorganismos. Además, no contribuye a alterar el electroclima, debido a que no propicia la generación de electricidad estática. Los materiales naturales y ecológicos no incorporan sustancias tóxicas nocivas, tienen niveles bajos de radiactividad, no generan electricidad estática y tienen un buen comportamiento con el electroclima y con el confort higrotérmico (Silvestre, 2014).

Entre las cualidades de los materiales saludables está un buen comportamiento del material con respecto al agua en diferentes estados. “Muros transpirables es un concepto extremadamente importante para la alta calidad del aire interior y construcciones libres de moho” (Swanson, et al., 2008). También se tienen en cuenta sus propiedades eléctricas, aspectos como el contenido de tóxicos (evitar incorporar sustancias peligrosas), el comportamiento térmico y la permeabilidad a diferentes ondas en el ambiente (ruido, ondas electromagnéticas, etc.) son aspectos fundamentales que tomar en cuenta para considerar un material saludable.

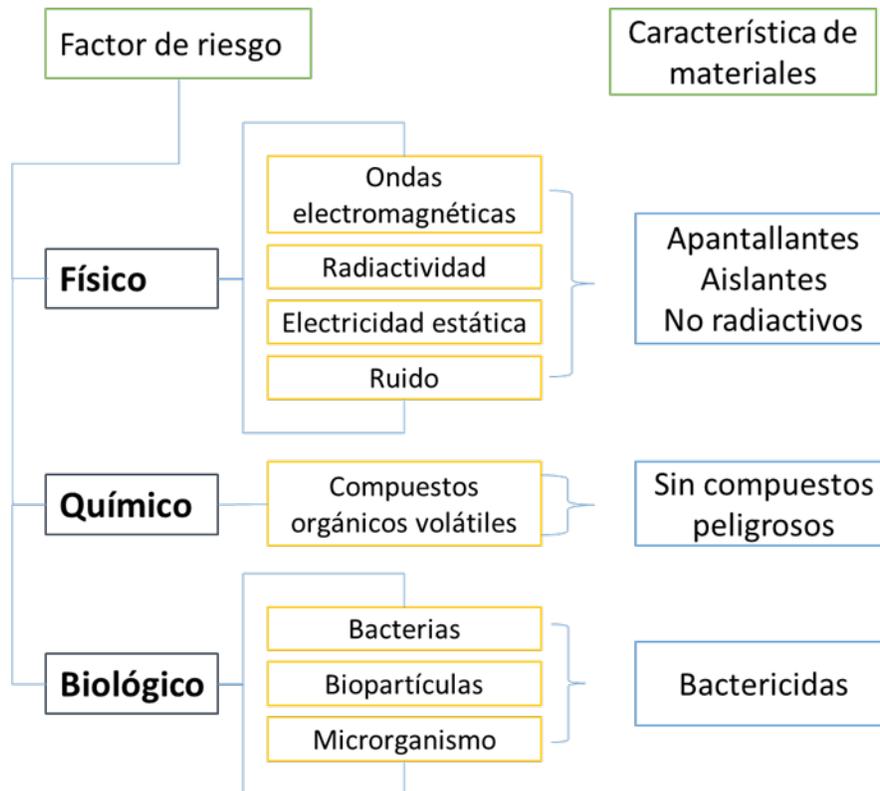


Figura 2. 2 Factores de riesgo y características de materiales saludables
Fuente: elaboración propia

En relación a las condiciones electromagnéticas descritas en el apartado anterior, Gómez (2015) recomienda tomar en consideración algunos aspectos al elegir los materiales de construcción: evitar materiales que contaminen a través de radiación, optar por materiales libre de radioactividad conocida o latente, evitar materiales que produzcan cargas electroestáticas o que alteren el campo electromagnético natural terrestres, evitar materiales ferromagnéticos, propiciar materiales permeables a las microondas cósmicas y terrestres (campo de radiación natural de la tierra); y el sistema constructivo debe evitar la entrada de gas radón.

Además de las cualidades físicas y energéticas del material que definirán la calidad del ambiente interior, el cual incide en la salud de los usuarios, es importante que también sea seguro para las personas que intervienen en el proceso de fabricación, construcción e instalación del mismo, en términos de

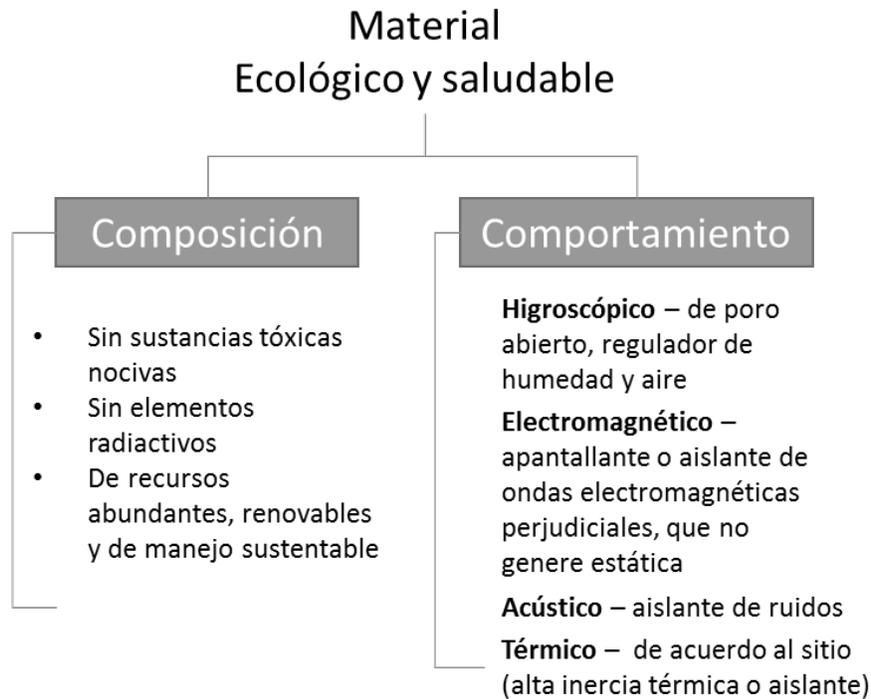
toxicidad principalmente. Con este respecto se toma como referencia la definición de material sano y ecológico de Palacios (2011):

Las cualidades de un material ecológico y sano son las siguientes: no contiene contaminantes ni sustancias tóxicas que puedan perjudicar la salud, tanto de quienes lo fabrican, como de quienes los instalan y de sus usuarios; son resistentes y pueden separarse con medios locales, son renovables y abundantes; su origen y fabricación tienen un efecto mínimo en el medio natural; su producción se ajusta buenas condiciones laborales; no producen radiaciones naturales o inducidas; tienen buenas cualidades térmicas y acústicas; no contaminan electromagnéticamente; generan pocos desperdicios y son reutilizables o reciclables; son biodegradables; se pueden reciclar en su uso original o tener uno distinto.

De acuerdo con lo analizado anteriormente, los materiales de construcción tienen diferentes impactos. Ocurre lo mismo con el comportamiento en relación a diferentes fenómenos que tienen lugar en el espacio interior: la contaminación electromagnética, la contaminación sonora, la contaminación atmosférica, el comportamiento higrotérmico. Y de acuerdo a la diversa naturaleza de los materiales resulta complejo asignar una cualidad de saludable únicamente a un grupo de ellos puesto que inclusive los materiales naturales pueden tener efectos perjudiciales para la salud, como el caso de aquellos que emiten radiactividad. En este sentido lo que se plantea es definir las cualidades de un material ecológico y saludables en términos de su composición y de su comportamiento ante determinado fenómeno de riesgo potencial.

Los materiales que se pueden considerar sostenibles son aquellos que necesitan poca energía en su fabricación y cuya utilización en la construcción de una vivienda, por sus cualidades intrínsecas, evita la contaminación, respeta la salud de sus habitantes y son biodegradables, reutilizables o reciclables (Morenilla & Martínez, 2011). Por lo tanto, para fines de este trabajo, un material ecológico y saludable comprende las diversas características (ver figura 2.3). En cuanto a su composición, no incluirá sustancias nocivas o tóxicas que puedan poner en riesgo la salud del fabricante, el usuario y el entorno; que no contenga

componentes radiactivos; y la materia prima deberá ser en su mayoría de recursos renovables, abundantes y de manejo sustentable.



*Figura 2. 3 Características de un material ecológico y saludable
Fuente: elaboración propia*

Con relación a su comportamiento en diversos aspectos: higroscópico, que sean materiales de poro abierto que permiten regular el aire y la humedad; las cualidades térmicas que respondan al clima del entorno, lo cual puede ser un material con alta inercia térmica o bien, un material aislante. El comportamiento acústico requiere ser un material aislante. Y en relación a las ondas electromagnéticas, que limite el paso de ondas perjudiciales para la salud, lo cual puede ser a través de un apantallamiento, tanto en ventanas como en muros opacos. Y que no generen estática.

2.3. Criterios de elección de materiales ecológicos y saludables

La complejidad de que caracteriza un material saludable y ecológico requiere identificar las características más apropiadas y tener presentes criterios que permitan tomar mejores decisiones para su elección desde la fase del diseño de

un proyecto arquitectónico. Con base en la descripción de las características de un material saludable, y considerando los diversos impactos que puede tener un material de construcción, en este apartado se describen ocho criterios a tener en cuenta para la elección de materiales biocompatibles y con el menor impacto posible, que contribuyan a generar ambientes saludables tanto en el interior como en el exterior de los edificios.

En el marco de una gestión global, los materiales deben ser considerados según varios tipos de criterios. Deben estar desprovistos de riesgos para la salud, ser renovables y reciclables. Respetar el medio ambiente es también optar por materiales cuya fabricación necesite poca energía y escoger productos locales con el fin de fomentar la economía regional y limitar el transporte por carretera (Gauzin-Müller, 2002). Los aspectos a considerar se dividen en tres grupos: con respecto a su composición, con respecto a su comportamiento y el análisis de ciclo de vida. En el a composición se considera la toxicidad y la disposición de los recursos. En el comportamiento se consideran las propiedades térmicas, acústicas, higroscópicas y electromagnéticas de los materiales. Y finalmente en el análisis de ciclo de vida el contenido energético y si se trata de materiales biodegradables o bien, si pueden ser reciclados.

2.3.1. Criterios respecto a la composición del material

Lo toxicidad y la procedencia de los materiales son aspectos determinantes que definirán si un material es biocompatible o no lo es, ambos aspectos van de la mano. La procedencia de los materiales puede ser directamente de la biosfera, es decir, elementos orgánicos; la litosfera, materiales minerales; y la tecnosfera, aquellos creados de manera sintética. Estos últimos por lo general tienen mayor riesgo de contener compuestos tóxicos que pueden afectar la salud de las personas.

Toxicidad

La toxicidad ambiental y humana son dos grupos de impactos que resumen dos diferentes efectos ambientales derivados de la generación de residuos sólidos,

líquidos y gaseosos contaminantes, emitidos al aire agua y al tierra en los proceso de producción de los materiales y el uso de la energía (Wadel, 2009). En el primer grupo el impacto ocurre a nivel global, y afecta al ambiente exterior en diferentes escalas y en relación directa al ciclo de vida de los materiales. Y el segundo grupo se refiere a los efectos nocivos que tiene directamente en las personas, no solo en el ambiente exterior, sino los contaminantes liberados en los espacios interiores que afecta la calidad del aire y por consiguiente la salud de las personas.

Nuestro sistema biológico está capacitado para detectar, actuar y metabolizar los posibles agentes tóxicos de qué forma puntual pueden afectarnos negativamente [...] No obstante, la exposición repetida a un determinado agente puede ser motivo de la perdida de tolerancia y el organismo puede perder el estado de equilibrio global, el estado de salud y de bienestar (Silvestre, 2014). Numerosas investigaciones científicas han encontrado que muchos de los tóxicos presentes en el hogar acaban pasando al interior de nuestros cuerpos (De Prada, 2013). Las sustancias tóxicas están muy presentes en el estilo de vida de la sociedad actual. Que si bien estos se encuentran en diversos productos de uso cotidiano, los materiales de construcción también pueden tener un aporte importante de sustancias peligrosas.

Algunos materiales de construcción o decoración desprenden unas fibras diminutas que se inhalan como el caso del amianto o las partículas de polvo del plomo, materiales que ya han sido prohibidos debido a su extrema toxicidad (Silvestre, 2014). De acuerdo con de Garrido (2014), los materiales más perjudiciales para la salud en términos de construcción se encuentra en las pinturas, los tratamientos para la madera, elementos textiles y los paneles laminados. Si bien, muchos de los componentes químicos que se agregan a estos materiales tienen la función de mejorar sus propiedades al ser retardantes de fuego, impermeables, disolventes, etc., los niveles de toxicidad los hacen sumamente peligrosos para la salud.

Las pinturas como material de acabado está en contacto directo con las personas, por lo que, los químicos que los componen son absorbidos desde el primer día.

Los productos derivados del petróleo y los metales pesados son los mayores elementos de toxicidad. “Las sustancias tóxicas a las que estamos expuestos pueden tener tanto origen natural como artificial, y pueden atacarnos a través de la respiración, la digestión o el contacto con la piel o los ojos. La mayoría son derivados del petróleo, y como tienen estructuras moleculares que no se hallan en la naturaleza, los ecosistemas no pueden procesarlos” (Bautista, 2020). Es importante identificar los tóxicos a los que se puede estar expuesto para evitarlos en la construcción.

Las diferentes partículas que conforman el polvo doméstico pueden contener elementos tanto químicos, físicos y biológicos. Los cuales tienen diferentes orígenes y principalmente se dan a causa del desprendimiento de partículas diminutas de los diferentes objetos y la envolvente en general del espacio. Al ser de baja densidad son fácilmente levantados por el aire y pueden ser respirados. Y generan el grupo de sustancias definidas como Compuestos Orgánicos volátiles, que pueden ser cientos de sustancias entre las más peligrosas están; el formaldehído, clorobenceno, Benceno, tolueno, xileno, acetona, percloetileno. “Los encontramos por ejemplo en disolventes, pinturas, en colas de aglomerados de maderas y en determinados materiales de construcción” (De Prada, 2013), así como en productos de limpieza y cosméticos de uso cotidiano.

El riesgo de todos los químicos a los que se está expuesto en los espacios construidos, es que cuando son ingeridos y llegan al torrente sanguíneo, muchos de ellos no pueden ser eliminados por el cuerpo, se caracterizan por ser bioacumulables y persistentes. “Claros ejemplos de estos fenómenos son los compuestos orgánicos persistentes (COP), como el mercurio, el DDT, que a pesar de ya haber sido prohibidos se siguen detectando en tejido adiposo de personas y animales” (Silvestre, 2014). En el anexo 3 se presentan tablas que describen algunos de los principales compuestos químicos con elevada toxicidad, utilizados en la construcción.

Disponibilidad de los recursos

Nuestro sistema económico se basa en el principio del agotamiento de los recursos naturales con fines de producción, lo que implica la fabricación de residuos. Este sistema funciona a expensas de nuestra integridad social y sostenibilidad ambiental (Hebel, et al., 2014). Ante estas circunstancias es necesario optar por nuevas alternativas de obtención de recursos, La materia prima que se obtiene mediante importantes movimientos de tierra, como son los metales, o bien erosionando ecosistema con la extracción de diversos materiales de origen mineral, son los de mayor uso en la construcción, por lo cual es importante recurrir a alternativas de recursos renovables para reducir su uso en las construcciones.

En su lugar se deberá optar por materiales de gran abundancia y renovables en periodos de tiempo cortos. “Las fibras naturales son materiales competitivos gracias a su baja densidad, buenas propiedades mecánicas, fácil procesamiento, alta estabilidad, beneficios para la salud laboral, menor comportamiento de nebulización, alta disponibilidad de cantidad, bajo precio y menores impactos ambientales para su producción” (Berardi & Iannace, 2015). Entre las ventajas que ofrecen los materiales herbáceos, en el caso de las fibras vegetales, es que son renovables con periodos de crecimiento cortos, pues son producto resultante de la cosecha anual, que en muchas ocasiones se termina desechado. Es un recurso abundante con amplias posibilidades.

En el caso de los materiales de la corteza terrestre la tierra es el más abundante, que se encuentra en la capa superficial a poco más de 40 cm de la capa superficial, pasando la materia orgánica, y puede obtenerse en el mismo sitio donde se desea construir.

2.3.2. Criterios respecto al comportamiento del material

En este grupo de criterios se analiza el comportamiento del material ante diferentes circunstancias como el clima, con la temperatura y la humedad, o bien, su comportamiento frente a diversos aspectos de riesgo o desagradables

provenientes del exterior, como lo es el ruido, o las radiaciones de diferentes tipo. Los materiales utilizados para generar dicha envolvente tienen una función específica que determinara sus características y propiedades más apropiadas. Todo material posee propiedades físicas y químicas que lo hace apto para una u otra función. Entre las propiedades físicas de los materiales están las mecánicas, eléctricas, magnéticas, ópticas térmicas, y acústicas.

Propiedades electromagnéticas

Los campos electromagnéticos susceptibles a interactuar en un edificio, como se describe en el capítulo uno, pueden ser de origen natural o artificial. Las fuentes de contaminación de este tipo son muy diversas y pueden provenir tanto del interior como del exterior de los edificios. Por lo que en cuestiones constructivas, las opciones para reducirlos son limitadas. Sin embargo, el grado de permeabilidad de los materiales puede minimizar los efectos de las radiaciones provenientes del exterior, y por tanto mejorar la calidad electromagnética de los espacios arquitectónicos.

Las ondas de origen artificial originadas por las líneas de electricidad y las tecnologías de la información y la comunicación resultan dañinas para el organismo ante una exposición prolongada, al igual que las que emanan del subsuelo al ubicar áreas de descanso o trabajo en zonas geopatógenas. Sin embargo existen diversas ondas electromagnéticas de origen natural provenientes principalmente del cosmos que son esenciales para la vida. Por lo tanto, los materiales deberán ser permeables antes las ondas beneficiosas e impermeables de las ondas perjudiciales para la salud.

Las propiedades electromagnéticas a considerar para establecer la calidad biológica de los materiales de construcción que proporcionen confort electromagnético, proceden del propio material, del lugar y de la interacción de ambos. En el caso de las radiaciones naturales lo más convenientes es que “los materiales de construcción sean permeables a las radiaciones naturales, y el lugar donde dormimos o trabajamos esté libre de alteraciones de todo tipo” (Gómez, 2015). Esto último se logra, en primer lugar con una distribución adecuada de los

espacios y mobiliario a fin de evitar zonas alteradas, mientras que los campos electromagnéticos artificiales provenientes del exterior se deben evitar su acceso a través del apantallamiento y blindaje de los elementos que constituyen la envolvente.

El apantallamiento definido como el efecto y técnica de aislar los campos eléctricos y magnéticos del exterior¹, por lo general se requiere en elementos susceptibles a la permeabilidad de estas ondas, como lo son las ventanas y vanos. No obstante, dependiendo del material con que estén construido, los elementos de cerramiento opacos también pueden requerir protegerse. “El apantallamiento se puede aplicar tanto para reducir o eliminar radiación electromagnética de baja frecuencia como de alta frecuencia, como para reducir o apantallar radiación natural” (Gómez, 2015). Algunos elementos utilizados con este fin son pinturas a base de grafito y cortinas metálicas tipo mosquitero (ver figura 2.4). “El método habitual de blindaje, es una combinación de pintura de blindaje en las paredes (y/o techo) y un apantallamiento de las ventanas con cortinas estilo visillo confeccionadas con una tela protectora, o instalar folios adhesivos en el cristal. En fase de construcción, se puede usar una malla metálica para blindar las paredes (Radianza, 2020).



Figura 2. 4 Elementos de blindaje y apantallamiento contra radiaciones

Fuente: (Radianza, 2020)

Las cualidades electromagnéticas de los materiales darán pauta a una respuesta eficiente frente a las diferentes ondas y campos electromagnéticos emitidos tanto de forma natural como artificial, y por lo tanto definirán las condiciones bióticas e los espacios.

¹ <https://es.thefreedictionary.com/apantallamiento>

Con relación al comportamiento de los diferentes materiales constructivos frente a las radiaciones electromagnéticas, Silvestres (2008, citado en Gómez, 2015), identifica tres tendencias de diferente comportamiento: 1) los materiales duros (grava silicea, cuarzo, granito, hierro) son buenos conductores de las radiaciones alteradas, las no biológicas y no frenan su ascensión a la vertical a pisos superiores; 2) los materiales neutros (piedras y gravas de origen calcáreo, ladrillos, tejas y arcillas) son buenos conductores de las radiaciones fundamentales favorables para la vida, y reducen senciblemente la fracción de radiación modificada o no biológica; y 3) los materiales de origen vegetal (madera, corcho) actúan frenando intensamente las radiaciones alteradas, incluso en algunos casos evitan su ascenso a niveles superiores.

Uno de los elementos que más interfiere en los campos eléctricos y magnéticos naturales es la estructura por su alto contenido de materiales metálicos, ya sea estructura de acero o bien concreto armado. Por un lado los metales alteran el campo eléctrico natural. Por otro lado, desestabilizan las tenciones ambientales y alteran el buen funcionamiento del organismo en las personas. “Si están derivadas a tierra, estas nos aislaran del campo eléctrico natural, lo que reducirá las tensiones drásticamente. Si no lo están existirá un exceso de tensión eléctrica por el efecto condensador de los metales” (Bautista, 2020, p. 46). Por lo tanto, sistemas constructivos con elevado contenido de acero y otros metales son poco convenientes para generar ambientes biocompatible.

Propiedades higroscópicas

Uno de los desaciertos más importantes en el desarrollo de nuevos materiales en la industrial de la construcción es el hecho de implementar materiales de poro cerrado que funcionan herméticamente. Pues para crear ambientes saludables, los materiales tienen que ser de poro abierto, lo cual permitirá un intercambio de aire y humedad dentro del ambiente interior y de ese modo evitar condensaciones. De acuerdo con Baker-Laporte, Elliot y Banta (2014), los materiales de construcción deben elegirse por su capacidad higroscópica, lo que quiere decir que sean difusibles de vapor o “transpirables”. “Con una pared transpirable, toda la

masa de la pared es un intercambio de aire pasivo. Aunque el aire no pasa libremente a través de la pared, las diferencias de presión de aire entre el interior y el exterior hacen que parte del aire se difunda lentamente a través de la pared” (Snell, 2004).

Una arquitectura transpirables regula sus condiciones higrotérmicas disipando la humedad que almacena en el interior. La transformación de sistemas constructivos, desde límites permeables a membranas sensibles, que no tanto aísla sino que regulan las conexiones con capacidades absorbentes, transpirables y digestoras (González, 2014). Aspectos que la autora refiere que pueden ser incorporados tanto en el ambiente urbano, en el exterior, como en el interior de los edificios. “Los materiales higroscópicos tienen la característica de cambiar su contenido de humedad de acuerdo con las condiciones del ambiente

A grandes rasgos el material por excelencia que posee importantes cualidades higroscópicas es la cal. A partir de las propiedades de este material se tiene una referencia muy amplia de lo que es un material con excelentes características en este aspecto definidas por Del Toro (2018).

“Material transpirable, con alta difusividad al vapor de agua e impermeable a la vez al agua en estado líquido, es decir, tiene la capacidad de dejar pasar el vapor de agua pero no el agua de lluvia; e higroscópico, siendo capaz de absorber gran cantidad de agua sin apenas aumentar de volumen durante los períodos frescos y húmedos, mientras que la difunde al ambiente en las épocas calurosas y secas, no sólo favoreciendo una correcta humedad relativa sino generando el enfriamiento de los muros cuando se produce la difusión de dicha humedad”.

La resistencia al agua es un parámetro que cuantifica la durabilidad del sistema y, dado que la característica principal de las construcciones de dichos materiales es mantener un clima interior óptimo en términos de humedad, esta propiedad se cuantifica por la permeabilidad al vapor de agua (Calatan, et al., 2020). Lograr materiales que aporten equilibrio térmico es un reto importante, pues existe el riesgo de ir al extremo del exceso de humedad y generar ambientes propicios para la proliferación de microorganismos como bacterias y hongos dentro de las

construcciones. Sin embargo, la combinación de materiales de uso tradicional y naturales brindan la posibilidad de lograr un equilibrio higrotérmico sin tener afectaciones de ese tipo. “Entre los métodos tradicionales para combinar aislamiento, masa térmica y transpirabilidad se encuentran las construcciones de paja-arcilla, cob, balas de paja, y cordwood” (Snell, 2004).

Los sistemas de muros transpirables actualmente incorporan varias características físicas diferentes que son fundamentales para la construcción de casas saludables. Los científicos de la construcción se refieren a estos como propiedades higrotérmicas, ya que todos los fenómenos relacionados involucran de alguna manera el transporte de humedad: 1) permeabilidad y difusión, 2) adsorción / desorción higroscópica, y 3) adsorción / desorción de capilaridad (Swanson, et al., 2008). “La combinación de una pared transpirable y puertas y ventanas de calidad significa un intercambio de aire acondicionado lento a través de toda la masa de la pared, no fugas de aire a través de puertas y ventanas. Esto crea algunos intercambios de aire sin fluctuaciones de temperatura”. (Snell, 2004). Por lo tanto, para lograr una verdadera arquitectura saludable es imprescindible que los materiales sean de poro abierto, y transpirables, es decir higroscópicos, que gestionen la humedad de manera eficiente.

La permeabilidad en un material de construcción resulta un tema complejo. Si bien, una construcción saludable deberá evitar la entrada de humedad por la cuestión de bacterias y moho que puede generar. No obstante, un material herméticamente sellado tampoco es lo más adecuado, ya que cuando esto ocurre “los químicos y los ocupantes generan contaminantes que quedan atrapados dentro de las casas, donde son inhalados a los pulmones y absorbidos a través de la piel” (Baker-Laport, et al., 2014). La impermeabilización tiene la función primordial de evitar la entrada de humedad en un edificio, ya sea la proveniente del subsuelo por efectos de capilaridad o la proveniente de la cubierta a causa del agua de lluvia.

Propiedades térmicas

En términos de confort térmico, los materiales de construcción tienen diversas propiedades en absorben, transmiten y acumulan energía; estas características determinan la eficacia de los elementos constructivos en el control o la modificación de las condiciones térmicas. “La absorción es una característica de la superficie de cada material que determina la proporción de la radiación incidente absorbido; la proporción no absorbida es reflejada. La transmisión del calor en los materiales se lleva a cabo a través de la conductividad térmica; la de los elementos constructivos a través de la transmitancia térmica, y se refieren al flujo de calor que atraviesa un material o elemento constructivo según su superficie” (Cedeño, 2010). Algunos materiales dejan pasar el calor más fácilmente que otros, y los materiales pesados

El comportamiento de un material en cuanto al confort térmico, ya sea que gane, transmita o aislé el calor, deberá ser compatible con el entorno. Un material puede ser aislante o tener alta inercia térmica, lo que se asocia con materiales acumuladores y por tanto de alta masa térmica. La inercia térmica permite evitar cambios bruscos de temperatura en los espacios y suelen estar presente en muros de grandes espesores que pueden ser de piedra, concreto o tierra.

Un material con alta conductividad térmica permite el paso de calor o frío en un tiempo muy corto, por ejemplo, los metales. Mientras que los materiales aislantes tienen una conductividad térmica muy baja. “Es importante conocer la respuesta de los materiales de construcción ante la radiación térmica y solar, a fin de estar en capacidad de hacer una adecuada selección para cada caso. El factor de ganancia solar está estrechamente relacionado con el confort térmico” (Neila, 2004).

La manera en que un ambiente se calienta puede ser por convección o por radiación. “La radiación es la transferencia de calor entre un determinado cuerpo y las superficies que lo rodean a través del ambiente. Todos los materiales absorben una proporción de la radiación solar y también emiten radiación hacia otras superficies según las características y la temperatura de la superficie emisora” (De

Garrido, 2014). La radiación de calor que se genera en el espacio interior, de acuerdo Bueno (1994) contribuye en mejor medida a generar un confort térmico.

El aislamiento en la construcción se trata de la mejor manera posible de reducir la disipación de la energía a lo largo del tiempo, de forma que consigamos mantener separadas las diferentes temperaturas de interior y el exterior (Neila, 2004). En climas extremos donde el acondicionamiento térmico interior se requiere por medios mecánicos, utilizar materiales aislantes es la mejor alternativa de solución. “Los materiales aislantes se pueden definir como aquellos que presentan una elevada resistencia al paso del calor, reduciendo la transferencia de este en su cara opuesta, por lo tanto, podemos decir que protegen del frío y del calor” (Palomo, 2017). Además ayuda a evitar pérdidas de calor en el interior, y por consiguiente una mayor eficiencia energética.

Propiedades acústicas

Al igual que ocurre con las propiedades higrotérmicas, un material poroso tendrá mejor comportamiento acústico. “Para absorber el sonido, los materiales deben tener una alta porosidad para permitir que el sonido entre en su matriz y se disipe. Los poros aislados de otros poros adyacentes, también llamados poros "cerrados", permiten cierto nivel de absorción del sonido, pero solo los poros "abiertos", que garantizan un canal continuo de comunicación con la superficie externa del material, permiten mayores propiedades de absorción del sonido” (Berardi & Iannace, 2015).

Por consiguiente, tanto en términos de comportamiento higrotérmico como en lo referente al confort acústico, siempre será preferible un material de poro abierto. Los materiales sellados herméticamente tendrán un comportamiento deficiente en este sentido. En relación a lo acústico, es más conveniente un material aislante, sobre todo si se trata de espacios de trabajo o habitacionales en las construcciones urbanas, siendo que en las ciudades se tiene una amplia diversidad de sonidos que conviene evitar, o reducir cuando se trata de sonidos muy fuertes.

Los materiales de aislamiento pueden ser parte del elemento de cerramiento si se trata de un material monolítico como el concreto, o bien constituir una capa intermedia dentro del muro o plafón. Sin embargo, aunque no están expuesto, por lo general no está garantizado un encapsulamiento hermético y terminara desprendiendo pequeñas partículas o gases que pueden ser peligrosos si se trata de un material con componentes tóxicos.

2.3.3. Análisis de Ciclo de Vida de los materiales

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) “es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto (Romero, 2003). Permite evaluar el impacto ambiental de un proceso o producto considerando todas las etapas que intervienen desde la extracción de la materia primera hasta su eliminación, pasando por todo el proceso de producción, transporte y distribución o también se suele decir que es un análisis “de la cuna a la tumba” (Bellart & Mesa, 2009).

La metodología ACV se analiza a partir de varias fases por las que se pasa en el desarrollo de un producto, lo cual se realiza “recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” (Romero, 2003). Es un análisis complejo que se realiza a nivel de producto terminado, aplicado a la construcción parte del análisis considera la extracción de los materiales.

El objetivo es llegar a evaluar el impacto ambiental que genera el producto y esto implica identificar y cuantificar la energía, los materiales usados y los desechos liberados al medioambiente en cada una de las etapas y poder evaluarlo posteriormente en conjunto (Bellart & Mesa, 2009). No obstante, esta metodología puede predecir los impactos en la salud humana basados en la información obtenida de la fase de diseño, aunque no considera los contaminantes emitidos

por los materiales (Seon Park, et al., 2016). En la figura 2.5 se muestran las principales fases dentro de la metodología ACV.

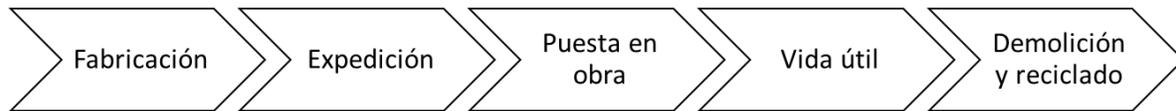


Figura 2. 5 Fases de la metodología de ACV
Fuente: (Romero, 2003)

Entre sus principales objetivos es brindar referencias a los usuarios finales para un consumo más consciente e informado, y privilegiar a los productos o insumos sustentables. A nivel empresarial analiza los impactos “que sus productos, servicios o actividades podrían causar en el medio ambiente; en especial, los que provoquen impactos ambientales significativos adversos, para atender a las responsabilidades legales, sociales y políticas que ellos implican, además de las pérdidas económicas y de imagen empresarial” (Romero, 2003). Lo cual supone importantes retos para que la industria busque mayor eficiencia en sus procesos para su propio beneficio y del medio ambiente.

Gasto energético – emisiones contaminantes

El gasto energético de un material de construcción está relacionado con la procedencia del material en diversos aspectos: en cuanto a distancia, de donde se obtuvo dicho material; en cuanto al origen, si fue necesarios procesos de excavación o se obtuvo directamente de la corteza terrestre; del proceso para su fabricación, en este sentido implica conocer si se trata de un material procesado a altas temperaturas o bien es un material en crudo.

El contenido energético de los materiales se mide en megajoules (mj) que puede ser por unidad de kilo o metro cúbico de material. A través de esta medida se tienen una idea clara del impacto que tienen dichos materiales en la emisión de contaminantes. En la tabla 2.3 se puede observar el contenido energético de algunos materiales. Se puede observar que los materiales metálicos son los que tienen mayor gasto energético, ya que son sometidos a elevadas temperaturas hasta lograr su punto de fusión, le siguen los materiales cocidos, como el vidrio y

el ladrillo. Entre los más bajos están el concreto sin armar, y algunos plásticos de baja fusión y baja densidad como el poliuretano expandido. El adobe contiene el más bajo contenido energético de los materiales que se muestran en la tabla.

Tabla 2. 3 Contenido energético de los materiales

Material	Contenido energético	
	Por peso (mj/kg)	Por volumen (mj/m3)
Poliuretano expandido	180	2,500
Aluminio	170	459,000
PVC	90	11,000
Cobre	78	698,000
Vinílico	45	6,000
Hierro y acero	40	300,000
Fibra de vidrio	38	2,000
Vidrio	26	67,000
Block de concreto	22	35,000
Ladrillo cerámico hueco	7.5	1,000
Yeso	2.4	1,700
Ladrillo común	1.8	3,000
Concreto armado	1.8	4,000
Concreto	1.8	2,600
Adobe	0.2	320

Fuente: (Cedeño, 2010)

El contenido energético implica el consumo en el proceso de fabricación del material, no obstante, otro aspecto en este sentido es el traslado al lugar de aplicación. Todos estos aspectos suman diversos gastos energéticos, que además de los recursos utilizados, generan importantes efectos en el medio ambiente. Pues cada proceso, ya sea extracción, transporte o fabricación generan emisiones contaminantes en diferentes medidas. Por lo tanto, es preferible optar por materiales que se obtengan a cortas distancias, crudos y de extracción de la biosfera.

Reciclabilidad o biodegradabilidad

Para cambiar el análisis de vida de un producto, en este caso de un material, “de la cuna a la tumba”, por el concepto “de la cuna a la cuna”, es necesario pensar en el proceso de este al finalizar su termino de vida útil. Desde el propio diseño del

material o elemento constructivo tener presente que se hará con él en lugar de desecharlo y convertirlo en basura. Ya sea que tenga otro uso o bien, los materiales con que está hecho puedan degradarse fácilmente.

En el caso de materiales naturales, la cualidad más apremiante es la que sea biodegradable. Como es el caso de las fibras naturales de los materiales orgánicos herbáceos, siempre y cuando se cumpla con el primer parámetro de no utilizar químicos tóxicos para su tratamiento bactericida. En materiales de otra procedencia lo más conveniente será optar por el reciclaje. Los plásticos, metales y celulosa tienen amplias posibilidades en este sentido.

Los materiales reciclados resultantes de los residuos de los procesos de producción y los generados de los productos post-consumo son fundamentales para conservar los flujos de materiales. Sin embargo para conseguir esto, el reciclaje debería involucrar materiales no peligrosos y disminuir la entrada de materia prima virgen (De Carvalho, 2015).

2.4. Tipos de materiales según su procedencia, su aplicación y su función

Existen diferentes formas de clasificar un material. A grandes rasgos los materiales utilizados en la construcción, para fines de este trabajo, se clasifican de acuerdo con su procedencia y su aplicación. La primera clasificación dará indicios, por un lado, del contenido energético de dicho material que se puede entender como el grado de manipulación de estos, y la energía incorporada y por otro lado de la cantidad de elementos sintéticos o artificiales que puede contener. Información muy relevante en términos de inocuidad de los materiales.

Se identifican tres grandes grupos de acuerdo con su procedencia: materiales de la biosfera, de la litosfera y de la tecnosfera de acuerdo con los términos que utiliza Faud-Luke (2002). O lo que es lo mismo, materiales que crecen, que se extraen y que se crean, como lo refiere Vale (2017). O bien, materiales orgánicos, inorgánicos y sintéticos términos utilizados por Palomo (2017). Los tres autores se refieren a lo mismo en cuanto a procedencia de los materiales. En el esquema que

se muestra en la ilustración 2.5 se tiene un desglose general de los tipos de materiales de acuerdo a su procedencia de acuerdo con Faud-Luke (2002). Se identifican los materiales renovables y no renovables, así como los abundantes y los limitados en el caso de los materiales no renovables procedentes de la litosfera.

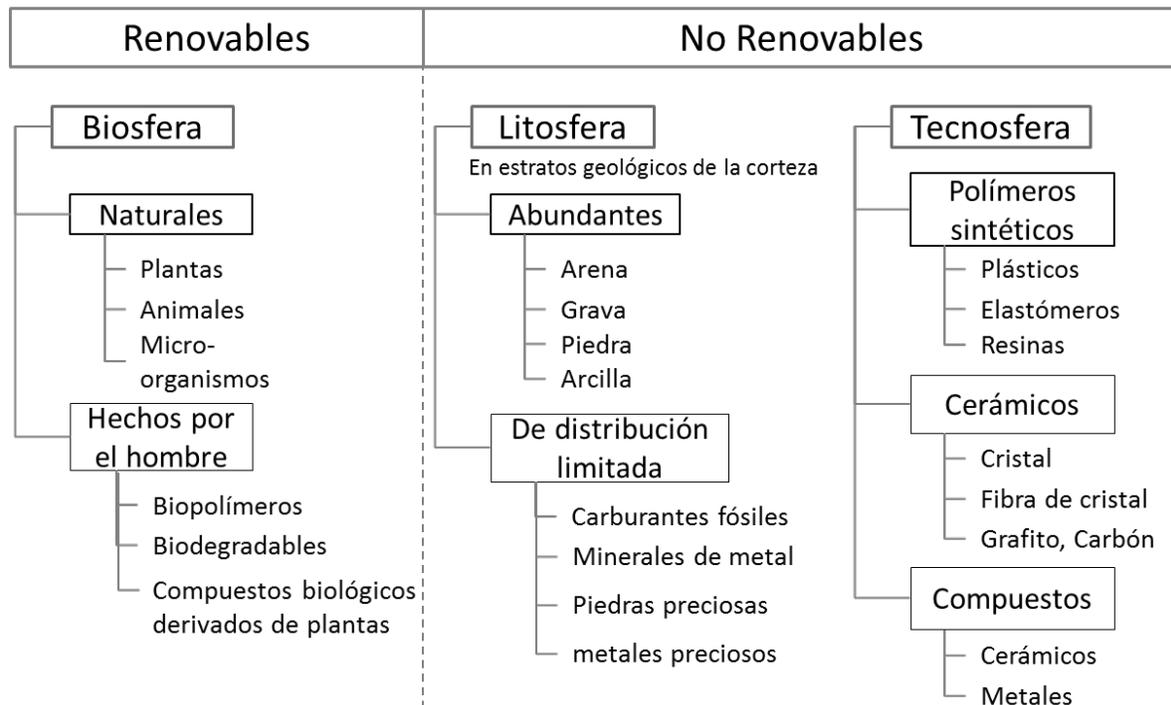


Figura 2. 6 Clasificación de los materiales según su procedencia
Fuente: Elaboración propia con base en (Faud-Luke, 2002)

Actualmente, la gran parte de los materiales utilizados en la construcción proceden de la tecnosfera. Pues son pocos los materiales que se mantienen intactos en su estado natural para su uso. Sobre todo, al tratarse de construcción de gran escala, en el ámbito urbano, donde los requerimientos de seguridad son muy exigentes principalmente en resistencia mecánica y al fuego.

Los materiales naturales procedentes tanto de la biosfera como de la litosfera son procesados para obtener materiales más complejos con mejores propiedades en diversos aspectos. Un inconveniente en este sentido es que los aditivos utilizados con funciones de fungicidas (en el caso de la madera y materiales herbáceos), retardantes de fuego, etc. son materiales de gran toxicidad poco compatibles con

el ser humano. Y en términos de bioconstrucción lo que se busca es precisamente, materiales libres de tóxicos. En la tabla 2.1 se muestra una clasificación de acuerdo con Vale (2017), donde se puede observar que los materiales de la tecnosfera son los más abundantes.

