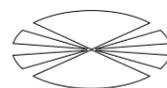


DEPARTAMENTO DE PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS Y URBANISMO

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

.....

Octubre 2015



ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

CONSECUENCIAS EN EL LENGUAJE ARQUITECTÓNICO



.....

TRABAJO FIN DE GRADO. GRADO EN ESTUDIOS DE ARQUITECTURA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

.....

Marta Piñeiro Lago

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

CONSECUENCIAS EN EL LENGUAJE ARQUITECTÓNICO

TRABAJO FIN DE GRADO. GRADO EN ESTUDIOS DE ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS Y URBANISMO
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ALUMNA

Marta Piñeiro Lago

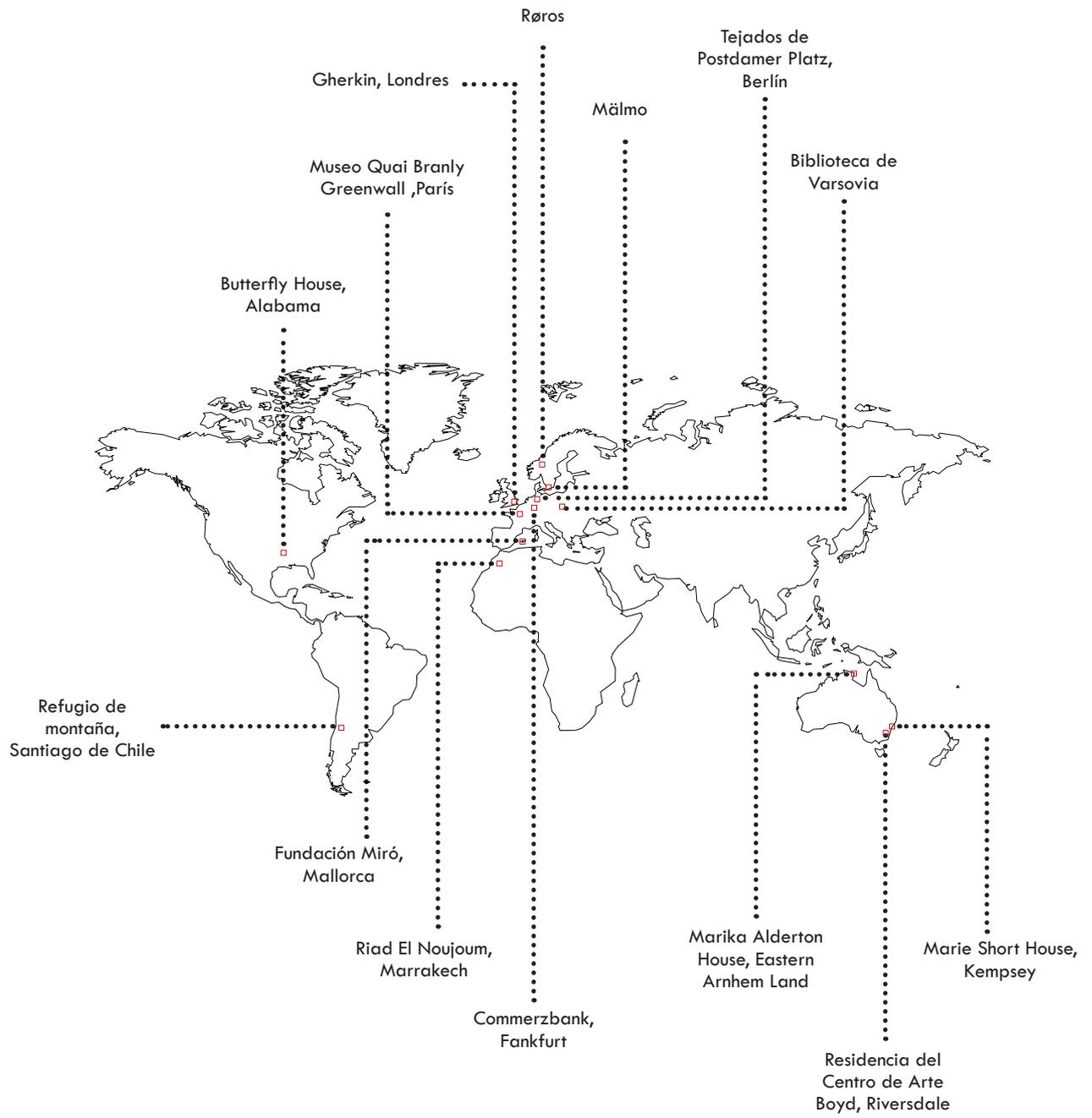
DNI: 36.170.756-J

TUTOR

Óscar Pedrós Fernández

Referencia TFG: Proy-40

Curso académico: 2015/2016
Fecha de entrega: 02/10/2015



“Entonces, la ética de la tierra refleja la existencia de una conciencia ecológica, que a su vez, refleja la convicción de la responsabilidad individual de mantener la salud de la tierra. Salud es la capacidad de la Tierra de autorrenovarse. Conservación es nuestro esfuerzo por comprender y conservar esta capacidad”.