Tabla 2. 4 Materiales de acuerdo con su procedencia

Materiales que crecen (de la biosfera)	Materiales que se extraen (de la Litosfera)	Materiales que se hacen (de la Tecnosfera)
Pastos Cáñamo Bambú Vid madera	Tierra Piedra Concreto	Vidrio, Metales: acero, cobre, aluminio, zinc, plomo; Plásticos Compuestos: concreto reforzado, láminas de fibrocemento, compuesto de madera, paneles compuestos de metal, de vidrio, productos bituminosos

Fuente: elaboración propia con base en Vale (2017)

La industria de la construcción, como la principal consumidora de recursos, tiene una aplicación muy amplia de cada tipo de material en los múltiples sistemas y componentes constructivos que integran un edificio. En el esquema 2.6 se puede observar la compleja relación que existe entre los diferentes tipos de materiales y los elementos constructivos

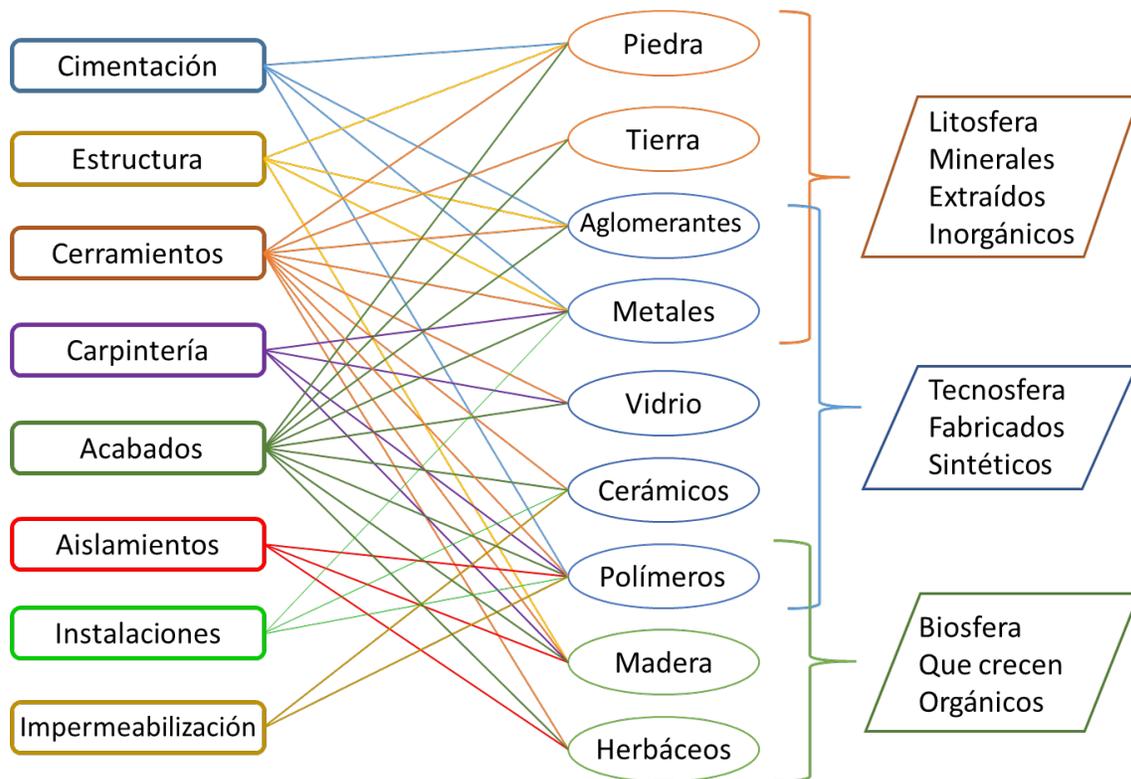


Figura 2. 7 Relación de elementos constructivos y tipos de materiales
Fuente: Elaboración propia

Una adecuada elección de materiales en términos de bioconstrucción tomara en consideración los diferentes impactos que genera cada material a lo largo de todo el proceso antes de ser colocado en una construcción, durante su vida útil y al finalizar ésta. Y de este modo optar por aquellos de menor impacto en todos los aspectos. En los siguientes apartados se describen los materiales que se incluyen en cada tipo y se identifican los inconvenientes y ventajas en cuanto a los diferentes impactos, así como las condiciones ideales para ser biocompatible.

2.4.1. Materiales de la biosfera

En este primer grupo están aquellos que Vale (2017) denomina materiales que crecen, dentro de los que considera, el bambú, las vides (de la vid), el cáñamo, pastos y la madera. Estos son orgánicos y renovables, de procedencia animal y vegetal. “Entre los materiales de la biosfera se clasifican los grupos especiales de materiales hechos por el hombre, como los biopolímeros, los biodegradables y los compuestos biológicos derivados de plantas” (Faud-Luke,

2002). Comprende los materiales o recursos disponibles en la superficie terrestre, procedentes de organismos vivos como los árboles y las plantas, de los que se derivan la madera, los materiales herbáceos, entre otros; así como los procedentes de animales como: lana de oveja, proteínas o deposiciones animales como estabilizantes, etc.

Este grupo de materiales comprende recursos que siempre han estado al alcance, disponibles ampliamente en la naturaleza para su uso en la construcción, con variantes que dependen de la zona geográfica. Y junto con los materiales minerales procedentes de la litosfera han sido utilizados en diversas técnicas constructivas.

Su forma de obtención ha variado a lo largo de la historia, con la era industrial y la industria agroalimentaria ha dado pauta a la generación de residuos orgánicos que quedan en desuso, pues en la mayoría de los casos no se busca reintegrarlos en el ciclo metabólico del suelo como nutrientes, lo cual constituye una problemática ambiental, por una parte y una área de oportunidad en la construcción para la incorporación de materiales orgánicos y renovables como una alternativa para incorporar principios de sustentabilidad y ecología en la arquitectura.

Madera

La madera es un material de uso milenario en la construcción que brinda diversas ventajas, “su buen comportamiento y su notable resistencia a la tracción, compresión y flexión, su ligereza, su tenacidad y sus cualidades térmicas” (Gárriz, 2007), cualidades estéticas. En términos ecológicos es un material natural, es biodegradable y renovables, es fácil de trabajar y los residuos que genera pueden aprovecharse, ya sea para la fabricación de otros materiales, como los aglomerados o como compostaje. “La madera es un material ventajoso en salud porque tiene la propiedad de higroscopicidad. Esto significa que tiene la capacidad de adsorber y liberar humedad, lo que ayuda a equilibrar los niveles de humedad y el electroclima” (Baker-Laport, et al., 2014). Lo que la hace muy adecuada para generar un confort integral en los espacios.

La madera, en todas sus presentaciones y siempre que esté exenta de productos de tratamientos tóxicos es muy biótica y crea ambientes agradables y acogedores (Bueno, 1994). Las especies de mayor utilización en la construcción son el pino, el abeto, el encino, el roble, el cedro, entre otras. Dentro de la bioconstrucción es preferible madera aserrada sobre la laminada, por el uso de colas y productos químicos perjudiciales para la salud, así mismo, deberá de ser local y sometida a proceso de extracción sostenible (Martínez, 2015)

Si bien, el uso de la madera como elemento estructural en la bioconstrucción es una excelente opción, las uniones metálicas deben ser lo menos posibles, dado a las alteraciones electromagnéticas que se pueden suscitar. La madera es una material muy versátil que brinda amplias posibilidades para su uso en sistema constructivo. No obstante, un aspecto importante a considerar es la resistencia al fuego. “soluciones constructivas como forjados con escayolas o la impregnación con pinturas ignífugas basadas en sales de bórax (60 partes de agua, 15 de bórax y 15 de sulfato de magnesio)” (Martínez, 2015, p. 88). Lo cual tiene que tratarse con productos sin tóxicos.

Sin embargo, también presenta diversos inconvenientes que tienden a limitar su uso, como lo son: su combustibilidad, deformación por variación higrotérmica, que es susceptible a ser atacada por microorganismos y la putrefacción, al estar expuesta la humedad y la intemperie. Estos inconvenientes de la madera como material de construcción han llevado al desarrollo de diversos tratamientos a los que se somete que le confieren una mayor durabilidad. Sin embargo, son precisamente estos tratamientos lo que hacen que la madera pierda las cualidades ecológicas. “Esto se debe a que los aditivos que habitualmente se añaden a la madera con la finalidad de mejorar su potencial como material de construcción, tienen un fuerte impacto sobre nuestra salud y sobre el ecosistema natural” (De Garrido, 2014). Los tratamientos tanto superficiales como internos de la madera suelen contener formaldehído, acetonas, bencenos, entre otros químicos altamente tóxicos.

Las cualidades ideales para el uso de la madera de una forma saludable y ecológicas, primero, optar por tratamientos naturales e inocuos para la salud humana, los cuales se deben realizar tanto de manera superficial como internamente. “Para proteger la madera de los xilófagos y para un tratamiento mineralizador contra el fuego la podemos someter a un tratamiento por inmersión de tetraborato sódico (bórax) como sal natural biosida” (De Carvalho, 2015). Lo cual le dará protección de manera profunda, en cuanto al tratamiento superficial, para mantener sus cualidades bióticas es preferible optar por aceite y/o será de abeja.

De acuerdo con Martínez (2015) las condiciones ideales del uso de la madera en bioconstrucción son: tener un correcto proceso de secado, donde la humedad este por debajo de 18% para evitar condiciones favorables para hongos e insectos; establecer las condicionantes existente en cuanto a su uso, forma de trabajo, localización, humedad de la madera, con el fin de elegir la mejor especie en cada caso; minimizar la utilización de uniones y anclajes metálicos que puedan dar lugar a alteraciones de las condiciones electromagnéticas naturales; optar por la madera aserrada sobre la laminada para evitar la utilización de colas y productos químicos nocivos; introducir en el diseño criterios de protección de la madera que permitan disminuir la necesidad de productos químicos para su protección y conservación; y lograr un balance ecológico, para lo cual deberá ser en la medida de lo posible, madera local y sometida a procesos de extracción sostenible.

El uso de madera de manejo sustentable es de gran importancia para reducir los efectos negativos del material concerniente a la degradación de los ecosistemas a causa de la tala ilegal y la deforestación desmedida. “La madera se puede usar de una manera ecológicamente consciente a través de la cosecha y la replantación sostenibles, junto con un compromiso de construir métodos que produzcan estructuras con una mayor longevidad que los períodos de crecimiento de los árboles a partir de los que se construyeron” (Baker-Laport, et al., 2014).

En este sentido, existe una tendencia contraria a generar estructuras duraderas, en los sistemas constructivos a base de concreto armado predominante en la

sociedad actual generan una importante demanda de madera para su uso en lo que se denomina obra falsa, es decir, para su uso en tarimas y encofrados a utilizarse como moldes, que después de algunos usos son desechados. Lo ideal sería poder aprovechar las cualidades de biocompatibilidad que ofrece la madera de forma duradera, potenciando sus cualidades de material ecológico y saludable. En la tabla 2.3 se observan a grandes rasgos los principales impactos en torno al uso de la madera y alternativas para su uso en bioconstrucción.

Tabla 2. 5 Principales impactos de la madera y alternativas para su reducción

Impactos	Inconvenientes	Alternativas
Emisiones Contaminantes (EC)	Maderas no autóctonas procedentes de lugares lejanos. Secado de madera estufada	Maderas procedentes de lugares cercanos
Degradación de Ecosistemas (DE)	La deforestación y la tala ilegal	Madera certificada de manejo sustentable
Efectos en la salud (ES)	Tratamientos con aditivos nocivos para la salud	Adecuados tratamientos biocompatible, soluciones con sales de bórax y aceites

Fuente: elaboración propia

Materiales Herbáceos

Los materiales de origen vegetal representan una alternativa a los resultantes de métodos de fabricación más complejos. Entre ellos la paja, para su uso en paredes o aplicada en cubiertas; la caña o ramas, que se utiliza como revestimientos; el mimbre y el bambú (Paredes, 2014). La paja se obtiene del tallo seco de diversas gramíneas o las cascarillas que quedan una vez obtenida la semilla o el grano. No obstante, la paja en muchos casos se utiliza como forraje para ganado. “Se podría argumentar que la paja no es un producto de desecho genuino; Sin embargo, el hábito omnipresente de quemarlo en los campos después de la cosecha crea sustancias nocivas que se emiten al aire, convirtiendo el material en un problema de desechos (Hebel, et al., 2014). “La paja solo se convirtió en un producto de desecho a medida que la agricultura se industrializó y se especializó” (Vale, 2017). Y el hecho de aprovecharlo como material de

construcción en lugar de quemarlo daría la pauta a reducir de manera importante las emisiones contaminantes en este sentido.

De acuerdo con Vale (2017) los inconvenientes ecológicos a tomar en cuenta en los materiales herbáceos son los siguientes: el hecho de utilizarlos como material de construcción se le resta nutrientes a la tierra, pues por lo general al ser utilizados en un material de construcción se suele añadir o proteger de la humedad con morteros con cementantes, lo cual dificulta su compostaje una vez finalizada su vida útil; por otra parte, su aplicación se limita a muros y estos tienen que ser muy gruesos, lo que demanda más terreno y por consiguiente en aumento de la huella ecológica de la construcción, y por último el necesidad de reforzarse con materiales no sustentable (metálicos) para garantizar el cumplimiento de los códigos reglamentarios de construcción.

Si bien, muchos de los desechos agrícolas podrían ser utilizados como alimento para ganado, la generación en este ámbito, así como como en la agro industria, generan importantes residuos que contribuyen a una problemática ambiental al no ser aprovechados de alguna forma. “La mayor cantidad de desechos generados a partir de fuentes agrícolas son el bagazo de la caña de azúcar, la paja y la cáscara de arroz y trigo, los desechos de vegetales, productos alimenticios, té, producción de aceite, fibra de yute, cáscara de maní, desechos de molinos de madera, cáscara de coco, tallo de algodón, etc.” (Madurwar, et al., 2013). Su aplicación como materiales de construcción representa una importante área de oportunidad dentro de la sostenibilidad que reduciría el uso de recursos naturales vírgenes, de energía consumida y por consiguiente de emisiones contaminantes.

La condición orgánica de este tipo de recursos posibilita la reincorporación al ciclo metabólico natural de la tierra al ser biodegradable, una vez terminado su ciclo de vida del elemento constructivo. Su aplicación como componente de materiales constructivos es muy extensa y mejora significativamente algunas propiedades del material. De acuerdo con Hebel, Wisniewska y Heisel (2014), cuando se utilizan estos materiales de manera compactada presentan unas propiedades de

aislamiento excepcionales, tanto acústicas como térmicas, además de una alta resistencia al fuego debido a la eliminación del aire en el material.

En forma densificada o comprimida de estos materiales es una forma de generar elementos constructivos con el material íntegro sin ningún aditivo, por ejemplo, las pacas o fardos de paja. Sin embargo, esta forma de aplicación implica sistemas donde se debe proveer una buena protección contra la humedad para evitar daño interno del material por adsorción excesiva de agua.

De acuerdo con el estudio que realizan Madurwar y otros (2013), las aplicaciones más comunes de los residuos agroindustriales son: tableros de partículas, aislantes térmicos, Compuestos de albañilería / ladrillos, material de cemento / puzolana / aglutinante, agregado, fibra de refuerzo y reforzamiento. Este último se da con materiales lineales como el bambú y la caña que pueden utilizarse como reemplazo del acero de refuerzo. Las posibilidades de aplicación de fibras naturales en la construcción son muy diversas y la principal ventaja que ofrecen es que son recursos renovables, por lo general de cultivo anual.

La resistencia a la tracción del bambú es relativamente alta y puede alcanzar 370 MPa, lo que hace que el bambú sea una alternativa atractiva al acero en aplicaciones de carga por tracción. Esto se debe al hecho de que la relación entre la resistencia a la tracción y el peso específico del bambú es seis veces mayor que la del acero (Madurwar, et al., 2013).

Tabla 2. 6 Principales impactos de los materiales herbáceos

Impactos	Inconvenientes	Alternativas/ventajas
Emisiones Contaminantes (EC)	Gases tóxicos con su quema en campos de cultivos. Uso de pesticidas que afectan el suelo	Su aplicación como material constructivo en lugar de quemarlo
Degradación de Ecosistemas (DE)	La deforestación para la plantación de grandes pastizales	Plantación anual que contribuye a más absorción de dióxido de carbono
Efectos en la salud	Componentes nocivos con el	De ser posible, optar por

(ES)	uso de pesticidas	residuos de cultivo ecológico
------	-------------------	-------------------------------

Fuente: elaboración propia

Paja

Como paja se considera el tallo seco de los cereales (trigo, centeno, cebada, mijo) o de plantas fibrosas (lino, cáñamo, arroz), es la parte que esta entre la raíz y la espiga. Es una materia prima renovable, que mediante la fotosíntesis de la energía solar, toma agua y minerales de la tierra. Se compone de celulosa, lignina y tierra silicia y muestra un exterior ceroso e impermeable (Minke & Mahlke, 2006, p. 17).

En la producción se emplea enfardadoras que desarrollan una presión de entre 80 y 120 kg/m³. Los fardos hechos con menor presión no son aptos para la construcción (Minke & Mahlke, 2006, p. 17). Para usarlo como elemento constructivo la humedad debe estar por debajo del 15%. La paja se descompone muy lentamente como consecuencia de su alto contenido de silicatos (Minke & Mahlke, 2006).

Se trata de un material con buena capacidad de aislamiento térmico, pero que por su ligereza no cuenta con buena inercia. Para proteger la paja de insectos y roedores es bueno salpicar con cal el muro antes de su revestimiento (Martínez, 2015). También es importante protegerla de la humedad.

Biopolímeros

Los polímeros forman parte de una gran cantidad de materiales y elementos presentes de manera natural, pero con el desarrollo industrial han surgido diversos elementos sintéticos con estas características, los comúnmente llamados llamados plásticos. “Estos materiales son sustancias macromoleculares en las cuales ciertos principios estructurales se repiten con regularidad y por ello se denominan materiales poliméricos” (González & Mancini, 2003). Entre los polímeros naturales están: la celulosa, el almidón y la proteína, que se encuentran tanto en elementos vegetales como animales, en la estructura de la madera, el caucho el algodón o la lana, incluso en los derivados de la leche, huevo y sangre de algunos animales, que han sido utilizados a lo largo de la historia en diversas

técnicas constructivas, principalmente en materiales de acabados como estabilizantes de morteros de tierra.

Los polímeros presentan importantes cualidades mecánicas debido a la estructura interna de estos elementos. “La celulosa es el polímero natural más abundante en la biosfera y presenta propiedades como hidrofiliidad, quiralidad, biodegradabilidad, biocompatibilidad, reciclabilidad, etc (Vidal, et al., 2019). Es el principal polímero presente en las plantas y la materia vegetal. Materiales como la madera, el papel y el algodón contienen celulosa.

Los soportes celulósicos son una buena opción siendo un material natural, Renovable, Reciclable Y Biodegradable (Vidal, et al., 2019).

Resinas

Dentro de los acabados para uso en la bioconstrucción, en particular en el tratamiento de la madera, resulta necesario buscar alternativas a los barnices convencionales de altas emisiones contaminantes. Las resinas naturales son una excelente opción, también llamadas polímeros bioactivos, ya que limitan el crecimiento de microorganismo. “Si el uso de polímeros bioactivos se demostrara viable económicamente en la conservación de la madera se podrían resolver diversos problemas relacionados con el uso y durabilidad de la madera sin afectar el ambiente y la salud humana” (Quiroz & Magaña, 2015). Son una excelente opción para reducir el uso de los polímeros artificiales que son utilizados en gran medida en la construcción.

El uso de resinas naturales no hidrosolubles como preservadores de la madera deberá buscar que estas puedan impregnar y recubrir la pared celular para evitar que el vapor de agua o el agua líquida logren humedecerla y con ello minimizar los cambios dimensionales y el establecimiento de microorganismos (Quiroz & Magaña, 2015). Constituyen una excelente alternativa para uso como tratamiento de la madera.

Los productos derivados de la extracción de resinas de pinos son: la trementina que se usa en la elaboración de lacas; la brea o colofonia se utiliza en la

elaboración de pinturas, barnices, lacas, lubricantes, aceites y betún de zapatos; el aguarrás o esencia de trementina como solvente de pinturas y barnices, secador de esmaltes, sellador de madera, preparación de lacas, fabricación de insecticidas, desinfectantes, colorantes, jabones, medicinas y perfumes (Quiroz & Magaña, 2015). Al igual que con las resinas sintéticas, las naturales o polímeros bioactivos tienen una gama muy amplia de posibilidades de aplicación y sobretodo son materiales bióticos.

Los polímeros naturales o biopolímeros están llamando la atención de manera significativa en numerosas investigaciones como principales sustituyentes a los polímeros sintéticos principalmente por que provienen de fuentes naturales y renovables, son altamente biodegradables y tiene propiedades bastante similares a los polímeros sintéticos. Las principales fuentes de los polímeros naturales son: origen animal (colágeno/ gelatina), origen marino (quitina/quitosan), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (Vargas, et al., 2018).

Mucilago de nopal

El mucilago es una sustancia vegetal viscosa, también es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad. Los mucilagos son semejantes a las gomas por su composición y sus propiedades, dan con el agua disoluciones viscosas o se hinchan en ellas para formar una solución gelatinosa (García, 2017).

El mucilago de nopal ha sido utilizado como un agente aglutinante y modificador de viscosidad en la producción artesanal de morteros de cal y para trabajos de restauración de edificios históricos de adobe en América latina (Bishop y Funkhouser, 1998 Citado en (Hernandez, et al., 2017). Sus propiedades han sido aprovechadas para modificar y mejorar las características de algunos materiales empleados en la construcción y sus recubrimientos (Pérez, et al., 2015, p. 156).

Su principal uso ha sido como aditivo en morteros de cal, pues ha demostrado que mejora su plasticidad y propiedades de fraguado, mientras en las construcciones

de adobe tanto el mucílago como la goma de nopal se han utilizado como consolidante y/o fijativo con buenos resultados (Bucio, 2008: 8) citado en (Pérez, et al., 2015).

Tanto el mucílago como la goma de nopal son sustancias orgánicas denominadas polisacáridos. La composición del mucílago es de 20% de D-galactosa, 44% de L-arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico (Vargas, et al., 2018). Una sustancia que puede agregarse durante la elaboración del Bloque de Tierra Compactada (BTC) para mejorar su estabilización es el mucílago, que contiene en su composición 2 polímeros, amilasa y amilopectina, los cuales forman capas sobre las superficies sólidas con diferentes propiedades mecánicas (Aranda & Suárez, 2013).

El mucílago de nopal ha sido utilizado como un agente aglutinante y modificador de viscosidad en la producción artesanal de morteros de cal y para trabajos de restauración de edificios históricos de adobe en América latina (Bishop y Funkhouser, 1998 Citado en (Hernandez, et al., 2017). Sus propiedades han sido aprovechadas para modificar y mejorar las características de algunos materiales empleados en la construcción y sus recubrimientos (Pérez, et al., 2015, p. 156).

Su principal uso ha sido como aditivo en morteros de cal, pues ha demostrado que mejora su plasticidad y propiedades de fraguado, mientras en las construcciones de adobe tanto el mucílago como la goma de nopal se han utilizado como consolidante y/o fijativo con buenos resultados (Bucio, 2008: 8) citado en (Pérez, et al., 2015).

Tanto el mucílago como la goma de nopal son sustancias orgánicas denominadas polisacáridos. La composición del mucílago es de 20% de D-galactosa, 44% de L-arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico (Vargas, et al., 2018). Una sustancia que puede agregarse durante la elaboración del Bloque de Tierra Compactada (BTC) para mejorar su estabilización es el mucílago, que contiene en su composición 2 polímeros, amilasa y amilopectina, los cuales forman capas sobre las superficies sólidas con diferentes propiedades mecánicas (Aranda & Suárez, 2013).

En un estudio realizado por Pérez, Charua y Fernández (2015) analizan diversas formas de extraer el mucilago de nopal para su uso en la restauración de inmuebles. “A partir de una investigación documental se seleccionaron tres de los procesos más representativos, con el objetivo de determinar el que tuviera mejor rendimiento en concentración de polisacarido. En cada método se midió la concentración de grados Brix mediante un refractometro de mano” (Pérez, et al., 2015).

Tabla 2 Métodos de extracción de mucilago de nopal

Método 1	Método 2	Método 3
Se realizó calentando el nopal picado y sumergiéndolo en agua destilada a 40°C en baño maría durante 4 horas, se agregó posteriormente alcohol isopropílico para facilitar la separación de mucílago y agua. Luego se filtró el precipitado y se dejó secar en un horno a 70°C.	Se cortaron las pencas de nopal en pequeños trozos y se dejaron macerar durante 24 horas en agua destilada. Luego se prensó, para tratar de obtener la mayor cantidad de mucílago posible, y se filtró.	Se colocaron las pencas de nopal molidas en agua destilada y se calentó durante 10 minutos a una temperatura de 90°C. Posteriormente se sometieron a centrifugación.
Concentración Brix = 17	Concentración Brix = 15	Concentración Brix = 8

Fuente: elaborada con base en (Pérez, et al., 2015)

2.4.2. Materiales de la litosfera

Son considerados materiales que se extraen de la tierra, incluido la tierra misma, y que se procesan de alguna manera (Vale, 2017). Son materiales inorgánicos y por consiguiente son no renovables. Comprende la riqueza y abundancia (de algunos) de los minerales metálicos y no metálicos que se encuentran en las diferentes capas de la superficie terrestre. Los de mayor uso en la construcción son, por ejemplo, los componentes del concreto; arena, grava y arcilla como ingrediente base del cemento. Además, la arcilla como componente aglutinante en las técnicas de tierra representa una vasta proporción de uso en la construcción alrededor del mundo.

Los materiales derivados de la litosfera (los estratos geológicos de la corteza de la tierra) se dividen en dos categorías. La primera categoría se compone de

materiales abundantes como la arena, la grava, la piedra y la arcilla, mientras que la segunda categoría incluye materiales de distribución limitada, como carburantes fósiles, minerales de metal y piedras y metales preciosos (Faud-Luke, 2002).

Piedra

Los materiales pétreos son de origen mineral, proceden de la litosfera. Su aplicación en la construcción es muy variada, incluye su uso tanto en elementos de cimentación y estructurales como ornamentales. “Las piedras naturales son aquellas que constituyen elementos estructurales o unidades constructivas (adoquines, bordillos, sillares, pavimentos), tras una elaboración sencilla de corte y/o labrado. Las rocas ornamentales presentan una tipología más específica e implican una manufactura más refinada, generalmente mediante pulido.” (Benavente, et al., 2004).

En términos generales se podría considerar pétreos a todos los materiales no metálicos que provienen de los estratos de la corteza terrestres, a excepción de la materia orgánica. Que pueden ser utilizadas en diversas formas en la construcción. Las piedras tienen diversas características que las hacen aptas para una u otra función en la construcción, las cuales dependen de su estructura, densidad, capacidad, dureza composición, durabilidad y resistencia a los esfuerzos. El principal requisito de estas es que tengan resistencia mecánica a los esfuerzos a lo que serán sometidas y que presenten adherencia a los morteros.

De acuerdo con Gárriz (2007) las piedras más empleadas en la construcción son: el granito, Basalto, traquita, gravas, arenas, arcillas, conglomerados, areniscas, yeso o aljez, calizas, dolmia, margas, gneis, pizarras y marmol. Las cualidades estéticas de la piedra las hacen adecuadas para su uso al natural y evitar el uso de mezclas de mortero. “Como material de acabado una solución frecuente es la del aplacado, con diferentes tamaños, formas grosores y texturas. Estos aplacados pueden ir al cerramiento o separados y apoyados sobre un soporte complementario, formando en este último caso una cámara ventilada que mejora las cualidades térmicas (Martínez, 2015).

Entre los mayores impactos de estos materiales es el proceso de extracción, que requiere maquinaria de corte especializadas por ser un material duro. Y el transporte tiene mayor impacto pues es un material muy pesado y el rendimiento es poco en comparación con materiales compactos y regulares como el block, además no requieren proceso de cocción. En términos de salud y toxicidad, se podrían considera de los materiales más inocuos y biocompatible, puesto que se pueden dejar al natural sin ningún tratamiento especial.

Un aspecto importante a tomar en cuenta en este sentido, es que al ser un material que puede tener contenido de uranio en su interior, existe el riesgo de que emitan radiactividad. “Los elementos radiactivos naturales se encuentran distribuidos en forma bastante uniforme en las rocas y suelos de la corteza terrestre” (De Garrido, 2014) El mármol, el terrazo, la piedra calcárea muestran niveles muy bajos de radiactividad. El granito, las cuarcitas, la pizarra, así como algunos yesos fosfóricos o fosfoyesos y cementos contienen fosfogisginas, aridos y arenas procedentes de suelos radiactivos (Silvestre, 2014). Por consiguiente lo más conveniente evitar las piedras que tienen indicios de radiactividad y de ser posible medir los niveles de radiactividad de los materiales y elegir aquellos de menor

Tabla 2. 7 Principales impactos de los materiales pétreos

Impactos	Inconvenientes	Alternativas/ventajas
Emisiones Contaminantes (EC)	Emisiones por los procesos en extracción	Utilizarla en pocas cantidades y procedente de lugares cercanos
Degradación de Ecosistemas (DE)	Degradación del suelo donde es extraído	Gestión de uso alternativo de los espacios de extracción una vez terminada su explotación
Efectos en la salud (ES)	Riesgo de radiactividad.	Evitar el uso de granitos, de ser posible medir los niveles de radiactividad

Fuente: elaboración propia

Aglomerantes naturales

Los aglomerantes son materiales que amasados con agua tienen la propiedad de fraguar y endurecerse. En la construcción, los aglomerante más empleados son la cal el yeso y el cemento, que mezclados con los áridos cementos y gravas, forman los componentes más utilizados en morteros y hormigones (Gárriz, 2007). Las alternativas de origen natural son la cal y el yeso principalmente, pues a pesar de la existencia de cementos naturales, la industria cementera tiene acaparado el mercado y en términos de seguridad estructural y normatividad vigente, los cementos artificiales tienen mayores ventajas.

El aglomerante se refiere a un material que endurece al secarse debido a las propiedades físicas del mismo material, en este grupo entran las arcillas y el yeso, que al humedecerse se ablandan nuevamente. En el caso de los conglomerantes son materiales que se endurecen por una reacción química como es el cemento y la cal, que llevan un proceso de fraguado y por tanto permanecen solidos aun en contacto con el agua. “Lo más frecuente es utilizar conglomerantes tradicionales como cal o cemento (Castilla, 2004). La cal, la cal hidráulica, el cemento natural o los cementos portland no son materiales tan diferentes ya que todos ellos tienen una base común: la cal o el calcio (Rosell & Bosch, 2018).

En relación al contenido de arcilla, la cal puede ser aérea o hidráulica. “La cal aérea (sin arcillas) es un material que endurece con aire (CO₂) y a medida que vamos hacia la derecha vamos identificando materiales más hidráulicos; la cal hidráulica (una cal con unos componentes aéreos y unos de hidráulicos) el cemento natural (que es una cal llevada al límite y que incluso en algunos momentos se le llamaba cal límite o cemento límite) y finalmente, cuando la química está suficientemente desarrollada, el cemento portland, que es el paso siguiente con contenidos máximos de sílice y alúmina para garantizar la no presencia de cal libre” (Rosell & Bosch, 2018). El esquema de la ilustración 2.7 muestra las variantes que se tienen con respecto a la cal hasta llegar al cemento portland que es el de mayor procesamiento, e incluye la adición de diversos componentes, entre ellos las escorias y cenizas volantes.

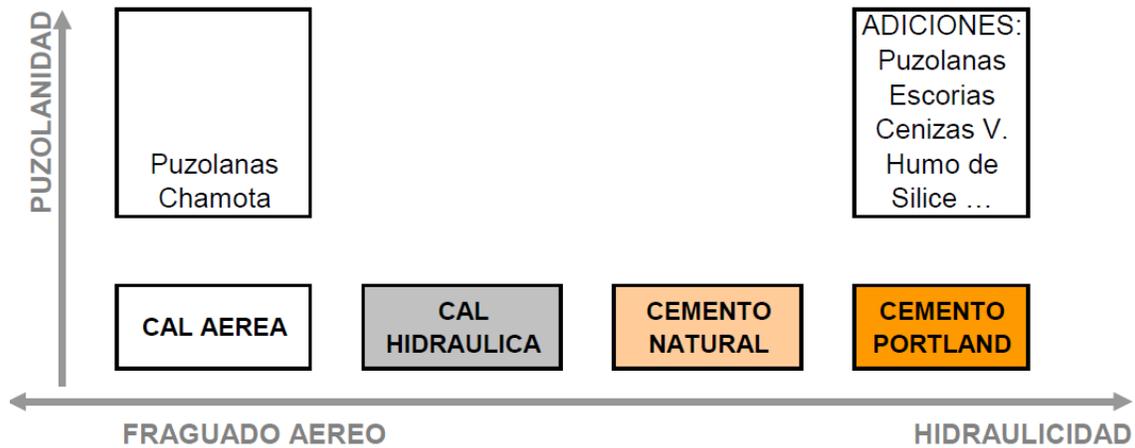


Figura 2. 8 Conglomerantes a base de cal
Fuente: (Rosell & Bosch, 2018)

CAL

LA CAL

El carbonato de calcio es la materia prima para obtener óxido de calcio después de un proceso de calcinación e hidróxido de calcio, luego de una hidratación. Como etapa final del ciclo de la cal, el hidróxido de calcio interactúa con el bióxido de carbono del aire para formar nuevamente carbonato de calcio (Galván & Velazquez, 2011). La cal presenta la cualidad adicional de no modificar la tierra, con lo que se mantienen tanto su capacidad de adherirse a otros materiales constructivos como permitir el intercambio de agua y vapor del medio ambiente. (García, 2017).

Galván y Velazquez (2011) enfatizan los beneficios del retorno del uso de la cal en comparación con el uso del cemento portland.

- su producción requiere temperaturas inferiores a la del cemento portland y menos energía durante su calcinación implica menor emisión de gases de efecto invernadero y mínima contracción, lo que evita agrietamientos
- los morteros de cal resisten algún grado de acomodamiento en la mampostería, mientras los basados en cemento portland carecen de tolerancia a los movimientos;

- el deterioro causado por los álcalis contenidos en el cemento portland y que no presentan este problema en los morteros de cal menor conductividad térmica que hace a las habitaciones más confortables;
- mayor impermeabilidad y mejor adherencia para materiales de mampostería comparada con productos basados en cemento.

La cal es el producto resultante de la calcinación y descomposición de las rocas calizas; calentándolos a temperaturas superiores a los 900°C, se obtiene la denominada cal viva, compuesta fundamentalmente de óxido de calcio (Gárriz, 2007) El carbonato de calcio es la materia prima para obtener óxido de calcio después de un proceso de calcinación e hidróxido de calcio, luego de una hidratación. Como etapa final del ciclo de la cal, el hidróxido de calcio interactúa con el bióxido de carbono del aire para formar nuevamente carbonato de calcio (Galván & Velazquez, 2011). Los morteros de cal son materiales dinámicos, tienen excelentes propiedades higroscópicas que permiten interactuar con el ambiente interior, ya que contribuyen a regular la humedad. Además se adaptan a los cambios en las estructuras y mantienen una estabilidad sin aumentar su tamaño al contacto con agua.

Galván y Velazquez (2011) enfatizan los beneficios del retorno del uso de la cal en comparación con el uso del Cemento Portland: su producción requiere temperaturas inferiores a la del cemento y menos energía durante su calcinación; los morteros de cal resisten algún grado de acomodamiento en la mampostería, mientras los basados en cemento carecen de tolerancia a los movimientos; y el deterioro causado por los álcalis contenidos en el cemento y que no presentan este problema en los morteros de cal menor conductividad térmica que hace a las habitaciones más confortables.

En térmicos constructivos los inconvenientes de la cal en cuanto a su trabajabilidad, con respecto al cemento son principalmente los largos periodos de fraguado para alcanzar su dureza máxima. De acuerdo con Rosell y Bosch (2018), entre los aspectos a considerar para mejorar sus cualidades estan: reducir el agua necesaria mediante el uso de aditivos reductores de agua, que pueden ser incluso

alguna proteína animal; utilizar armaduras no corrosibles, ya sea fibras sintéticas, fibras vegetales, o acero galvanizado, etc.; y tener en cuenta su aplicación para elementos de resistencias bajas, hasta 15 MPa, con fraguado a 90 días.

Al ser una material extraído de la corteza, su principal impacto recae en los proceso de extracción y la calcinación que requiere de temperaturas superiores a los 900°C durante 3 a 4 días, lo que genera emisiones de dióxido de carbono y la degradación del entorno que ocurre en la actividad minera en extracción a cielo abierto. En la tabla 2.5 se describen los principales impactos y las alternativas y ventajas de la cal.

YESO

El yeso es el producto resultante de la deshidratación total o parcial de aljez o piedra de yeso reducido a polvo y amasado con agua, el yeso recupera la cristalización endureciéndose (Gárriz, 2007). Debido a su baja resistencia a agentes atmosféricos, principalmente a la humedad su aplicación se limita a interiores en diferentes trabajos de albañilería y acabados. Existen calidades diferentes de yeso, siendo la escayola el de mejor calidad utilizada en elementos decorativos. También es frecuente su aplicación en paneles a base de laca de madera, como el sistema de panel tablarroca, utilizada tanto en muros como en cielo raso.

Es un material que se utiliza en forma de polvo fino, por lo cual es sometido a un proceso de molienda, posterior a la eliminación del agua mediante un proceso de cocción en hornos verticales, con temperaturas que varían de acuerdo a la aplicación que se le dará. “Yeso para construcción de 120 a 200 °C; para yeseros, de 200 a 800°C; y el yeso hidráulico, de 800 a 1,400°C” (Gárriz, 2007).

Tabla 2. 8 Principales impactos de la cal, el yeso y el cemento

Impactos	Inconvenientes	Alternativas/ventajas
Emisiones Contaminantes (EC)	Proceso de extracción y cribado, calcinación a más de 900°C para la cal Y a 1,400°C para el cemento	Se requieren temperaturas inferiores a las del cemento

Degradación de Ecosistemas (DE)	Degradación del contexto a causa de la extracción de la materia prima.	Gestión de uso alternativo de los espacios de extracción una vez terminada su explotación
Efectos en la salud (ES)	Adición de escorias y cenizas volantes procedentes de productos tóxicos (en el caso del cemento)	Por su composición el cemento blanco es más recomendable

Fuente: elaboración propia

Tierra

La tierra o arcilla es un material no renovable, considerado dentro de los abundantes que forma parte de la litosfera, es decir, los estratos geológicos de la corteza según la clasificación de Faud-Luke (2002). A pesar de ser el material que se tiene a la mano desde el momento de la construcción, su uso hoy en día es muy bajo en relación a los materiales convencionales a base de cemento.

El comportamiento de la tierra, varía en función de su composición que es diferente en cada lugar. La proporción de los distintos materiales de que está formada (arcilla, grava, arena, limo, agua.) es muy importante para cada técnica (Martínez, 2015, p. 90). Un aspecto importante de este material al igual que de la madera es la protección contra la humedad, puesto que es un material absorbente con propiedades higroscópicas significativas. Lo cual en espacios interiores es muy adecuado, sin embargo a la intemperie no es posible dejarla desprotegida de las lluvias que la puede afectar significativamente.

Para implementar diferentes tecnologías y técnicas en el uso de la arcilla como material de construcción y aumentar su utilización, es preciso identificar las propiedades y ventajas que ofrece dicho material. Asimismo es importante tener en presente las desventajas de ésta. Minke (1994) hace alusión a las tres principales: no es un material estandarizado, se contrae al secarse y no es impermeables. Ahora bien, éstas características se pueden modificar al utilizar diversos estabilizantes como la cal, arena, mucilago de nopal, entre otros.

En cuanto a las ventajas que ofrece la arcilla como material de construcción de acuerdo a Minke, la lista es más amplia: regula la humedad, almacena el calor, absorbe y neutraliza productos tóxicos en el ambiente, ahorra energía y disminuye la contaminación ambiental, es incombustible, sus colores naturales de acabado crea ambientes cálidos, es reutilizable, preserva la madera y otros materiales orgánicos.

2.4.3. Materiales de la tecnosfera

Dentro de este grupo se encuentran los materiales realizados por el hombre, cuya procedencia original son la biosfera y la litosfera de donde se obtiene la materia prima para su fabricación, aunque cuando se trata de materiales reciclados, estos provienen de la misma tecnosfera. Los materiales de la tecnosfera requieren un procesamiento con base en la tecnología para lograr su transformación, por tanto, la energía incorporada es elevada.

Los materiales de la biosfera o litosfera se suelen procesar por síntesis o concentración para crear materiales de la tecnosfera” (Faud-Luke, 2002). Representan los materiales sintéticos cuya estructura interna es artificial. La variedad de estos es muy amplia y muchos de ellos surgen de la industria petroquímica y están presentes como disolventes de pinturas, barnices y materiales de acabados en la construcción, por mencionar algunos ejemplos.

Cerámicos

Los materiales cerámicos son piezas formadas por mezclas de arcilla y otros componentes sometidos a un proceso de cocción y a una determinada temperatura que puede llegar incluso a la fusión. Se clasifican en productos de alfarería (tierra cocida), azulejos, gres, porcelana, refractarios y abrasivos (Gárriz, 2007). La materia prima base de estos materiales es la arcilla, sin embargo dependiendo la calidad y el tipo de material deseado, la selección de elementos pétreos es muy específica. Estos materiales constituyen los acabados en pisos principalmente y en zonas húmedas también se utilizan en muros y plafón.

Vidrio

El vidrio es un material orgánico que se fabrica a partir de sílice, fundentes y estabilizantes. El proceso se inicia con la mezcla de las materias primas, la masa vítrea se traslada para su maleado, que se realiza a temperaturas más bajas y siguiendo técnicas como el soplado, el estirado, el prensado o el flotado, después se procede al enfriado y al recocido. La fase final consiste en el desbastado y pulido (Paredes, 2014). Se trata de un material sometido a diversas fases de procesamiento en su proceso de fabricación.

Al tratarse de un elemento traslucido es de suma importancia para la iluminación de los espacios en los edificios, Existen diferentes tipos de vidrio y espesores que lo hacen propicio para usos variados, incluso existen bloques de vidrio, que permiten el paso de la luz impidiendo la visibilidad. Si bien, es un material indispensable en elementos como ventanas, hoy en día, en la construcción convencional en el ámbito urbano es común verlo como elemento de cerramiento. Los edificios de estructura de esqueleto y muro cortina acristalado forman parte de un estilo internacional.

El uso excesivo del vidrio en los edificios dificulta la regulación de parámetros de confort tanto térmicos como de iluminación, pues los espacios se calientan e iluminan de forma excesiva, por lo que se tienen que recurrir a elementos adicionales, en el caso de la iluminación excesiva se suelen utilizar elementos de barrera ante la luz como las persianas, mientras que para el acondicionamiento térmico implican gastos energético excesivos.

Metales

Los metales más empleados en la construcción son: hierro aluminio, plomo, cobre, cinc y estaño. Raramente se encuentran en estado puro en la naturaleza, por lo que para su empleo hay que someter a los minerales a una serie de operaciones denominadas metalurgia, cuyo fin es separar el metal de las impurezas u otros minerales que lo acompañen (Gárriz, 2007) Además de la excavación y degradación de los ecosistemas con las inmensas minas a cielo abierto para la

extracción de los metales, los procesos metalúrgicos implican llevar a los minerales a su punto de fusión con temperaturas que superan los 1000 °C en la mayoría de los casos.

Polímeros

Varias décadas de aplicación intensiva para usos corrientes de nuestra vida cotidiana han comportado la acumulación de plásticos en nuestro medio ambiente generando fuentes de contaminación atmosférica y visual, además de suelos y medios marítimos.

Los plásticos son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable. Del total del petróleo extraído en el mundo, alrededor del 5% se destina a la industria del plástico.

Lo que se pretende con los polímeros degradables es que se mantengan las propiedades durante el período de utilización del polímero y un posterior cambio de su estructura química para descomponerse en componentes compatibles con el medio ambiente (Aradilla, et al., 2012)

Se diferencian de otros polímeros y biopolímeros naturales propios de los seres vivos como el ADN, el ARN, o las proteínas, por haber sido obtenidos mediante un proceso de síntesis (polímeros sintéticos). Aquellos obtenidos por un proceso de transformación a partir de productos naturales realizada sin una destrucción apreciable de la macromolécula original se denominan polímeros semisintéticos (González & Mancini, 2003). En los últimos años ha incrementado notablemente el interés en buscar alternativas a los productos derivados del petróleo, que sean más respetuosas con el medioambiente, sostenibles y renovables (Vidal, et al., 2019).

Aglomerantes artificiales

Después del agua y la arena, el cemento es el material más utilizado en todo el mundo, lo que lo convierte en el mayor contaminador del mundo (Andres, et al., 2016).

Concreto

Una vez curado, el concreto se vuelve un producto inerte y usualmente no es asociado con exposición de tóxicos, aunque puede haber algunos efectos de salud más sutiles. Ciertas prácticas comunes en la construcción pueden hacer al concreto un peligro para la salud de los humanos y deberían ser prohibidos (Baker-Laport, et al., 2014). Como primer factor que hace del concreto un potencial tóxico a gran escala es el elevado contenido energético del cemento, que se traduce en importantes emisiones de CO² tanto en su fabricación como en el transporte. Otro aspecto que puede darle cualidades tóxicas al cemento es la adición de cenizas volátiles, las cuales pueden proceder de la quema de materiales peligrosos.

En cuanto a los agregados, los esenciales o de uso común son la grava y la arena, sin embargo, en la búsqueda de mejorar sus propiedades o inclusive de utilizar materiales residuales, se ha llegado a incluir materiales poco seguros para la salud. Baker-Laport et al (2014) consideran a las siguientes opciones como agregados inaceptables: ladrillos triturados, arenisca triturada, escoria de hormigón triturado, cenizas volantes (a menos que sea posible verificar que no contenga metales pesados o sustancias tóxicas), ceniza y material volcánico.

Por lo tanto, la procedencia y formas de obtención de los materiales demandan importante atención para buscar alternativas más eficientes y amigables con el entorno, donde tenga lugar un metabolismo ciclo que permita incorporar materiales renovables de procedencia sustentable, los cuales a su vez tenga la posibilidad de ser reciclados o biodegradables.

3. LA CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA Y LA BIOCONSTRUCCIÓN

El desarrollo tecnológico y la era industrial han sido claves para la evolución de materiales y sistemas constructivos. A partir del siglo pasado con la con la amplia aceptación de nuevos materiales: vidrio, acero y concreto armado, además de los provenientes de la industria petroquímica, se ha innovado invariablemente en la

forma de construir. Gracias a ello se ha logrado construcciones de grandes rascacielos. Lo que ha transformado la imagen de la ciudades haciéndolas más densas. Hoy en día, en las grandes ciudades a nivel mundial predominan edificios de fachada aligerada mediante sistemas de estructuras de esqueleto y muros cortina. Edificios muy similares entre sí que cuyas desventajas es que son “Grandes prismas acristalados, que no corresponden a los valores estéticos locales ni a las condiciones climáticas del lugar” (Chávez, 2002).

Entre los inconvenientes derivados de estas técnicas constructivas están los importantes consumos energéticos necesarios para climatizar los edificios. “Las fachadas de vidrio de los años cincuenta y sesenta obligaron a los arquitectos a adoptar ambiciosas soluciones técnicas también en el interior. Frente a los edificios tradicionalmente construidos con piedra, el vidrio no protege ni del calor ni del frío. Para que las fachadas de vidrio pudieran utilizarse con éxito en los rascacielos, hubo que perfeccionar la técnica de entrada y salida del aire y fabricar vidrio con propiedades térmicas” (Tietz, 2008). Hoy en día, acondicionar un edificio de estilo “internacional” comprende un importante gasto energético a lo largo de su vida útil, lo que se traduce en grandes cantidades de dióxido de carbono emitido al ambiente.

Sin embargo, a nivel constructivo destacan la ligereza, cortos tiempos de construcción y por consiguiente menores costos, lo cual se logra gracias a la prefabricación de elementos constructivos. “Los edificios y los sistemas prefabricados enmarcan la producción y uso de componentes o módulos pre planeados como una solución para construir con mayor calidad y mayor eficiencia. Se asocia con retículas dimensionales, altos estándares tecnológicos, bajo costo y la repetición de componentes y objetos” (Knaack , et al., 2012). Parámetros aceptados ampliamente hoy en día sobretodo en construcciones de mediana y alta escala en el contexto urbano.

No obstante, es importante identificar las ventajas que puede ofrecer los sistemas prefabricados ante las problemáticas actuales en diversos aspectos: el agotamiento de los recursos naturales, la emisión de contaminantes y la calidad

biótica de los materiales. Lo cual se analiza desde el enfoque de la bioconstrucción, cuyo objetivo es optar por materiales saludables en ambos sentidos, tanto el interior como en el exterior del edificio.

3.1. Sistemas constructivos en bioconstrucción

Una construcción como un sistema complejo comprende una variedad de sistemas y subsistemas constructivos. Los materiales utilizados para generar dicha envolvente tienen una función específica que determinara sus características y propiedades más apropiadas. Dentro de los sistemas convencionales existe una variedad muy amplia de sistemas constructivos. Los sistemas monolíticos de mayor uso se basan en el cemento y el acero principalmente, utilizados en elementos estructurales, de cimentación, muros y repellado de muros y plafones, mientras que de acabado final se recurre a pinturas con productos derivados de la industria petroquímica y con alto contenido de metales pesados.

En la bioconstrucción lo que se busca es reducir lo más posible el uso de materiales tóxicos que tienen importantes impactos negativos en el medio ambiente y en la salud de las personas. Tal es el caso del cemento, que es responsable del 5 % de las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial. No obstante, estos materiales se han vuelto imprescindibles para cumplir con las resistencias mecánicas necesarias de acuerdo a las diferentes normativas en construcción.

A fin de identificar qué alternativas existen en términos de bioconstrucción, así como diferentes consideraciones a tener presentes para lograr construcciones saludables, se describen diferentes sistemas constructivos divididos en cuatro elementos que, a grandes rasgos, constituyen los componentes de cualquier edificio: cimentaciones, estructura, cubierta y cerramientos. Cada componente se integra por varios elementos. En el caso de los cerramientos como elemento completo de un edificio se comprende revestimiento, aislamiento y acabados

3.1.1. Cimentaciones

La cimentación representa el soporte máximo para la construcción pues tiene la función primordial de transmitir las cargas totales al suelo. Por lo tanto, los materiales a utilizar en este tipo de elementos deben tener una alta resistencia mecánica. Existen diferentes tipos de cimentación a profundidades variadas, que dependerá del tipo de suelo y la escala del edificio. A nivel del subsuelo están: las zapatas aisladas o zapatas corridas, losa de cimentación, pozos de cimentación, pilotes y micro pilotes. Otro tipo de cimentaciones son las contenciones que por lo regular son visibles, entre ellas están: los muros por gravedad, muros atirantados, muros curvos, muros armados, muros pantalla y contrafuertes.

Un edificio es como una antena energética, que introduce en la tierra la energía del cielo, y envía al cielo la energía de la tierra (Martínez, 2015). La cimentación constituye la conexión directa que tendrá la construcción con el suelo, En términos de bioconstrucción, además de la resistencia mecánica se deben tomar en cuenta la permeabilidad del agua y algunos elementos tóxicos provenientes del subsuelo como el gas radón. Y por lo tanto utilizar materiales impermeables que eviten que estos elementos entren en el interior del edificio. “Debemos tener dos grandes previsiones: controlar que la humedad no consiga subir, es decir, colocando alguna lamina impermeable, así como estudiar si existe la posibilidad de emanaciones de gas radón, y prever la ventilación del subsuelo” (De Carvalho, 2015).

En las cimentaciones de construcciones convencionales el uso del acero y del cemento es lo más común. Materiales de importantes impactos negativos tanto en el medio ambiente como en la salud. “El armado habitualmente a base de acero, desvirtúa los campos electromagnéticos y telúricos” (Martínez, 2015). Sin embargo optar por alternativas a estos materiales representa soluciones costosas (como el uso de acero inoxidable o fibra de vidrio para poder utilizar morteros de cal) que no suelen ser posibles, sobre todo cuando se trata de construcciones de gran altura. En construcciones de menor escala, resulta viable optar por cimentaciones de concreto ciclopeo, el cual prescinde del acero y utiliza cal. Una alternativa al

armado del concreto que es compatible con la cal es el bambú, conocido como el acero vegetal, el cual empieza a ser estudiado para estos fines dando lugar a nuevos materiales compuestos como el bambucreto.

En cuanto al control de subida de humedad es primordial para evitar la proliferación de bacterias y moho en los muros. Cuando se trata de muros de contención es necesario colocar barreras impermeabilizantes y elementos drenantes, como puede ser grava o láminas de polietileno. En los elementos horizontales en contacto directo con el suelo, las barreras de humedad con grava son una excelente opción. En suelos cuyo nivel freático está muy elevado lo conveniente es colocar sistemas de drenajes a través de tubos y al igual que en muros de contención, colocar una lámina impermeable en toda la superficie del firme.

En cuanto al confort térmico, el suelo puede ser un importante elemento de pérdida de calor, por ello una alternativa para evitar tales pérdidas es colocar una capa de material aislante. “Dicho aislamiento debe tener una densidad elevada capaz de absorber el peso y las cargas de la solera sin deformarse. El material idóneo para este cometido es el corcho natural” (Martínez, 2015)

3.1.2. Estructura

La estructura es el soporte que sustenta el edificio. Existen diferentes sistemas constructivos hoy en día, que funcionan ya sea con elementos lineales a modo de esqueleto reticular, o bien a modo de caja donde la totalidad de los muros tienen función estructural al ser muros de carga. Sin embargo en el contexto urbano lo más habitual es a base de elementos ortogonales que comprenden diversos elementos: vigas, pilares, dinteles, etc.

En la bioconstrucción se plantea el uso de diseños y sistemas constructivos que integren también la curva al igual que las formas ortogonales en las construcciones, además del uso de materiales saludables y ecológicos. Tal es el caso de las cubiertas de bóveda a base de ladrillos y construcciones con formas orgánicas que se pueden lograr con materiales flexibles como el bambú, o la tierra

que es un material plástico y se puede moldear y generar formas orgánicas. La desventaja de estos materiales es que su resistencia mecánica los limita a construcciones de pocos niveles al utilizarse como estructuras. Las técnicas constructivas de tierra, por ejemplo, requieren muros de gran espesor para soportar la estructura, cuando se trata de construcciones de dos o más niveles.

La forma de la estructura será determinante por los materiales a utilizar y las posibilidades que este brinde. “Tendremos en cuenta: su resistencia, su forma, su facilidad de manejo su proximidad o fabricación en el entorno, sus cualidades energéticas, bióticas, su alteración en el proceso de fabricación, su sencillez de puesta en obra, su costo, etc.” (Martínez, 2015). Existen diversas alternativas de materiales a utilizar en estructuras dentro de la bioconstrucción: madera, bambú, tierra, piedra, entre otros.

De acuerdo con Martínez (2015), para definir la estructura en el diseño de un edificio hay que tener en cuenta cuatro factores: los materiales a utilizar, los elementos estructurales, la geometría que se quiere obtener y la capacidad de unión, combinación y colaboración de los distintos materiales entre sí. En el caso de los materiales vegetales como el bambú y la madera, se suele recurrir a elementos metálicos a modo de conexiones para aumentar la resistencia de las estructuras. En este sentido, dentro de la bioconstrucción se busca reducir al máximo el uso de estos elementos por las alteraciones que genera el acero a nivel energético en los espacios.

Sin embargo, en construcciones de varios niveles materiales como el acero y el concreto, hoy en día, resultan prácticamente imprescindibles sobre todo en lugares de afectación sísmica importante. En este sentido, lo más conveniente es optar por una estructura de esqueleto a manera de reducir el uso de estos materiales lo más posible. No obstante, cuando se utilizara acero en la estructura es importante realizar una correcta conexión a una toma de tierra de los elementos metálicos, sobre todo cuando gran parte de la estructura o en su totalidad es de este material, lo que desahogara la carga energética a tierra.

Por otro lado, cuando se trata de una construcción de menor escala, una vivienda, por ejemplo, las opciones de materiales para uso en estructura son mayores. En madera la estructura puede ser de diversos sistemas: muros portantes de troncos, que consta de troncos apilados con trabas en las esquinas; sistema de Pórtico y forjado, que comprende elementos horizontales y verticales, pilares y vigas, con lo que se construye el esqueleto del edificio; entramados y paneles ligeros, sistema de paneles macizos; sistema de machihembrado con pasantes. En cubiertas de madera: estructuras de arcos, cerchas, cupulas y arcos. El bambú también elemento línea tiene amplias posibilidades y su flexibilidad posibilita la construcción de estructuras de formas orgánicas.

3.1.3. Cubiertas

Las cubiertas, aunque también pueden ser consideradas como cerramientos, constituyen el último recubrimiento del edificio en la vertical, y al igual que en los elementos de cimentación, el aislamiento y la impermeabilización en estos elementos son importantes, pues la cubierta al ser un elemento de forma horizontal o inclinado tienen una mayor exposición a las condiciones climáticas, si los materiales no son los adecuados puede generar desajustes térmicos en los espacios, es decir, espacios muy calientes durante el verano y durante el día y muy fríos en invierno y durante la noche. No obstante, lo que se requiere para lograr el confort térmico es lo opuesto.

De acuerdo con De Carvalho (2015) Las funciones que tienen las cubiertas son muy diversas: 1) protección de la intemperie, 2) protección frente a las radiaciones cósmicas, para lo cual las cubiertas inclinadas son las más adecuadas, pues las pendientes pueden funcionar como antenas y las reduce; 3) impermeabilización, que cumple la función de evitar la entrada de agua en el interior; 4) aislamiento térmico, el calor tiende a subir, por lo cual es necesario proteger la cubierta de las pérdidas térmicas; 5) aislamiento acústico. 6) soporte de instalaciones, aparatos, placas solares, etc., 7) evacuación o recogida de aguas de lluvia, 8) integración con el entorno, 9) usos complementarios cuando se aprovecha el espacio de la

azotea como terraza, jardín u otros, 10) iluminación y ventilación mediante claraboyas.

En bioconstrucción se plantean “las llamadas cubiertas bioclimáticas, que son cubiertas ligeras, bien aisladas, ventiladas por termoconvección y que transpiran sin barreras de vapor” (De Carvalho, 2015). Para la cual existen diversas alternativas de materiales, que aplicados a los diferentes sistemas de losas pueden cumplir varias funciones: estructura, aislamiento térmico y acústico, impermeabilizante y acabado. La elección de materiales dependerá principalmente de la forma y tipo de cubierta, que pueden ser: losa plana, losa inclinada, bóveda o cúpulas, forjados horizontales o inclinados, cubiertas reciprocas o cubierta verde ajardinada.

En los sistemas constructivos convencionales lo más común es la losa de concreto armado, con lo que se logra un elemento monolítico, en el cual se coloca impermeabilizantes acrílicos o materiales cerámicos: tejas cuando se trata de losa inclinada o ladrillos en losa plana. En bioconstrucción en cambio, los sistemas de losas, tanto de entre piso como de cubierta son más complejas. Se utilizan por lo general con la combinación de diversos materiales y presentaciones, en la madera se utiliza por ejemplo a manera de entramados con vigas para el soporte y duelas para recubrir la superficie a manera longitudinal.

Las opciones de materiales de acabados son diversas: cerámicos y pétreos, que incluyen diferentes tipos de tejas y pavimentos; madera, que también se utilizan como tejas; vidrio, textiles, y vegetales. Estas ultimas pueden ser ya sea de hojas secas de palma u otro tipo, muy común en las costas, o bien, cubierta ajardinada, lo que se conoce como azotea verde, la cual presenta diversas ventajas: resultan muy eficientes en cuanto a aislamiento térmico, acústico y de ondas electromagnéticas, permite un mejor aprovechamiento de las aguas pluviales tanto para su riego, como para la captación y filtrado del agua, además contribuye a reducir los gases de efecto invernadero.

3.1.4. Cerramientos

Los cerramientos en términos generales constituyen la totalidad de la envolvente, que como su nombre lo indica son elementos tanto horizontales como verticales que cierran y delimitan los espacios. Estos elementos pueden ser parte de la estructura o tener una función meramente auto portante, que complementan una estructura reticular de un edificio. En forma analógica se podría considerar a los cerramientos como la piel del edificio, que al igual que ocurre en el cuerpo humano, comprende la mayor extensión del organismo. Por ello, la cualidad de los materiales utilizados en estos elementos será determinante para generar espacios saludables. Pues además de las propiedades físicas que tenga dicho material, su composición será determinante para garantizar una buena calidad del aire interior. Por lo tanto, el primer requisito dentro de la bioconstrucción es que sean materiales libres de tóxicos.

Los cerramientos comprenden elementos tanto horizontales como verticales que constituyen la envolvente de un edificio. Los requerimientos estructurales de resistencia mecánica son menores cuando se tiene una estructura de esqueleto. Aunque también estos elementos pueden tener una función estructural cuando son muros de carga. No obstante, cuando se trata de construcciones de gran escala lo que se busca es aligerar el peso, por lo tanto, se opta por elemento autoportantes sin funciones estructurales.

En términos de confort integral los elementos de cerramiento deben tener las siguientes propiedades: desprovisto de materiales tóxicos, tener la cualidad de transpirabilidad para permitir una buena regulación de la humedad interior e intercambio de aire, aislamiento de sonido y dependiendo el clima, también de temperatura y además aislante de ondas electromagnéticas, también el sistema constructivo a utilizar deben evitar los puentes térmicos, que regularmente son grietas o uniones de elementos que generan pérdidas de calor del interior.

Dependiendo del material y los sistemas constructivos, estos pueden ser de un material monolítico, o de elementos prefabricados con la posibilidad de desmontarse. Los cerramientos comprenden un sistema integral que pueden estar

compuestos por capas de diferentes materiales que son: el material base, aislamiento, recubrimiento, y acabado. O bien, ser un material homogéneo con acabado aparente, que en sí mismo comprende los cuatro elementos. Este último, en la construcción convencional sería equiparable a un muro de concreto armado con acabado aparente, mientras que en bioconstrucción, un ejemplo es la técnica constructiva de tierra compactada o tapial.

Dentro de la bioconstrucción existe diversas técnicas constructivas tradicionales de uso milenario que forman parte de la arquitectura vernácula. Cuyas variantes dependen de la región y en las cuales destacan las técnicas de tierra en las doce diferentes modalidades de acuerdo con Gatti (2012), las cuales son: excavar, cubrir, llenar, cortar, compactar, moldear, amontonar, modular, extruir, dar forma, verter y aplicar (ver figura 3.1). La tierra junto con materiales vegetales (cañas, paja, madera, etc.) son totalmente compatibles, ya que la tierra encapsula la materia vegetal, lo que favorece a su conservación y a una mayor durabilidad, mientras que las fibras de los materiales herbáceos le dan mayor cohesión al material y dependiendo de la cantidad de materia vegetal, puede favorecer al aislamiento y ligereza del elemento constructivo.

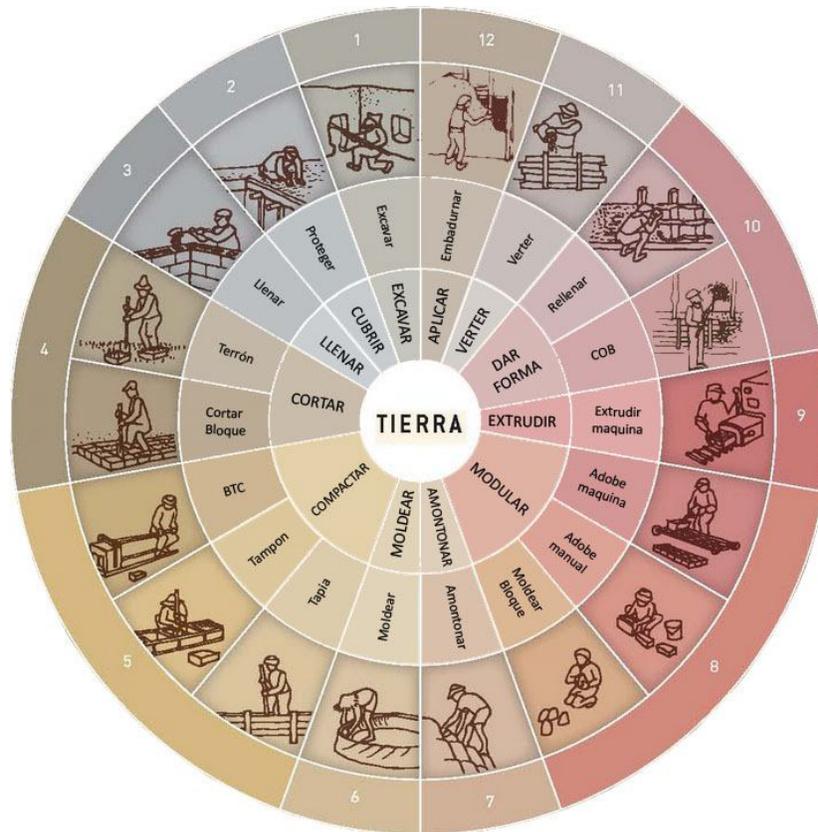


Figura 3. 1 La rueda de las técnicas de tierra
Fuente: (Gatti, 2012)

3.2. Cualidades de la construcción prefabricada

La construcción prefabricada tiene un importante impulso a raíz de la revolución industrial y la amplia aceptación del concreto armado que data de hace un siglo aproximadamente. “Hacia 1930 la tecnología del hormigón había progresado hasta tal punto que ofrecía una inmensa libertad al proyectista” (Strike, 2004). En tanto, la aceptación de sistemas prefabricados se ha dado paulatinamente. Sin embargo, un claro ejemplo de la aplicación de los elementos prefabricados que ha perdurado durante siglos ocurre en la cultura japonesa con el modulo llamado tatami usado ampliamente aun hoy en día, que permite una mayor versatilidad en el uso del espacio.

Los sistemas constructivos de manufactura fuera de sitio, han tomado fuerza en las últimas décadas. En edificios de gran tamaño son utilizados para reducir costos y con fines estéticos. Los elementos prefabricados comprenden diversos

tipos de elementos en la construcción, incluso en algunos casos sistemas completos de células habitacionales o para otro uso. Sin embargo para este trabajo se limitara el estudio a elementos de cerramiento y divisorios, los que comprende la piel del edificio, es decir, los elementos expuestos tanto en el interior como en el exterior. De acuerdo con Coreira y otros (2018), dentro de los sistemas prefabricados esta la categoría de Sistema de Paneles Prefabricados para muro de cerramiento, los cuales tienen un importante potencial para incrementar la eficiencia energética de los edificios y reducir su huella ecológica. En la figura 3.2 se puede ver un diagrama con los diferentes tipos de elementos constructivos en un edificio.

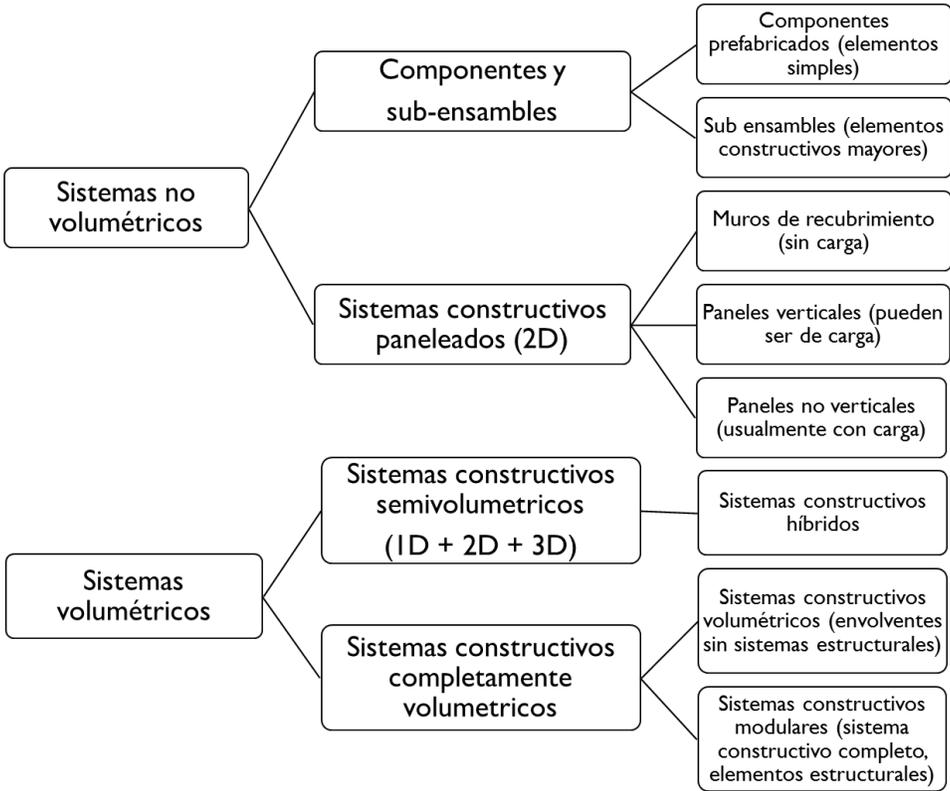


Figura 3. 2 Tipos de elementos prefabricados
Fuente: (Coreira, et al., 2018)

La construcción prefabricada plantea elementos independientes con diversas funciones y que en conjunto con otros elementos constituyen un sistema. “Al igual que ocurre en la naturaleza, deben establecerse un conjunto de componentes básicos, capaces de formar todo tipo de organismos y sistemas complejos. Unos

organismos que puedan crecer, evolucionar, decrecer, repararse y llegado el momento, transformarse o biodegradarse para retornar al ecosistema natural de tal modo que puedan ser fácilmente asimilables” (De Garrido, 2012). Esta definición hace referencia a una bioconstrucción prefabricada.

Como cada edificio contiene cierto grado de repetición, el diseño arquitectónico individual de un edificio puede dividirse en una serie de unidades (también conocidas como componentes o módulos) adecuadas para la producción en fábrica que pueden ser específicas de ese edificio o, alternativamente, producidas con un mayor grado de adaptabilidad y versatilidad (Coreira, et al., 2018). Lo que da pauta a la construcción con sistemas prefabricados, donde el panel juega un papel importante en los componentes que integran un edificio.

Si bien, es un hecho que el uso del acero, el concreto y los polímeros procedentes del petróleo ofrecen una importante versatilidad en cuanto a resistencia mecánica y una diversidad de formas de aplicación en la construcción ya sea en elementos prefabricados o no. También es un hecho que el abuso de estos materiales propicia una desconexión importante del ser humano con el entorno mismo en diferentes aspectos. A nivel energético, el concreto y el acero alteran el flujo de radiaciones naturales necesarias para la vida. Una construcción totalmente metálica tendría el efecto de jaula de Faraday. “Si a esto se añade la utilización de paneles o losas continuas de acero, los espacios resultantes aún son más potentes en cuanto al aislamiento y, por tanto, vulneradores del correcto desarrollo de distintos procesos vitales” (Martínez, 2015). En este sentido, es necesario reducir el uso de este tipo de materiales, y limitarlo a elementos estrictamente necesarios.

Por tanto, se plantea fortalecer la construcción prefabricada pero desde un punto de vista del uso de materiales ecológicos. “La “tecnología suave” de la naturaleza y el tesoro milenario de la experiencia de la historia de la arquitectura podrían sugerir a nuestra civilización soluciones a muchos problemas, que por su sencillez y armonía podrían dar nuevos impulsos a la moderna técnica de la construcción” (Osorno, 2001). En este sentido, la tecnología puede ser una importante aliada

para lograr una arquitectura más saludable, a través de la prefabricación. lo que daría pauta a una relación Tecnología-tradición.

La prefabricación tiene diversa ventajas para propiciar una construcción con condiciones bióticas. Azpilicueta y Araujo (2012) destacan tres condiciones principales: 1) el aligeramiento que permite la optimización de recursos energeticos; 2) la deformabilidad, un edificio a base de mecanismos prefabricados ofrece una alta resistencia a las deformaciones, esto a su vez permite ver al edificio como un organismo vivo sujeto a contracción y expansión; y 3) una construcción limpia, una construcción prefabricada reduce en gran medida los residuos generados durante el proceso de construcción.

La arquitectura y los edificios prefabricados se refieren a aquellas construcciones que usan tecnologías y sistemas prefabricados e industrializados (Pons, 2014). No obstante, el punto clave en este tipo de sistemas es la estandarización. En la era industrial, con la inclusión de materiales sintéticos y la producción en serie, los términos prefabricación e industrialización tienden a asociarse. Sin embargo, es preciso diferenciar estos conceptos. García (2008) define la industrialización como una organización del proceso productivo que, de forma racional y automatizada, implica la aplicación de tecnologías avanzadas al proceso integral de diseño, producción, fabricación y gestión, bajo la perspectiva de una lógica. Su formulación algebraica, atribuida a Gérard Blancher, sería la siguiente:

INDUSTRIALIZACIÓN=MECANIZACIÓN+RACIONALIZACIÓN+ AUTOMATIZACIÓN

Por otro lado, el termino prefabricación se refiere a “expresar la anticipación de producción, de un elemento, componente o sistema, respecto de su destino final, por lo que este aspecto de anticipación aporta dos parámetros de relatividad el espacial y el temporal” (Garcia, 2008). Por lo tanto, se pueden tener elementos prefabricados sin ser necesariamente industrializados. Y esto se definirá en función de las características de materiales que se utilicen. Los materiales artificiales de producción en serie han tenido lugar en las grandes fábricas, donde diversos procesos son fabricados exclusivamente por maquinas, no solo por la

optimización, sino por el nivel de peligrosidad que suponen para las personas, tanto en temperaturas elevadas como emisiones.

En este sentido, pensar en bioconstrucción prefabricada conlleva a considerar procesos de fabricación de bajo consumo energético, materiales de construcción de bajas o nulas emisiones contaminantes tanto para el medio ambiente como para las personas. “La bioconstrucción persigue el uso adecuado de los recursos, de acuerdo con el sitio y las circunstancias sociales y económicas de los usuarios” (Osorno, 2001). Por lo tanto, propicia el uso de materiales ecológicos y da preferencia al taller sobre la fábrica. Como afirman Von Mag y Rauch (2011) tiene sentido la construcción de un taller temporal de prefabricación directamente en el lugar de construcción. Lo que hace a la prefabricación una opción altamente sustentable y tendiente a ser local y reducir también la contaminación a causa del transporte, aspectos importantes en la bioconstrucción.

Los sistemas y elementos de una construcción prefabricada se pueden clasificar por diversos aspectos. Alkmim (2012) considera cuatro rangos dentro de esta clasificación: estructura, peso, movilidad y agrupación. Esta última con mayor aplicación a módulos tridimensionales. Por su parte Coreira y otros (2018) realizan un estudio donde identifican diversos criterios para clasificar las tipologías de paneles utilizadas en cerramientos para muros. Dicha clasificación la cataloga en dos grupos de criterios: constructivos y funcionales.

Los criterios constructivos se clasifican por: su rol estructural, que define si el elemento carga como parte de la estructura o solo es autoportante; el peso, si se trata de un panel ligero o pesado; el tamaño del panel en relación a la proporción de muro que cubre; el tipo de ensamble, que define con que elemento se realizara la union, ya sea de un panel con otro o con los elementos de la estructura; y la compatibilidad del sistema, lo cual se refiere a que si el sistema es abierto al permitir la incorporación de elementos de otros sistemas, o es cerrado cuando los paneles tienen dimensiones específicas para ser utilizado en ese sistema.

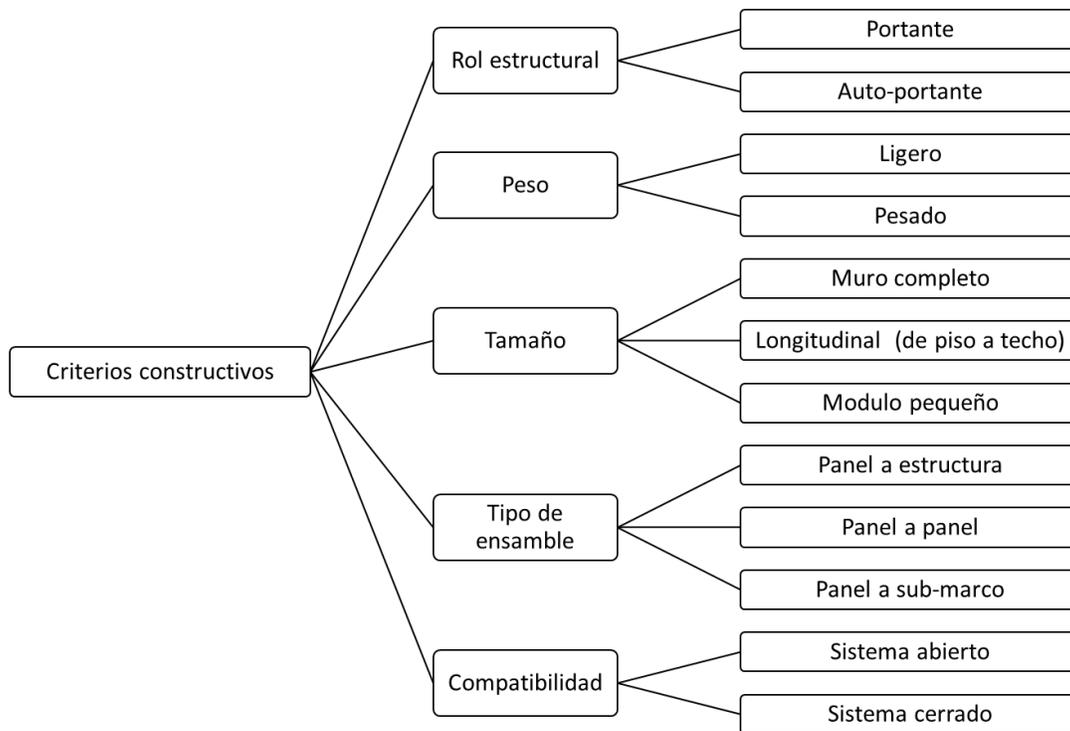


Figura 3. 3 Características de los paneles

Fuente: elaboración propia

Los criterios según su función comprenden diferentes tipos de paneles de acuerdo a su comportamiento con respecto a: la ventilación, estanqueidad a la intemperie, capa de aislamiento o núcleo, permeabilidad de la luz, ganancia de energía y variabilidad. Estos criterios se enfocan en aspectos de confort y eficiencia del panel en diferentes ambitos. Sin embargo, para el analisis desde el punto de vista de las cualidades de la prefabricación se tomaran en cuenta meramente las cualidades constructivas del panel que se desglosan en la figura 3.3.

3.2.1. Función estructural

En relación a la estructura se identifican básicamente dos tipos de elementos: aquellos con función portante o estructural, los cuales forman parte de la estructura y por lo tanto soportan y transmiten cargas al suelo. “Los paneles de pared también pueden resistir cargas laterales, así como cargas de viento y / o sísmicas, etc.” (Coreira, et al., 2018), y elementos auto-portantes o no estructurales, los cuales solo soportan su propio peso y no contribuyen a la estabilidad del edificio en términos estructurales. Estos últimos se utilizan como

elementos de cerramiento, elementos divisorios y entramados a base de paneles. La ligereza en estos paneles es cualidad necesaria para garantizar dinamismo y manejabilidad. Mientras que los elementos estructurales tienden a ser más pesados.

3.2.2. Tamaño del panel

Esta clasificación se refiere a la proporción de la superficie que cubre un panel, con relación al muro, lo cual determinara la cantidad de componentes necesarios para construir un cerramiento o muro, la cantidad de conexiones y el grado de manejabilidad. Como regla general un elemento de mayor tamaño va a requerir menor número de conexiones, sin embargo por las dimensiones y el peso puede requerir incluso maquinaria para ser colocado en su ubicación exacta. Mientras que elementos de menor dimensión puede ser más complejo en cuestiones de armado, pero tendrá mayor manejabilidad a nivel individual.

Coreira y otros (2018) plantean dos clasificaciones con respecto al tamaño del panel, la primera respecto a la proporción con respecto al muro y la segunda con base a rangos de medidas, en la primera categoría se clasifican en: 1) Panel de relleno de pared, que constituye un muro completo; 2) Panel longitudinales, que comprende paneles de piso a techo con una altura constante entre 250 y 300 cm, y con diferentes ancho, 3) paneles de módulos pequeños, con interconexiones y altura parcial con respecto al techo; y paneles de pared empotrados. Con relación a los rangos de medida se pueden clasificar en:

- 1) Panel grande, de altura > 1 m o ancho > 1 m;
- 2) Panel horizontal o vertical, ($H \leq 0.30$ m y $A > 3 \times H$ o $A \leq 0.30$ m y $H > 3 \times W$)
- 3) Panel pequeño ($H \leq 1$ m y $A \leq 1$ m).

Estos criterios de clasificación plantean los rangos mínimos en cuanto a ancho y alto y se tienen como base 1 metro y 30 cm. Sin embargo, se puede tener como referencia la medida de los paneles estándar de aglomerados de madera y otros materiales, 1.22 x 2.44 cm, de esta forma, el material utilizado para su fabricación

puede ser aprovechado de mejor manera. En la figura 3.4 se puede observar un esquema de los diferentes tamaños de paneles que puede haber.

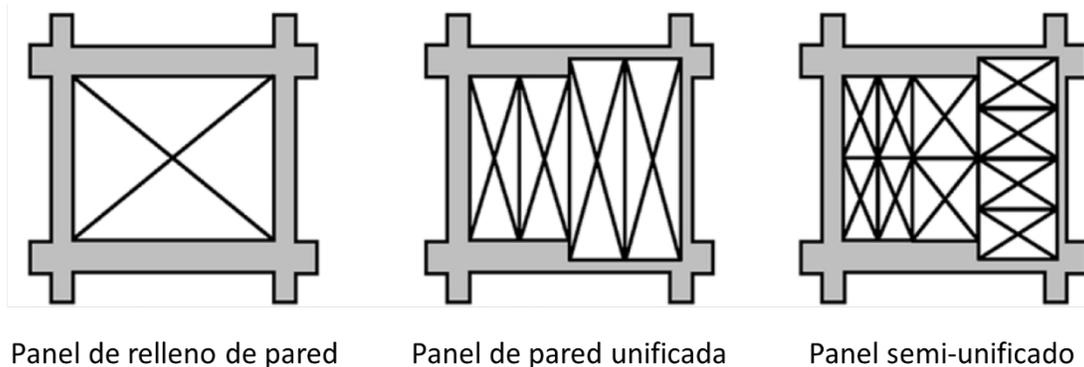


Figura 3. 4 Tipo de paneles de acuerdo al tamaño
Fuente: (Coreira, et al., 2018)

3.2.3. Peso/densidad

El peso del elemento tendrá amplia relación con sus dimensiones, el largo ancho y el espesor, al igual que el material con que este fabricado. En esta categoría básicamente se definen dos tipos de elementos: ligeros y pesados. De acuerdo con Coreira y otros (2018), en términos cuantitativos, los elementos pesados son aquellos con un peso igual o mayor a 100 Kg/m², mientras que los elementos ligeros pesaran menos de 100 Kg/m².