Aldo Leopold. A Sand County Almanac

Dedicado a Jairo Rúa por su apoyo incondicional, a Aitor Almaraz por su sinceridad e incansable buen humor, a Óscar Pedrós, por todo el entusiasmo puesto en este pequeño trabajo y a Sonia Vázquez, por animarnos siempre a luchar por lo que queremos conseguir.

Muchas veces encuentras la inspiración que te falta en aquellos que te rodean.

Prólogo

En la actualidad, se atraviesa una etapa en el ámbito de la arquitectura en la que se encuentra en auge todo lo relativo a la sostenibilidad.

Tal y como dijeron en el año 1979 los arquitectos Roger Camous & Donald Watson en su libro "L'habitat bioclimatique: De la conception à la construction":

"Antes de la era de los combustibles fósiles baratos, durante la cual se generalizaron los medios modernos de calefacción y aire climatizado, las edificaciones tradicionales prestaban enorme atención a los elementos climáticos locales. Después de la reciente crisis energética, se advierte un nuevo interés por las técnicas que permiten economizar energía y, en particular, por las técnicas naturales." (Camous, R.; Watson, D., 1979)

Una nueva forma de concepción arquitectónica, tanto a nivel edificatorio como a nivel urbano, comienza a cobrar fuerza en el panorama internacional y trae consigo, inevitablemente, la aparición de un nuevo lenguaje arquitectónico que ha comenzado a ponerse de manifiesto en las últimas décadas. Sin embargo ¿es realmente sostenible todo lo que se vende bajo esta etiqueta?

Los prefijos "eco" y "bio" se han convertido en herramientas publicitarias, haciendo referencia en la mayoría de los casos a una falsa arquitectura sostenible, con la finalidad

de aumentar las ventas bajo el pretexto de un ahorro energético inexistente en realidad.

La aplicación del propio Código Técnico de la Edificación, en su sección destinada al ahorro energético, no supone tampoco garantía alguna de estar construyendo edificios sostenibles, puesto que la mayoría de medidas que contempla son activas, precisamente el tipo que la arquitectura bioclimática trata de evitar.

La mayoría de arquitectos se escudan en el cumplimiento de esta normativa, o en el hecho de utilizar, aunque sea mínimamente, cualquier tipo de energía renovable, para afirmar que sus edificios son sostenibles y respetuosos con el medio ambiente cuando, nada más lejos de la realidad, un edificio verdaderamente sostenible y eficiente es aquel que está pensado, desde los primeros bocetos de proyecto básico, para reducir al mínimo necesario la implantación de cualquier medida activa para su acondicionamiento térmico.

Por otra parte, algunas de aquellas obras que se autodefinen como "sostenibles" acaban por presentar un gran parecido formal entre ellas, aun estando situadas en climas completamente diferentes, hecho que ha llevado a cuestionar la veracidad de esta nueva metodología de construcción.

El introducir enormes aleros a las cubiertas, superficies vegetales, madera como material

de construcción o faldones plagados de placas solares no hace a una obra arquitectónica más sostenible si estos elementos se utilizan sin criterio alguno.

Además, al contrario de lo que algunos arquitectos pretendan hacer creer, la arquitectura ecológica no consiste únicamente en introducir árboles y plantas en los edificios. El encontrarnos fotorreproducciones de enormes rascacielos de cuyos pisos brota la vegetación como si de bosques artificiales se tratase se ha convertido en una imagen habitual en el panorama del concurso arquitectónico. Los falsamente llamados “edificios verdes” o “sostenibles” que, si bien es cierto que este es el color de la vegetación que los invade, nada tienen que ver con la verdadera arquitectura ecológica.

A modo de conclusión, aparecen en el panorama arquitectónico nuevos elementos del lenguaje que evidencian el cambio hacia una nueva arquitectura, a pesar de que pocos son los que parecen conocer la aplicación real de estos nuevos elementos.

En esta investigación se tratará de dilucidar precisamente cuál es el verdadero sentido de este nuevo lenguaje arquitectónico, en defensa de una arquitectura honesta que no se venda a la última tendencia y bajo la creencia de que aunar calidad proyectual y sostenibilidad es posible.

Índice

Prólogo

0. Resumen/Resumo/Abstract	7
1. Introducción	9
1.1. ¿Qué es la arquitectura bioclimática?	9
1.2. Estado del arte	10
2. Metodología	14
3. Acotación	16
4. Desarrollo	17
4.1. Viento	17
4.2. Agua	20
4.3. Soleamiento	24
4.4. Vegetación	28
5. Conclusiones	31
6. Investigaciones Futuras	33
7. Anexo	34
8. Figuras	36
9. Referencias	39

0. Resumen/ Resumo/ Abstract

Resumen

Los tiempos cambian y la sociedad cambia con ellos. Como consecuencia la arquitectura evoluciona para dar respuesta a las necesidades de una época.

El problema del agotamiento de los recursos energéticos y el desarrollo insostenible de la sociedad actual hacen necesaria la búsqueda de nuevas formas de arquitectura que permitan resolver esta problemática, disminuyendo la demanda de estos recursos e incrementando el rendimiento energético. Surge así la arquitectura bioclimática y, con ella, un nuevo lenguaje arquitectónico que no siempre es utilizado con fidelidad a sus principios.