Un elemento ligero tiene diversas ventajas en cuanto a su manejo tanto en la obra como para el traslado y la fabricación. Sin embargo, con relación a las condiciones de confort en términos arquitectónicos los materiales con que estén fabricados determinaran su comportamiento. “En lo referente al rendimiento industrial estos módulos se caracterizan por el uso de materiales livianos como el acero, el aluminio, el amianto-cemento, la madera y los plásticos” (Alkmim, 2012). Sin embargo, estos materiales tienen alto impacto en diferentes impactos a nivel ambiental y de la salud de las personas. Los materiales en bioconstrucción que brindan ligereza son principalmente los de origen vegetal.

3.2.4. Tipos de ensambles

Los elementos que integran un sistema constructivo permiten hablar en términos de construcción cerrada y abierta. Para Azpilicueta y Araujo (2012) la primera se refiere a sistemas específicos que usan su propio juego de piezas “hechas a medidas”; mientras que los sistemas abiertos comprenden piezas comunes intercambiables entre distintos sistemas. También se puede hablar de construcción permanente y desmontable, que se define en función del tipo de ensamble que se utilice. No obstante, la ventaja de una construcción desmontable es el hecho de poder recuperar las piezas para ser reutilizadas.

Otra clasificación es en función de la compatibilidad y tipo de anclaje de los elementos del sistema. Los hay con mecanismos de ensamble permanentes y en otros casos se facilita la recuperación del material al desmontar el ensamble. El grado de recuperabilidad de los elementos tiene gran importancia para el mantenimiento de una construcción. Pues permite reemplazar las piezas deterioradas sin perjudicar la estructura, lo que por consiguiente incrementa la durabilidad de un edificio. De Garrido (2012) aplica ampliamente los conceptos de sistema abierto y recurre a ocho condiciones que deben cumplir los elementos de su arquitectura: duración, ampliación, reconfiguración, recuperación, reparación, intercambio, reciclaje y degradabilidad.

Un factor clave de sostenibilidad es el de diseñar para el desarrollo progresivo, la transformabilidad y la reutilización. Diseñar para la transformación sin perder la calidad de los espacios y la estética de la edificación es también una condición necesaria para garantizar calidad, confort y menores costos de adaptación al cambio, e incluso mayor durabilidad (Acosta & Cilento, 2005). La construcción con sistemas prefabricados con uniones en seco favorece ampliamente en este sentido, al fomentar edificios adaptables.

La construcción seca es aquella que se realiza en gran medida sin adhesivos, morteros y pegamentos, con la intención última de facilitar la deconstrucción al final del ciclo de vida de las edificaciones y de esta forma estimular la reutilización y el reciclaje de materiales y componentes en lugar de generar residuos (Acosta,

2009). Para ello, sería necesario recurrir a “un sistema de juntas que sean efectivas en el tiempo sin apenas mantenimiento y, sobre todo, un profundo conocimiento técnico. [...] Se trata de planear el edificio como un conjunto de piezas que se montan y se desmontan sin conflictos.” (Azpilicueta & Araujo, 2012).

Un aspecto clave en la cuestión ambiental es que la construcción prefabricada plantea una construcción de “cero desperdicios”. Esto se logra sobre todo cuando se trata de un sistema abierto, “el uso de piezas comunes intercambiables entre diferentes sistemas” (Strike, 2004). Lo cual también se logra en un mismo sistema cuando los componentes son variables en forma y tamaño. En algunos sistemas se parte de un panel estándar y se tienen elementos especiales para uso en esquinas, cerramientos, dinteles, ángulos, triangulares, etc. Un sistema cerrado por el contrario, comprende piezas específicas para un diseño en particular. Lo cual se encamina más a una construcción en serie de un prototipo específico.

Con la construcción en seco se logra, precisamente una construcción “cero desperdicios”. “El adicional beneficio del sistema prefabricado es la capacidad de reutilizar una porción significativa de la estructura al término de la vida útil del edificio” (Aye, et al., 2012). Esta condición resulta muy significativa en materiales de alta energía incorporada en su fabricación como el acero o el plástico. En estos casos, la mayor ventaja se obtiene en su segundo uso, para lo cual ya no será necesario material nuevo y la energía incorporada sería menor. Lo cual se determinará en función del grado de reutilización y reciclaje del material y del elemento prefabricado en sí. “La facilidad con que los componentes de los sistemas se pueden desensamblar al final de su vida útil permite el reúso y reciclaje de los componentes” (Pons, 2014). En el caso de uso de materiales naturales, propios de la bioconstrucción, la fase final de la vida útil de los elementos tiende a la degradación y la reincorporación a la naturaleza.

Los tipos de ensamble de los paneles se pueden agrupar en dos tipos: de hendiduras de acoplamiento y mecanismo auxiliares. En los primeros, el propio panel comprende en su diseño saques y salidas a manera de machihembrado de diferentes formas, con los cuales las piezas se van embonando entre sí. Estas

pueden ser en los costados de los paneles de manera longitudinal, o la misma geometría del panel puede estar diseñada con hendiduras específicas. Mientras que los mecanismos auxiliares comprenden elementos y conectores externos al panel. En la figura 3.5 se pueden observar detalles de paneles patentados con los dos tipos de ensambles.

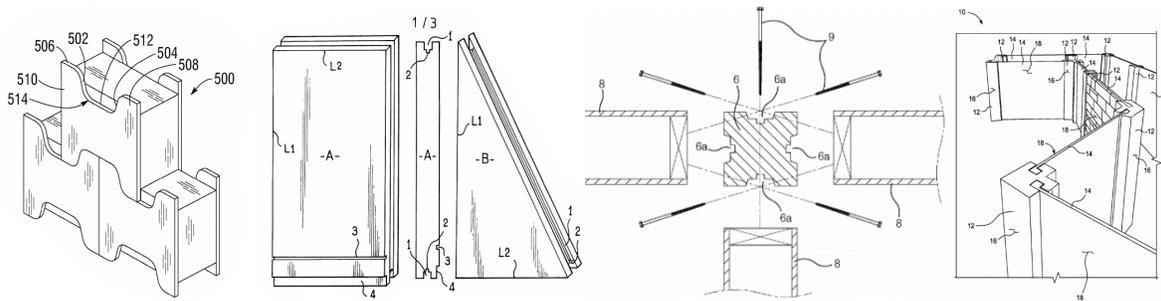


Figura 3. 5 Diferentes tipos de ensambles

Fuente: Espacenet, análisis de diferentes patentes de paneles (ver anexo 3)

En términos de sistema constructivo, los paneles interactúan con otros elementos, por lo que las uniones con mecanismos auxiliares serán imprescindibles. En este sentido pueden ser diferentes uniones. Con relación a los elementos a unir, están: la unión panel-panel, Panel-estructura, panel-subtrama. Y en cuanto a forma, dentro de una estructura ortogonal se tendrían unión lineal, unión en esquina, unión en T, y unión en +, de acuerdo al número de muros que se conecten.

3.3. Tipos de paneles

Al analizar que los sistemas prefabricados tienen mayor incidencia en los sistemas llamados modernos. “El rasgo más claro del sistema moderno es el esqueleto independiente y los cerramientos cada vez más ligeros. (Azpilicueta & Araujo, 2012, p. 6). La aplicación de los sistemas prefabricados sería en función a su utilización como cerramientos o divisiones. Y los componentes comunes a este tipo de construcciones son el panel y los mecanismos de ensamble que constituyen la envolvente.

El panel puede tener diferentes variantes en cuanto a dimensiones y forma de fabricación. El análisis de estos sistemas ha permitido identificar cinco variantes en cuanto a su configuración: paneles homogéneos, paneles tipo sándwich,

monolíticos, paneles multicapa, paneles de núcleo celular y paneles de marco estructural. En la figura 3.6 se muestra el esquema de los cinco tipos de paneles.

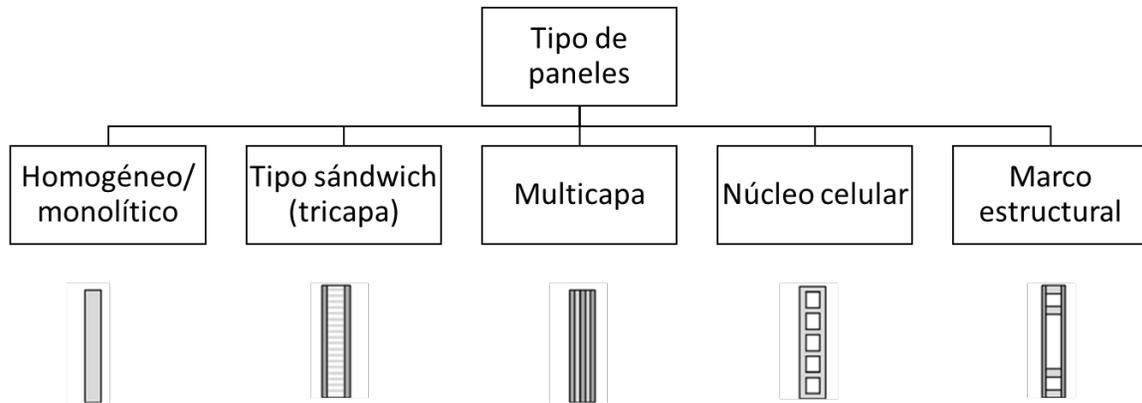


Figura 3. 6 Tipos de paneles constructivos
 Fuente: elaboración propia con base en (Coreira, et al., 2018)

3.3.1. Panel de marco estructural

Constan que un soporte perimetral y un contenido de material aislante. De manera genérica este sistema constructivo tiene relación con el sistema a base de tierra llamado bajareque. Estos sistemas se basan en una estructura contenedora del material de menor resistencia mecánica. En la construcción ecológica, se identifican algunos tipos de paneles existentes en el mercado.

3.3.2. Paneles tipo sandwich

Estos elementos están formados por placas de poco espesor y en su interior contienen una placa de mayor espesor de material aislante y ligero. Un claro ejemplo de estos sistemas están en el panel W y los muros de tablaroca. En el primer caso es un sistema que queda de forma permanente y el acero es el que le da soporte. Y en el caso de los muros de tablaroca es un sistema compuesto cuyas caras exteriores son placas de triplay o aglomerado de madera, y en compuesto interior es a base de una espuma tipo colchoneta de lana mineral o fibra de vidrio.

3.3.3. Panel multicapa

Este tipo de panel está constituido por varias capas ya sea de materiales diferentes entre sí, o intercalando un mismo material. Un claro ejemplo lo podemos

ver en la madera contrachapada o el triplay. “Esta característica permite la mezcla y combinación de varias propiedades y espesores para obtener el rendimiento final deseado, ya sea para requisitos de alta capacidad térmica, acústica o resistencia al fuego” (Coreira, et al., 2018)

3.3.4. Panel de núcleo celular

En este sistema de panel se utiliza un núcleo hueco similar a una célula (por ejemplo, huecos, almas, estructuras de espuma abiertas / cerradas, Panel 2D, núcleo perfilado, celosía 3D, etc.) para permitir la minimización de la cantidad de material usado y alcanzar un peso y un costo mínimos de material, sin comprometer la resistencia y rigidez del panel (Coreira, et al., 2018). Estos elementos pueden ser equiparables a los blocks huecos o las bovedillas de los sistemas de entepiso. Al ser elementos huecos en su interior, para lograr la estabilidad estructural, la cualidades del material requieren resistencia mecánica alta.

3.3.5. Paneles homogéneos monolítico

Por otro lado, los paneles de una sola pieza son básicamente placas de material, como los aglomerados de madera, sin embargo, hoy en día, la búsqueda de materiales inocuos para la salud ha dado lugar a empresas que elaboran placas a base de materiales naturales. La empresa alemana Novofiber ofrece un panel hecho de fibra de trigo que está certificado como libre de formaldehidos. Los cinco tipos de paneles con relación a su composición de capas y formas se muestran de manera gráfica en la ilustración 8.

3.4. Sistemas de paneles en bioconstrucción

Actualmente los sistemas prefabricados tienen mayor aplicación con materiales convencionales, que tiene larga trayectoria, como el concreto, el acero y polímeros. Sin embargo, la aplicación de materiales ecológicos en la construcción prefabricada empieza a tener eco. Muestra de ello es el surgimiento de diversas empresas que han desarrollado paneles y sistemas de este tipo con materiales que han sido descartados, utilizados con anterioridad en sistemas constructivos

tradicionales. A continuación se analizan cinco sistemas constructivos a base de paneles propios de una bioconstrucción urbana.

3.4.1. Sistema biopanel

Es un panel de marco estructural de bambú con madera y/o diagonales de acero. Es muy versátil ya que puede ir relleno o no. El recubrimiento puede ser una hoja de triplay por ambos lados, dejando una cámara de aire en el interior o puede rellenarse con materiales aislantes, como lo es la paja en combinación con la arcilla como en el sistema tradicional de bajareque en el que fue inspirado. Los paneles pueden adaptarse para instalar cancelería, ya sea puertas o ventanas.

Al marco estructural con las diagonales se le coloca tiras de bambú, que generan un entramado propio del sistema bajareque. En el caso de elementos estructurales con relleno, este se realiza de una manera artesanal y es a base de masas de tierra y paja manejables insertadas entre las tiras del entramado. Las dimensiones de los paneles son variables con una altura uniforme de 2.44 m y un espesor de 10 cm. Se fabrica en tres anchos: 0.61 m (no estructural), 1.22 y 2.44. Los módulos tienen un peso de 45 kg y los acabados se aplican una vez colocados que puede ser triplay, encementado o acabados naturales (ver figura 3.7). Estos paneles forman parte de un sistema constructivo llamado BIVA, desarrollado por una empresa mexicana llamada Bambuterra.

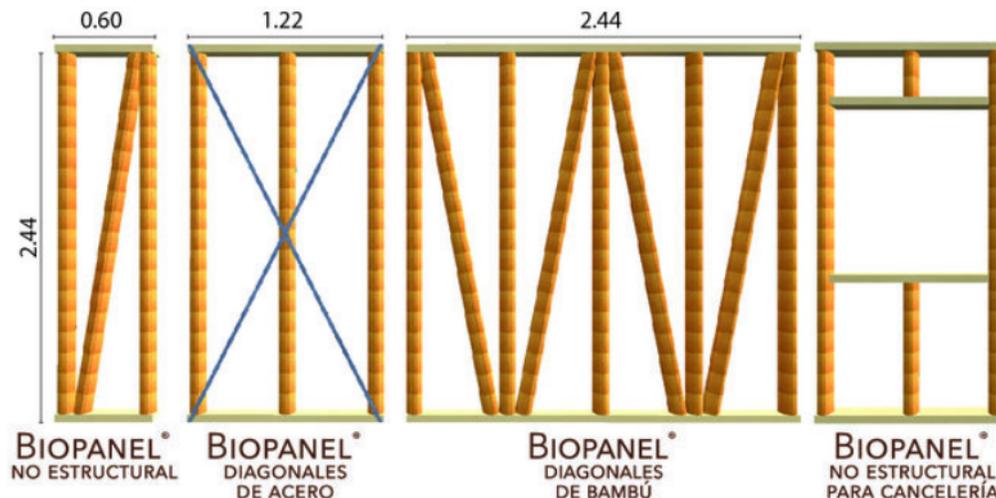


Figura 3. 7 Biopanel y sus variantes
Fuente: (Bambuterra, 2017)

3.4.2. Paneles eco cocon

Se trata de paneles de paja compactada con marco contenedor hecho de madera. La paja tiene un nivel de compresión de 120 kg/m³. Lo cual favorece a la resistencia al fuego y mantiene una humedad por debajo de 15%. Son paneles que pueden ser utilizados como elementos de cerramiento o de manera estructural. Son ligeros con un peso que va de 20 a 200 kg dependiendo del tamaño del panel. Lo que facilita su manejo en la colocación de los mismos. Las uniones entre paneles son mediante tornillos.

Los paneles tienen las dimensiones de 2.80 x 0.80 x 0.40 m. Se trata de paneles estándar. Sin embargo, la empresa también ofrece paneles especiales para su aplicación en dinteles, alféizares, pilares, paneles de esquinas y paneles triangulares. Esta característica le da la cualidad de sistema abierto. Los paneles son sin acabar y una vez colocado se recubren con placas de arcilla que ofrece el mismo fabricante, una empresa de Lituania. En la ilustración 3 se observa el marco estructural de los paneles estándar estructural y no estructural.

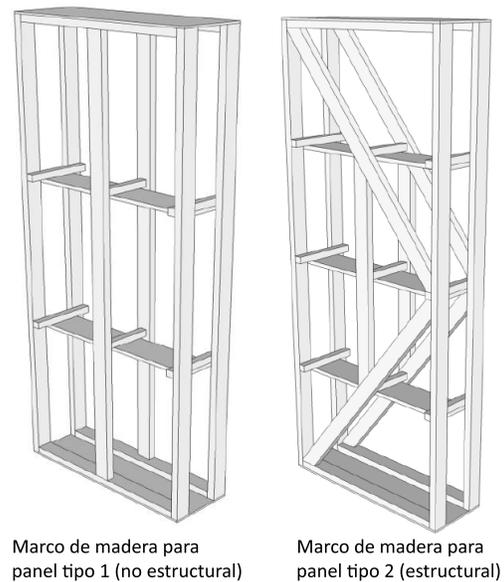


Figura 3. 8 Paneles estándar de eco cocon

Fuente: (Eco cocon, 2019)

3.4.3. Paneles ecopaja

Son módulos constructivos a base de paja de trigo compactada y de madera maciza como elemento estructural. Se pueden utilizar como elementos de cerramiento, muro de carga, forjado y panel de cubierta. La paja que se utiliza tiene una humedad por debajo de 15%. Se logra una densidad de la paja compactada que va desde 135 a 185 kg/m³.

Ofrecen módulos estándar con dimensiones de acuerdo a su aplicación. Los que se utilizan para cerramiento tienen un espesor de 45 cm y tiene tres variantes en cuanto a dimensiones: módulo estándar en horizontal 2.45 x 1.20 m, módulo estándar en vertical 1.23 x 2.45 m y módulos de esquina 2.45 x 0.45 m. Los elementos especiales para dinteles y otras aplicaciones se fabrican de acuerdo a las dimensiones del proyecto. Para el uso en entramados y cubierta, los módulos tienen un espesor de 24 cm. En el caso de las cubiertas, los elementos son alargados y pueden tener una longitud de 12 m.



Figura 3.9 Panel ecopaja
Fuente: (Ecopaja, 2017)

3.4.4. Tapia prefabricada

Este sistema es desarrollado por la empresa Lehm ton Erde, quienes trabajan la técnica del tapial de manera prefabricada en diferentes elementos constructivos, incluso chimeneas. Un proyecto en el que se aplicó es en la Imprenta Gugler Melk, en Austria. El sistema utilizado es “una construcción en entramado de madera que se combinó con 160 piezas de tapial prefabricado de dimensiones 1,70 x 1,30 x 0,40. Las piezas prefabricadas tienen unas aberturas por las que se posibilita una renovación de aire y refrigeración de las oficinas y espacios de trabajo” (Von Mag & Rauch, 2011). En la ilustración 5 se puede apreciar la colocación de los paneles en del sistema constructivo.



Figura 3. 10 Sistema de tapia prefabricada

Fuente: <http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pid=37>

Para la realización de los paneles prefabricados a través de la técnica de la Tapia se utilizaron 208 toneladas de tierra del sitio de proyecto. Todas las piezas se prefabricaron en taller, en 3 meses, mientras que la colocación en obra duró 2 semanas, tiempo que también duraron los trabajos de carpintería (Gatti, 2012). Los paneles son elementos monolíticos. Al tratarse de elementos pesados su colocación necesita de grúa. Y su altura no cubre de piso a techo debido a lo pesado del elemento.

3.4.5. Cannapanel

Se trata de un panel prefabricado que produce la empresa Cannabric. El panel está compuesto por una mezcla de tierra estabilizada, paja y fibra de cáñamo. Se produce por prensado mecánico en una cadena de montaje (Gatti, 2012). Se destacan sus cualidades térmicas y acústicas. Y las dimensiones y formas se adaptan a las necesidades de cada proyecto. Esta empresa también ofrece paneles como elementos complementarios de un sistema. Son paneles con función aislante y maneja tres tipos básicamente: panel de corcho negro, panel de cáñamo y panel de cañas.



PANEL AISLANTE DE CAÑAS



PANEL AISLANTE DE CÁÑAMO



PANEL AISLANTE DE CORCHO NEGRO

Figura 3. 11 Sistemas cannapanel
Fuente: <http://www.cannabric.com/catalogo/>

3.4.6. Novofiber

Se trata de un panel hecho únicamente de fibras de paja de trigo. Al ser un aglomerado el material se fabrica básicamente con prensado en caliente. Es un material muy versátil ya que su aplicación puede ser incluso para mobiliario. Tiene dimensiones estándar de la madera 1.22 x 2.44 m y los espesores son variables 11, 15 y 18 mm. Es un producto que garantiza estar libre de formaldehído y adhesivos. Por tanto, es una alternativa considerada dentro de la bioconstrucción con amplias posibilidades de aplicación.

3.4.7. Otros paneles

Actualmente existen esfuerzos por el desarrollo de panel, que aunque no están en el mercado es importante tener en cuenta. Uno de ellos es el panel de bajareque desarrollado por Nina Vacacela como un trabajo para la obtención de grado. Hasta el momento no se encuentra información de un proceso de comercialización de dicho panel. Para su diseño y fabricación se utilizó un bastidor de madera y con un entramado de cañas guadua. Como elemento interior “se añade un núcleo con fibras naturales, que trabaja como aislante térmico y acústico; se dejan incorporados tomacorrientes e interruptores y se realiza el embarrado y secado previo a su colocación, debido a que el tiempo de secado es largo (1 a 3 meses)” (Vacacela, 2015). Desarrolla dos propuestas variables en dimensiones y elemento de entramado.

En la segunda propuesta se utiliza malla de gallinero en lugar de cañas como entramado, para aligerar el peso y se buscan mejores mecanismos de conexión, en la ilustración 7 se pueden observar las dos propuestas. Los paneles se proponen con una altura que cubra de piso a techo. Las dimensiones que tiene son 2.44 x 0.90 x 11 cm en la primera propuesta y la segunda propuesta plantea un ancho de 60 cm y un espesor de 10 cm. El primer panel tuvo un peso aproximado de 180 kg (400 lb) y el segundo de 68 kg (150lb).

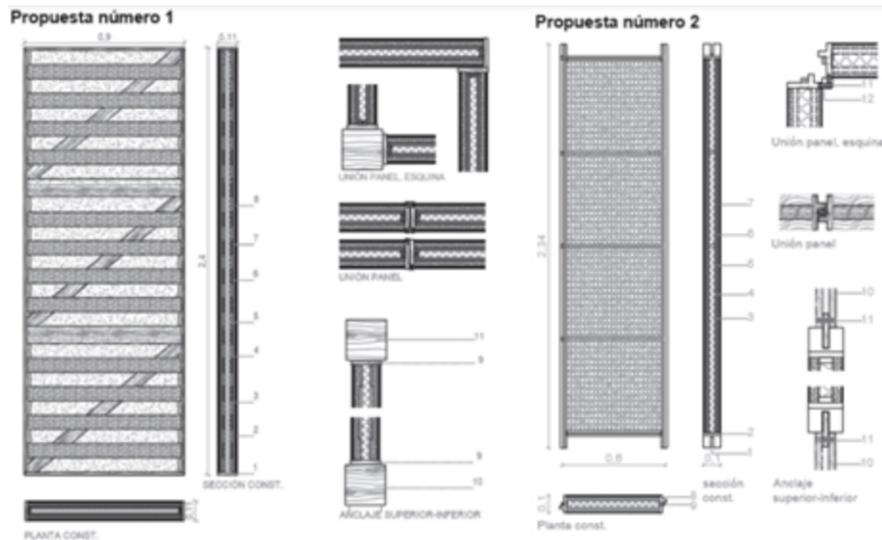


Figura 3. 12 propuesta de paneles de bajareque
Fuente: (Vacacela, 2015)

Al analizar los sistemas constructivos antes descritos se identifica que retoman sistemas tradicionales como: la construcción con pacas de paja, el bajareque, el tapial y la tecnología de los aglomerados. Y los materiales propios de estos: tierra, madera, paja y fibras naturales, y bambú o cañas. En todos los casos se aprovechan las ventajas que ofrece cada material para obtener un panel constructivo.

Los paneles eco cocon y biopaja retoman el principio de paja compactada, propio de los sistemas de construcción con pacas de paja. Y al igual que en este sistema, el espesor de los muros es alto. Lo cual podría estar relacionado con la intención de lograr un importante aislamiento térmico. En estos paneles el mayor nivel de

industrialización se da en la inserción de la paja compactada. Estos son paneles ligeros, lo que permite un alto grado de manipulación por los constructores.

La mayoría de los paneles están diseñados en longitudes que van de piso a techo. Una excepción es la tapia prefabricada, lo cual se entiende por lo pesado que supondría mover un elemento muy alto de este sistema. En cuanto al peso y el formato, es un panel comparable al concreto y el acabado aparente le da mayor similitud. En la tabla 1 se pueden observar una comparativa de las diferentes características cada panel.

Tabla 3. 1 Comparativa de sistemas de bioconstrucción en el mercado

Sistema		BIOPANEL	ECO COCON	ECOPAJA	TAPIA PREFABRICADA	CANNAPANEL	NOVOFIBER
País		México	Lituania	España	Austria	España	Alemania
Empresa		Bambuterra	Eco cocon	Ecopaja	Lehm ton Erde	Canabric	Novofiber
Material	Estructura	Madera, bambú y acero	Madera	Madera	Tierra y cemento	Tierra estabilizada, paja y fibra de cañamo Corcho, cañas	Fibras de paja de trigo
	Relleno	arcilla-paja	paja compactada	paja de trigo compactada			
	Acabado	triplay, encementado o tierra	placas de arcilla	Revoque de arcilla			
Dimensiones (m)	Alto	2.44	2.80	2.45 y 1.20	1.30	1.20	2.44
	Largo	0.61, 1.22 y 2.44	0.80	0.45, 1.23 y 2.45	1.70	0.60	1.22
	Espesor	0.10	0.40	0.45 y 0.24	0.40	0.04, 0.06 0.08, 0.10	0.011, 0.015 y 0.01
Funcion estructural		portante y autorportante	portante y autorportante	portante y autorportante	portante	portante y autorportante	autoportante
Densidad		ligero	ligero	ligero	pesado	ligero	ligero
Deformabilidad		juntas permanentes	juntas desmontables	juntas desmontables	juntas desmontables	juntas desmontables	juntas desmontables
Versatilidad del sistema		cerrado	abierto	abierto	abierto	abierto	abierto
Funcion del panel		elemento integral sin acabado	elemento integral sin acabado	elemento integral sin acabado	elementos integral con acabados	elemento integral sin acabado	elemento complementario (adaptable)
Tipo de panel		de Marco estructural	de marco estructural	de marco estructural	Monolitico	Monolitico	Monolitico (aglomerado)

Fuente: elaboración propia

Los sistemas de paneles analizados como productos consolidados en el mercado denotan una preocupación e importantes esfuerzos por incidir hacia un cambio de paradigma en cuanto al uso de materiales naturales en la construcción. Y hacen patente el hecho de que está siendo posible una bioconstrucción prefabricada aplicables en un contexto urbano. Dicho cambio está teniendo mayor fuerza en ciudades europeas. Sin embargo, en México con el sistema biopanel de la empresa Bambuterra empieza a tener presencia propuestas de este tipo.

Los diferentes materiales ecológicos ofrecen diversas ventajas aplicables a un panel constructivo. La madera y el bambú constituyen excelentes opciones para marcos estructurales contenedores de otros materiales más ligeros. La paja y las fibras naturales son materiales aislantes que se pueden utilizar secos, comprimidos, en combinación con tierra o bien prensados en caliente como en el caso del panel Novofiber. Y la tierra a pesar de ser un material denso y de baja resistencia a la compresión se puede utilizar estabilizada a manera de tapial o en combinación con materiales herbáceos tomando como referencia los sistemas de tierra aligerada o paja compactada.

Otro aspecto importante es el hecho de ver la prefabricación de manera local. Se trata de ya no pensar en grandes fábricas donde se elaboren los paneles y después trasladarlo a largas distancias. Si no de optar por talleres de fabricación que incluso puedan ser montado en el lugar de la construcción y ahí mismo que se fabriquen los paneles y elementos del sistema.

Los aspectos que contribuyen a una bioconstrucción prefabricada urbana son: el panel como elemento estándar más elementos especiales que permiten construir y configurar diseños muy variables y sin desperdicio; el uso de materiales ecológicos como lo son la tierra, la paja, el bambú y la madera (de aserradero sustentable) abundantes en la naturaleza, que garantizan bajas emisiones en su proceso de fabricación y espacios saludables para los usuarios; y la ligereza y rapidez de construcción, que a diferencia de las técnicas tradicionales artesanales, la hacen apta para su aplicación en un contexto urbano, en sistemas estructurales reticulares puede aplicarse como elementos de cerramiento.

4. DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE PANELES

Una vez analizadas las tres variables que constituyen la parte teórica conceptual del presente trabajo de investigación: 1) la bioconstrucción, los factores de riesgo para la salud en los edificios y los aspectos para un confort integral; 2) los materiales ecológicos y 3) la construcción prefabricada; en el presente capítulo se plantea la metodología que dará pauta al desarrollo de diferentes alternativas de paneles constructivos. Esta herramienta permitirá guiar la toma de decisiones en cuanto a materiales y tipo de elementos prefabricado más adecuada para lograr una mayor eficiencia con relación a construcciones saludables, aplicable al diseño de paneles constructivos.

La arquitectura saludable en el ámbito de la bioconstrucción supone retos importantes para la prefabricación, pues a diferencia de técnicas constructivas ancestrales y tradicionales, con alto grado de trabajo manual y construcciones a pequeña escala; en la prefabricación los elementos constructivos deben tener alta eficiencia y seguridad en su aplicación ya sea en construcciones de pequeña o de gran escala. Por ello debe analizarse cuidadosamente las combinaciones de compatibilidad de materiales y elementos constructivos que ofrezcan tanto seguridad constructiva como calidad biótica del espacio interior de las construcciones, que a su vez tendrá repercusiones positivas en el ambiente exterior al optar por materiales de menor impacto ambiental.

Las cualidades bióticas de un material que constituye la envolvente arquitectónica estarán condicionados a su composición y origen. Los paneles constructivos al ser elementos prefabricados tienen la posibilidad de estar integrados de materiales simples o de una compleja cantidad de éstos. Como se ha revisado en capítulos anteriores, la complejidad de los químicos artificiales, de gran uso en la actualidad, constituyen un elemento importante en la toxicidad de un material. Por ello, se parte de la premisa de optar por la simplicidad, puesto que hay alternativas

ecológicas o naturales que cumplen la misma función que un químico sintético sin comprometer la salud de los usuarios.

Para ello se parte de un análisis con base en la procedencia de los materiales y una función específica de cada elemento. Como una primera clasificación en materiales base para la construcción de un panel con relación a las tipologías identificadas (ver capítulo 3), se realiza una deconstrucción de los materiales que lo integran y su función a nivel subsistema, lo cual se realiza a partir de definir los tipos de estratos en los materiales a base de capas de diferentes espesores, así como las características de elementos estructurales y lineales de los paneles que comprenden estos elementos.

El proceso metodológico comprende cuatro fases relacionadas entre sí que darán como resultado la configuración de diversas alternativas de paneles con materiales ecológicos y saludables. La primera fase comprende la elección del tipo de panel que se pretende diseñar y construir. Una vez decidido el tipo de panel se identifican los componentes constructivos y las características de este. En una segunda fase se elegirán los materiales a utilizar en cada elemento del panel, en este punto se habrá de identificar la procedencia del material, dando prioridad a los materiales de la biosfera. También es posible tomar como referencia técnicas constructivas tradicionales.

En la tercera fase se realizara la revisión de la normatividad aplicable, así como el desarrollo de un mapa de la ruta a seguir en cuanto a diferentes tipos de ensayos que validaran el diseño del panel de acuerdo a normativas y parámetros de eficiencia en diferentes aspectos. En la cuarta y última fase se evaluara la calidad ecológica y saludable del panel resultante con base en los parámetros de elección definidos en el capítulo dos. En la figura 4.1 se puede observar el esquema metodológico que se plantea. La metodología plantea un proceso lineal, en las primeras tres etapas, el cual no se plantea de forma rígida, puesto que puede tener retroalimentación en cada una de ellas. En la última fase, si los resultado esperados no son satisfactorios se puede retroalimentar el diseño y regresara las fases anteriores, lo que lo hace un proceso iterativo

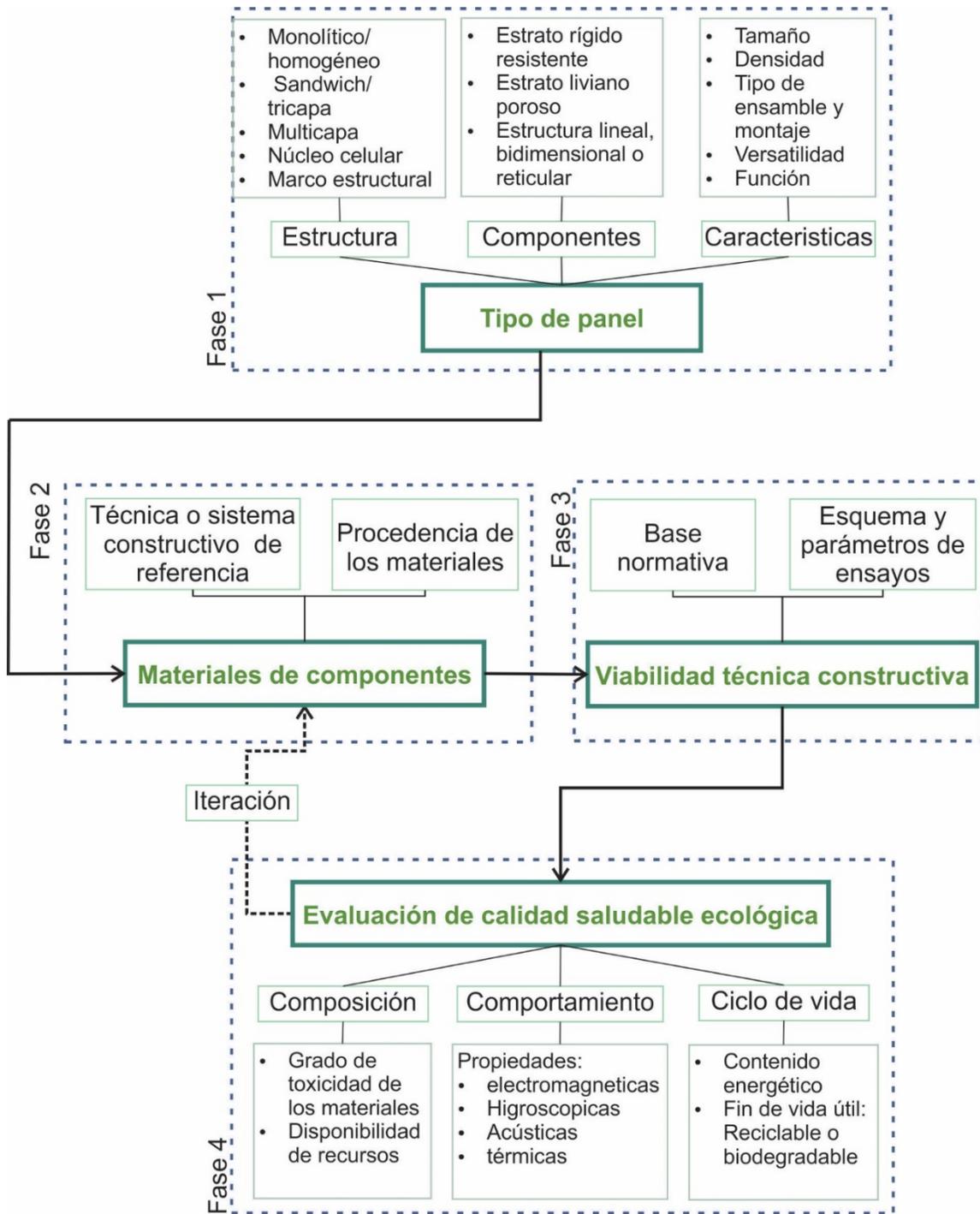


Figura 4. 1 Esquema metodológico para el diseño de paneles

Fuente: elaboración propia

4.1. Elección del tipo de panel

A lo largo del trabajo se identifican cinco tipologías de paneles: monolítico-homogéneo, tipo sándwich, multicapa, de núcleo celular y de marco estructural. Que van en orden progresivo en relación a su complejidad, los componentes constructivos y materiales que comprenden. En este apartado se analizan los diferentes componentes y características de cada tipología de paneles con el fin de tener criterios de elección para consolidar un diseño de panel óptimo. Para lo cual es necesario definir sus características en diferentes aspectos, tener claro la estructura y los elementos que compondrán dicho panel. el tipo de panel y los componentes que lo integran darán pauta a los materiales más adecuados para su fabricación.

4.1.1. Estructura y componentes del panel

Los sistemas constructivos a base de paneles, que comprenden tantos elementos verticales como horizontales, se integran por diferentes componentes de acuerdo a sus características. Los paneles pueden tener función estructural o solo ser parte de la envolvente arquitectónica. Sin embargo, deben ser lo suficientemente estables para soportar su propio peso, sobre todo en condiciones donde no existe estructura de apoyo. A esto se les llama elementos autos portantes. Mientras que los elementos portantes cumplen una función estructural.

Para analizar las diferentes tipologías de paneles y sus componentes se parte de identificar las cualidades de cada elemento y se plantean dos tipos: elementos monolíticos que pueden constituir estratos o capas, y elementos estructurales, que pueden ser elementos lineales o reticulares, cuya función es dar soporte y rigidez al panel. En la figura 4.2 se observa un esquema de los diferentes elementos y en qué tipo de panel se pueden aplicarse. Dentro de los monolíticos se tienen tres opciones: estratos rígidos resistentes, estrato ligero poroso y material suelto que puede inyectarse al elemento mediante insuflado, o ser comprimido. Por otro lado, los elementos estructurales pueden ser lineales, bidimensionales o reticulares.

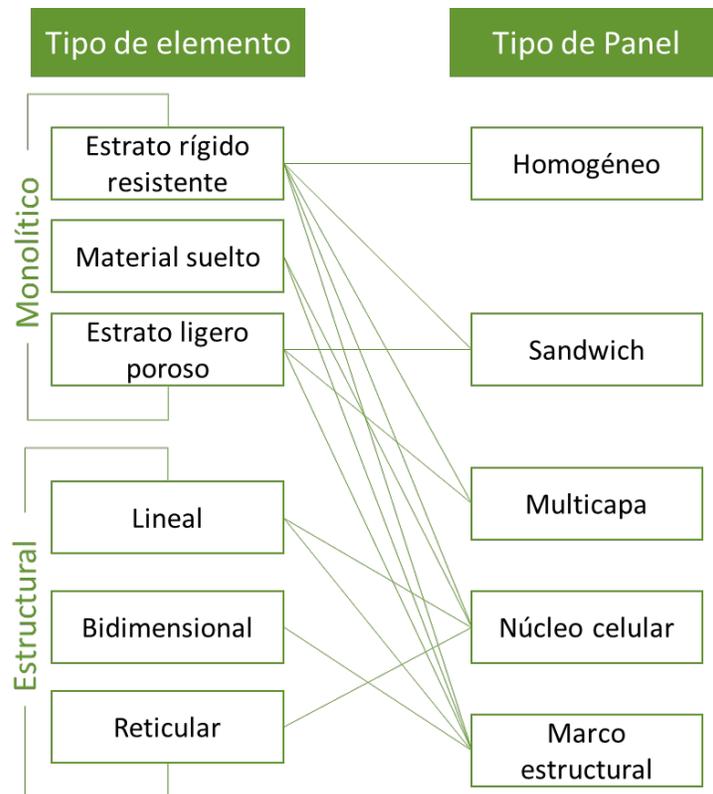


Figura 4. 2 Elementos para cada tipo de panel

Fuente: elaboración propia

La primera tipología de panel, monolítico u homogéneo comprende por tanto una estructura de un material sólido, rígido y auto portante, por lo tanto se integra de un solo estrato, es decir una sola capa de material. El elemento puede estar integrado por un material simple como en un aglomerado, o bien, estar compuesto por diversos materiales como sucede con el concreto y sus agregados. En la figura 4.2 se muestra el esquema para los peneles monolítico. En cuanto a su consistencia, para poder utilizarlo como material integro, deberá ser un elemento rígido resistente, y tener el espesor apropiado para la aplicación requerida. En tanto que un elemento poroso ligero su aplicación es más factible en combinación con otras capas o elementos estructurales que lo contengan.

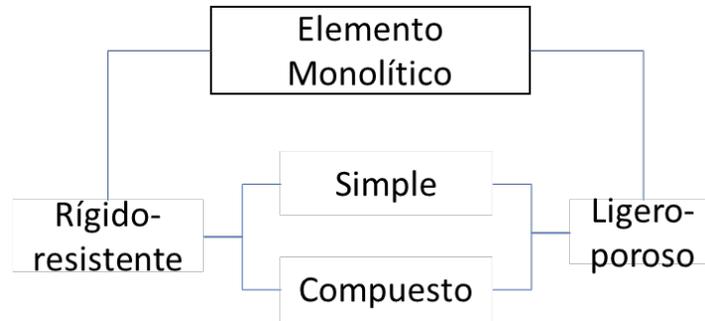


Figura 4. 3 Configuración de diferentes tipos de paneles
Fuente elaboración propia

Los paneles de tipo sándwich y multicapa comprenden estratos de diferentes cualidades y espesores. Se parte del elemento base para integrarlos, es decir, a partir de elementos monolíticos de diversas características se puede consolidar un panel de diferentes capas. Este elemento puede ser a partir de un material rígido resistente o bien un elemento ligero poroso. El panel tipo sándwich por ejemplo, comprende tres capas donde la intermedia sería la de mayor espesor y ligera y porosa, lo que permite tener un elemento liviano con cualidades de aislamiento térmico y absorción de ruido, mientras que las capas externas tendrían que ser rígidas resistentes. El panel multicapa tendría diferentes capas de materiales con funciones específicas

En cuanto a los paneles a base de núcleo celular y el de marco estructural, se trata de una estructura de soporte que contiene un material en su interior, el cual puede ser un material de los paneles monolíticos o bien, material suelto a través de lo que se denomina insuflado² donde no es necesario un material adhesivo. En el caso del panel ecocon descrito en el capítulo 3, el material de relleno que lleva el panel, es a base de una especie de insuflado de la paja, la cual queda compactada sin necesidad de algún material aglutinante. En Estados Unidos y en algunos países europeos donde predomina la construcción en madera se utilizan los insuflados de celulosa o fibra para proporcionar aislamiento en los elementos de cerramiento.

² En insuflado consiste en el relleno de las cámaras de aire en los cerramientos del edificio, que se realiza por inyección o por insuflado del material aislante a granel a través de pequeños agujeros que pueden quedar en la superficie del panel o a los costados.

Los paneles de núcleo celular y de marco estructural constan de elementos estructurales que pueden ser de diversos tipos, pueden estar constituido de elementos lineales que se embonan para dar forma al marco del panel, y generar así el marco o la retícula. Cuando se elige la opción de estructura celular mediante elementos de reciclaje, como las tarimas de diferente tipo, la retícula ya está constituida, solo será necesario elegir el material de relleno y acabado.

El tipo de panel de marco estructural, como su nombre lo indica, se constituye de un elemento de soporte que refuerza el material del interior, a diferencia del tipo estructura celular que constituye una retícula estructural, este panel se integra por un solo marco. El material que contiene suele ser de menor resistencia mecánica, pero en el que destacan otras propiedades referentes al confort. A diferencia de los cuatro tipos de paneles, este panel puede tener mayor versatilidad en cuanto a la aplicación de acabados, que puede ser una placa de material aglomerado o un repellido.

4.1.2. Características del panel

La estructura del panel constituye el soporte que lo rige, sin embargo, es importante definir otras características referentes su montaje, función densidad y tamaño, aspectos importantes que darán pauta a una elección acertada de materiales para cumplir con las condiciones requeridas. La densidad del panel va a depender de la función que este tenga. Así mismo, el tamaño de los elementos junto con la densidad determinara la manejabilidad del panel para su colocación en obra.

En cuanto a la densidad, el panel puede ser ligero o pesado. Un panel ligero es más versátil en cuanto a su manejabilidad, y puede ser un excelente aislante térmico y con alto coeficiente de absorción acústica, aunque difícilmente puede contribuir a la estructura, es decir, es autoportante. En un Panel pesado, es más complicada la manejabilidad a nivel de individuo, por lo que lo más probable es que requerirá equipo mecánico para su montaje. No obstante, puede proporcionar mayor inercia térmica a la construcción, cualidad muy valorada en términos de diseño bioclimático, además es más probable que tenga función estructural en la

edificación. Ambos tipos de paneles tienen importantes ventajas, se deberá elegir, por tanto, lo más apropiado para el uso que tendrá el elemento constructivo.

De acuerdo con los diferentes tipos de paneles, los paneles monolíticos tienden a ser paneles muy pesados que requieren de maquinaria para su manipulación, como el caso de los paneles de concreto o de tierra. No obstante, existen opciones que pueden aligerar los elementos como lo son los agregados insuflados, o el airado como sucede en el concreto celular. Los demás tipos de panel dan la pauta a proponer elementos ligeros que pueden de fácil manejados por personal en la obra.

Por otro lado, definir el tamaño del panel es una cuestión compleja, se puede generar un tamaño base y plantear diferentes complementos complementarios. De acuerdo con Coreira (2018), en cuanto a la proporción, hay paneles de pared completa; paneles pequeños que colocados de manera horizontal o vertical van tapizando los muros para completarlo, similar a las técnicas constructivas a base de bloques, pero con unión en seco y elementos de mayor tamaño, y paneles longitudinales que van de piso a techo. En este sentido es posible tomar como referencia la medida estandarizada de los paneles comerciales de 122 x 244 cm, que a nivel de altura es una medida razonable para las construcciones habitacionales principalmente.

Sin embargo, para reducir de manera importante la generación de desperdicio que se logra con la construcción prefabricada, además de tomar como base la medida estandarizada y sus múltiplos, una herramienta que puede dar amplias posibilidades es el diseño paramétrico basado en esquemas algorítmicos que permite generar paneles a través de programas de modelado en computadora, y de este modo obtener el tamaño, la forma y el número de piezas exactas para construir un determinado edificio. Con ello se reduce la limitante en cuanto a forma y tamaño de los paneles y se puede obtener construcciones muy variadas e innovadoras, ventaja que ofrece la tecnología que puede ser retomada en la bioconstrucción. Como en los diversos diseños que presentan la empresa ecocon hechos con el sistema de paneles de paja (ver figura 4.4.)



Figura 4. 4 Proyectos de la empresa ecococon con sistema de paneles de paja
Fuente: <https://ecococon.eu/es/proyectos>

Otra característica importante a definir es el tipo de elementos de ensamble que tendrán los paneles, como se describe en el capítulo 3 se tienen las uniones panel-panel, panel-subtrama y panel estructura. Y los mecanismos de ensambles constan básicamente de hendiduras de acoplamiento y mecanismo auxiliares. Estos últimos resultan imprescindibles para la unión del panel con la estructura, mientras que las hendiduras de acoplamiento, además de la conexión de los elementos, pueden tener una función primordial al evitar la infiltraciones de aire y por tanto los puentes térmicos. Por lo tanto es recomendable incluir los dos tipos de elementos al diseñar el panel y las conexiones dentro del sistema.

4.2. Elección de materiales de los componentes

Una vez definido el tipo de panel y sus características el siguiente paso es definir de qué materiales será cada elemento. Este aspecto es clave para diseñar paneles enfocados en la bioconstrucción, que propicien verdaderas cualidades bióticas a los espacios. Para ello se plantea proponer en su mayoría materiales inocuos, sobretodos en las superficies expuestas del material, lo que sería la piel de la construcción. Por lo tanto, si se plantean materiales reciclados procedente de los hidrocarburos o de procedencia incierta en cuanto a su nivel de toxicidad, sería preferible incluirlos como elementos contenidos, es decir, que queden por dentro del panel, y si es posible que queden de forma encapsulada a manera de evitar el desprendimiento de partículas.

Por lo general los materiales de construcción son en su mayoría, materiales compuestos, es decir, incluyen diferentes materias primas en su composición. En

este sentido se identifican tres grupos de materiales de acuerdo a su función en un elemento, estos son: granulométrico/fibrosos (material suelto), de adhesión (conglomerantes, aglutinantes, etc.) y materiales rígidos.

En el primero grupo están los granulométricos, que se refiere a componentes triturados o granulados de la materia prima, es decir un material suelto, como la arena, paja triturada entre otros, utilizados para dar cuerpo a un elemento, que pueden brindar buenas propiedades aislantes, térmicas o acústicas, o pueden aportar cohesión a través de las diminutas fibras y geometría del material. En un segundo grupo están los aglutinantes y conglomerantes, cuya función es actuar como adhesivo y unir a los materiales granulométrico.

Y en un tercer grupo están los materiales rígidos resistentes. Que tienen buenas propiedades mecánicas y por tanto son apropiados para su aplicación en elementos rígidos en los paneles de tipo estructura celular y marco estructural. En la tabla 4.1 se pueden observar algunos ejemplos de los materiales de cada categoría de acuerdo a su procedencia: biosfera, litosfera y tecnosfera, de los cuales será necesario analizar su viabilidad para su aplicación en paneles.

Tabla 4. 1 Clasificación de materiales de acuerdo a su procedencia y función

	Granulométrico (cuerpo)	Aglutinante- conglomerante (adhesivo)	Rígido resistente (estructura)
Biosfera	<ul style="list-style-type: none"> - Triturado de materiales herbáceos - Lana de oveja - Corcho 	<ul style="list-style-type: none"> - Resinas naturales - Biopolímeros 	<ul style="list-style-type: none"> - Madera - Bambú
Litosfera	<ul style="list-style-type: none"> - Arena - Grava 	<ul style="list-style-type: none"> - Arcilla - Cal - Yeso 	<ul style="list-style-type: none"> - Piedra
Tecnosfera	<ul style="list-style-type: none"> - Pellets triturados de material reciclado 	<ul style="list-style-type: none"> - Cemento - Resinas a base de hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> - Metales - Plásticos

4.2.1. Materiales para cada tipo de panel

De acuerdo con las características de cada tipo de panel, los materiales a utilizar pueden variar de acuerdo a las cualidades que se desee resaltar del panel o la capa del mismo. Los materiales compuestos que comprenden un panel monolítico pueden ser el material base de los otros tipos de paneles como el sándwich o multicapa, cuya variante puede ser el espesor del elemento.

La primera tipología de paneles correspondiente a paneles monolíticos-homogéneos. En esta categoría entran básicamente dos tipos de materiales: los llamados hormigones (de tierra o concreto) y tableros aglomerados. Estos elementos constan por lo general de dos tipos de elementos: un material de adhesión que será el que actúe como adhesivo a través de un proceso químico o físico, que puede ser activado con agua o calor; y como segundo elemento utilizado en mayor porcentaje es el material granulométrico/fibroso.

En esta categoría se tienen diversos ejemplos de técnicas ya sea prefabricadas o in situ. En el caso del concreto u hormigón, el cemento actúa como conglomerante y los materiales de estructura o cuerpo son la arena y la grava, los cuales se activan mediante un proceso químico que actúa con agua. Por otro lado, el hormigón de tierra o muro de tapial es otro ejemplo de componente monolítico, en este caso la tierra en si contiene tanto el aglutinante (la arcilla), como el material granulométrico (la arena), aunque suele añadirse un porcentaje mínimo de cemento para mejorar su estabilidad. En los tableros aglomerados, de gran uso en la industria de la construcción, el material de estructura es la madera o la fibra con que estén fabricados y el material aglomerante suelen ser resinas procedentes de los hidrocarburos (que suelen ser toxicas) s alternativas son las resinas bio-basadas³.

³ Navarro, J. V., 2019. *Materiales compuestos con fibras naturales y bio-resinas*: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/257981-Materiales-compuestos-con-fibras-naturales-y-bio-resinas.html>

Dentro de los materiales homogéneos pertenecientes a la tecnosfera se puede incluir las placas de plástico de diferentes tipos. También una categoría particular son los materiales aislantes, que si bien son materiales por lo regular blandos y ligeros y difícilmente constituirían un panel por sí solo. Sin embargo, se fabrican a manera de placas o planchas que permiten un mejor manejo y que pueden ser parte de paneles compuestos. Ejemplo de esto están las fibras aislantes.

Los paneles a base de capas (tipo sándwich y tipo multicapa) se constituyen de diferentes capas de materiales homogéneos o monolíticos, en el caso del panel sándwich únicamente contiene un material aislante en el interior que constituye el mayor grosor del elemento y se recubre por ambos lados de placas de algún otro material. Ya sea aglomerado de madera, placa de plástico, metal, etc. Por otro lado, el panel multicapa como su nombre lo indica, está integrado por diferentes capas de materiales, que pueden actuar como estructura o como aislante.

El tipo de panel monolítico se podría considerar de una composición más simple con relación a los otros paneles. Aunque no se trata de un único material que lo integra, es un elemento sólido e integral que no tiene mayor complejidad. En los ejemplos analizados anteriormente, están los paneles hechos de concreto armado, y el caso del panel de tapial como ejemplo de bioconstrucción. Si bien, estos elementos se caracterizan por un elevado peso, actualmente existe un importante esfuerzo tanto en el área de investigación como a nivel empresarial por ofrecer concretos más livianos, con agregado ligeros como la arcilla expandida, materiales reciclados como diferentes tipos de polímeros, el concreto aireado, incluso hay propuestas con agregados de materiales herbáceos.

Las placas o paneles que pueden actuar como estructura, requieren tener una rigidez y resistencia, en cambio las capas cuya función es básicamente aislante es preferible que sean livianas para darle ligereza al panel completo y por tanto mayor manejabilidad. Por otro lado, los paneles tipo sándwich y multicapa parten de diferentes materiales monolíticos. Y la configuración se da mediante el

empalme de forma simple, un panel liviano y dos rígidos, en el caso del tipo sándwich, y diferente configuración de paneles en el de tipo multicapa.

El cuarto tipo de paneles, el panel de estructura celular probablemente sea el más susceptible a ser manufacturado de manera industrial, por lo menos la estructura reticular. Pues el principio que los rige es dejar diferentes huecos de aire en el interior. No obstante, también es posible su configuración a través de elementos lineales que permitan armar una retícula y generar una estructura de soporte hueca. Con materiales como la madera o el bambú y un proceso ordenado con herramientas adecuadamente calibradas puede ser una alternativa viable. El acabado final de este tipo de paneles está encaminado a un panel monolítico rígido que cierra ambas caras y se dejen los espacios huecos en el interior.

En tanto, los elementos de este tipo a base de procesos industrializados podrían ser mediante la manufactura de una retícula de plástico, polipropileno reciclado, o bien a través del fraguado de elementos de concreto reforzado con alguna fibra, lo cual podría dar pauta al uso de conglomerante a base de cal. Por otro lado, un elemento que puede ser aprovechado en este tipo de paneles son las tarimas industriales ya sea de madera o de plástico, lo que da pauta a incorporar el reciclaje en el diseño y fabricación de paneles.

4.2.2. Materiales de acabado

Los materiales de acabado son los que están en mayor contacto con los seres humanos, de manera análoga se podrían comparar con la piel humana. Y son los más susceptibles a desprender contaminantes, Compuestos Orgánicos Volátiles (COVS), dado a que en su mayoría contienen componentes derivados del petróleo.

Si bien existen diferentes tipos de acabados, en el contexto del presente trabajo de investigación, el Valle de Toluca, México, Los más Comunes son los revoques o aplanados a base de cemento arena para el exterior y yeso para el interior.

Uno de los principales requisitos del revestimiento consiste en lograr una máxima adherencia entre el mismo y el soporte a través de una similitud de rigideces. Por

su parte el soporte deberá ser lo suficientemente sólido para no desprenderse con el peso del revestimiento. (Castilla, 2004). El uso del material de revoque va a depender de las condiciones a que será expuesto un espacio arquitectónico. A grandes rasgos se podrían definir básicamente tres tipos de aplicación: exterior, interior y zonas húmedas.

En la bioconstrucción se promueve los revoques a base de cal y/ o arcilla, y al igual que ocurre con los materiales y elementos de tierra para construcción, como lo es el adobe, existen una serie de estabilizantes o mejoradores de diferente tipo para los revoques de estas características, estos se muestran en la tabla 1.

Tabla 3 Materiales para revoque

Origen	Materiales	Funciones	
Biosfera	Vegetal	Mucilago de cactáceas o suculentas	Hidrófobo
		Harina (engrudo)	Trabajabilidad y resistencia a la abrasión
		Aceite de linaza	Hidrofobo
		Fibra vegetal muy fina (de coco, paja o her)	Cohesividad
	Animal	Caseína o suero de leche	Hidrofobo
		Estiercol de vaca o caballo	Cohesividad
		Urea (orina de caballo)	Hidrofobo
		Cuajada magra (requeson)	Aglutinante
		Otras proteínas (sagre, huevo)	Aglutinante
Litosfera	Arena	Estructura	
	Arcilla	Aglutinante	
	Yeso	Aglutinante	
	Cal	Conglomerante	
Tecnosfera	Cemento	Conglomerante	
	Siliconato	Hidrofobo	
	Resina acrílica	Hidrofobo	
	Periodico desmenuzado (celulosa y borax)	Cohesividad	
	Gluconato de sodio	Cohesividad	
	Fibra de tela reciclada	Cohesividad	
	Fibra de polímero reciclada	Cohesividad	

En general una mezcla para un revoque debe contener un aglomerante o un conglomerante; un material que le dé estructura para evitar la pérdida de volumen al secarse; y agua. Estos elementos son lo básico y se puede ver en la mezcla de mortero cemento:arena. Sin embargo, como se observa en la tabla 1, existen una

gran variedad de componentes que se le pueden agregar a una mezcla para mejorar sus propiedades cuando se trata de un revoque a base de cal o arcilla.

El aglomerante se refiere a un material que endurece al secarse debido a las propiedades físicas del mismo material, en este grupo entran las arcillas y el yeso, que al humedecerse se ablandan nuevamente. En el caso de los conglomerantes son materiales que se endurecen por una reacción química como es el caso del cemento y la cal, que llevan un proceso de fraguado y por tanto permanecen solidos aun en contacto con el agua. La desventaja de la cal frente al cemento es que su proceso de endurecimiento completo es muy largo, pues alcanza su máxima dureza hasta los 3 años, y el cemento a los 28 días. Sin embargo, esto no limita su aplicación como revoque. “Lo más frecuente es utilizar conglomerantes tradicionales como cal o cemento (Castilla, 2004). Debido a una mayor rigidez que presentan estos materiales de acuerdo con Minke y Mahlke (2006), en su aplicación sobre paja se hace necesario un refuerzo con que puede ser con malla de fibra de vidrio o metálica.

En el caso de los adobes, por ejemplo, las opciones de fibra a agregar son más extensas, sin embargo, en el revoque el tamaño de las fibras es una limitante, pues sin importar si se trata de revoque fino o grueso, las partículas de fibra deben ser pequeñas. Una opción muy socorrida por los bioconstructores es el uso de excremento de caballo o de vaca, pues al ser animales con una dieta vegetariana, sus heces son con alto contenido de fibra de tamaño adecuado para su aplicación en un revoque.

4.2.3. Técnicas constructivas de referencia

En los sistemas constructivos prefabricados, los diferentes elementos de la envolvente arquitectónica, incluso de la estructura, se fabrican previamente y son colocados en obra en menor tiempo que en una construcción convencional. Estos sistemas tienen su origen en la época de la modernidad. Actualmente han cobrado una gran importancia, sobretodo en construcciones de gran altura. Su principal

características es el uso de materiales como el concreto, metales y plásticos o fibras sintéticas.

No obstante, en esta metodología se plantea retomar técnicas constructivas ancestrales para analizar sus características y materiales utilizados y poder aplicarlos en elementos prefabricados, en este caso paneles. Para lo cual se toman como referencia técnicas a base de tierra y materiales vegetales, procedentes de la biosfera y de la litosfera, materiales compatibles entre sí, los cuales tienen buenas cualidades bióticas. Lo que los hace propicios para su aplicación en construcciones saludables.

La tierra como material constructivo tienen diversas técnicas de aplicación, en diferentes estados de la mezcla: líquido, húmedo, plástico, y seco. Además una de las principales ventajas es que le da mayor durabilidad a materiales de rápida degradación, como lo son los herbáceos. Para esto, la tierra tiene que cubrirlos totalmente y secarse por completo. En la tabla 4.2 se muestran las diferentes técnicas y el nivel de plasticidad que implica cada una.

Tabla 4. 2 Técnicas de construcción con tierra

Técnica	Plasticidad
1. Excavar	Sólido y seco
2. Cubrir	
3. Llenar	
4. Cortar	
5. Compactar	Húmedo
6. Moldear	Plástico
7. Amontonar	
8. Modular	
9. Extrudir	Líquido
10. Dar forma	
11. Verter	
12. Aplicar	

Fuente: (Gatti, 2012)

Dentro de las técnicas constructivas con la tierra en estado sólido y seco están: excavar, que implica dar forma a una construcción generando los vacíos del espacio mediante la extracción de tierra; cortar, comprende la obtención de bloques de un terreno estable en cuanto a la compactación, dichos bloques se conocen como sillar; La técnica de cubrir se usa para cubiertas y el material se coloca sobre una estructura armada previamente, se ha encontrado su aplicación en lugares con climas extremos, pues su uso permite regular la temperatura debido a la inercia térmica que proporciona el material. Mientras que llenar comprende utilizar la tierra suelta para rellenar diferentes contenedores, aquí se incluye técnicas como el superadobe, que consta del relleno de costales, o incluso el relleno de botellas.

En las técnicas de compactar se realiza con tierra en estado húmedo, es decir, la tierra no llega a ser barro solo se moja lo que se conoce como humedad óptima. Estas técnicas incluyen el tapial y los Bloque de Tierra Compactada (BTC) principalmente. Por otro lado, están las técnicas con la tierra en estado plástico, es decir, barro, lo cual comprende una masa que se puede moldear, amontonar, modular o extrudir, en técnicas como el adobe y el cob. También están los entramados rellenos con barro plástico, como lo son el bahareque y estacas enrolladas.

Y por último, están las técnicas con tierra en estado líquido, éste se puede verter en un encofrado como ocurre con el concreto, o dar forma a través de una cimbra y esperar a su endurecimiento, se puede estabilizar con cal o cemento cuando se trata de la técnica de tierra vertida. El lodo líquido también se puede aplicar a través de bombeo en los muros en técnicas que comprenden un entramado de materiales vegetales que favorecen su adherencia. En combinación con materiales herbáceos se pueden lograr elementos con mayor contenido de materia vegetal, donde la tierra con agua se utiliza para mojar levemente el material y a través de la compactación lograr la adherencia de los diferentes componentes, esto ocurre en técnicas como la arcilla aligerada.

Por otro lado, la compactación es otra forma en que se utilizan los materiales herbáceos en técnicas constructivas tradicionales. Los fardos de paja en el sistema constructivo Nebraska es una técnica en seco que brinda excelentes propiedades de aislamiento térmico a las construcciones. Los muros tienen el grosor de los fardos de paja, 40 cm aproximadamente. Otra técnica con muros de menor espesor son los entramados ligeros de paja. No obstante, su composición con materiales herbáceos, que son de fácil degradación implica un recubrimiento que consolide el muro y lo proteja de los diferentes agentes dañinos.

4.3. Viabilidad técnica constructiva

Una vez decidido el tipo de panel que se pretende diseñar y elegidos los materiales que lo compondrán, el siguiente paso es comprobar la viabilidad técnica constructiva para la fabricación del panel. En este aspecto se definirá el proceso constructivo para su fabricación. Se deben tener presentes los requerimientos necesarios para lograr la resistencia mecánica requerida según la normatividad aplicable. De igual forma en lo referente a las cualidades de confort integral que se buscan, es necesario comprobar su comportamiento. Para ello se pueden realizar diferentes ensayos que darán un sustento del comportamiento del mismo.

4.3.1. Normatividad para paneles

De acuerdo a la aplicación que tendrá el panel en la envolvente, ya sea como elementos horizontales o verticales deberán cumplir lo estipulado por la Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014 de paneles para estructuras aplicados en sistemas constructivos. Esta norma define a los paneles como componentes con dos dimensiones mayores con respecto al espesor, que pueden ser elaborados en planta o a pie de obra, los cuales una vez instalados y terminados en la edificación conforman un elemento constructivo. Y se clasifican en tres tipos:

- Panel tipo I – para uso en muros
- Panel tipo II - para uso en losas de entepiso
- Panel tipo III - para uso en losas de techos

Los paneles deben cumplir diferentes especificaciones de acuerdo al tipo de panel respecto a: 1) resistencia a la compresión simple, 2) resistencia bajo carga lateral en el plano del muro, 3) resistencia al fuego, 4) resistencia de impacto para muros, 5) resistencia a carga uniformemente repartida y 6) resistencia a la flexión.

Paneles Tipo I

Especificaciones a cumplir

- **Resistencia a la compresión:** deben resistir un esfuerzo mínima axial a la compresión de 0.49 MPa (5 kg/cm²)
- **Resistencia bajo carga lateral en el plano del muro:** debe tener una resistencia mínima al cortante de 0.098 MPa (1 kg/cm²), o resistir una carga lateral mínima de 1.5 toneladas por cada metro de longitud de muro.
- **Resistencia al fuego:** deben tener una resistencia al fuego de como mínimo una hora en edificio de riesgo menor (edificios menores de 25 m de altura) y tres horas en edificios de riesgo mayor (edificios mayores a 25 m de altura), sin producir flamas, gases tóxicos o explosivos a una temperatura de 823 K (550°C)
- **Resistencia al impacto para muros:** deben resistir un impacto provocado por una masa de 50 kg liberada en forma de péndulo a una altura de 2.20 m y un Angulo de 45°, conservando su integridad estructural sin separación en ambas caras de la probeta, y una deflexión instantánea no mayor a 10 mm
- **Resistencia a carga uniformemente repartida:** deben resistir una carga de 981 Pa (100 kg/m² sin rebasar una flecha de L/360, donde L es la longitud del claro mayor.

Panel tipo II

- **Resistencia a la flexión:** deben resistir además de su propio peso terminado, una carga especificada por el fabricante, la cual no debe ser menor a una carga vertical uniformemente repartida de 1668 Pa. (170 kg/m²) multiplicado por un factor de carga 1.4, o que corresponde a 2335 Pa (238kg/m²), aplicada perpendicularmente al plano de la losa, sin rebasar una flecha de L/360, donde L es la longitud mayor.

- **Resistencia al impacto para muros:** deben resistir un impacto provocado por una masa de 50 kg liberada en forma de péndulo a una altura de 1.50 m si rebasar una flecha de $L/360$ donde L es la longitud del claro mayor, y recuperarse parcialmente de su deformación, pero conservando su integridad estructural.
- **Resistencia al fuego:** deben tener una resistencia al fuego como mínimo una hora sin producir flamas, gases tóxicos o explosivos a una temperatura de 823 K (550°C)

Panel tipo III

- **Resistencia a la flexión:** deben resistir además de su propio peso terminado, una carga especificada por el fabricante, la cual no debe ser menor a una carga vertical uniformemente repartida de 981 Pa. (100 kg/m²) multiplicado por un factor de carga 1.4, o que corresponde a 1373 Pa (140 kg/m²), aplicada perpendicularmente al plano de la losa, sin rebasar una flecha de $L/360$, donde L es la longitud mayor.
- **Resistencia al impacto para muros:** deben resistir un impacto provocado por una masa de 50 kg liberada en forma de péndulo a una altura de 1.50 m si rebasar una flecha de $L/360$ donde L es la longitud del claro mayor, y recuperarse parcialmente de su deformación, pero conservando su integridad estructural.
- **Resistencia al fuego:** deben tener una resistencia al fuego como mínimo una hora sin producir flamas, gases tóxicos o explosivos a una temperatura de 823 K (550°C)

Esta normatividad comprende los requerimientos mínimos que deberán tomarse en cuenta para que sea seguro su uso con relación a su estructura y de acuerdo con la aplicación que tendrá el panel, ya sea muro, losa de entepiso o losa de azoteas, pues al tratarse de elementos con diferente orientación y sometido a cargas distintas.

4.3.2. Normatividad y mediciones para un confort integral

La norma descrita anteriormente aplica específicamente para paneles. Sin embargo, hay otras normas de aplicación más amplia que pueden ser utilizadas también para validar las características del panel respecto a diferentes propiedades. De acuerdo con el proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-018-ENER-2011, aislantes térmicos para edificaciones, se identifican diversas normas para analizar diferentes propiedades de los materiales: densidad aparente, conductividad térmica, permeabilidad al vapor de agua y absorción y desorción de humedad (Ver tabla 4.3).

Tabla 4. 3 Normas de ensayos de diferentes propiedades de los materiales

Propiedad	Método de prueba
Densidad aparente	NMX-C-125-ONNCCE-2010; NMX-C-126-ONNCCE-2010; NMX-C-213-ONNCCE-2010; NMX-C-258-ONNCCE-2010
Conductividad térmica	NMX-C-181-ONNCCE-2010; NMX-C-189-ONNCCE-2010
Permeabilidad al vapor de agua	NMX-C-210-ONNCCE-2010
Adsorción de humedad y absorción de agua	NMX-C-228-ONNCCE-2010

Fuente: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5209380&fecha=15/09/2011

Lo que se plantea en el diseño de los paneles es lograr un confort integral, que brinde tanto condiciones bióticas como armónicas de confort sensorial a los espacios. Por lo que deben analizarse sus propiedades electromagnéticas, higrotérmicas, térmicas y acústicas principalmente, que implican mediciones de permeabilidad de ondas de diversos tipos.

Ensayos de las propiedades electromagnéticas

La contaminación electromagnética en los espacios ocurre por diferentes tipos de ondas que confluyen en él, las cuales pueden de origen natural o artificial, y pueden provenir del exterior u originarse directamente de interior del edificio

debido al uso de artefactos que funcionan con energía eléctrica y de las tecnologías de la comunicación. Existen diversos aparatos que pueden medir el grado de alteraciones que inciden en un lugar, ya sea las provenientes del subsuelo o las que provienen del exterior.

Para detectar la contaminación electromagnética existen medidores de frecuencia, una marca alemana de estos productos se conoce como Gigahertz solutions (ver imagen 4.5), que tienen gran amplitud de medida y detectan la contaminación causada por aparatos eléctricos y la provenientes del exterior. Para la medición del campo electromagnético terrestre se utilizan brújulas y magnetómetros lo cuales, de acuerdo con Bueno (1994), son como una brújula electrónica de mucha precisión.

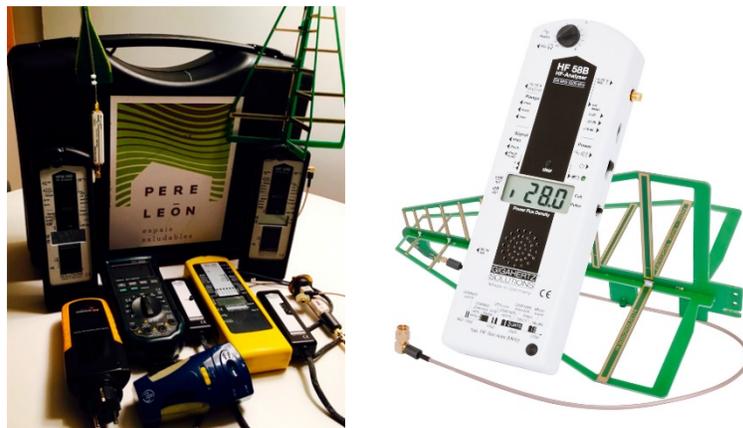


Figura 4. 5 Aparatos de medición de alteraciones de radiofrecuencia
Fuente: <https://www.pereleon.com/> y <https://www.gigahertz-solutions.de/en/>

Para detectar las alteraciones del subsuelo, se realizan las mediciones con el magnetometro y con la ayuda de un software como el Geomram BPT 5020, se lleva la información a gráficos tridimensionales que indican la intensidad electromagnética detectada y dan pauta a identificar visualmente las zonas de mayor alteración (ver figura 4.6). La medida que se obtienen se mide en nano Teslas (nT) que indica la intensidad mediante la densidad de flujo magnético. Y teniendo en cuenta el grado de inferencia, que es “la longitud de la sección de medición entre las dos posiciones respecto al valor mínimo y máximo” (Gómez, 2015), se obtiene el grado de perturbación en nT/m. En cuanto a la permeabilidad

de las ondas procedentes del exterior, se detectan mediante medidores de alta y baja frecuencia.

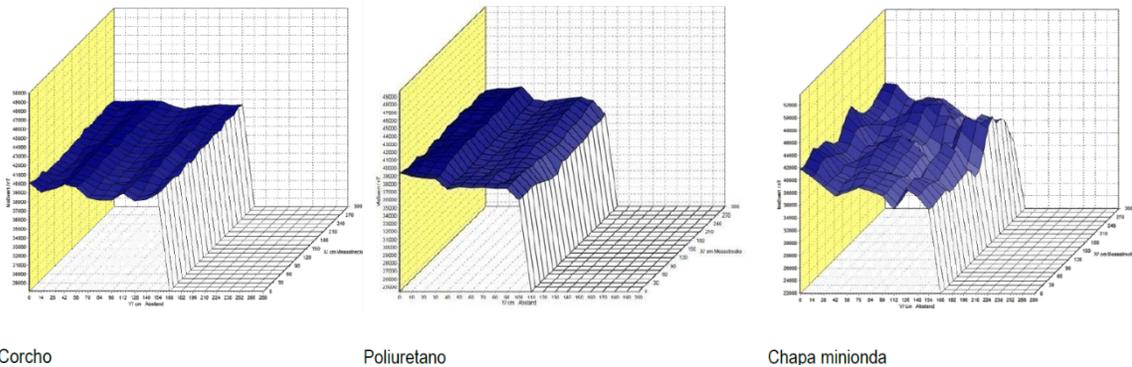


Figura 4. 6 Medición de niveles de alteración con diferentes materiales
Fuente: (Gómez, 2015)

Gómez (2015) realiza un estudio sobre la incidencia de los campos electromagnéticos procedentes de la tierra y la factibilidad de amortiguamiento con diferentes materiales. Para ello se analizan: corcho aglomerado negro y OSB (Oriented Strand Board)⁴ de origen vegetal con diferente grado de procesamiento; tableo rígido de poliuretano (derivado del petróleo, y chapa minionda, material metálico. “El procedimiento de la medición consiste en primer lugar en localizar sobre un terreno natural un lugar con una alteración terrestre significativa y sobre este mismo lugar colocar el material seleccionado y medir el campo magnético terrestre sobre cada uno de los materiales” (Gómez, 2015).

Con relación a este estudio se identifica que en la mayoría de los casos, el corcho que tiene el menor grado de procesamiento mantiene la alteración al mismo nivel que el terreno o incluso la baja en algunos casos, el OSB y el poliuretano tienden a elevar un poco la alteración, mientras que el panel de chapa minionda aumenta drásticamente la alteración. En la tabla 4.4 se resumen los resultados del estudio a manera de comparativa.

Tabla 4. 4 Medición de intensidad electromagnética en diferentes materiales

⁴ Superficie formada por continuas capas de virutas de madera encoladas y prensadas en la misma dirección

Superficie de medición	Espesor mm	Densidad (kg/m ³)	Conductividad Térmica (W/m. °K)	Grado de perturbación (nT/m)					
				Firme de concreto			Terreno natural		
				1	2	3	1	2	3
Terreno/ firme de concreto				1,615.3	3,817.3	1,664.3	8,434.9	6,321.8	1,177.6
Panel de aislamiento de corcho negro aglomerado	60	140	0.39	1,558.3	3,937.8	2,839.7	3,494.0	4,727.2	1,247.9
Panel OSB	16	650	0.14	2,198.6	3,637.2	1,782.8	8,358.0	5,856.0	1,046.8
Panel OSB	32	650	0.14	-	-	-	-	4,666.3	1,325.8
Panel de aislamiento rígido de poliuretano	80	80	0.029	3,485.3	2,327.2	3,884.1	6,296.0	8,204.6	1,603.8
Panel de chapa minionda	1	1140	58	8,594.3	12,440.0	13,431.9	12,555.2	-	-

Fuente: elaboración propia con base en Gómez (2015)

En la práctica, cuando no se cuenta con la instrumentación precisa, se recurren a métodos intuitivos con instrumentos sencillos, aplicando lo que se conoce como la radiestesia. Con lo cual, dependiendo de la experiencia de la persona, se pueden identificar las líneas Hartman y Curry, así como las diferentes geopatías que existen (fallas, venas de agua, etc.) Y a partir de los datos recabados se genera un plano donde se ubican las alteraciones terrestres

Ensayos de propiedades térmicas

El confort térmico de los espacios está determinado en gran parte por las cualidades de los materiales que lo constituyen, los cuales absorben almacena y transmiten energía calorífica en diferentes grados, que va de lo más caliente a lo más frío. Sin embargo, la velocidad de transmisión de calor de un material es determinante para crear espacios confortables térmicamente. A esto se le conoce como conductividad térmica, y en este sentido hay materiales conductores y materiales aislantes.

Los materiales con mayor conductividad térmica son los metales, que se calientan rápidamente al exponerse a una fuente de calor, pero de igual forma se enfrían con rapidez al retirarla. Estos generan ambientes totalmente inestables térmicamente, por lo que son poco recomendables en superficies de contacto. Los materiales aislantes tienen un flujo de calor más lento y el aire se considera el elemento de menor conductividad. La densidad puede ser un indicador de la conductividad, pues los materiales livianos por lo general contienen aire en su interior encapsulado herméticamente. Las mediciones que se realizan en este

aspecto a los materiales es la conductividad térmica, a partir de ello se puede calcular la inercia térmica.

Para la medición de la conductividad térmica, un método de ensayos es mediante el analizador de conductividad térmica C-Therm TCi, el cual “emplea la técnica de fuente de plano transitorio modificado (MTPS) para caracterizar la conductividad térmica y la efusividad de los materiales. Emplea un sensor de reflectancia de calor interfacial unilateral que aplica una fuente de calor constante momentánea a la muestra” (TAL, 2019). En la tabla 4.5 se puede observar algunas la conductividad térmica de algunos materiales.

Tabla 4. 5 conductividad térmica de algunos materiales de construcción

Materiales	Conductividad Térmica (W/m² °C)
Aire	0.02
Fibra de vidrio	0.03
Corcho	0.04
Lana mineral	0.04
Bambú (diámetro menor a 15mm)	0.04
Bambu (diámetro mayor a 15 mm)	0.07
Madera prensada	0.07
Madera seca	0.12
Madera	0.14
Tezontle	0.16
Agua	0.50
Adobe	0.50
Tierra seca	0.50
Ladrillo	0.60
Ladrillo	0.63
Vidrio	1.25
Concreto	1.50
Piedra	1.56
Concreto	1.70
Acero	60.00

Fuente: (Cedeño, 2010)

La inercia térmica depende de la conductividad térmica de los materiales, su calor específico y su masa térmica, e indica el tiempo que tarda en fluir el calor acumulado en un elemento. Un material con alta inercia térmica brinda un

amortiguamiento al interior frente a las temperaturas extremas. “la inercia térmica expresa la magnitud del efecto que tiene un material para amortiguar y retardar la temperatura máxima en el interior de un espacio en relación con la temperatura exterior” (Cedeño, 2010). El espesor y la densidad del material determinan la inercia térmica de un material, muros gruesos y macizos tienden a acumular más energía calorífica, por lo tanto tienen alta inercia térmica.

Ensayos de las propiedades higrotérmicas

La gestión de la humedad en los materiales de construcción es esencial para lograr espacios saludables, para lo cual es necesario el uso de materiales higroscópicos, sobre todo en el material que queda expuesto, es decir el de acabado. “Es importante que los materiales de revestimiento puedan adsorber y desadsorber humedad en estado de vapor y de este modo regular la humedad relativa de los espacios interiores” (Coutinho, 2012).

Para comprobar las capacidades higroscópicas y de transpirabilidad de los materiales las mediciones a realizar son: la permeabilidad al vapor de agua con base en los métodos de prueba que establece la Norma NMX-C-210-ONNCCE-2010; y la adsorción de humedad y adsorción de agua del material, con base en la norma NMX-C-228-ONNCCE-2010.

Los ensayos de permeabilidad de los materiales consisten en someterlos a un ambiente controlado de diferencias de presión para generar flujo del vapor de agua a una temperatura de 23°C con 50% y 80% de humedad relativa, para determinar el coeficiente de trasmisión de vapor de agua. A partir de la condensación del vapor que ocurre en el interior del material (intersticial), se realizan las mediciones tomando como referencia el peso. Para ello, las muestras a ensayarse deben estar completamente secas, lo cual se logra metiéndolas al horno a una temperatura arriba de los 100 °C, hasta que se tenga un peso estable.