El objeto de este estudio es que el lector pueda llegar a diferenciar o juzgar con mayor criterio si estos elementos propios de un nuevo modelo de arquitectura responden o no fielmente a esta nueva tipología arquitectónica.

Resumo

Os tempos cambian e a sociedade cambia con eles. Como consecuencia a arquitectura evoluciona para dar resposta ás necesidades dunha época.

O problema do esgotamento de recursos enerxéticos e o desenvolvemento insustentable da sociedade actual fan necesaria a búsqueda de novas formas de arquitectura que permitan acadar unha

solución a este problema, diminuíndo a demanda de recursos e incrementando o rendemento enerxético. Surxe así a arquitectura bioclimática e, con ela, unha nova linguaxe arquitectónica que non sempre é utilizada con fidelidade ós seus principios.

O obxectivo deste estudo é que o lector poda chegar a diferenciar ou xulgar con maior criterio se eses elementos dun novo modelo de arquitectura responden ou non de acordo ós principios desta nova tipoloxía arquitectónica.

Abstract

Society changes over time and, as a result, architecture must develop to meet their needs.

The lack of energy resources and unsustainable development of modern society makes it necessary to look for new architecture forms, to reduce the demand on resources and increase energy efficiency in order to find a solution for this problem. This brings out the bioclimatic architecture and its new architectural language, not always used with fidelity to its principles.

The purpose of this work is so the reader can learn to differentiate and critically judge whether these architectural elements are properly used according to this new architectural typology or not.

Palabras clave/ Palabras chave/ Keywords

Arquitectura, bioclimática, bioclimatismo, sostenible, ecológica/ Arquitectura, bioclimática, bioclimatismo, sostible, eco/ Architecture, Bioclimatic, bioclimatic, sustainable, ecological

1. Introducción

1.1. ¿Qué es la arquitectura bioclimática?

En los últimos años se ha puesto de manifiesto el rápido agotamiento de los recursos naturales y el calentamiento global sufrido por el planeta debido al aumento de los gases de efecto invernadero provocado por el uso de combustibles fósiles. Estos fenómenos han hecho surgir en el mundo de la arquitectura la preocupación de proyectar y construir edificios más respetuosos con el medio ambiente, de manera que se logre alcanzar un entorno sostenible.

Concebida como una solución para el elevado consumo energético de los edificios debido a un mal diseño de los mismos, así como para disminuir la contaminación generada durante su construcción y demolición, la arquitectura bioclimática se entiende como la forma de proyectar y construir edificios sostenibles y eficientes energéticamente a partir de la correcta adaptación al clima y al entorno.

El concepto de arquitectura bioclimática es relativamente novedoso e implica que, además de controlar la luz, el espacio y el color en la actividad proyectual, así como las emociones, sensaciones y comportamientos que éstos provocan en sus ocupantes, el arquitecto llegue a prever también el comportamiento higrotérmico o, lo que es lo mismo, los parámetros de temperatura y humedad en el interior del edificio, de tal forma que mediante el uso de medidas pasivas se consiga que el edificio se caliente, enfríe y ventile por sí mismo para alcanzar el confort térmico.

Estas medidas guardan relación con la orientación, tipología y estructura formal del edificio, así como con la disposición y

colocación de los diferentes componentes arquitectónicos en el mismo, con lo que se podría llegar a prescindir, dependiendo de la severidad del clima, de medidas activas para su climatización, pudiéndose incluso reducir el coste final del edificio y su huella ecológica.

Sin embargo, lejos de lo que pueda parecer en primera instancia, este concepto se encuentra más próximo a la tradición de lo que se podría pensar, ya que las técnicas constructivas de la arquitectura popular han constituido desde sus orígenes la adecuación perfecta de las necesidades humanas al clima y la construcción sostenible. Por ello se podría decir que se trata de la arquitectura bioclimática primigenia. Así mismo, se podría definir la arquitectura bioclimática actual como una arquitectura popular evolucionada.

Se concluye así que un diseño inapropiado de cualquier edificio origina la necesidad de introducir medidas activas de climatización que palien las pérdidas o ganancias térmicas excesivas, acarreando un consumo energético innecesario. Este consumo innecesario es, precisamente, lo que la arquitectura bioclimática trata de evitar, sirviéndose para ello del diseño lógico y estratégico del edificio, para alcanzar una climatización autónoma del interior y la correcta implantación del mismo en el entorno.

1927

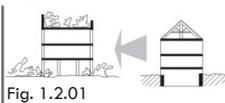


Fig. 1.2.01
"Cinco Puntos de una Nueva Arquitectura"
Le Corbusier

1963

"Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism"
Victor Olgyay's Bioclimatic Chart

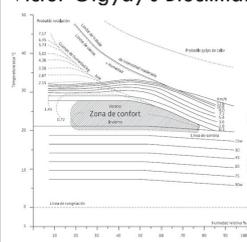


Fig. 1.2.03

1970



Fig. 1.2.05
Glenn Murcutt abre su estudio

1973



Fig. 1.2.07
Crisis Energética Mundial

1990

1933

IV Congreso CIAM
Carta de Atenas



Fig. 1.2.02

1969

"Building Bioclimatic Chart"
(Climogramas de Givoni)