Tabla 4. 6 Contenido de humedad de diversos materiales

Materiales	Densidad aparente	Contenido de humedad 23°C y 50% de humedad atmosférica relativa			Contenido de humedad 23°C y 80% de humedad atmosférica relativa		
	(kg/m ³)	(kg/kg)	(Kg/m ³)	(Kg/m ²) d -2 cm	(kg/kg)	(Kg/m ³)	(Kg/m ²) d -2 cm
Fibra de vidrio y lana de roca	30	0.004	0.120	0.002	0.005	0.150	0.003
Espuma de poliuretano	20	0.020	0.400	0.008	0.030	0.600	0.012
Vermiculita suelta	70	0.010	0.700	0.014	0.020	1.400	0.028
Perlita expandida suelta	100	0.010	1.000	0.020	0.020	2.000	0.040
Arcilla expandida suelta	300	0.010	3.000	0.060	0.020	2.000	0.040
Lana de oveja	25	0.130	3.250	0.065	0.220	5.500	0.110
Celulosa suelta	50	0.100	5.000	0.100	0.200	10.000	0.200
Placas de corcho	100	0.050	5.000	0.100	0.070	7.000	0.140
Tablero blando de fibra de madera	200	0.100	20.000	0.400	0.160	32.000	0.640
Tablero ligero de viruta de madera	400	0.060	24.000	0.480	0.100	40.000	0.800
Placa de yeso	800	0.005	4.500	0.080	0.010	9.000	0.180
Placa de perlita	250	0.020	5.000	0.100	0.030	7.500	0.150
Ladrillo	1400	0.006	8.400	0.170	0.010	14.000	0.280
Hormigón celular	700	0.022	15.400	0.310	0.035	24.500	0.490
Hormigón	2000	0.011	22.000	0.440	0.018	36.000	0.720
Madera Maciza	600	0.090	54.000	1.080	0.150	90.000	1.800
Mortero cal y cemento	1800	0.050	90.000	1.800	0.080	144.000	2.880

Nota: d = profundidad del material aplicado a una superficie

Fuente: (Martínez, 2020)

Ensayos de las propiedades acústicas

Los sonidos a los que se propagan tanto en el interior como en el exterior de un edificio viajan en forma de ondas en el espacio e inciden sobre la superficie de los diferentes elementos constructivos que conforman una envolvente. El comportamiento de las ondas del sonido dependerá del material y la micro geometría de estos elementos, es decir, si se trata de un material poroso o de un material liso. Con materiales porosos es posible una mayor absorción del ruido para disiparlo, mientras que materiales lisos y de poro cerrado tienden a reflejar mayor cantidad de sonido, dando lugar a fenómenos de resonancia

Todo sonido, cuando sobrepasa el límite del confort auditivo para el ser humano es importante atenuarlo. "El aislamiento acústico es la atenuación que sufre un sonido al atravesar un elemento constructivo (Neila, 2004) El aislamiento acústico de un material se puede evaluar de diversas maneras

Si bien, se identifican tres formas de propagación del ruido (aéreo, de impacto y de vibración), se tienen básicamente dos elementos de propagación, el aire y el material. En el caso del ruido a través del aire será necesario evitar los puentes fónicos⁵, para ello, el sistema constructivo y las uniones de los elementos tienen un papel muy importante. En cuanto a los materiales de la envolvente arquitectónica y su comportamiento frente al ruido tanto interior como exterior “para impedir las molestias sonoras, hay que respetar dos principios: impedir la transmisión favoreciendo el aislamiento, o impedir la reflexión favoreciendo la absorción” (Bueno, 1994). Por consiguiente, el parámetro a tener en cuenta en relación al confort acústico es el coeficiente de absorción de los materiales, lo cual determinará su grado de aislamiento.

El aislamiento acústico específico de un elemento constructivo es la diferencia entre el nivel de intensidad de la onda incidente y el nivel de intensidad de la onda transmitida (Neila, 2004) Mientras que el coeficiente de absorción es la relación entre la energía absorbida y la energía incidente, que de acuerdo con Rougeron (1977) se explica en la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{I_a}{I}$$

I_a = energía absorbida

I = energía incidente

Tanto la absorción acústica como el aislamiento son aspectos aplicables al acondicionamiento de unos espacios para lograr confort acústico. El aislamiento implica una barrera para el paso de las ondas sonoras de un espacio a otro, que puede ser del exterior al interior. Mientras que la absorción acústica se refiere a la capacidad que tiene un material para dejar pasar las ondas sonoras a través de sus poros en el interior y convertirlas de energía cinética a energía térmica, lo que contribuye a disipar el sonido de un espacio a otro. Por consiguiente, el grado de absorción de un material será determinante para conocer el nivel de aislamiento que puede ofrecer. Y para ello será necesario saber el coeficiente de absorción de los materiales a proponer en la propuesta de panel.

⁵ Al igual que en el acondicionamiento acústico, hay puentes térmicos, donde se da la pérdida de calor, de acuerdo a Bueno (1994), en lo referente al sonido existen los puentes fónicos.

Ante una onda sonora que choca directamente con el material de construcción, puede tener diferente comportamiento, de acuerdo con sus cualidades y la frecuencia de la onda. A grandes rasgos, parte de la onda sonora es reflejada, y otra es absorbida, y de esta última, parte se disipa en forma de calor y otra parte llega al otro lado del muro. Por tanto, un material aislante tendrá un bajo coeficiente de absorción, lo cual no tiene relación necesariamente con su densidad, como ocurre con el aislamiento térmico. El elemento aislante por excelencia es el aire (ver tabla 4.7), y en materiales ligeros, el contenido de aire en su interior puede favorecer en gran medida a reducir el paso de sonido de un muro a otro.

Tabla 4. 7 Coeficiente de absorción de diversos materiales según su frecuencia

Material	Frecuencia (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Airea a 20 °C y 50 % HR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.020	0.007	0.028
Butaca tapizada	0.050	0.100	0.100	0.200	0.200	0.250	0.250	0.200
Cortina de tela	0.050	0.070	0.150	0.400	0.450	0.500	0.550	0.400
Enlucido de Yeso	0.040	0.040	0.060	0.060	0.080	0.050	0.060	0.060
Hormigón	0.010	0.010	0.010	0.020	0.020	0.030	0.030	0.030
Ladrillo	0.050	0.040	0.050	0.030	0.040	0.060	0.050	0.050
Lana mineral 5 cm	0.100	0.150	0.450	0.650	0.750	0.800	0.800	0.800
Moqueta	0.100	0.100	0.200	0.250	0.350	0.300	0.300	0.300
Mármol	0.050	0.050	0.050	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
Techo acústico típico	0.200	0.350	0.500	0.700	0.700	0.800	0.750	0.700
Techo de escayola	0.200	0.200	0.150	0.100	0.050	0.050	0.050	0.050
Pavimento plástico	0.050	0.050	0.100	0.100	0.100	0.050	0.050	0.050
Persona sentada	0.150	0.100	0.100	0.200	0.200	0.250	0.250	0.200
Vidrio	0.080	0.170	0.070	0.040	0.030	0.030	0.020	0.020

Fuente: (Neila, 2004)

Para la medición del coeficiente de absorción existen diversos procedimientos válidos, uno de ellos es mediante el tubo de impedancia “donde un parlante proporciona la energía en forma de sonido y un micrófono se encarga de medir la disipación de esta en el material de prueba” (Castañeda & Gonzalez, 2004), El equipo requerido para estos ensayos es: un tubo de resonancia, una fuente emisora de sonido y un osciloscopio, con los datos obtenidos es posible calcular el

coeficiente de absorción. Este procedimiento está avalado por la norma internacional ASTM C384-98

4.4. Evaluación de calidad saludable ecológica

Como último paso del proceso metodológico es la evaluación de la propuesta de panel. Con lo cual se tendrá un criterio sobre su grado de ecológico y saludable. Como se ha descrito anteriormente, todo material constructivo presenta impactos de una u otra forma, en este sentido lo que se busca es realizar propuestas de paneles que tengan impactos negativos realmente bajos en los diferentes aspectos: nivel de gradación al medio ambiente y el agotamiento de recursos; emisiones contaminantes y efectos nocivos para la salud.

Para obtener una evaluación lo más objetiva posible y en términos cuantitativos, es preciso analizar diferentes parámetros, en los diferentes aspectos que lo constituyen: composición, comportamiento y ciclo de vida. Para ello se recurre a asignar valores numéricos que van del uno al cinco, y se evalúan aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. De esta forma es posible tener un criterio más acertado para elegir una combinación de materiales u otra en el diseño y desarrollo del panel.

Si bien, la valoración es por material, al variar el tipo de panel, la composición de materiales es diferente, por lo tanto, será necesario ponderar los valores resultantes, de acuerdo al porcentaje de participación de cada material en volumen. De igual manera, tomando en cuenta que se tienen materiales que quedan expuestos, lo que constituye la piel del edificio y otros que quedan contenidos dentro del panel, se le dará mayor peso a los primeros, con lo cual se propone una relación 60/40, donde el material correspondiente a los primeros 2 cm de ambos lados valdrá el 60%, con relación al material que queda en el interior del panel.

4.4.1. Composición

En el caso de la composición del material los parámetros son cualitativos, y se tienen tres pautas a evaluar. Toxicidad, procedencia de los materiales y

disponibilidad de los recursos. Los parámetros en cuanto a la toxicidad del material del que este hecho es panel se basan en identificar si el material que se propone tiene algún riesgo para la salud, con base en la tabla 1 del anexo 3, Los agentes nocivos son muy variados, sin embargo como aspecto principal es necesario identificar si el material contiene elementos sintéticos como resinas, disolventes, lacas, metales pesados, entre otros, con efectos nocivos para la salud.

En este sentido se plantean Asignar el valor de 1 a aquellos que tengan un toxico identificado. Se dará un valor de 3 a los materiales con probabilidad de contenido de tóxicos, por ejemplo si se utiliza paja u otro material herbáceo procedente de desecho de una cosecha que probablemente fue fumigada con pesticidas, este caso está latente la presencia de tóxicos. Finalmente, los materiales que sean considerados inocuos en cuanto al contenido de toxicidad tendrán una valoración de 5 puntos.

La valoración del

Tabla 4. 8 Parámetros de valoración en cuanto a la composición del panel

Valor	Componentes tóxicos	Procedencia de los materiales	Disponibilidad de los recursos
5	Sin tóxicos	Biosfera	Renovables/ abundantes
4			No renovables /abundantes
3	Probabilidad de tóxicos	Litosfera	Renovables/ limitados
2			Reciclados (no renovable abundantes)
1	Con tóxicos identificados	Tecnosfera	No renovables /limitados

Fuente: Elaboración propia

En el segundo aspecto, la procedencia de los materiales da indicios del nivel de procesamiento que pueden tener, aquellos procedentes de la tecnosfera, por

ejemplo, indican un nivel de procesamiento y transformación de la materia prima. Los procedentes de la litosfera, que comprenden la extracción del subsuelo, también implican un gasto energético intermedio. Finalmente los procedentes de la biosfera implican el procesamiento y el gasto energético más bajo. Por lo tanto, para la asignación de valor se considera: biosfera 5, litosfera 3 y tecnosfera 1.

En lo referente a la disponibilidad de los recursos se toma en cuenta la abundancia y la regeneración o reposición de estos, es decir, si son renovables o no renovables. En este sentido se identifican cinco grupos, a los que se les asigna valor del 1 al cinco respectivamente. En el primer grupo se encuentran los materiales no renovables y limitados, aquí se encuentran los metales y los hidrocarburos, pues a diferencia de los minerales no metálicos, no son tan abundantes.

En segundo lugar, están los materiales reciclados, que podrían considerarse no renovables abundantes, procedentes de la tecnosfera. En tercer lugar están los renovables limitados, como la madera, que aunque hay abundancia de árboles, su tiempo de reposición es muy largo. En el cuarto grupo están los no renovables pero abundantes, que son los que abundan en las diferentes capas de la corteza terrestre, los minerales no metálicos (arcilla, arena, cal, etc.). Finalmente los materiales renovables abundantes, donde entran los materiales vegetales, que suelen ser de producción anual.

4.4.2. Comportamiento

En cuanto al comportamiento, como se describe en la parte normativa de este capítulo, se tienen diversas propiedades de los materiales que pueden definir el grado de confort que brindara. En el caso de las propiedades electromagnéticas, se tienen pocos datos al respecto en cuanto al grado de permeabilidad admisible para generar espacios confortables y de bajo riesgo para la salud. Sin embargo, para determinar la valoración en cuanto a estas propiedades se toma en cuenta las características de los materiales y su comportamiento frente a diferentes tipos de radiaciones.

Con este respecto se tienen tres grupos de materiales 1) los materiales duros, que son buenos conductores de las radiaciones alteradas y no frenan su ascensión en la vertical hacia pisos superiores (grava silicea, granito, cuarzo, hierro); 2) Materiales neutros, buenos conductores de las radiaciones fundamentales favorables para la vida, y reducen sensiblemente la radiación de radiación modificada no biológica (piedras y gravas calcáreas, cal, ladrillos, tejas y arcillas, barro cocido a 950°C), y 3) materiales de origen vegetal, actúan frenando las radiaciones alteradas y en algunos casos evitan sus subida hacia niveles superiores (madera, corcho).

Tabla 4. 9 Parámetros de valoración en cuanto al comportamiento del panel

Valor	Electromagnéticas	Térmicas	Acústicas	Higrotérmicas
5	Materiales neutros	< 0.10	> 0.80	> 0.80
4		0.50	0.60	0.60
3	Materiales vegetales	1.25	0.40	0.40
2		1.70	0.20	0.20
1	Materiales duros	> 2.00	< 0.10	< 0.10

Fuente: elaboración propia

Las propiedades térmicas determinan la velocidad en que un material pasa el calor, que va de lo caliente a lo frío, en este, sí se toma como referencia el agua, la tierra y el adobe, con excelentes propiedades térmicas pues, evitan cambio bruscos de temperatura y se calientan paulatinamente. Los cuales, de acuerdo con Cedeño (2010), tienen un valor de conductividad térmica de 0.50, Mientras que el aire considerado el mejor aislante térmico que hay, tienen un valor de 0.02. Y en casos extremos, los metales tienen un valor superior a 50.

Por consiguiente, para asignar la valoración a las propiedades térmicas de los materiales se toma como parámetro un valor de 5 para los materiales que tienen una conductividad térmica por debajo del 0.10. Se le asigna valor de 4 a los materiales que rondan en los 0.50. Se le asigna un valor de 3 a los materiales con conductividad térmica alrededor de 1.00, un valor de 2 para aquellos materiales

que fluctúan en el 1.50. Y finalmente un valor de 1 para aquellos que tienen conductividad térmica por encima de los 2 puntos.

En cuanto a las propiedades acústicas, la medida de valoración es el coeficiente de absorción de sonido, puesto que es un parámetro importante para definir la cantidad de sonido que llega a un espacio. Mientras más se acerque a 1 este valor, tendrá mejores propiedades acústicas. Por tanto se tiene como referencia el vidrio como el material que menos absorbe el sonido con un valor por debajo del 0.10, y en lo opuesto un material de aislamiento acústico como puede ser la lana mineral o un techo acústico, los cuales llegan a tener un valor de hasta 0.80 de coeficiente de absorción.

Las propiedades higrotérmicas en lo referente a la absorción y desorción de la humedad, se considera la cantidad de agua por metro cuadrado en una superficie de 2 cm de espesor. Para asignar una valoración, se tienen como referencia materiales como el mortero de cal y cemento, y la madera sin tratamiento como los de mayor absorción de agua, superando el litro por metro cuadrado y en el caso del mortero casi alcanza los tres litros de agua (ver tabla 4.6). Mientras que los opuestos en este aspecto son materiales sintéticos como la fibra de vidrio y espuma de poliuretano que mantienen valores menores de 0.010 litros por metro cuadrado, Materiales de poro cerrado que sellan herméticamente la superficie de aplicación y por consiguiente no absorben cantidades significativas de agua.

Para determinar un valor en la escala linkert en las propiedades higrotérmicas con la adsorción de humedad, se consideran la humedad inicial y la final en diferentes porcentajes de humedad en el ambiente (50% y 80%), y se obtiene la diferencia de ambos valores. Se asigna la calificación de acuerdo al valor ascendente, del 0 al 1, con base en la tabla 4.6. En cuanto a la desorción de humedad, las mediciones serán opuestas, es decir, se obtienen el contenido de agua del material a una humedad del ambiente de 80% y una segunda medición sería a una humedad del 50% o menor, y la asignación de valor sería de la misma manera, del 0 al 1. La segunda medición es importante, porque algunos materiales, como los

morteros de cemento tienden a acumular mucha humedad pero la liberan más lentamente que en el caso de un mortero de tierra.

4.4.3. Ciclo de Vida

El ciclo de vida de cualquier producto implica el análisis de los procesos que van desde la extracción de la materia prima hasta su destino final al término de su vida útil. En este proceso implican diversos parámetros a tomar en cuenta para determinar su impacto, en los cuales se evalúa el consumo de agua y el gasto energético, responsable de las emisiones contaminantes. Para una valoración más objetiva en esta metodología se plantea el gasto energético en dos sentidos, como se menciona en el capítulo 2, por un lado la fabricación, por otro lado el transporte al sitio de utilización.

Tabla 4. 10 Parámetros de valoración en cuanto al ciclo de vida material

Valor	Consumo energético: fabricación	Consumo energético: transporte	Fin de su vida útil
5	Crudo Extracción superficial	<10 km	Biodegradable
4	Compactado Cosechado con maquinaria De extracción profunda	20 km	
3	Secado en horno	50 km	Reciclable
2	Cocción o fundición a temperaturas < 1000°C	100 km	
1	Cocción o fundición a temperaturas > 1000°C	>100 km	No reciclable

Fuente: elaboración propia

El primer aspecto en cuanto al consumo energético es referente a la fabricación. Si bien, no se tienen con certeza un estudio de cada material en cuanto al gasto energético que implican, se tienen algunos parámetros a tomar en cuenta para la asignación de valor, Los materiales que son sometidos a elevadas temperaturas ya sea para su cocción o fundición (en el caso de los metales).

La forma en que se fabrica un material da indicios del gasto energético que requieren, y a partir de esa observación se plantea la evaluación con respecto al consumo energético en el aspecto a su fabricación. La cocción o fundición de los materiales implica someterlos a altas temperaturas, lo cual requiere el uso de grandes cantidades de combustible de diferente origen que generan importantes emisiones de CO² en el ambiente.

Algunos materiales requieren cocción por encima de los 1000°C, el Clinker que contiene el cemento, por ejemplo, requiere una temperatura de 1400° aproximadamente. A estos materiales se les asignará el valor de 1 en la calificación. Mientras que aquellos que requieren menor temperatura se les asigna un valor de 2. Por otro lado, algunos materiales también son sometidos a altas temperaturas para lograr su secado, como el caso de la madera, en este caso se le asignara el valor de 3. Los materiales que son cosechados con maquinaria y/o son sometidos a compactación, o de extracción profunda se le asignaran el valor de 4. Y por último, aquellos materiales que se utilizan en crudo, de extracción superficial, incluso fabricados a mano tendrán la más alta valoración, con un puntaje de 5.

En cuanto al consumo energético respecto al transporte, es un aspecto difícil de medir, pues puede caer en lo ambiguo. Puesto que si un material se obtienen de una comercializadora de materiales cerca del lugar de construir, no se sabe con certeza el recorrido que tuvo dicho material. En este caso, sería importante investigar la ubicación de las fuentes directas del material más cercanas, es decir, ubicar aserraderos, minas de materiales no pétreos, fábricas, etc., para no fiarse del lugar de comercialización del material.

Si se toma en cuenta que los paneles serán de uso en el ámbito urbano, lo ideal sería utilizar materiales obtenidos a 10 km a la redonda como máximo, a los cuales se les asignara un valor de 5. El segundo grupo serian materiales de hasta 20 km de distancia con valor de 4. A los obtenidos de hasta 50 km de distancia se les asignara un valor de 3. Y aquellos obtenidos a una distancia como máximo de

100 km tendrán un valor de 2. Finalmente aquellos que superen los 100 km tendrán valor de 1.

En relación al fin de ciclo de vida, la valoración se asigna de la siguiente manera: los materiales biodegradables tendrán un valor de 5, pues un material que al finalizar su vida útil es reincorporado al ecosistema natural y cierra el ciclo; los materiales reciclables tendrán un valor de 3, y finalmente los materiales que no se tienen claro la forma en que se pueden reciclar o no son propicios para ello, se les asigna un valor de 1.

Con todos estos aspectos se tienen diez parámetros para evaluar cada material que contenido en el panel. Se debe realizar la valoración para cada uno de los materiales. Y se ponderará de acuerdo a la participación en porcentaje de volumen de cada material. También es importante clasificar los materiales internos del panel, y aquellos que quedan expuestos y representan los 2 cm de profundidad del panel, es decir, aquellos que analógicamente sería la piel, los materiales de acabado. Los cuales tendrán mayor valor. Los materiales internos representan un 40% en la evaluación, mientras que los materiales de acabado un 60%. Sumando ambos valores se obtendrá una calificación de en escala de 1 al 100. La tabla 4.11 representa la ficha de evaluación donde se completaran los datos que definirán la valoración del panel.

Tabla 4. 11 Ficha de evaluación de la calidad saludable y ecológica del panel

		Material interno (40%)			Material de acabado (60%)		
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Composición	Elementos tóxicos						
	Procedencia de los materiales						
	Disponibilidad de los recursos						
Comportamiento	Adsorción y desorción de humedad						
	Conductividad térmica						
	Coefficiente de absorción						
	Conductividad eléctrica						
Ciclo de vida	Gasto energético: fabricación						
	Gasto energético: transporte						
	Fin de su vida útil (Reciclable /biodegradable)						
Porcentaje de uso (en volumen)							
Subtotal							
Total							

Fuente: elaboración propia

Lo que se busca con esta metodología es tener parámetros claros para diseñar paneles que reduzcan considerablemente el impacto ambiental. No obstante, se tiene claro que es prácticamente imposible obtener materiales con cero impacto, porque no hay material perfecto, cada uno tendrá su pro y sus contras. En este sentido, retomando la escala Linkert, para definir el grado de ecológico y saludables del panel propuesto.

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA: DISEÑO DE UN PANEL

Con la metodología desarrollada se plantean diferentes configuraciones de paneles a partir del análisis en las diferentes fases del proceso, la fase uno y dos consiste en el diseño del panel tanto de forma como de acabados. La fase tres comprende todo los ensayos a realizar para determinar sus características y su comportamiento con base en los parámetros para lograr a un confort integral. La cuarta y última fase implica la valoración del panel propuesto con relación a tres aspectos: composición, comportamiento y ciclo de vida. Este capítulo comprende la aplicación de la metodología propuesta.

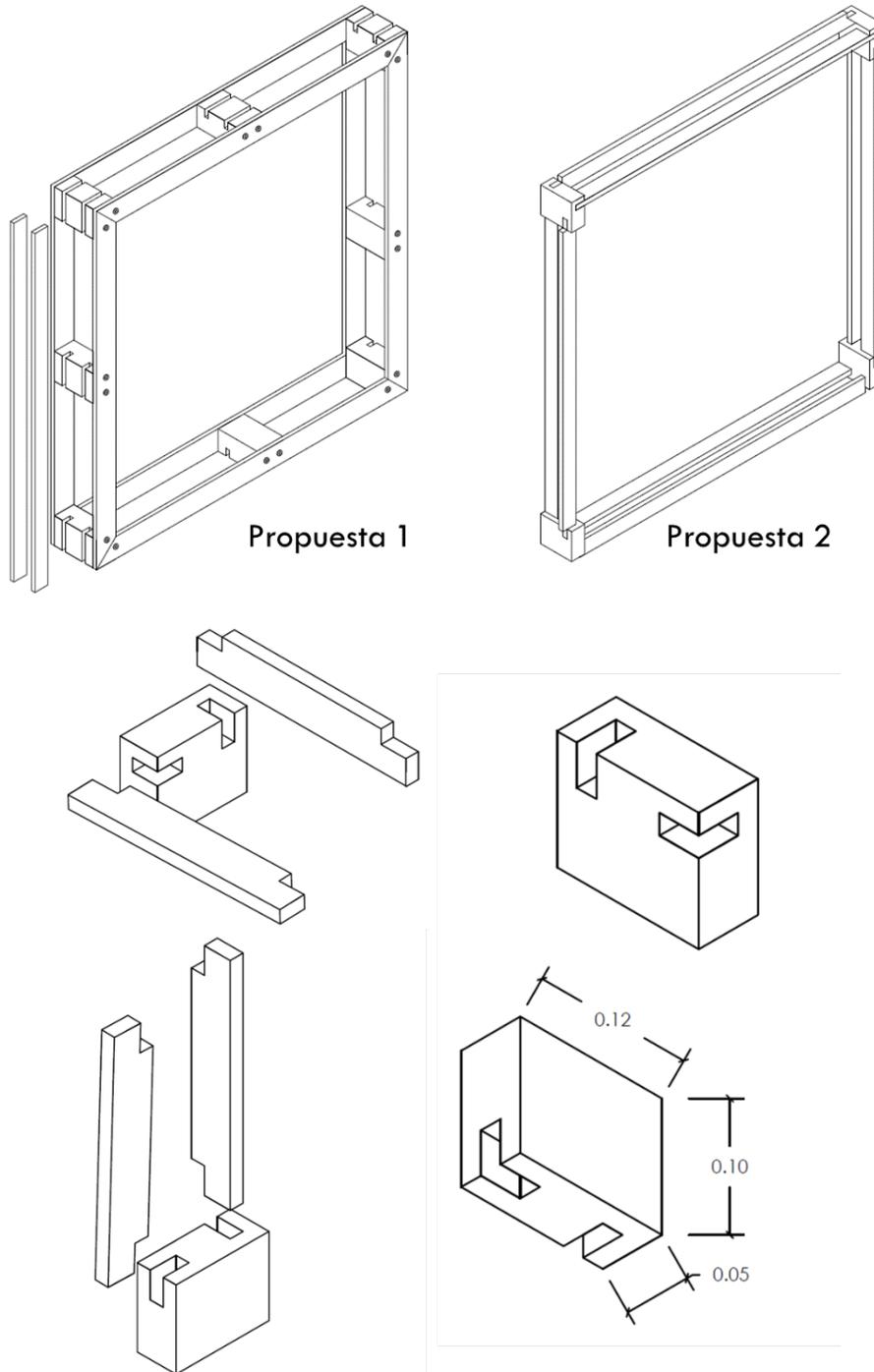
5.1. Descripción del panel

El diseño del panel comprende la fase uno y dos de la metodología, que implica la elección del tipo de panel y la propuesta de materiales con que se fabricara. En este caso se elige realizar un panel de tipo marco estructural, cuya composición integra tanto elementos monolíticos como lineales con un material de acabado de revoque.

5.1.1. Diseño del panel

Se desarrollan dos propuestas de panel del mismo tipo, marco estructural. La primera de ellas consta de elemento de conexión en esquina e intermedios para constituir el marco y las conexiones a base de elementos externos de material moldeables (plástico reciclado). El interior del panel se plantea a base de paja, arcilla y cal. En esta primera propuesta se plantea la colocación me malla metálica hexagonal colocada en ambas caras del panel para una mejor contención del material. y finalmente el recubrimiento aplicad una vez unidos los paneles y configurado el muro.

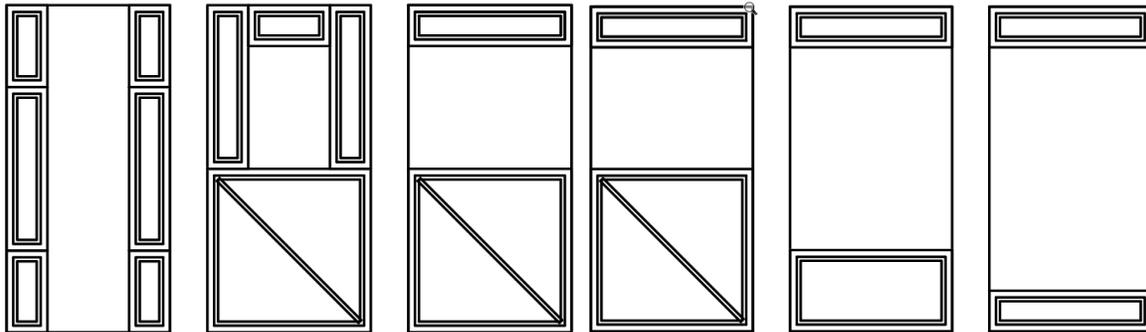
La segunda propuesta muy similar, lo que cambia son las conexiones, pues se plantea solo conexiones para el marco en las esquinas y las intermedias únicamente cuando se trata de un elemento que va de piso a techo. Las conexiones con otros paneles son parte integral del elemento y del mismo material. En esta propuesta se elimina el uso de la malla, y el material de acabado se coloca directamente sobre el material del interior. en la figura 5.1 se muestra el marco de ambas propuestas.



*Figura 5. 1 Propuestas de marco para panel
Fuente: elaboración propia*

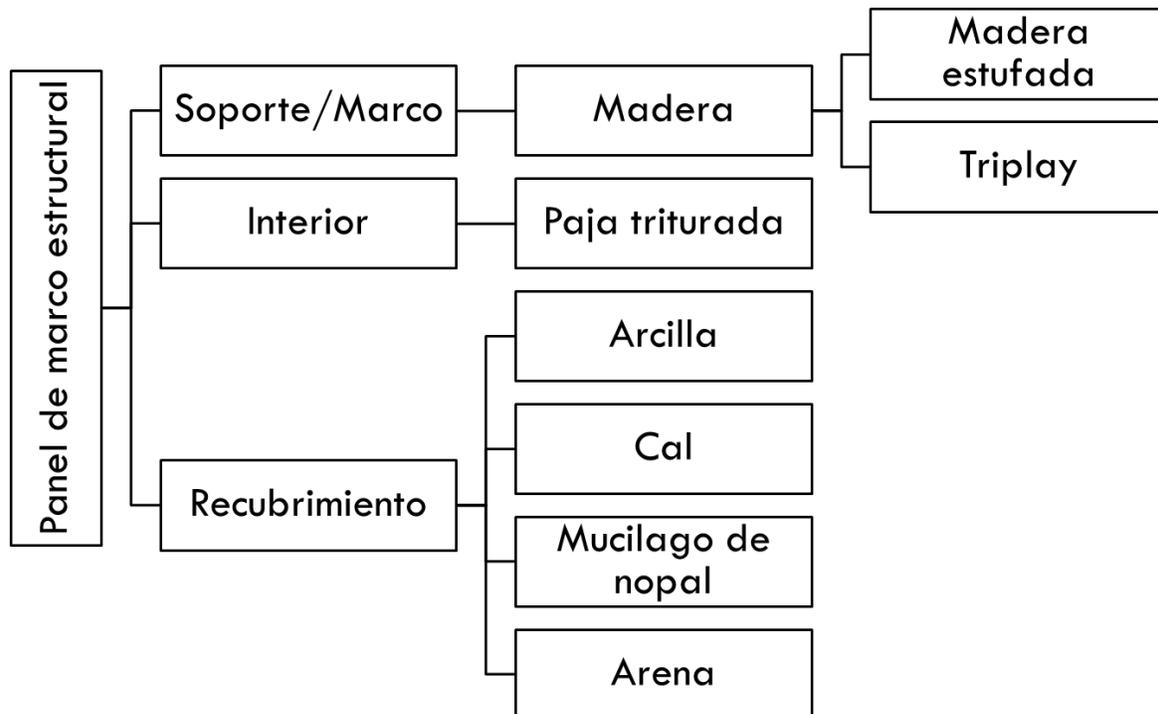
El diseño de las propuestas de panel y las conexiones se trata de bloques con diferentes medidas, fraccionadas compatibles con 1.22 x 2.44, es decir, con lo cual se puede adaptar a los requerimientos del espacio arquitectónico. Y a diferentes

vanos de ventana. Esta es una propuesta de aproximación, sin embargo se tiene presente la alternativa de utilizar la tecnología con el diseño paramétrico que ofrecen algunos software, con lo que se pueden obtener formas y tamaños muy variados (ver figura 5.2).



*Figura 5. 2 Alternativas de configuración de muro con ventana
Fuente: elaboración propia*

Para el desarrollo del panel se retoma como técnica de referencia la arcilla aligerada, donde el elemento principal es la paja, material que es humectado por arcilla en estado líquido, y requiere una compactación para genera un material denso y sólido. Este material constituiría la parte interna del panel. El marco que contendrá el materia será de madera de pino estufada, que se usara para las conexiones, y triplay, material compuesto de varias capas de madera delgada pegadas entre sí, se eligió este material porque está fabricado en la media estándar de 1.22 x 2.44, con lo cual se lograra mayor control de calidad en las medidas de las piezas. Por otro lado, el material de acabado será un revoque de arena cal y mucilago de nopal. En la figura 5.3 se presenta un esquema con los materiales a utilizar en cada componente del panel.



*Figura 5. 3 Propuesta de materiales para caso de estudio
Fuente: elaboración propia*

Se buscó proponer materiales en su mayoría que provinieran de la biosfera y la litosfera. En el caso de las conexiones de la primera propuesta se opta por plástico reciclado, conectores metálicos y malla de refuerzo, los cuales provienen de tecnosfera pero su ocupación es mínima. En la segunda propuesta, en cambio, las conexiones del panel son a través de hendiduras del mismo material, para lo cual se diseñaron las laterales mediante dos tiras de madera colocados en diferente dirección.

5.1.2. Descripción de los materiales a utilizar

Los diferentes materiales elegidos se obtuvieron principalmente de establecimientos comerciales dentro de la ciudad (maderería, casa de materiales, etc.). Sin embargo, para tener un mayor criterio en cuanto al impacto de los mismos, se busca la fuente de procedencia más cercana y se estima la distancia del lugar de procedencia al lugar de fabricación y colocación. .

Paja

Se utiliza paja de avena obtenida en municipios cercanos a Toluca con alta actividad agrícola. Se tritura a un tamaño de partícula máximo de 5 cm y un contenido de humedad por debajo de 15%. El trayecto de obtención es de 30 a 40 km de distancia.

La cal

Se utilizará cal hidráulica comercial para uso en la construcción, que se obtiene en sacos de un proveedor cercano. Sin embargo, la fábrica de cal más cercana se localiza a 80 km aproximadamente de la ciudad.

Arcilla

La arcilla se obtendrá de manera local en Toluca o sus cercanías, se obtendrá tierra para uso como material de base en las terracerías. Dicha tierra se cribará con una malla fina para retirar el contenido de arena y partículas mayores. El contenido de la tierra se clasifica de acuerdo con el tamaño de sus componentes “partículas con diámetros menores a 0.002 mm se denominan arcilla, entre 0.002 y 0.06 mm limo, y entre 0.06 y 2 mm arena. Partículas mayores se denominan grava y piedra” (Minke, 1994, p. 23). Con base este criterio, se pretende obtener lo más fino posible de la tierra, que es la arcilla. Tal como se utiliza para revoques finos en acabados. En cuanto al radio de obtención del material, no rebasa los 10 km.

Arena

La arena se obtiene de una casa de materiales ubicada en la ciudad de Toluca, sin embargo, las minas de materiales pétreos más cercanas se ubican en el municipio de Calimaya a una distancia de poco más de 20 km.

Madera

La madera que se utilizara es de primera de pino estufada, para tener mayor control del contenido de humedad y evitar la existencia de nodos que pudieran debilitar la el marco. Mientras que nos elementos longitudinales se realizaran con triplay de 1” de espesor, para tener mayor control de calidad en cuanto a las dimensiones exactas. Se obtiene de una maderería ubicada dentro de la ciudad. El aserradero más cercano se ubica a 30 km aproximadamente de distancia.

Mucilago

El mucilago se obtiene de nopal crudo, el cual se obtienen de un mercado local. Sin embargo, es un producto agrícola y la zona más cercana de obtención es en un poblado ubicado a 50 km aproximadamente de distancia. El mucilago se puede obtener tanto por cocción o en seco con el macerado de trozos de nopal durante varias horas.

Plástico reciclado

El plástico se plantea obtenerlo de fábricas cercanas en la ciudad que se dedican al reciclaje. Si bien es un producto de procedencia desconocida, al ser un producto que se reincorpora a su uso, se considera la distancia de obtención referente a la fábrica, que es de 10 km aproximadamente.

5.2. Diseño experimental

El desarrollo experimental a llevar a cabo es con base en la propuesta de diseño del panel constructivo de marco estructural, cuyo material contenido será una mezcla de paja, arcilla y cal. En la ilustración 1 se muestra el diseño de panel y las fases del proceso.

En relación a la norma mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014, que establece las especificaciones que deberá cumplir el panel (ver tabla 1), se consideran los ensayos a realizar y los valores que se deberán alcanzar. La primera fase de experimentación será para determinar las proporciones adecuadas para el interior del panel, que es la mezcla de paja, arcilla, cal y agua o mucilago de nopal. Por lo tanto, en esta primera fase se tomarán como referencia solo los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión.

Tabla 5. 1 Norma mexicana para paneles

Ensayo	Panel tipo I	Panel tipo II	Panel tipo III
Resistencia a la compresión	0.49 MPa (5 kg/cm ²)	NA	NA
Resistencia a la flexión	NA	1668 Pa (170 kg/m ²)	981 Pa (100 kg/m ²)
Resistencia bajo carga lateral en el plano del muro	0.098 MPa (1 kg/cm ²)	NA	NA
Resistencia al fuego (a temperatura de 823K-550°C)	F60 Edificios ≤ 25 m de H F120 Edificio > 25 m de H	F60	F60
Resistencia al impacto para muros	Deflexión ≤ 10 mm	Flecha ≤ L/360	Flecha ≤ L/360
Resistencia a carga uniformemente repartida	Flecha ≤ L/360	NA	NA

Fuente: elaboración propia con base en NMX-C-405-ONNCCE-2014

Otros datos útiles a conocer en la experimentación de la mezcla de relleno son: la densidad, para determinar qué tan liviano o pesado será; el tiempo de secado, la absorción y desorción de humedad una vez seca la mezcla, la cohesión, la contracción por secado. En la tabla 5.2 se especifican las variables independientes y dependientes.

Tabla 5. 2 Variables independientes y dependientes

Variables independientes	Variables dependientes
<ul style="list-style-type: none"> • Paja • Arcilla • Cal • Agua • Mucilago 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión • Resistencia a la flexión • Densidad • Tiempo de secado • Absorción de humedad • Desorción de humedad • Conductividad térmica • Coeficiente de absorción acústica • Conductividad eléctrica

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Hipótesis del comportamiento de los materiales

Con base en las variables de la tabla 5.2 se tienen las siguientes hipótesis:

1. A mayor proporción de paja (en volumen) mayor resistencia a la flexión y mayor módulo de elasticidad. (Hipótesis correlacional)
2. A mayor cantidad de paja menor densidad y mayor resistencia a la compresión. (Hipótesis causal)
3. A mayor cantidad de arcilla mayor relación de poisson y menor resistencia a la compresión (Hipótesis causal)
4. A mayor cantidad de arcilla mayor cohesión y mayor contracción por secado. (Hipótesis causal)
5. Las mezclas realizadas con mucilago presentan menor absorción de humedad y menor tiempo de secado que la mezcla con agua. (Hipótesis de diferencia de grupos)
6. A cantidades iguales de cal y arcilla en la mezcla, menor contracción por secado y mayor resistencia a la compresión. (Hipótesis causal)
7. Las mezclas realizadas con arcilla y cal presentan mayor cohesión y menor contracción por secado que las mezclas realizadas solo con arcilla. (Hipótesis de diferencia de grupos)

Para la propuesta de proporciones de los materiales a utilizar se tomará como referencia algunas técnicas constructivas a base de tierra, en este caso el adobe, cuya mezcla es muy similar a otras técnicas como el bajareque o el cob. “La tierra utilizada como material es un material compuesto, análogo al hormigón ordinario. Gracias a su cohesión interna, la arcilla hace el papel de argamasa, mientras que la arena hace de esqueleto interno” (Bardou & Arzomanian , 1986). Al separar los componentes de la tierra como material de construcción, el principio es que sí se deja la arcilla al separar la arena mediante el proceso de cribar, la paja en este caso sería a su vez el material de esqueleto, la que de cuerpo en lugar de la arena. Y se logrará un material más liviano.

Si bien, en el adobe se suelen utilizar materiales estabilizadores para dar mayor cohesión y resistencia, en este caso la misma paja sería el material de esqueleto y de cohesión. La cal en tanto puede actuar como material cementante (que reforzará a la arcilla) y como regulador de humedad por sus propiedades

higroscópicas. La técnica tradicional que utiliza estos principios lleva por nombre paja encofrada o barro alivianado con paja.

Ahora bien, para la propuesta de las proporciones en la experimentación se tomara en cuenta las proporciones que sugieren algunos autores. “La arcilla sólo debe existir en un porcentaje limitado en el hormigón de tierra: debe ser inferior al 20%. La proporción de arena debe ser superior al 45%” (Bardou & Arzomanian , 1986). En este caso, que se busca un material liviano, la proporción de paja se sugiere de un 75 % a 90%, con variaciones de propuestas con o sin cal y como material humectante agua o mucilago. Y la proporción de arcilla estará entre 10% y 20%.

5.2.2. Diseño de experimentos con mezclas

El diseño de experimentos con mezclas es aquel en “el que los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla. Las variables de respuesta dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes en la mezcla y no de la cantidad mezclada” (Gutiérrez & De la Vara, 2008). Este método tiene dos postulados: el primero indica que las proporciones tienen que ser cantidades entre cero y uno, y el segundo condiciona a que la suma de postulados (variables independientes) sea igual a uno.

Tabla 5. 3 Propuesta y cálculo de proporciones

Peso volumetrico (kg/m3)	Proporciones (%)			Proporciones (kg/m3)			Total (kg/m3)	Proporciones de la unidad (kg)		
	120*	1500**	1000***	Paja	Arcilla	Cal		Paja	Arcilla	Cal
Mezcla	Paja	Arcilla	Cal	Paja	Arcilla	Cal		Paja	Arcilla	Cal
1	90%	10%	0%	108	150	0	258	0.42	0.58	0
2	85%	15%	0%	102	225	0	327	0.31	0.69	0
3	80%	20%	0%	96	300	0	396	0.24	0.76	0
4	85%	10%	5%	102	150	50	302	0.34	0.50	0.16
5	80%	15%	5%	96	225	50	371	0.26	0.61	0.13
6	80%	10%	10%	96	150	100	346	0.28	0.43	0.29
7	75%	20%	5%	90	300	50	440	0.21	0.68	0.11
8	75%	15%	10%	90	225	100	415	0.22	0.54	0.24
9	75%	10%	15%	90	150	150	390	0.23	0.385	0.385

Fuente: elaboración propia

Con los rangos de proporciones descritos anteriormente se tiene que el contenido de paja llega hasta el 90%, la arcilla nunca es menor de 10%, ni mayor al 20 %.

Así el contenido de cal permite diversas variaciones. En total se proponen nueve mezclas. En la tabla 4 se muestra la tabla para llegarla con los resultados de las variables dependientes. La cantidad de líquido a utilizar será el óptimo para una mezcla manejable y se considerará la misma cantidad para cada mezcla.

Tabla 5. 4 Registro de resultados

Mezcla	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉
1	0.42	0.58	0									
2	0.31	0.69	0									
3	0.24	0.76	0									
4	0.34	0.5	0.16									
5	0.26	0.61	0.13									
6	0.28	0.43	0.29									
7	0.21	0.68	0.11									
8	0.22	0.54	0.24									
9	0.23	0.385	0.385									
x1 = Paja	y ₁ = Resistencia a la compresión			y ₄ = Tiempo de secado			y ₇ = Conductividad térmica					
x2 =Arcilla	y ₂ = Resistencia a la flexión			y ₅ = Absorción de humedad			y ₈ = Coeficiente de absorción					
x3 =Cal	y ₃ = Densidad			y ₆ = Desorción de humedad			y ₉ = Conductividad eléctrica					

Fuente: elaboración propia

Para definir las propiedades e identificar el proceso de fabricación del panel constructivo, se plantea en un primer acercamiento, realizar la experimentación por separado en cada uno de los elementos que constituyen el panel de marco estructural: marco, elemento interior y elemento de acabado. Para los dos últimos aplica el diseño de mezclas. Se plantea en una segunda fase realizar los ensayos pertinentes a un panel de dimensiones reducidas.

5.2.3. Mezclas para material de acabado

Para el material de acabado se propone un mortero pensado en su uso en exteriores a base de cal, mucilago de nopal y arena, que tenga un buen desempeño frente a diferentes formas de humedad a que se está expuesto. La propuesta se plantea hasta el recubrimiento del material, la pintura como tal no entra dentro del alcance del presente trabajo de investigación.

Las proporciones planteadas a utilizar en cuanto a la mezcla para el repellado es de 1:3 de cal: arena, humectado con un 30% de mucilago de nopal en relación al volumen.

5.3. Experimentación

La propuesta de mezclas realizadas en este proyecto está enfocadas a constituir el material de relleno del panel y el material de acabado. La primera mezcla se realizó para el material de relleno. Los porcentajes de material a utilizar se consideraron en peso. En el caso de la arcilla se cribó en una malla del No. 50, la paja se cribó en una malla del No. 200. La experimentación se realizó en el Laboratorio de Materiales Avanzados en la Facultad de Química, de la UAEM. Mientras que el marco de madera se realizó en el taller de madera de la Facultad de Arquitectura y Diseño.

Previo a la realización de los especímenes de ensayo se realizó la caracterización de la tierra, ya que no se optó por un material estandarizado y se obtuvo de diferentes sitios. Por lo tanto, se identificó la tierra con mayor cantidad de arcilla, a través de ensayos cualitativos (prueba de la galleta, caída de la bola, granulometría, tacto, etc., ver en anexo 4). Se obtuvieron cinco tipos de arcillas diferentes. A partir de la caracterización de la tierra se optó por la arcilla 3, que indicó un buen contenido de arcilla. En la figura 5.4 se muestran las arcillas que se utilizaron y el ensayo de la galleta donde se observó el agrietamiento de la arcilla que indica un contenido importante de arcilla, que se idéntica debido a un mayor agrietamiento en la pieza de ensayo.

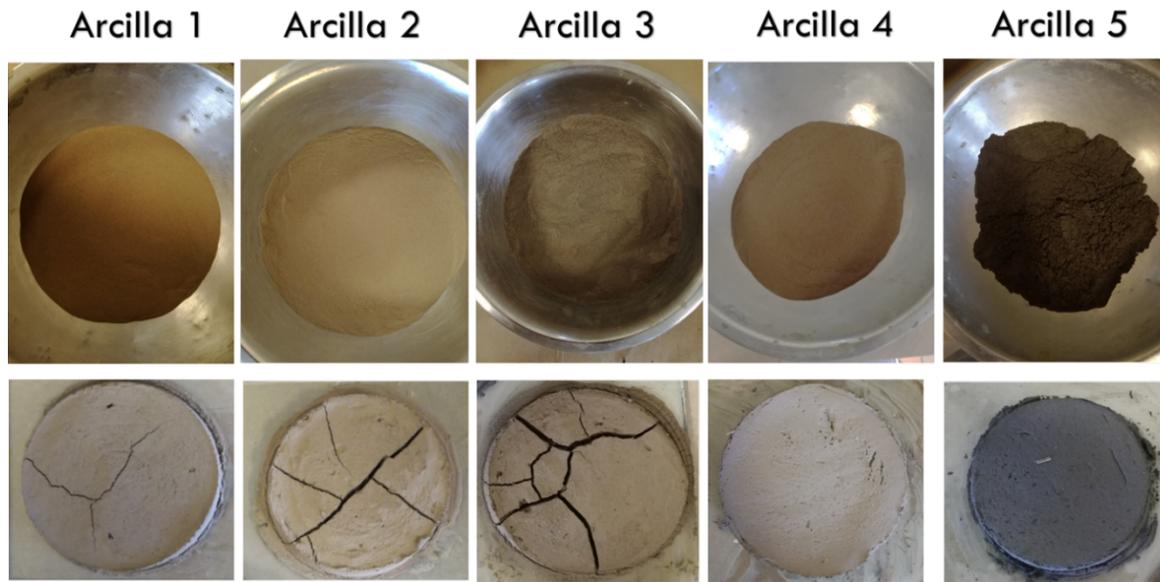


Figura 5. 4 Caracterización y ensayos cualitativos de la arcilla
Fuente: Fotografías propias

Una vez elegida la tierra a utilizar se procedió a realizar las diferentes mezclas y, para las cuales se utilizaron lo equivalente de agua a la mitad del peso total de los materiales, y se procedió a mezclarlos con una mezcladora de laboratorio (ver figura 5.5). Con las mezclas resultantes se realizaron especímenes de tamaño 160 x 40 x 40 mm. Los cuales se utilizaron para realizar ensayos mecánicos y térmicos.



Figura 5. 5 Proceso de realización de las mezclas
Fuente: fotografías propias

En el caso del marco del panel se realizó un espécimen en dimensiones 40 x 30 cm. Dimensiones aptas para ser ensayado en una maquina universal del pruebas mecánicas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UAEMex., se utilizaron diferentes maquinarias para realizar en corte: Sierra de banco para los cortes longitudinales, sierra circular para dimensionar las piezas, Sierra cinta para

los diferentes saques de los elementos longitudinales; y finalmente una fresadora para realizar los saques de los elementos de conexión. En la figura 5.6 se observa parte del proceso para la fabricación del marco.



*Figura 5. 6 Fabricación de marco para panel
Fuente: Fotografías propias*

También se realizaron especímenes de ensayo para el material de acabado del panel, donde se utilizó mucilago de nopal y agua para realizar el mortero de cal y arena, se realizaron mezclas con diferentes proporciones. El mucilago se obtuvo de dos formas: la primera se obtuvo de forma líquida mediante el macerado del nopal troceado durante un periodo de 24 horas de acuerdo con Pérez, (2015), y la segunda mediante un proceso a base de someter el nopal troceado y en agua a fuego, por debajo del punto de ebullición y llevarlo agitarlo durante dos horas, posteriormente el líquido obtenido se llevó a charolas de aluminio y se metió al horno a una temperatura de 90°C durante 12 horas aproximadamente, hasta que se secó por completo, de tal manera que se obtuvo un 20 gr de polvo del mucilago por cada kilo de nopal. Se descartó el segundo método por el bajo rendimiento y los largos periodos sometidos a calor, lo que implica un importante gasto energético. En la figura 5.7 se muestran algunas fotografías del proceso de fabricación de los especímenes para el material de acabado.



Figura 5. 7 proceso de elaboración de mezclas para material de acabado
Fuente: Fotografías propias

Fue posible medir las propiedades térmicas del material de relleno, Gracias a una estancia de investigación realizada en la universidad de Oviedo en España. En este aspecto se realizaron dos tipos de ensayos, el primero fue la medición de la conductividad térmica y el calor específico de los elementos de dimensiones 40 x 40 x 160 mm, que se realizó mediante el equipo de medición analizador de conductividad térmica TCI⁶. Donde se tomó medición de la cara lateral y de la cara inferior de cada espécimen. En la figura 5.8 se muestra el proceso de realización de los ensayos.

⁶ El analizador de conductividad térmica TCI de C-therm es una tecnología de última generación para medir la conductividad y la efusividad térmica de los materiales utilizando un sistema de Ensayo no Destructivo. El instrumento TCI se basa en la técnica modificada de fuente plana transitoria, contemplada en la norma ISO/DIS22007-2.2



*Figura 5. 8 Ensayos de conductividad térmica
Fuente: fotografías propias*

Los segundos ensayos fueron una simulación de un ciclo de calor y frío, mediante una adaptación para una hotbox de una pequeña nevera, donde realizo un panel a escala realizado con siete especímenes de ensayos. Para ello se utilizaron sensores de tipo SHT75 para medir la humedad y temperatura colocada en los diferentes especímenes. Se corrió el ciclo durante siete horas donde se tomaron mediciones a cada 30 segundos. En la figura 5.9 se puede apreciar parte del proceso.



*Figura 5. 9 Ensayos de ciclo de calor y frío
Fuente: fotografías propias*

Con los ensayos realizados se pudo obtener la conductividad térmica y estimar el comportamiento del material en un ciclo simulado de día y noche.

5.4. Resultados

Con base en la experimentación que se logró llevar a cabo, en relación a la propuesta de panel, se tienen algunos resultados respecto a las propiedades mecánicas y térmicas, Lo cual brinda elementos para determinarla viabilidad técnica constructiva del elemento. Por otro lado, con base en la metodología, en la fase cuatro que establece la evaluación de la calidad ecológica y saludable, se

realiza la valoración de los materiales tomando en cuenta los parámetros referidos en el capítulo anterior.

5.4.1. Resultados de la experimentación

Para conocer las propiedades mecánicas del material, los especímenes del material de relleno se sometieron a ensayos de compresión con lo cual se determinó la mezcla más apropiada para el material de relleno del panel de acuerdo a la resistencia a la compresión. Se eligió la segunda mezcla Paja-Arcilla-Cal 85%-10%-5%. Además de acuerdo a los resultados el peso que tendría con estas proporciones se acerca a lo que Minke (1994) considera el peso mínimo para elementos aligerados con arcilla que son 600 kg/m^3 . Si bien hacen falta aproximadamente 15 gr para alcanzar este peso, es posible ajustarlo con un proceso de fabricación de los paneles más racionalizado.

En cuanto al número de mezclas propuestas, se ajustó de acuerdo a lo observado durante la experimentación, dado que las mezclas sin cal daban lugar a la proliferación de moho en las piezas y con base en la densidad solo se consideraron aquellas con un porcentaje de paja de 80 a 90%. En la tabla 5.5 se pueden apreciar los resultados de cada una de los especímenes ensayados.

Tabla 5. 5 Resistencia a la compresión de las mezclas del material del interior

Mezcla	Peso (g)	Resistencia a la compresión kg/cm ²	Densidad kg/m ³
90% 5%5% ja/arcilla/ cal	130	38.5	507.8
	125	30.8	488.3
	120	34.6	468.8
35% 10%5% ja/arcilla/ cal	150	36.5	585.9
	145	39.4	566.4
	150	35.6	585.9
30% 15%5% ja/arcilla/ cal	175	31.7	683.6
	180	37.5	703.1
	180	33.6	703.1
0% 10%10% ja/arcilla/ cal	170	37.5	664.1
	175	32.7	683.6
	180	36.5	703.1

Fuente: elaboración propia

Se realizaron tres ensayos por mezcla para determinar la resistencia a la compresión, los cuales obtuvieron resistencia entre los 30 y los 40 kg/cm². lo cual entra dentro de los parámetros de un adobe tradicional, pues de acuerdo con Minke (1994), la resistencia a la compresión del adobe esta entre 5 y 50 kg/cm². En la figura 5.8 se muestra una gráfica que representa los valores de resistencia a la compresión que arrojaron los especímenes ensayados con las diferentes mezclas.

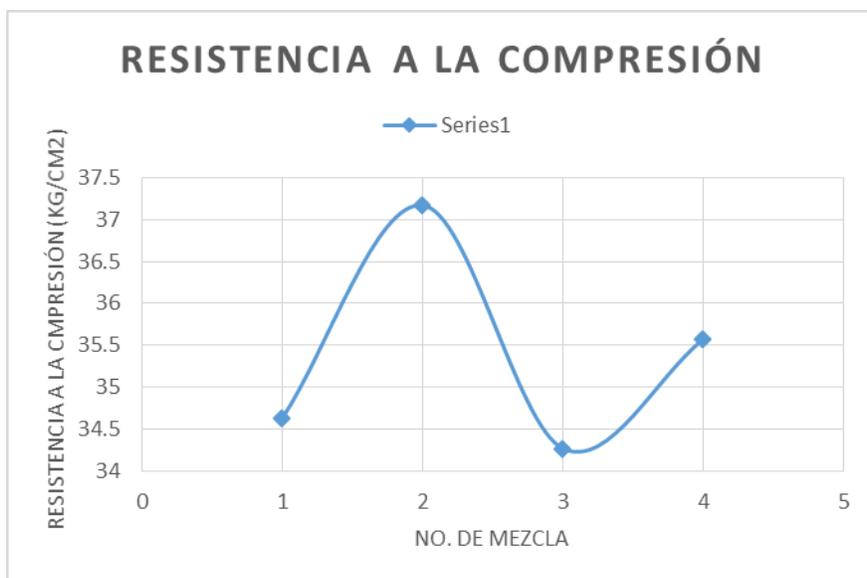


Figura 5. 10 Grafica de resistencia a la compresión
Fuente: elaboración propia

En cuanto a los resultados obtenidos en los ensayos de propiedades térmicas se obtuvieron muy similares a la conductividad térmica del adobe, a pesar del contenido de paja en mayor parte, en la tabla 5.6 se muestran los resultados de las tres muestras que fue posible ensayar.

Tabla 5. 6 Resultados de propiedades térmicas

Especimen	Conductividad térmica k (W/mK)	Difusividad (mm ² /s)	Capacidad calorífica (J/kg/K)
Cara inferior			
90-5-5 I	0.4192	0.2768	2402.54
85-10-5 I	0.4633	0.3023	2345.59
80-10-10 I	0.5168	0.3271	1893.32
Cara lateral			
90-5-5 L	0.3882	0.2768	2385.72
85-10-5 L	0.3819	0.2542	2299.53
80-10-10 L	0.5076	0.3321	1898.49

Fuente: elaboración propia

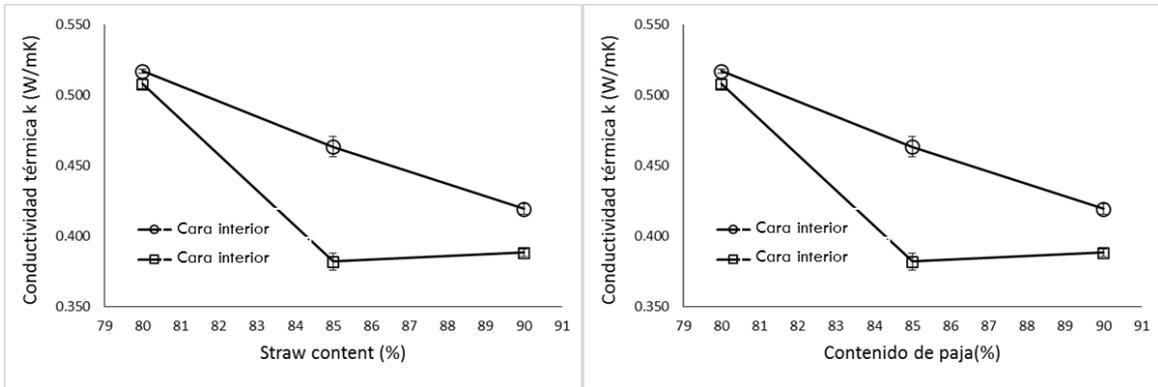


Figura 5. 11 resultado de especímenes en ensayos de conductividad
Fuente: Elaboración propia

En la figura 5.12 se muestra el resultado del comportamiento del material en el ciclo de calor y frío.

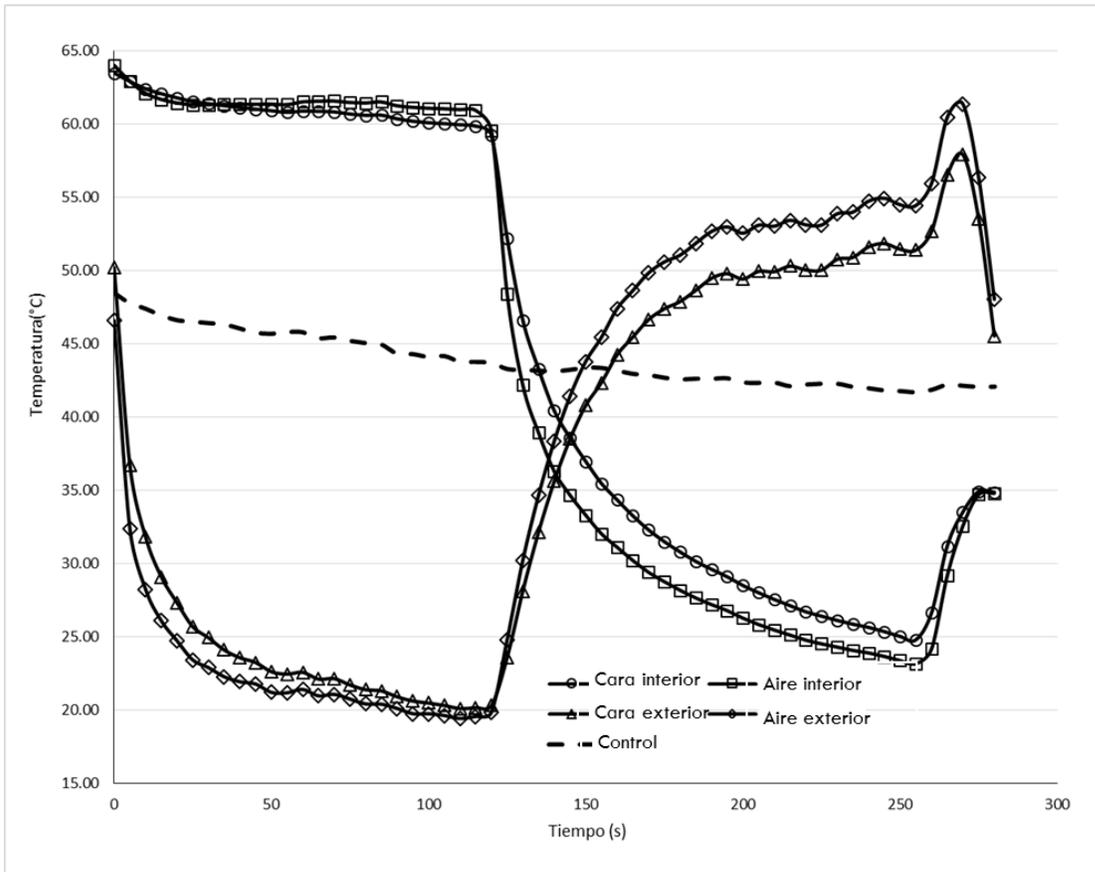


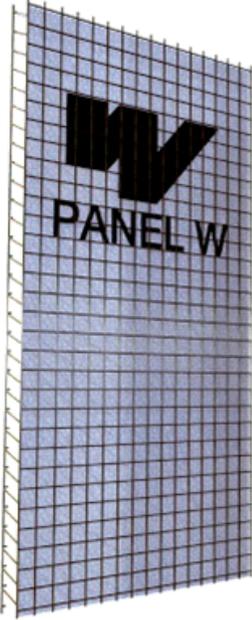
Figura 5. 12 ciclo de calor y frío del material de interior
Fuente: elaboración propia

5.4.2. Evaluación de los materiales

La última fase de la metodología, como se describe en el capítulo anterior, consiste en determinar la calidad ecológica y saludable del panel desarrollado, para lo cual es necesario evaluarlo con base en los parámetros definidos y la ficha de evaluación. Para lo cual se realizó una evaluación de la propuesta final de panel y un panel comercial, el Panel W. Lo cual permitió una comparativa de los materiales y por consiguiente determinar las cualidades de un panel ecológico sobre uno convencional.

Para realizar la evaluación se analizaron los diferentes materiales de cada panel y el porcentaje de participación, en la tabla 5.6 se describen las características de cada uno. El panel propuesto comprende mayor cantidad de materiales, en su mayoría provenientes de la biosfera, mientras que el panel comercial tiene materiales principalmente procedentes de la tecnosfera: materiales metálicos y de hidrocarburos. Los parámetros de análisis en cuanto al comportamiento se tomaron con en base los datos de diversos materiales que se describen en el subcapítulo 4.3. Mientras que en lo referente a su composición específicamente en el grado de toxicidad se recurrió a diversas fuentes de referencia (ver anexo 3). Por otro lado, el porcentaje de cada material se estimó en el caso del panel W.

Tabla 5. 7 Comparativa panel ecológico vs panel comercial

Panel Ecológico (propuesta de panel)				Panel W (Panel comercial)			
							
		Material	Porcentaje			Material	Porcentaje
Interior	M1	Madera	5%	Interior	M1	Poliestireno	90%
	M2	Triplay	3%		M2	Acero	10%
	M3	Paja	79%				
	M4	Arcilla	9%				
	M5	Cal	5%				
Acabado	M6	Arena	53%	Acabado	M3	Cemento	25%
	M7	Mucilago	30%		M4	Arena	75%
	M8	Cal	18%				

Fuente: elaboración propia

El resultado del análisis de cada panel muestra una diferencia determinante. En una escala del 1 al 100, el panel W obtuvo un valor de 42.73, mientras que la propuesta del panel ecológico obtuvo un puntaje de 83.24. En la escala Likert, la eficiencia de cada panel sería regular para el panel W y muy buena para el panel ecológico que se desarrolla en el presente trabajo, como se muestra en la figura 5.8.

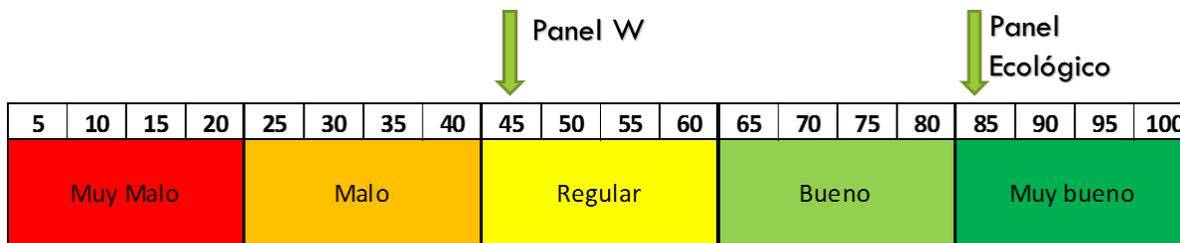


Figura 5. 13 Ubicación de paneles en escala Likert

Como se puede observar en la tabla 5.7, en el panel ecológico los valores se mantienen muy similares, la cal tienen la menor puntuación, debido a los parámetros de gasto energético que implica. Con tienen un valor de 37 puntos en una escala de 1 a 50. Sin embargo, se aplica en un porcentaje bajo. Y tiene un mayor puntaje en comparación con el cemento que tiene 26 (ver tabla 5.8).

Tabla 5. 8 Evaluación de propuesta de panel ecológico

Ficha de evaluación de calidad saludables y ecologica del panel									
	Parametro	Material interno (40%)					Material de acabado (60%)		
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Composición	Elementos tóxicos	5	1	3	5	5	5	5	5
	Procedencia de los materiales	5	5	5	3	3	3	3	3
	Disponibilidad de los recursos	3	3	5	4	4	4	4	4
Comportamiento	Adsorción y desorción de humedad	4	4	4	5	5	5	5	5
	Conductividad térmica	5	5	5	4	3	4	2	3
	Coeficiente de absorción de ruido	5	5	5	3	3	3	3	3
	Conductividad eléctrica	5	5	3	5	5	5	5	5
Ciclo de vida	Gasto energético: fabricación	3	3	4	5	2	5	3	2
	Gasto energético: transporte	4	4	3	5	2	5	4	2
	Reciclabilidad / degradabilidad	5	5	5	5	5	5	5	5
		44	40	42	44	37	44	39	37
Porcentaje de uso (en volumen)		5%	3%	79%	9%	5%	53%	30%	18%
Subtotal		3.96	2.4	66.402	8.184	3.33	46.2	23.4	12.95
Total						84.276			82.55
Total						33.71			49.53
Valor resultante		83.24							

Fuente: elaboración propia

En esta propuesta, la mayoría de los materiales son biodegradables, a excepción del triplay (M2), que si bien, es fabricado de madera, las capas que lo componen se pegan con colas que suelen contener formaldehído, un químico contaminante

que tienen efectos en las vías respiratorias y que ha resultado ser cancerígeno en pruebas con animales (ver Anexo 4.), lo que lo hace un material solo degradable.

Tabla 5. 9 Evaluación de propuesta de panel W

Ficha de evaluación de calidad saludables y ecologica del panel					
	Parametro	Material interno (40%)		Material de acabado (60%)	
		M1	M2	M3	M4
Composición	Elementos tóxicos	5	3	3	5
	Procedencia de los materiales	1	1	1	3
	Disponibilidad de los recursos	1	1	4	4
Comportamiento	Adsorción y desorción de humedad	3	1	5	5
	Conductividad térmica	5	1	2	2
	Coeficiente de absorción de ruido	4	1	3	3
	Conductividad eléctrica	3	1	5	5
Ciclo de vida	Gasto energético: fabricación	2	1	1	3
	Gasto energético: transporte	1	1	1	4
	Reciclabilidad / degradabilidad	3	3	1	5
		28	14	26	39
Porcentaje de uso (en volumen)		90%	10%	25%	75%
Subtotal		50.4	2.8	13	58.5
			53.2		35.75
Total			21.28		21.45
Valor resultante		42.73			

Fuente: elaboración propia

Por otro lado el panel W que se evaluó para comparar con la propuesta realizada en este trabajo, los materiales que resultan en la más baja puntuación son el acero y el cemento, seguido del poliestireno, y el de mayor puntaje es la arena. Los primeros dos tienen un desempeño realmente bajo en cuanto al ciclo de vida. El acero en este caso presenta el valor más bajo con 14 puntos.

Al comparar ambos paneles resulta evidente la diferencia, que viene dada principalmente por el uso de materiales provenientes de la biosfera y la litosfera en el primer caso y de materiales provenientes de la litosfera en el segundo.

CONCLUSIONES

La salud en la arquitectura se aborda desde las disciplinas geobiología y bioconstrucción, las cuales provén perspectivas distintas enfocadas a propiciar ambientes saludables. La primera desde el enfoque de las energías, las ondas y la segunda más enfocada a los materiales. No obstante, ambas se complementan y permiten un análisis holístico e integral en relación a la arquitectura saludable.

Entre los múltiples factores que inciden en la salud de una construcción están: productos de uso cotidiano, cosméticos, de limpieza, materiales de construcción, mobiliario, iluminación deficiente, artículos de decoración, prendas, telas etc.; diseños herméticos que permiten la proliferación de moho y bacterias; campos electromagnéticos naturales y artificiales. Y pueden afectar la salud de diferentes formas, ya sea como causantes directamente la enfermedad como el asma o las alergias, o debilitando el organismo, lo que aumenta la predisposición a enfermedades causadas por otros factores. La percepción por las personas a los diferentes agentes de riesgo suele ser muy baja, pues ocurre en la mayoría de los casos de manera inconsciente. En este sentido, hay dos factores determinantes: el grado y el tiempo de exposición ha determinado contaminante.

Para detectar los factores de incidencia en la construcción se pueden clasificar en tres niveles: 1) Sitio y entorno, que implica el análisis del contexto y la identificación de factores externos de riesgo, y el análisis del terreno en relación a la existencia de perturbaciones geofísicas; 2) el diseño y los materiales, esto es la propuesta arquitectónica que además de buscar un diseño agradable, apele a evitar o reducir los riesgos externos y del sitio, además que sean materiales inocuos en la medida de lo posible; y 3) el estilo de vida de las personas que los habitan, donde se tienen que elegir a conciencia los diferentes artefactos y productos de uso en el hogar.

Los impactos referentes a los materiales de construcción se resumen en tres: emisiones contaminantes que dan origen a gases de efecto invernadero; la degradación de ecosistemas debido a la extracción de materiales o a la tala

excesiva; y los efectos nocivos para la salud de las personas que generan algunos materiales por su composición. Esto se relaciona en gran medida a la procedencia de los materiales que pueden ser: de la biosfera, aquellos que crecen, renovables, de origen animal o vegetal; materiales procedentes de la litosfera, aquellos que se extraen, no son renovables pero son abundantes, y finalmente materiales provenientes de la tecnosfera, aquellos que se fabrican, proceden de la biosfera y la litosfera, sin embargo, son sometidos a altos procesos de transformación que implican elevado consumo energético, lo que se traduce a mayores emisiones. Por consiguiente lo más recomendable es utilizar materiales de la biosfera y la litosfera y en menor medida de la tecnosfera.

Los elementos prefabricados tienen una posibilidad muy amplia de aplicación en el ámbito de la construcción, sin embargo para su aplicación en elementos divisorios y de envolvente se identifican cinco tipos de paneles con diferentes grados de complejidad en relación a los materiales que lo integran, estos son: panel monolítico hecho de un material homogéneo, panel sándwich, constituido de tres capas de material monolítico; panel multicapa, en cuyo caso el número de capas aumenta considerablemente; panel de núcleo estructural, este panel suele estar hueco en su interior, con una retícula interna que lo refuerza, y finalmente el panel marco estructural, donde se tienen un material monolítico de baja resistencia contenido en un elemento que le da rigidez.

Por lo general los materiales existentes en el mercado dentro de los sistemas constructivos prefabricados comprenden materiales altamente industrializados. En el análisis de mercado en cuanto a paneles ecológicos se encontraron diversas alternativas de paneles de diferente tipo que aplican materiales ecológicos y naturales, lo que da una amplia referencia de las amplias posibilidades que existen en cuanto a la fabricación de diferentes tipos de paneles.

En cuanto a la metodología que se desarrolla en el presente trabajo, esta permite el diseño de diferentes tipos de paneles. El proceso consta de cuatro fases. En la primera se abordan todas las características del diseño del panel, referente al tipo, forma, función etc. La segunda fase aborda la parte de los materiales con que se

ha de fabricar, donde se identifican tres tipos de materiales de acuerdo a su función en el panel: aglomerante o conglomerantes con función de adhesivo; granulométrico, cuya función es dar cuerpo al elemento y material rígido lineal para uso en elementos lineales, principalmente en paneles de marco estructura o núcleo celular. En esta fase se plantea la opción de retomar técnicas constructivas tradicionales como base del diseño del panel.

La tercera fase comprende especificar las diferentes características técnicas del panel, lo que definirá el comportamiento del panel en relación a proporciona un confort integral. Los parámetros a medir en esta fase son: adsorción y desorción de humedad, conductividad térmica, coeficiente de adsorción de ruido y conductividad eléctrica. Para determinar las características de los materiales de acuerdo a estos aspectos puede ser de manera directa a través de la experimentación, o bien, al no tener los recursos suficientes para realizar los ensayos al respecto, se tuvo en cuenta datos ya documentados, lo cual fue el caso en el presente trabajo.

La cuarta y última fase del proceso metodológico consiste en evaluar el resultado final del diseño con diez parámetros dividido en tres grupos: composición comportamiento y ciclo de vida del cada material. La evaluación se realiza con base en la metodología Likert lo que permite asignar valores numéricos aun cuando los parámetros son cualitativos. Así mismo se pondera el valor de los materiales del interior y los que van en el acabado del material dando un valor de 60% a los que quedan expuestos, es decir, el material de acabado. Cada material obtiene un valor de acuerdo al porcentaje en volumen en que se utiliza. El resultado da un valor del 1 al 100 que de igual forma con la escala Likert, permite identificar en qué grado de eficiencia está el panel.

Para aplicar la metodología desarrollada se diseñó un panel de tipo marco estructural con base en a la técnica constructiva llamada arcilla aligerada, en la propuesta se plantean materiales de la biosfera en mayor volumen, seguido de materiales de la litosfera y un mínimo contenido de materiales de la biosfera. el valor obtenido del panel diseñado fue de 82.11, a diferencia del valor obtenido con

un panel w que es de 42.73. Con los resultados obtenidos en el presente trabajo es posible afirmar que se cumple la hipótesis de investigación, La propuesta del panel desarrollado representa cerca del doble de la eficiencia de un panel convencional presente en el mercado. Por lo tanto reduce el impacto ambiental cerca de un 50 %.

La evaluación que se hace de los diferentes parámetros de cada paneles es considerando un mismo valor para todos los parámetros: composición comportamiento y ciclo de vida. Se considera de esta manera porque se busca un equilibrio en cuanto a la valoración, no obstante, hay la posibilidad de ponderar los parámetros por grupo lo cual puede dar resultados diferentes de acuerdo al parámetro que se considere con mayor valor

Un primer escenario, sería si se considera mayor valor a lo referente con el impacto ambiental medido en emisiones contaminantes los parámetros de ciclo de vida. Un segundo escenario podría ser en función de dar más valor a las condiciones de inocuidad del material, en este caso se priorizarían los valores de composición del material. Finalmente si se le daría preferencia al desempeño del material de acuerdo a su uso el valor más representativo sería el de los parámetros referentes al comportamiento del material.

REFERENCIAS

- Acosta, D., 2009. Arquitectura y construcción sostenible: conceptos, problemas y estrategias. *Dearq*, pp. 14-23.
- Acosta, D. & Cilento, A., 2005. Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo. *Tecnología y Construcción*, 21(1), pp. 15-31.
- Alkmim, H., 2012. *LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MÓDULOS TRIDIMENSIONALES APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE MEDIA Y GRAN ALTURA*. 1 ed. Barcelona : Universidad Politecnica de Cataluña.
- Alvarado, F. A., 2019. *Madera Sustentable Como Material de Construcción de Edificaciones Contra el Cambio Climático*. Valparaiso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Alvarez, A., De Hoyos, J. & Jiménez, J., 2020. Bioconstrucción para la vivienda, pensamientos y técnicas. En: *Bioconstrucción para la vivienda, pensamientos y técnicas*. 1 ed. Toluca: UAEM, pp. 19-38.
- Andres, D. M., Manea, D. L., Fechete, R. & Jumate, E., 2016. Green plastering mortars based on clay and Wheat straw. *Procedia Technology*, I(22), pp. 327-334.
- Aouba, L. y otros, 2016. Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: Cases of Olive Stone Flour and Wheat Straw residues. *Construction and Building Materials*, Issue 102, pp. 7-13.
- Aradilla, D., Oliver, R. & Estrany, F., 2012. Polimeros Biodegradables: Una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente. *Técnica Industrial*, I(297), pp. 76-80.
- Aranda, Y. G. & Suárez, E. J., 2013. Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 6(11), pp. 311-323.
- Aye, L. y otros, 2012. Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated. *Energy and Buildings*, pp. 159-168.
- Azpilicueta, E. & Araujo, R., 2012. El mito industrial. *Tectónica* , 1(38), pp. 4-19.
- Baker-Laporte, P., Bell, C. & Gust, L., 2018. *25 Principles of Bau-Biologie*, New Mexico : International Institute for Building Biology® & Ecology.
- Baker-Laporte, P. & Laport , R., 2005. *EcoNest Creating Sustainable Sanctuaries of Clay Straw anda Timber*. 1 ed. Hong Kong : Gibbs Smith.

Baker-Laport, P., Elliot, E. & Banta, J., 2014. *Prescriptions for a healthy house, a practical guide for architects, builders and homeowners*. 1 ed. United States: New Catalyst books.

Bambuterra, 2017. *Sistema Biopanel*. [En línea]
Available at: <https://www.bambuterra.com.mx/biopanel>
[Último acceso: 2017 10 21].

Bardou, P. & Arzomanian, V., 1986. *Arquitecturas de adobe*. 3a ed. México: Gustavo Gili.

Bautista, M., 2020. *Biohabitabilidad, la Construcción de un Hábitat Saludable*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Bellart, M. & Mesa, S., 2009. *Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Benavente, D., Bernabéu, A. M. & Cañaver, J. C., 2004. Estudio de las propiedades físicas de las rocas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1), pp. 62-68.

Berardi, U. & Iannace, G., 2015. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, 94(2), pp. 840-852.

Bianconi, S., 2011. La madera auxiliar en la construcción y su huella ecológica; caso de la superficie de contacto de la tarima. *Acta Universitaria*, 21(2), pp. 43-49.

Bijlsma, N., 2017. *Healthy Home Healthy Family, Is Where You Live Affecting Your Health?*. 3ra ed. Australia: s.n.

Bueno, M., 1988. *Vivir en casa sana, las radiaciones cosmotelúricas y su influencia en los seres vivos, introducción a la geobiología*. Barcelona: Libergraf.

Bueno, M., 1994. *El gran libro de la Casa Sana*. México: Roca.

Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C. & Szilagyi, H., 2020. Opportunities Regarding the Use of Adobe-bricks within Contemporary Architecture. *Procedia manufacturing*, Issue 46, pp. 150-157.

Castañeda, J. A. & Gonzalez, 2004. Medición del coeficiente de absorción del sonido. *Scientia et Technica*, X(25), pp. 101-106.

Castilla, F. J., 2004. *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. Madrid: Tesis doctoral UPM.

Cedeño, A., 2010. Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, pp. 100-110.

Chávez, F. J., 2002. *zona variable de confort térmico*. 1 ed. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Coreira, G., Vicente , R., Azenha , M. & Ferreira, T. M., 2018. A systematic review of Prefabricated Enclosure Wall Panel Systems: Focus on technology driven for performance requirements. *Sustainable Cities and Society*, Issue 40, pp. 688-703.

Coutinho, C. A., 2012. *Revestimientos continuos interiores de varias capas con caractersticas de barrera de vapor y higroscopicidad*. Madrid: Tesis docotral, Universidad Politecnica de Madrid.

De Carvalho, M. L., 2015. *Herramienta de certificación para la bioconstrucción*. Madrid: Tesis doctoral de la Universidad Politecnica de Madrid.

De Carvalho, M. L., 2015. *Herramientas de certificación para la bioconstrucción*. Madrid: Tesis Doctoral de la Universidad Politecnica de Madrid.

De Garrido, L., 2012. *Un nuevo paradigma en la arquitectura*. Barcelona: Monsa.

De Garrido, L., 2014. *Arquitectura y salud: metodología de diseño para lograr una arquitectura saludable y ecológica*. Barcelona: Monsa.

De Garrido, L., 2014. *Arquitectura y salud: metodología de diseño para lograr una arquitectura saludable y ecológica*. Barcelona: Monsa.

De la Rosa, R., 2013. *Medicina del Habitat, Geobiología*. 1 ed. Valencia: Vivo sano.

De la Rosa, R., 2013. *Medicina del Habitat, Geobiología*. Valencia: Vivo sano .

De Prada, C., 2013. *Hogar sin Tóxicos, cómo prevenir enfermedades eliminando los venenos domésticos*. Madrid : Vivo Sano .

Del Toro, E. M., 2018. La cal como elemento bioclimático en la arquitectura tradicional. En: *Tradición, versatilidad e innovación en la cal: un material de excelencia*. Navarra: Universidad de navarra, pp. 39-49.

Eco cocon, 2019. *Eco cocon*. [En línea]
Available at: <https://ecococon.eu/>

Ecopaja, 2017. *Eco paja green building*. [En línea]
Available at: <http://ecopaja.com/>

Elfordy, S. y otros, 2008. Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hempcrete”) manufactured by a projection process. *Construction and Building Materials*, Issue 22, pp. 2116-2123.

Faud-Luke, A., 2002. *Manual de diseño ecológico*. Londres: Cartago .

Fontal, B., 2005. *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química .