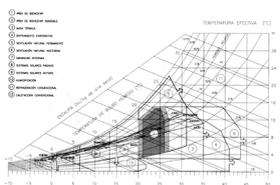


Fig. 1.2.04

1972

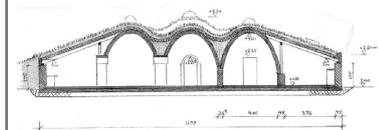


Fig. 1.2.06
Gernot Minke comienza sus investigaciones sobre bioclimatismo

1.2. Estado del arte

Como se ha comentado con anterioridad, la arquitectura popular podría constituir el primer antecedente de arquitectura bioclimática pero, si esto es así, ¿en qué momento hubo de producirse el desvío de estas directrices para llegar al extremo de insostenibilidad actual? Y ¿cuándo se ha decidido retomarmas y de qué manera ha evolucionado su lenguaje arquitectónico a día de hoy?

Desde la cabaña primigenia y a lo largo de las épocas y las diferentes corrientes arquitectónicas, la arquitectura ha estado vinculada al lugar y al uso de materiales locales.

Esta constante se prolonga hasta la Revolución Industria (1), cuando los materiales tradicionales como la piedra, el ladrillo y la madera, son sustituidos en gran parte por otros como el hierro o el vidrio, más tarde el acero y finalmente el hormigón, trayendo consigo la búsqueda de una nueva expresividad,

un nuevo lenguaje arquitectónico en el que la robustez de la piedra y la madera se ve sustituida por la esbeltez y transparencia de las construcciones de vidrio y acero. Los interiores se inundan de luz y los edificios crecen en altura, dando lugar al Modernismo y el Art Nouveau.

Aparecen también los elementos prefabricados, que permiten disminuir los costes de producción y acelerar el ritmo de construcción, provocando una brusca aceleración en el ritmo de desarrollo de las ciudades, que sufren entonces un crecimiento exponencial.

A principios del siglo XX aparece el hormigón armado (2) como nuevo material de construcción y, con él, la necesidad de dar nombre a todo el abanico de posibilidades formales que ocasiona, naciendo así el Cubismo, Futurismo, Expresionismo, Neoplasticismo, Racionalismo y, junto con todos ellos, el Movimiento Moderno y los cinco puntos de Le Corbusier (3).

(1) Periodo comenzado en Europa a finales del siglo XVIII. Un hecho histórico que marca el rumbo de la arquitectura, dando lugar a la aparición de la industria, las ciudades y la vida urbana, trayendo con ello, nuevos materiales y técnicas constructivas.

(2) Debido a la producción industrializada del cemento Pórtland

(3) Le Corbusier formula sus "Cinco Puntos de una Nueva Arquitectura" en el año 1927

1975

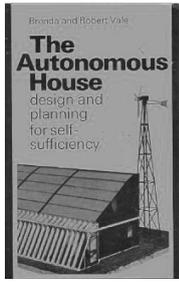


Fig. 1.2.08
Publicación de
"La Casa Autónoma"

1984 Traducción del
"Método Mazría"
permitiendo su
difusión por España
y Latinoamérica

1993

Brenda y Robert Vale
construyen el primer
edificio autónomo de
Reino Unido



Los principales
representantes del
High-Tech se reúnen
para crear el Eco-Tech

1996

William McDonough
recibe el Premio
Presidencial en
Desarrollo Sostenible,
máximo galardón
en el ámbito de la
sostenibilidad

2000

1980

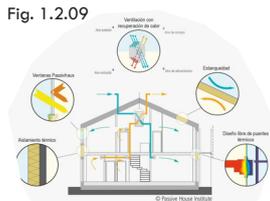


Fig. 1.2.09
Comienza a desarrollarse
el estándar Passivhaus

1987

La ONU publica el Informe
Brundtland, realizado por
la ex-primera ministra
de Noruega Gro Harlem
Brundtland

1995



Fig. 1.2.11
Kean Yeang publica su primera
obra: "Design with Nature"

Quizás fuese de forma inconsciente pero, a sabiendas o no, estaba introduciendo uno de los elementos más característicos de la arquitectura sostenible, la cubierta ajardinada, en pleno Movimiento Moderno, así como su posterior creación, el brise-soleil.

El crecimiento frenético de las ciudades siguió su curso, dando lugar a nuevos bloques de viviendas cada vez más próximos unos a otros, que sumados a la contaminación volvieron a las insalubres.

En el año 1933 se celebra el IV congreso del CIAM ⁽⁴⁾, donde se elabora la Carta de Atenas, en la que se ponía de manifiesto ya a principios del siglo XX la necesidad de un cambio en el camino insostenible que estaba tomando el desarrollo de las nuevas urbes. A raíz de este manifiesto, comenzaron a cobrar importancia cuestiones como los espacios verdes, las calles anchas y otra serie de medidas que mejorasen las condiciones de habitabilidad de las, pero todavía quedaba por atacar el diseño insostenible de éstas a nivel particular de cada edificio.

El hecho que marca un nuevo punto de inflexión en el rumbo de la arquitectura es la crisis de petróleo de 1973. Tras esta crisis energética internacional, el precio del crudo se dispara y, a consecuencia de esto, comienza a tomarse conciencia, al fin, de la importancia que acarrea el ahorro energético.

Sin embargo, veinte años atrás, algunos arquitectos ya comenzaban a preguntarse hacia dónde conduciría semejante despilfarro, por lo que comenzaron la búsqueda de una alternativa más sostenible.

En 1963, el arquitecto de origen húngaro Victor Olgyay ⁽⁵⁾, pionero del bioclimatismo, publica su segunda obra, "Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism", en la que maneja la idea de adaptar el edificio a las necesidades de sus habitantes y las condiciones climáticas de su entorno, dando a conocer los primeros conceptos sobre arquitectura bioclimática.

Casi veinte años más tarde, en 1969, el arquitecto israelí Baruch Givoni publica

⁽⁴⁾ El IV congreso del CIAM se lleva a cabo en un crucero a bordo del Patris II. En él se dan cita los mayores representantes del Movimiento Moderno.

⁽⁵⁾ Victor Olgyay impartió clases en las universidades de Notre Dame, Princeton, Harvard y el MIT. Instituciones en las que divulgó todo su saber en materia de sostenibilidad.

“Building Bioclimatic Chart” ⁽⁶⁾, también conocidos como los “Climogramas de Givoni”, superando los publicados por Olgyay en 1963 y empleados todavía en la actualidad por la mayoría de arquitectos bioclimáticos del mundo.

Un año después, el famoso arquitecto australiano Glenn Murcutt, premio Pritzker de arquitectura, abre su propio estudio, comenzando sus primeras obras basándose en las premisas de una arquitectura adaptada a las condiciones climáticas de su entorno con un lenguaje propio.

En 1975, Brenda Vale ⁽⁷⁾ junto a su marido Robert Vale, publican “The Autonomous House”, un libro sobre la autosuficiencia energética de la vivienda. Continuarían profundizando en esta investigación durante toda su carrera profesional, siendo los primeros en construir, en el Reino Unido de 1993, el primer edificio autónomo, su propia casa, a la que le seguiría la publicación del ejemplar “The New Autonomous House”. Posteriormente se mudarían a Nueva Zelanda para impartir clases a alumnos de máster y doctorado, donde desarrollarían NABERS, un sistema de clasificación que mide el impacto ambiental de los edificios existentes.

Los años 80 constituyen una etapa clave en la arquitectura sostenible europea. En esta década comienza a investigarse en Alemania una nueva técnica para proyectar y construir edificios con un consumo energético casi nulo, que no llegará a consolidarse hasta 1988,

cuando es formulado en la universidad sueca de Lund el estándar Passivhaus ⁽⁸⁾. Dos años después, se realiza en la ciudad de Darmstadt, Alemania, el primer proyecto bajo este estándar.

En 1984 se traduce al español el “Método Mazria”, una metodología propia del arquitecto Edward Mazria que versa sobre diseño pasivo, permitiendo así su difusión por España y Latinoamérica, donde comienza a desarrollarse un pensamiento propio sobre la materia.

Así mismo, en el año 1987, la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU formula el Informe Brundtland, realizado por la ex-primer ministra de Noruega Gro Harlem Brundtland, el cual demostraba que el proceso de desarrollo de la sociedad mundial estaba destruyendo el medio ambiente y ponía de manifiesto la necesidad de un cambio global hacia un desarrollo sostenible.

Esto provoca que en el año 1993, los grandes representantes del movimiento High-Tech, tras darse cuenta del costoso mantenimiento de sus edificios junto con su enorme gasto energético, deciden darle un nuevo enfoque a dicha corriente arquitectónica para hacerla más respetuosa con el medio ambiente. Así es como Norman Foster, Richard Rogers, Renzo Piano, Thomas Herzog, François Hélène Jourda y Grilles Perroudin se reúnen en Florencia para fundar el grupo READ, naciendo así el movimiento Eco-Tech, con

⁽⁶⁾ “Building Bioclimatic Chart” son una recopilación de climogramas de distintas regiones seguidas de una serie de consejos bioclimáticos para adaptar las edificaciones a sus necesidades en cada caso.

⁽⁷⁾ Brenda Vale estudió arquitectura en el University College of London. Allí fue alumna de Philip Steadman, con quien investigó, junto con un grupo de alumnos, acerca de nuevas fuentes de energía, todas ellas renovables y el modo de conseguir la autosuficiencia energética de las viviendas. Esta investigación sería la base para la publicación de su libro.

⁽⁸⁾ El estándar Passivhaus es formulado en 1988 por los profesores Bo Adamson y Wolfgang Feist, del Instituto alemán de Edificación y Medio Ambiente. En 1994 el Dr. Wolfgang Feist funda el PasivHaus Institut (PHI), en la localidad de Darmstadt (Hessen, Alemania).

la suma de este grupo de “starchitects” al movimiento sostenible.

Sin embargo, a pesar de los numerosos avances, el 40% del consumo total de energía en la Unión Europea corresponde al sector de la edificación. Es por ello que hace tan sólo cinco años, el 19 de mayo de 2010, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea crearon la Directiva Europea 2010/31/UE, según la cual todos los edificios nuevos que se construyan a partir de 2020 serán de consumo energético casi nulo (NZEB) y de 2018 para los edificios públicos.