- Frutos, B., Olaya, M. & Esteban, J. L., 2011. Sistemas de extracción como técnicas constructivas para evitar la entrada de gas radón en las viviendas. *Informes de la Construcción*, 63(251), pp. 23-36.
- Galván , M. & Velazquez, R. R., 2011. Cal, un antiguo material como una renovada opción para la construcción. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XII(1), pp. 93-102.
- Garay-Martínez, R., 2017. Hygrothermal Assessment of a Prefabricated Timber-Frame Construction based in Hemp. *Procedia Environmental Sciences*, Issue 38, pp. 729-736.
- Garcia, E., 2008. *Estudio-diagnóstico sobre las posibilidades del desarrollo de una edificación residencial industrializada dirigida a satisfacer las necesidades de vivienda pública y muy especialmente en alquiler en la comunidad autónoma del país Vasco*, País Vasco: Eraikal.
- García, I., 2017. *Estudio de Permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales*. Huajuapán de León: Universidad Tecnológica de la Mixteca UTM.
- Gárriz, J., 2007. *Biblioteca Atrium de la construcción*. Vol 1 ed. Barcelona: Oceano.
- Gatti, F., 2012. *Arquitectura y construcción en tierra, estudio comparativo de las técnicas de construcción contemporánea*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gauzin-Müller, D., 2002. *Arquitectura Ecológica*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Gómez, E., 2015. *Calidad ambiental electromagnética: atenuación de las radiaciones electromagnéticas en los espacios habitados*. Madrid: Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid.
- González, C., 2014. *Arquitectura antidesertización. Fluidez, Biodiversidad, Hidrofilia y transpirabilidad*. Madrid: Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid .
- González, W. & Mancini, H., 2003. *Ciencia de Materiales*. 1ra. ed. Barcelona: Ariel.
- Gutiérrez, H. & De la Vara, R., 2008. *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hill.
- Hebel, D., Wisniewska, M. & Heisel , F., 2014. *Building From Waste, recovered materials in architecture and construction*. Zurich : Darch.
- Hernandez, E. F., Pfeiffer, H. & Cano, P., 2017. Influencia del mucilago de nopal y extracto de algas cafés en el grado de hidratación de pastas de cemento portland ordinario. *Nexo revista científica*, 30(02), pp. 73-83.

Hernández, S. & Delgado, D., 2010. MANEJO SUSTENTABLE DEL SITIO EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA; CRITERIOS Y ESTRATEGIAS DE DISEÑO. *Quivera*, Volumen 1, pp. 38-51.

IBN, 2020. *25 Guiding Principles of Building Biology*. [En línea] Available at: <https://buildingbiology.com/principles-of-building-biology/> [Último acceso: 20 05 2020].

Knaack , U., Chung-Klatte, S. & Hasselbach, R., 2012. *Prefabricated Systems: Principles of Construction*. 1 ed. Basel: Brickhauser.

Lehmann, S., 2013. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. *Sustainable Cities and Society*, Issue 6, pp. 57-67.

León, P., 2013. *La buena onda, Claves para crear espacios saludables y disfrutar de una vida sana y feliz*. España: Grijalbo .

Lopez, M., 2017. *Naturalizando el Diseño, Envoltentes arquitectónicas vivas que interactúan con su entorno*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V. & Mandavgane, S. A., 2013. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, Issue 38, pp. 872-878.

Martínez, A., 2015. *Bioconstrucción, Cómo crear espacios saludables ecologicos y armoniosos*. Madrid: Vivo sano.

Martínez, A., 2020. *Criterios para la elección de materiales saludables*. [En línea] Available at: <https://bioconstruccionfutura.com/congreso-2020/> [Último acceso: 4 11 2020].

Minke, G., 1994. *Manual de Construcción en Tierra, la tierra como material de construcción y su aplicación actual*. Uruguay: Fin de Siglo.

Minke, G. & Mahlke, F., 2006. *Manual de construcción con fardos de paja*. Montevideo: Fin de siglo.

Mølhave, L., 2011. Sick Building Syndrome. En: *Encyclopedia of Environmental Health* ||. Aarhus: Elsevier, pp. 61-67.

Morenilla, J. L. & Martínez, F. J., 2011. Materiales para la bioconstrucción. *CERCHA*, Issue 108, pp. 68-73.

Morin, E., 2011. *La via, para el futuro de la humanidad*. Barcelona: Paidós.

Neila, F. J., 2004. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-lería.

- Osorno, C. Y., 2001. Hacia la Bioconstrucción. En: *Bioética como puente entre ciencia y sociedad*. 1a ed. Bogotá: El Bosque, pp. 19-36.
- Palacios, J. L., 2011. *La Casa Ecológica, Cómo construirla*. México: Trillas.
- Palomo, M., 2017. *Aislantes térmicos, criterios de selección por requisitos energeticos*. 1 ed. Madrid: UPM.
- Panella, H., Juanola, E., de Peray, J. L. & Artazcoz, L., 2008. Lipoatrofia semicircular: un nuevo trastorno de salud relacionado con el trabajo. *Notas de Campo*, 1(22), pp. 73-75.
- Paredes, C., 2014. *Architecture and Materials*. 2 ed. Barcelona: FKG.
- Pérez, N. A., Charua, D. & Fernández, S., 2015. Extracción y purificación del mucilago y goma de nopal para su uso en conservación. *Estudios sobre conservación, restauración y museología*, 2(1), pp. 156-166.
- Petrovic, E. K., 2017. A lack of recognition of potential health risks from building materials. En: *Materials for a Healthy, Ecological and Sustainable Built Environment, Principles for Evaluation*. Duxford: Elsevier, pp. 139-154.
- Petrovic, E. K., Vale, B. & Pederzen Zari, M., 2017. *Materials for a healthy, Ecological and Sustainable Built Environment, Principles for evaluation*. 1a ed. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Petrovic, E. K., Vale, B. & Zari, M. P., 2017. *Materials for a healthy, Ecological and Sustainable Built Environment, Principles for evaluation*. 1a ed. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Quindós, L. S., 1995. *Radón, Un gas radiactivo de origen natural en su casa*. 1 ed. Madrid: Universidad de Cantabria.
- Quiroz, J. A. & Magaña, M. A., 2015. Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera y Bosques*, pp. 171-183.
- Radiansa, 2020. *Radiansa, materiales de protección y blindaje*. [En línea] Available at: <https://www.radiansa.com/es/radiacion-antenas-alta-frecuencia/blindaje-radiacion-alta-frecuencia.htm> [Último acceso: 02 07 2020].
- Rodríguez, M., 2002. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. México: Limusa.
- Romero, B., 2003. El Análisis del Ciclo de Vida y la gestión ambiental. *Tendencias Tecnológicas*, 11(3), pp. 91-97.
- Rosell, J. R. & Bosch, M., 2018. Hormigones de cal: nuevos “viejos” materiales. En: *Tradición, versatilidad e innovación en la cal: un material de excelencia*. Pamplona: VI Jornadas FICAL Libro de Actas, pp. 76-86.

- Rougeron, C., 1977. *Aislamiento Acustico y Termico en la Construcción*. 1a ed. Barcelona: Editores técnicos asociados.
- Seki, A. y otros, 2007. Review os Sick House Syndrome. *Japanese Journal of Hygiene*, Issue 62, pp. 939-948.
- Seon Park, H., Ji, C. & Hong, T., 2016. Methodology for assessing human health impacts due to pollutants emitted from building materials. *Building and Environment*, pp. 133-144.
- Silvestre, E., 2014. Diseñar edificios que curan. *Aces info*, p. 5.
- Silvestre, E., 2014. *Vivir sin Tóxicos, Cómo ganar bienestar y salud en tu vida cotidiana*. Barcelona: RBA.
- Snell, C., 2004. *The Good House Book: A Common-Sense Guide to Alternative Homebuilding*. 1a ed. New York: Lark books.
- Strike, J., 2004. *De la Construcción a los proyectos, la influencia de las nuevas Técnicas en el diseño arquitectónico, 1700-2000*. Oxford: Reverté.
- Swanson, G., Miller, O. & Federer, W., 2008. *Breathing Walls. A Biological Approach to Healthy Building Envelope Design and Construction*. 1 ed. Washington : Draft.
- TAL, 2019. *Thermal Analysis Labs*. [En línea]
Available at: <https://thermalanalysislabs.com/ctherm-products/>
[Último acceso: 01 02 2021].
- Tietz, J., 2008. *Historia de la arquitectura moderna*. 1 ed. Barcelona: h.f.ullmann.
- Urbán, P., 2012. *Construcción de estructuras de madera*. 1 ed. Alicante: Ecu.
- Vacacela, N., 2015. *Paneles de bahareque prefabricado y aplicación a una vivienda*. Cuenca, Ecuador: Universidad Estatal de Cuenca.
- Vale, B., 2017. Building materials . En: *Materials for a Healthy, Ecological and Sustainable Built Environment, Principles for Evaluation*. Kidlington : Elsevier , pp. 67-112.
- Vargas, F. & Gallego, I., 2005. Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud. *Salud Publica*, 79(2), pp. 243-251.
- Vargas, L., Gamiño, Z., fuentes, R. & Contreras, D., 2018. Mucilago de nopal y su aplicación en la obtención de biopolímeros. *Naturaleza y Tecnología*, 5(1), pp. 24-35.
- Vidal, T. y otros, 2019. *Potencial de la Celulosa en la Construcción de Nuevos Materiales*. Madrid, UPM.

Von Mag, A. & Rauch, M., 2011. Paredes de tapial y su industrialización (encofrados y sistemas de compactación). *Informes de la Construcción*, pp. 35-40.

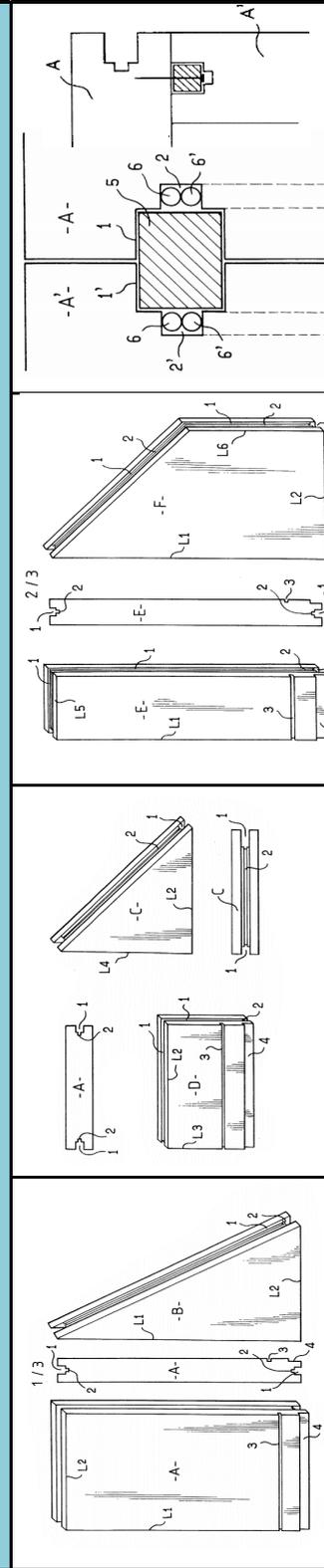
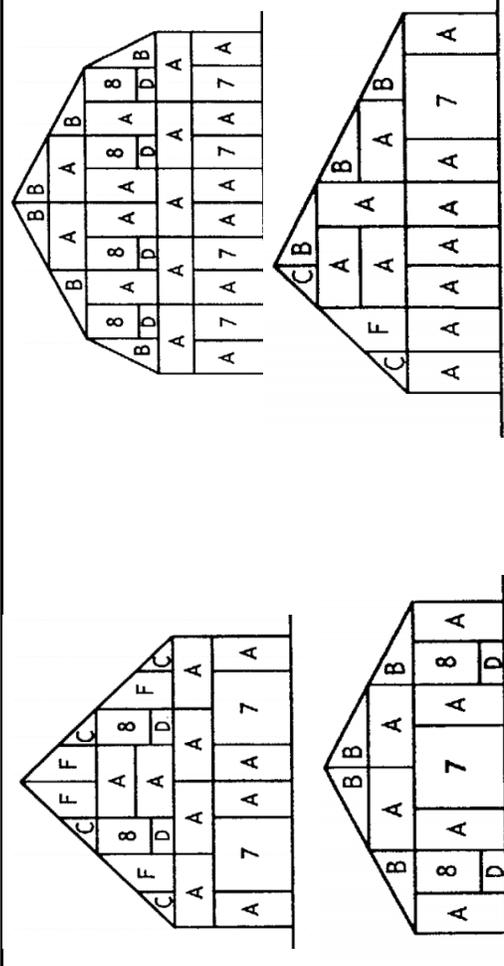
Wadel, G., 2009. *La sostenibilidad en la construcción industrializada, la construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña.

Wang, B.-L. y otros, 2008. Symptom definitions for SBS (sick building syndrome) in residential dwellings. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Issue 211, pp. 114-120.

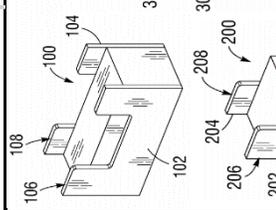
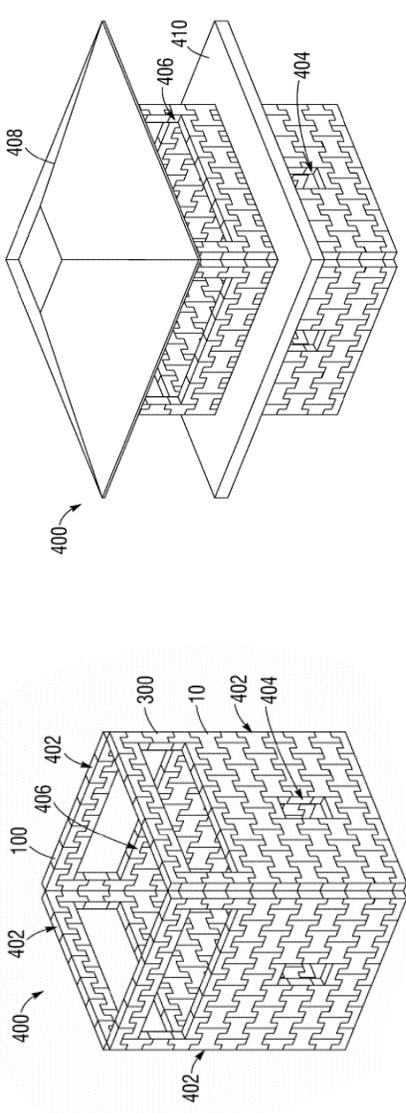
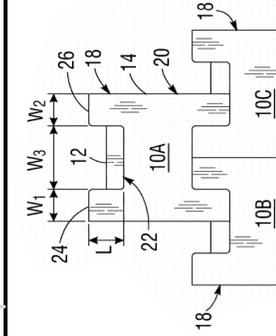
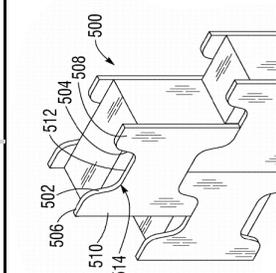
ANEXOS

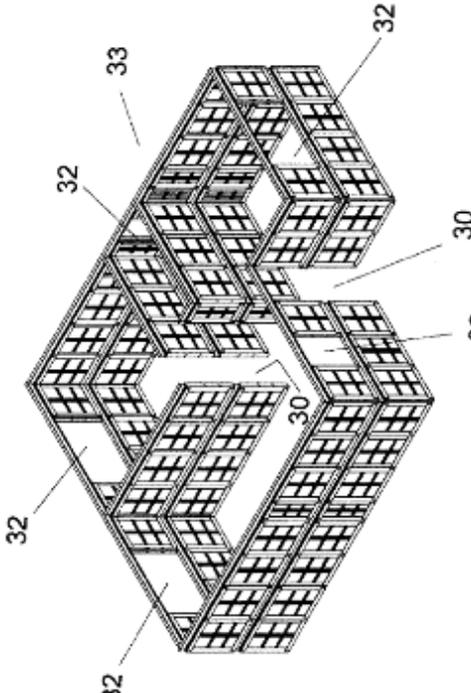
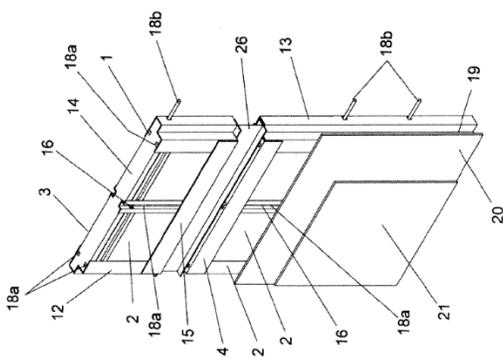
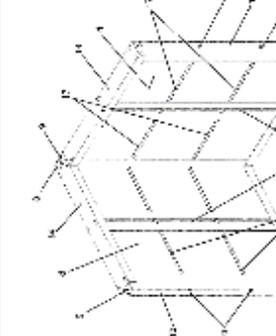
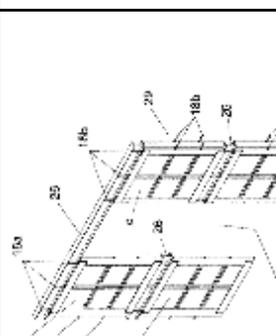
Anexo 1

DATOS DE LA PATENTE		DESCRIPCIÓN
Nombre	Panel de muro para uso en sistema constructivo	<p>Panels para muros prefabricados que tienen en dos bordes opuestos ranuras anchas para recibir bases de bloqueo verticales u horizontales en forma de cuña de acuerdo con la posición del bloque en un plano vertical, que tienen en su otros bordes, respectivamente, una ranura que forma una mortaja y una proyección que forma un pasador para un enclavamiento directo de dos bloques contiguos, y que tienen junto a algunas de las ranuras estrecha para incrustar una funda. El sistema de construcción puede comprender paneles verticales prefabricados para estar de pie o acostado en un plano vertical, paneles complementarios prefabricados correspondientes a la mitad, un cuarto o un tercio de un panel completo y paneles prefabricados especiales correspondientes a un panel actual o A un panel complementario, y que tienen al menos un borde oblicuo.</p>
Clave:	FR2897085	
Fecha	10-08-2007	
País	Francia	
COMPONENTES		
A - Panel completo de 240 x 120 x 24		
B, C y F - panel complementario con		
D - cuarto de panel		
E - tercio de panel		
7 y 8 Ventana		
MATERIALES		
Paneles de madera comercial de sección cuadrada o rectangular		
DIMENSIONES		
240 cm de alto, 120 cm de ancho y 24 cm de espesor		



DATOS DE LA PATENTE	DESCRIPCIÓN
<p>Nombre Casas prefabricadas de madera de pilares y paneles de pared</p>	<p>sistema constructivo que consta de dispositivos de montaje de panel de pared y pilar para una casa de madera prefabricada, consta de un elemento de montaje de poste y panel de pared que puede ensamblar fácilmente una columna y un panel de pared a un piso de concreto. el sistema comprende un par de paneles exteriores rectangulares dispuestos en paralelo; Al menos un miembro de columna insertado entre el par de placas exteriores rectangulares</p>
<p>Clave: KR20170038407</p>	
<p>Fecha 07-04-2017</p>	
<p>País Korea</p>	
<p>COMPONENTES</p>	
<p>1. Piso de concreto</p>	
<p>2. Pernos de anclaje</p>	
<p>3. Pasadores de fijación</p>	
<p>4, 4a, 4b y 4c abrazadera de fijación</p>	
<p>5 y 5a marco de cubierta y soporte de fijación</p>	
<p>6 y 6a pilar y orificio de inserción de varilla</p>	
<p>7 y 7a placa de soporte y orificio de fijación</p>	
<p>8. panel de pared</p>	
<p>9. tornillo</p>	
<p>DIMENSIONES</p>	
<p>No especificadas*</p>	

DATOS DE LA PATENTE		DESCRIPCIÓN
Nombre	Paneles modulares aislados para edificios	<p>Sistema de paneles constructivos con revestimiento interior y exterior, y material aislante. La forma permite que el panel de construcción se acople a otros paneles de construcción similares que pueden ser iguales o complementarios entre sí para formar una estructura. Los elementos de revestimiento pueden estar hechos de madera como madera contrachapada o tableros de fibra orientada, metales como aluminio o acero, piedra, materiales cerámicos, compuestos de polímeros reforzados con fibra tales como fibra de vidrio, fibras de aramida o fibra de carbono, concreto, materiales cementosos reforzados con fibra como HardiePlank®, o combinaciones de los mismos. De esta manera, uno o ambos de los miembros de revestimiento pueden servir como elementos de soporte de carga en una estructura, permitiendo que los paneles de construcción se utilicen en paredes exteriores, interiores, pisos, techos,</p>
Clave:	US9580906	
Fecha	28-02-2017	
País	Estados Unidos	
COMPONENTES		
10 - panel constructivo base		
100 - panel con una única opción de acoplamiento		
200 - panel correspondiente a una mitad del panel 100		
300 - mitad de panel 10 en dirección vertical		
400 - estructura que incluye paredes 402, con paneles de construcción 10, 100 y 300		
DIMENSIONES		
Anchos variables w1, w2, w3, y w4		
		
		

DATOS DE LA PATENTE		DESCRIPCIÓN
Nombre	Sistema constructivo a base de paneles prefabricado modulares asociados con otros elementos constructivos como columnas PTR y vigas IPR, donde los paneles comprenden canales verticales y horizontales en sus caras anterior y posterior; en donde los bordes posteriores e inferiores son planos y los bordes laterales puede ser planos o comprender en al menos un borde lateral una ceja saliente para su acoplamiento con otro panel adjunto; sendos casquillos metálicos configurados en la misma forma que la forma del correspondiente borde superior, inferior y laterales se fijan abrazando el borde correspondiente y definiendo un marco perimetral y sendos casquillos. Los canales verticales y horizontales de ambas caras del panel están adaptados para recibir varillas de refuerzo que se proyectan vertical y horizontalmente uniéndose dichas varillas en sus extremos y en sus puntos de intersección para definir conjuntamente una microestructura reticulada.	
Clave:	MX2015005131	
Fecha:	21-10-2016	
País:	México	
COMPONENTES	c, b y d - placa de material espumado que comprende tres canales verticales (1), ceja saliente (8 y 9), borde lateral y medio de acoplamiento (6 y 7)	
	14 y 15 - casquillo metálico inferior y superior	
DIMENSIONES		
		
		
		
		
		

<https://www.geoblog.com>
<https://www.perel.com>
<https://www.gigahouse.com>

Anexo 2 25 principles

THE 25 GUIDING PRINCIPLES OF BUILDING BIOLOGY

Building biology is about creating healthy, beautiful, and sustainable buildings in ecologically sound and socially connected communities. In the selection of materials and the design of living environments, ecological, economic, and social aspects are considered.



HEALTHY INDOOR AIR	
	Supply sufficient fresh air and reduce air pollutants and irritants
	Avoid exposure to toxic molds, yeasts, and bacteria as well as dust and allergens
	Use materials with a pleasant or neutral smell
	Minimize exposure to electromagnetic fields and wireless radiation
	Use natural, nontoxic materials with the least amount of radioactivity
THERMAL AND ACOUSTIC COMFORT	
	Strive for a well-balanced ratio between thermal insulation and heat retention as well as indoor surface and air temperatures
	Use humidity-buffering materials
	Keep the moisture content of new construction as low as possible
	Prefer radiant heat for heating
	Optimize room acoustics and control noise, including infrasound
HUMAN-BASED DESIGN	
	Take harmonic proportion and form into consideration
	Nurture the sensory perceptions of sight, hearing, smell, and touch
	Maximize daylighting and choose flicker-free lighting sources and color schemes that closely match natural light

	Base interior and furniture design on physiological and ergonomic findings
	Promote regional building traditions and craftsmanship
SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE	
	Minimize energy consumption and use renewable energy
	Avoid causing environmental harm when building new or renovating
	Conserve natural resources and protect plants and animals
	Choose materials and life cycles with the best environmental performance, favoring regional building materials
	Provide the best possible quality of drinking water
SOCIALLY CONNECTED AND ECOLOGICALLY SOUND COMMUNITIES	
	Design the infrastructure for well-balanced mixed use: short distances to work, shopping, schools, public transit, essential services, and recreation
	Create a living environment that meets human needs and protects the environment
	Provide sufficient green space in rural and urban residential areas
	Strengthen regional and local supply networks as well as self-sufficiency
	Select building sites that are located away from sources of contamination, radiation, pollutants, and noise

In real life, all criteria cannot always be met. The goal is therefore to optimize each criterion within an individual's framework of feasibility.

Anexo 3 Parámetros de confort integral

Tabla 2. 9 Principales compuestos químicos tóxicos en materiales de construcción

Sustancia	Usos	Efectos sobre la salud
Asfalto	Telas y pinturas asfálticas, productos impermeabilizantes y para cubiertas.	Ha resultado cancerígeno en pruebas hechas con animales.
Formaldehído	Colas, lacas, desinfectante, aislantes, paneles de madera aglomerada, productos de limpieza...	Irrita las vías respiratorias. Ha resultado cancerígeno en pruebas con animales.
Lindano	Insecticida en productos para la protección de la madera.	Dolores de cabeza, vértigos, malestar, parálisis respiratoria.
Fenol	Espumas sintéticas duras, resinas sintéticas, colorantes, colas, impregnantes y desinfectantes. Productos bituminosos.	Dolor de cabeza, vértigos, irritaciones en la piel. Disfunciones renales y circulatorias. Daños al hígado, narcotizante.
Pentaclorofenol (PCP)	Protectores para la madera, agentes fungicidas.	Cirrosis hepática, daños de los riñones y la zona ósea.
Ester de ácido fosfórico (E 605)	Ignífugo, aditivo en la producción de materias plásticas.	Ataca el sistema nervioso. Mareos, daña la vista y el hígado, bloquea la acción de los fermentos.
Bifeniles policlorados (PCB)	Aditivos en la producción de plásticos y papel.	Daños al hígado y riñones. Posiblemente cancerígeno.
Estireno	Como poliestireno en la producción de plásticos, gomas sintéticas, pegamentos y aislantes.	Narcotizante, produce dolor de cabeza, cansancio, depresión, daños a la vista y a las vías respiratorias.
Alquitrán	Láminas antihumedad y sustancias impermeabilizantes.	Posiblemente cancerígeno.
Tolueno	Disolvente en pinturas y productos de limpieza.	Daños al sistema nervioso, hígado, riñones y cerebro. Efecto narcotizante.
Tricloroetileno	Productos de limpieza.	Posiblemente cancerígeno.
Cloruro de vinilo	Como PVC en ventanas, tubos de desagüe, instalaciones eléctricas, persianas, pavimentos, revestimientos, embalajes...	Cancerígeno, alteración de los tejidos, de la sangre, los pulmones y el hígado.
Xileno	Disolvente en lacas, colas y decolorantes.	Narcotizante, en concentraciones elevadas daña el corazón, hígado, riñones y nervios.

Fuente: (De Carvalho, 2015) y (Bautista, 2020)

EFECTOS DEL RUIDO		
Decibelios (dB)	Actividad	Efecto
160	Lanzamiento de cohete espacial	daño irreversible inmediato
150	Estampido sonico	
140	Eploción barreno	Tope laboral aun con cascos
130	Despegue reactor	Umbral del dolor
125	Motor a escape libre, trueno	
120	Tope de la voz humana, martillo neumatico a un metro, Concierto de rock	Peligro de daño en el acto
115	Claxon de automovil a un metro, discoteca	Peligro con más de 15 minutos de exposición
110	Maquinaria industrial	
105	Aeropuerto a 300 metros	Muy perjudicial
100	Tormenta, obras a 15 metros	
95	Gritos, motosierra, cortacésped	Perjudicial
90	Estación de metro, moto con silenciador	
85	Comprensor, trafico intenso, camión	Límite tolerable
80	Conversación a 15 cm, tractor, despertador	molesto, riesgo de sordera
75	Tren a 50 metros, calle animada	Soportable algún tiempo
70	Trafico medio, grandes almacenes, autobús eléctrico, restaurante	En varios años el aparato auditivo comienza a resentirse
65	Conversación a un metro	perturbador
60	Aire acondicionado, tienda	Alguna molestia
55	Tráfico suave a 20 metros	
50	Oficina tranquila, nevera	Interfiere sueño
45	Sala de estar con gente leyendo	Umbral de la relajación
40	Casa de campo, jardín sin niños	
35	Biblioteca con poco público	Límite para sueño tranquilo
30	Dormitorio	
25	Susurro a un metro, habitación de hospital	Silencio
20	Estudio insonorizado emisora, hojarasca débil en ele campo	
15	Murmullo a cinco metros	
10		Imperceptible para la mayoría
5		Umbral de audición

Fuente: Bueno, M., 1994. El gran libro de la Casa Sana. México: Roca.

Table 7.1 Classification of volatile organic pollutants

Description	Abbreviation	Boiling point range (°C)	Example compounds
Very volatile (gaseous) organic compounds	VVOC	< 0 to 50–100	Propane, butane, methyl chloride
Volatile organic compounds	VOC	50–100 to 240–260	Formaldehyde, d-Limonene, toluene, acetone, ethanol (ethyl alcohol) 2-propanol (isopropyl alcohol), hexanal
Semivolatile organic compounds	SVOC	240–260 to 380–400	Pesticides (DDT, chlordane), plasticizers (phthalates), fire retardants (PCBs, PBB)

Source: Based on Environmental Protection Agency (US) (EPA), 2016a. Available from: www.epa.gov (Accessed 2013-2016.), Environmental Protection Agency (US) (EPA), 2016b. Technical Overview of Volatile Organic Compounds. United States Environmental Protection Agency. Available from: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#2> (accessed August 2016.).

Table 9.2 Summary of common polymer plastics, fibers, paints, and varnishes

Name	Chemical description	Common applications	Health impacts	Recycling numbers (if any)* and proportion of recycling
Polyethylene (PE) (previously polyolefin)	Polymer of ethylene: long chain of carbon atoms, with two hydrogen atoms attached to each carbon atom. It is vinyl polymer, made from monomer ethylene. Various densities use either free radical, Ziegler–Natta, or metallocene catalysis polymerization. Used as thermoplastics and fibers	The most popular plastic in the world. Used in a variety of forms (HDPE, LDPE, and LLDPE, see below) each with a significant share of the market. Used for shopping bags, shampoo bottles, toys, and much else. Industrial use commenced in the late 1930s	Appears to be safe, not known to leach	HDPE and LDPE recycled
High-density polyethylene (HDPE)	Long reasonably straight linear polyethylene. Tends to be made using Ziegler–Natta polymerization	Used for milk, water, and juice bottles, yogurt and margarine tubs, cereal box liners, detergent bottles, grocery bags. In construction used for: tubes, pipes, extrusions, tanks, electrical cables coverings, geomembranes, plastic lumber and wood-plastic lumber. In 2014, global revenue from HDPE was US\$61.8 billion	Appears to be safe, not known to leach	No. 2 can be recycled About 30% recycled, with an increasing trend in recent years
Low-density polyethylene (LDPE)	Branched polyethylene. Usually free radical vinyl polymerization used to achieve branches	Mainly used in the packaging industry, for bags and sacks, bread and frozen food bags, squeezable bottles, plastic wraps, and packaging foam. In construction used as damp-proof membranes. In 2013, global revenue from LDPE was almost US\$33 billion	Appears to be safe, not known to leach	No. 4 can be recycled but less than 6% is recycled
Linear low-density polyethylene (LLDPE)	Harder to manufacture than LDPE but has better properties	Used for plastic bags, wraps, toys, covers, lids, pipes, flexible tubing, buckets, containers, electrical cable covering, and geomembranes. In 2013, global revenue of US\$40 billion		Generally not accepted for recycling

Name	Chemical description	Common applications	Health impacts	Recycling numbers (if any)* and proportion of recycling
Poly(ethylene terephthalate) (PET) or polyesters	Copolymer with ethylene and terephthalate groups. Has a hydrocarbon backbone which contains ester linkages. Made using transesterification from ethylene glycol and dimethyl terephthalate. Used as thermoplastics and fibers	Dominates the bottled drink market (water, soft drink, sport drinks bottles), also ketchup and salad dressings, peanut butter, and cosmetic containers. As fiber it is used as polyester in clothing which is the most common polymer used in clothing. In construction, it is used as polyester insulation, carpets, and as a substrate in thin-film solar cells. Developed in a series of patents during the 1940s and 1950s. It is the fourth most common polymer. In 2015 about 24 million metric tons were produced globally	Appears to be safe for short-term use—designed for single-use only, extended life can increase the risk of leaching and bacterial growth. Appears to leach under extreme conditions (see main text)	No. 1 can be recycled. About 31% is recycled in the US and 52% in EU, with an increasing trend in recent years
Polypropylene (PP)	Vinyl polymer, similar to PE but with methyl groups repeating. Used as thermoplastics and fibers	Higher melting temperature than PE, so used in dishwasher-safe plastics, ketchup bottles, yogurt and margarine tubs, medicine bottles, cereal liners, packing tape, drinking straws, and chips bags. Used in medical implants/meshes. As fiber used in thermal underwear and carpets. Also, used in plumbing supplies and outdoor carpeting, especially close to pools as it does not absorb water. In 2013, global market for PP was 55 million metric tons	Because of hazardousness of propylene, hazardous during production, but appears to be safe in use. Not known to leach harmful chemicals	No. 5 can be recycled About 3% recycled
Polycarbonate	Named after the carbonate groups in its backbone chain. Belongs to the family of polyesters. Often called polycarbonate of bisphenol A (BPA), because it is made from bisphenol A and phosgene using interfacial polymerization. Used as thermoplastic	Very clear plastic used to make lightweight eyeglass lenses. Used in water cooler bottles, baby bottles, microwave ovenware and eating utensils, plastic coating for metal cans. Recent removal from food storage has begun. Used to make car parts, especially shatterproof windows. In construction used as a transparent covering for indoor–outdoor areas, and other large transparent sheets. Used as one of the common components in two pot epoxy resins. Invented in the 1930s in the search for synthetic estrogen—thus not surprisingly a hormone disruptor. In 2010, revenue from BPA was around US\$6 billion in the US only	Avoid—contains hormone disruptor with estrogenic activity; may cause chromosomal damage, can leach into food, especially as the product ages	Generally not accepted for recycling
Polystyrene	Long hydrocarbon chain, with phenyl group attached to every other carbon atom. Vinyl polymer made using either free radical chain or Ziegler–Natta polymerization of styrene. Used as thermoplastic	Hard, inexpensive and very common. Used for computer housing, foam packaging, car interiors knobs, CD and video cases, hairdryers, kitchen appliances, toys, clear plastic drinking cups, food containers. In construction used as expanded polystyrene insulation. Industrial use developed from the 1930s. In 2020, expected global revenue of about US\$26 billion	Avoid. Benzene (used in production of styrene; see Table 8.2) is a known human carcinogen. May leach harmful substances (possible carcinogens and hormone disruptors). Persistent in the environment. Energy intensive	No. 6 can be recycled. Less than 1% is recycled
Poly(styrene-butadiene) SBR rubber and poly(styrene-butadiene-styrene) SBS rubber	These are replacements for natural rubber. SBR is a copolymer of styrene and butadiene, while SBS is the same but with long chain of polystyrene, polybutadiene, polystyrene in that order. SBR is more common.	SBR is used for the soles of shoes, car tyre treads, and carpet backing (see Chapter 8). Industrial manufacture of SBR started during WWII. In 2012, more than 5.4 million metric tons of SBR produced globally	SBR is harmful to aquatic life with long-lasting effects. It may cause an allergic skin reaction. It is manufactured using toxic chemicals	Generally not accepted for recycling

Name	Chemical description	Common applications	Health impacts	Recycling numbers (if any) ^a and proportion of recycling
	As a combination of polystyrene (tough and hard plastic), and polybutadiene (rubbery), both have durable rubbery properties. These are thermoplastic elastomers, but also can be applied as an emulsion (E-SBR) or solution (S-SBR) to a surface			
Polyacrylonitrile (PAN) and copolymers known as acrylic	Vinyl polymer, made using free radical chain polymerization of acrylonitrile. Used as fibers	As a homopolymer it is used to make fibers for filtration systems, especially to make carbon fiber. As a copolymer it is used to make knitted clothing, tents		Generally not accepted for recycling
Poly(styrene- <i>co</i> -acrylonitrile) (SAN), and poly(acrylonitrile- <i>co</i> -butadiene- <i>co</i> -styrene) (ABS)	More solid acrylonitrile copolymers. SAN is a simple random copolymer of styrene and acrylonitrile. ABS is made by creating the same reaction in the presence of polybutadiene which then polymerizes, creating complex grafts	ABS is very strong and lightweight, stronger than polystyrene, and finds uses from kitchen appliances to car body parts, including plumbing fixtures and pipes and the faces of electric sockets. Developed during the 1930s and 1940s		Generally not accepted for recycling
Poly(vinyl chloride) (PVC)	Vinyl polymer, similar to PE but on every other carbon in the backbone chain, one hydrogen atom is replaced a chlorine atom. Produced using free radical polymerization of vinyl chloride. A thermoplastic	Some plastic wraps (meat, cheeses), food containers, blister packs, blood transfusion bags, garden hoses. Used in buildings for plumbing pipes and fixtures, vinyl flooring, window frames, electrical cable covering (see Chapter 7). Introduced into use after 1926 invention	Toxic in production and disposal. Plasticizers added for flexible applications can leach and be harmful (see Chapter 7)	No. 3 can be recycled. Less than 1% recycled. Releases dangerous gases during recycling, so this should be avoided
Poly(methyl methacrylate) (PMMA)	Polymer chain of methyl methacrylate. Vinyl polymer made by free radical vinyl polymerization from the monomer of methyl methacrylate. It is thermoplastic	Clear plastic (more transparent than glass) used for eyeglass lenses, dentures, shatterproof glass replacement, ice rink barriers. Known as Plexiglas, Perspex, Acrylite, Lucite. Used for, sinks, tubs, shower units. Also used in lubricating oils, and acrylic/latex paints which contain it suspended in water (it does not dissolve). When used as glass replacement similar to polycarbonate, but cheaper. Developed in 1928	Not classified as posing health issues	Generally not accepted for recycling
Poly(vinyl acetate) (PVA)	Vinyl polymer made by free radical polymerization of monomer vinyl acetate. Thermoplastic	Used as an adhesive for wood, paper, and textiles. Found in water-based acrylic paints, where PVA acts as latex (in form of poly(vinyl alcohol- <i>co</i> -vinyl acetate) which makes it possible for PMMA to be suspended in water. Discovered in 1912	Highly flammable liquid and vapor which may be harmful if swallowed and cause mild skin and serious eye irritation. Some indications of carcinogenesis in animals, but no data for humans. IARC Group 3	—
Nylons, aramids, and polyamides	A range of polymers with a chain of amide groups separated by phenylene groups (can be arranged in more than one way). Kevlar is made from terephthoyl chloride and <i>p</i> -diaminobenzene, Nomex from isophthoyl chloride and <i>m</i> -diaminobenzene, Nylon 6 from caprolactam, Nylon 6,6 from adipic acid and hexamethylene diamine. Currently nylon 6 and nylon 6,6 are most commonly used. Used as thermoplastics and as fibers	Around the 1940s nylon was first used for toothbrush bristles, women's stockings, parachutes, and ropes. Kevlar is used for bulletproof vests and puncture-resistant tyres. Used as fiber, molded shapes, and in films. In buildings it is found in carpets, fixings, and door furniture. Started with use during the 1940s		—

Name	Chemical description	Common applications	Health impacts	Recycling numbers (if any) ^a and proportion of recycling
Polyurethanes (PU)	Family of polymers based on polymerization of urethane linkage, using polyols (polyester, polyether, etc.) and isocyanates (toluene diisocyanate, methylene diphenyl diisocyanate, isophorone diisocyanate, etc.). They can be elastomers in fibers and appear in paints and adhesives. Thermosetting or thermoplastic	The best-known polymer used to make foams. Very versatile family, used as fibers for clothing (Spandex/Lycra), wheels, tyres, hoses, shoes, and carpet underlay. In building used as adhesives, surface coatings, and sealants. Developed in 1938 for fibers. In 2014, in Europe 4.4 million metric tons of polyurethane were produced	Uses toxic chemicals in its manufacture, but as a thermoplastic is considered chemically inert when fully reacted. Adhesives, surface coatings, and sealants can lead to exposure to unreacted components	Generally not accepted for recycling

^aInternationally standard recycling numbers go to number 6. Number 7 is often used to cover all types of plastics not covered by the specific numbers. Most municipalities do not recycle any of the number 7 plastics. In some parts of the world a greater range of numbered plastics and their recycling can be observed more recently.
Sources: PubChem Compound, 2016. Review of Chemicals by the National Center for Biotechnology Information (NCBI). Available from: www.ncbi.nlm.nih.gov (accessed October 2016.); ECHA, 2016. Chemicals Search from European Chemicals Agency (ECHA). Available from: echa.europa.eu (accessed October 2016.); Ceresana, 2016. Introductory Previews of Ceresana: Market Intelligence, Consulting reports. Available from: www.ceresana.com (accessed October 2016.); Polymer Science Learning Center, 2000. Polymer Science Learning Center, University of Southern Mississippi. Available from: www.pslc.ws (accessed October 2016.) (Polymer Science Learning Center, 2000); and other sources cited in this chapter.