El problema energético y de agotamiento de recursos constituye un problema de actualidad al que se vuelve imprescindible hacer frente y es, por tanto, un caso merecedor de estudio.

⁽⁹⁾ Publicada en 1978 y traducida al español por Gustavo Gili en 1984. Gracias a ella Mazria llegaría a convertirse en un referente en líneas de conocimiento tales como calentamiento y enfriamiento pasivo o iluminación natural.

⁽¹⁰⁾ Según datos del 2015 publicados por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la Tierra se encuentra en déficit ecológico. Esto quiere decir que consumimos muchos más recursos de los que el planeta puede producir.

2. Metodología

La arquitectura bioclimática se sirve del estudio del medio físico y natural como herramienta para escoger los criterios de diseño al comienzo del proceso proyectual.

Este estudio permite aplicar los recursos bioclimáticos más apropiados en cada caso particular. Recursos que se traducen en un lenguaje arquitectónico propio.

Su método radica básicamente en el análisis de dos parámetros: las condiciones climáticas y las características del medio físico. Metodología de la que se apropia este trabajo.

Dentro de las condiciones climáticas, se encuentran las naturales y las artificiales, entendidas estas últimas como aquellas que repercuten en la modificación del clima debido a la actividad humana.

El estudio de los condicionantes climáticos se traduce en una serie de datos y gráficas de temperaturas, precipitaciones, vientos dominantes, soleamiento y humedad, cuya aplicación más directa se realiza a través de los climogramas ⁽¹⁾.

Entre los diferentes tipos de climogramas existentes los más conocidos son el de Olgyay y el de Givoni, de los que el más usado en la actualidad es el Climograma de Givony, puesto que permite una rápida deducción de las estrategias bioclimáticas que deberemos usar en función de las condiciones climáticas del entorno de proyecto.

Las características del medio físico dan lugar a lo que se conoce como mesoclimas, entre los cuales se podrán encontrar las siguientes casuísticas:

-Mesoclima de proximidad a grandes masas de agua.

Las masas de agua, debido a los procesos evaporativos en su superficie y su elevada inercia térmica, tardan mucho en calentarse y, una vez adquieren determinada temperatura, tardan bastante en liberarla. La tierra sin embargo se calienta con más facilidad por lo que, durante el día, se produce una corriente convectiva del mar a la ciudad, proporcionando una brisa de aire fresco. Por la noche la corriente irá en el sentido opuesto, ya que la tierra se enfriará más rápidamente que el agua. En un sentido más general, ocurre lo mismo con las estaciones, por ello la proximidad de grandes masas de agua ayuda a mitigar las temperaturas. Deberá tenerse en cuenta también el aumento de la humedad.

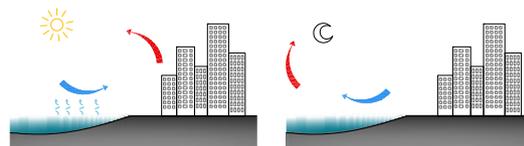


Fig. 2.01.- Corrientes convectivas en mesoclima de proximidad a grandes masas de agua para situación de día y noche.

-Mesoclima de montaña.

Durante el día, debido al calentamiento del terreno, se producen corrientes convectivas de aire cálido ascendentes. Durante la noche, debido al enfriamiento del mismo, más rápidamente cuanto más arriba, las corrientes convectivas se invierten, originando una corriente fría descendente. Debe tenerse en cuenta también el efecto Foehn, consistente en el calentamiento del aire producido al descender por las vertientes de las montañas a sotavento. Los vientos dominantes en la cara de barlovento, producirán una acumulación

(11) Representación gráfica sobre un mismo sistema de coordenadas de las diferentes condiciones climáticas de un lugar, que permiten extraer conclusiones de una manera muy visual acerca de los recursos bioclimáticos más apropiados para cada caso.

de nubosidad, que fácilmente se traducirán en precipitaciones debido a la disminución de la temperatura y la presión.

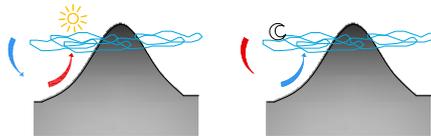


Fig. 2.02.- Corrientes convectivas en mesoclima de montaña para situación de día y noche.

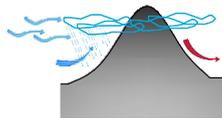


Fig. 2.03.- Efecto Foehn

-Mesoclima de valle.

Sus características son muy similares a las del mesoclima de montaña, produciéndose las mismas corrientes convectivas hacia ambas caras del valle.



Fig. 2.04.- Corrientes convectivas en mesoclima de valle para situación de día y noche.

-Mesoclima de bosque.

La vegetación frondosa de los bosques cumple diversas funciones. Por un lado proporciona sombra en el sentido opuesto a la procedencia de la radiación solar, la evaporación producida por transpiración de las plantas contribuye también a disminuir la temperatura en su área de influencia. En el interior del bosque la disminución de temperatura por reradiación nocturna es menor y, además, constituyen una barrera

eólica a sotavento.

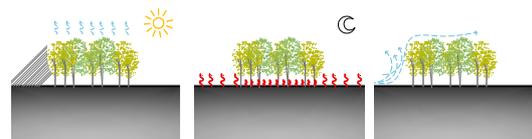


Fig. 2.05.- Características del mesoclima de bosque.

-Mesoclima de ciudad.

Se corresponde también con las características del microclima urbano, caracterizado por la modificación de las condiciones climáticas debido a la contaminación atmosférica, provocando el aumento de la nubosidad y las temperaturas, modificando el régimen de precipitaciones y disminuyendo la radiación solar y la transparencia del aire. Los edificios actúan como obstáculo para el viento, al tiempo de reflejan la radiación solar incidente en si superficie.

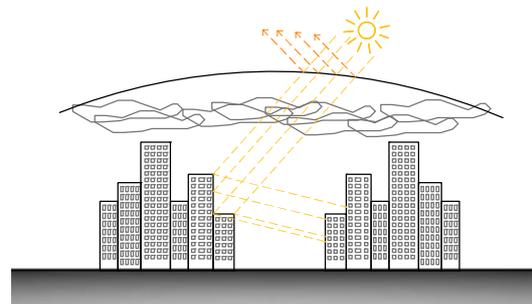


Fig. 2.06.- Características del mesoclima de ciudad

3. Acotación

Para el desarrollo de esta investigación se partirá del análisis de una recopilación de obras en las que el aspecto bioclimático haya sido un hecho fundamental en su diseño, clasificándolas en función del elemento climático principal causante de su alteración en el lenguaje.

Para esta clasificación se han seleccionado cuatro elementos climáticos, a saber viento, agua, soleamiento y vegetación, por considerarlos fundamentales en lo que a la clasificación climática más inmediata para el comienzo del proceso de diseño arquitectónico se refiere.

Se incluirán además en cada apartado otras obras arquitectónicas que, pese a no pertenecer a la arquitectura bioclimática per se, sí se enfrentan a estos mismo condicionantes climáticos de diversas maneras que pueden servir de reflexión al lector sobre cómo éstos afectan directamente al objeto proyectual.

4. Desarrollo

El objeto de estudio de este trabajo de investigación será el análisis de la aplicación más directa de los diferentes recursos climáticos en la arquitectura y las consecuencias sobre las alteraciones en el lenguaje arquitectónico.

Para ello, clasificándolos según el elemento climático fundamental para su diseño, se citarán y analizarán diferentes ejemplos arquitectónicos en los que se encuentren presentes diferentes recursos como respuesta a las condiciones climáticas, de forma que permitan dilucidar las verdaderas bases de la arquitectura bioclimática y sus recursos, responsables de un nuevo lenguaje propio.

4.1 Viento

El aire en movimiento, constituye uno de los factores climáticos principales y, por lo tanto, influye directamente en el diseño bioclimático.

Por todos es sabido que el aire caliente, debido a su menor peso y densidad, tiende a subir, mientras que el frío, por la razón opuesta, tiende a bajar, originando así lo que se conoce como corrientes convectivas.

Estos movimientos del aire de la atmósfera sumados a la velocidad que adquieren debido a la diferencia de presiones son las que originan los vientos.

Además, a través del movimiento del aire y los procesos evaporativos, el viento modifica el porcentaje de humedad ambiental.

El correcto manejo de este elemento es fundamental a la hora de generar ventilaciones pasivas que nos ayuden a alcanzar el confort térmico en el interior de los edificios.

Los vientos pueden ser cálidos o fríos y húmedos o secos, por lo que será preciso el estudio de los mismos durante un periodo considerable de tiempo para averiguar cuáles son los vientos dominantes que afectan directamente a la parcela y cómo utilizarlos.

El viento es sumamente importante para la situación de viviendas aisladas. Este es el caso de dos viviendas muy diferentes entre sí en lo que a condicionantes se refiere pero con un lenguaje común. Se trata de las viviendas Marie Short y Marika Alderton pertenecientes al arquitecto australiano Glenn Murcutt ⁽¹²⁾.

Murcutt, Premio Pritzker de Arquitectura es, a diferencia de otros arquitectos galardonados con la misma distinción, un personaje cuya obra se aleja bastante de la imagen habitual del "starchitect" quien, más que entender la arquitectura como la respuesta a unas necesidades sociales, la concibe como el resultado de un proceso escultórico, un concepto que suele estar siempre acompañado de derroche, tanto de recursos como de dinero.

Glenn Murcutt, plantea su arquitectura de forma radicalmente distinta pues, para él, el resultado formal no es tan importante como lo es la correcta adecuación a los condicionantes climáticos de partida. Su arquitectura es la perfecta conjunción entre el saber de la arquitectura tradicional aborigen y el lenguaje contemporáneo

"El fascinamiento de Murcutt por los fenómenos atmosféricos tiene su explicación en su pasión por el mundo de la vela. Murcutt aplica todo este saber a su arquitectura. Rechaza todos los procedimientos de regulación térmica artificial y la climatización. Prefiere crear las condiciones

⁽¹²⁾ Glenn Murcutt recibe el Premio Pritzker de Arquitectura en el año 2002.

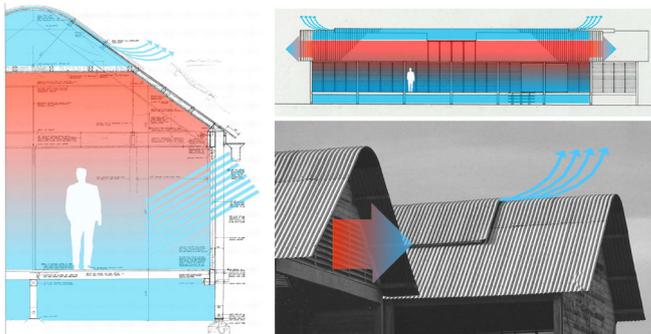


Fig. 4.1.01.- Casa Marie Short (1980). Sección constructiva transversal y esquema del funcionamiento higrotérmico de la vivienda.

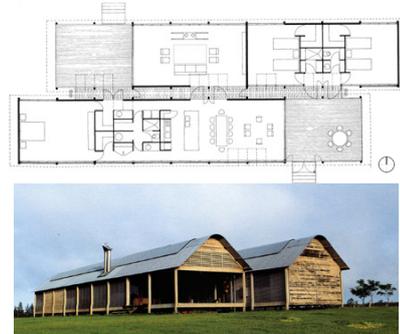


Fig. 4.1.02.- Casa Marie Short (1980).Planta y fotografía exterior.

propicias para el ejercicio de la mecánica fundamental del aire y organizando la circulación empleando la convección y la presión naturales. Pone el edificio en su sitio de manera que éste capta la brisa natural dominante. Pero lo hace con una mirada de arquitectura contemporánea, buscando el efecto práctico y poético sin olvidar todas las raíces aborígenes de su país. La ventilación natural asegura una aireación permanente y una temperatura fresca cara al interior; respetando el recorrido del viento, trata de minimizar el impacto de la construcción en el lugar y hace redescubrir al habitante de la vivienda la calidad ambiental del lugar en el que habita.” (Extraído de Fromonot, F, “Glenn Murcutt: opera e progetti”. Milán: Electa, 1995)

El motivo de escoger las dos viviendas de Murcutt antes mencionadas es que, a pesar de presentar un lenguaje común y estar situadas en el mismo país, ambas se encuentran en regiones con climas completamente diferentes, sitadas a 30° de diferencia entre sus latitudes.

Australia es el único país que cuenta con hasta cuatro climas diferentes en la totalidad de su superficie, a saber el oceánico, mediterráneo, tropical y desértico.

La primera de las viviendas a analizar,

Marie Short House, está situada en la ciudad de Kempsey, en Nueva Gales del Sur. Una región situada a 43° de latitud Sur con un clima oceánico.

Murcutt toma la decisión de orientarla en sentido opuesto a los vientos dominantes, de tal forma que las ventilaciones cruzadas que se produzcan en la vivienda sean en sentido longitudinal (Fig.4.01). Esta decisión proyectual tiene su explicación en el hecho de que, al encontrarse en un clima en el que la presencia de las estaciones es todavía palpable, se corre el riesgo de que el aire caliente almacenado en la parte más elevada de la vivienda condense. De esta forma, mediante la colocación de unas rendijas en la parte superior de las fachadas transversales se consigue la continua circulación de aire debido a su orientación a los vientos dominantes, que barren este aire caliente evitando así la aparición de condensaciones intersticiales en invierno. Además, mediante el aislamiento del último tramo de cubierta, se consigue la generación de una cámara de aire ventilada que mantenga fresca la vivienda durante la estación estival.

Su situación en planta permite además la orientación al norte de los espacios vivideros (Fig.4.02), que corresponde con la orientación de mayor asoleo en el hemisferio sur, además de utilizar un concepto propio de la tradición

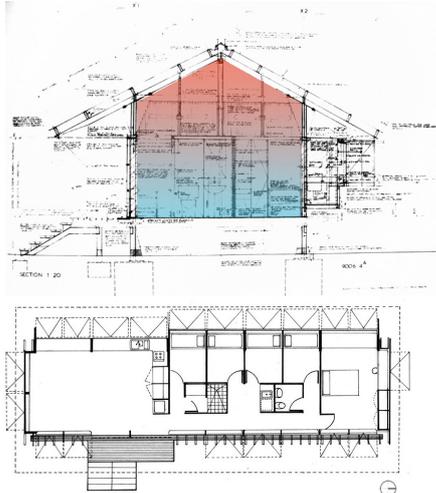


Fig. 4.1.03.- Casa Marika-Alderton (1994). Sección constructiva transversal con comportamiento térmico de la vivienda y planta.

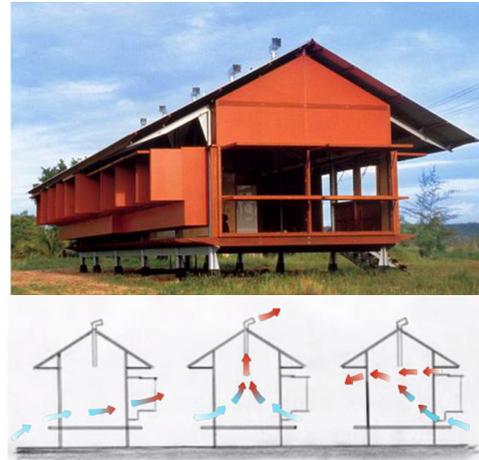


Fig. 4.1.04.- Casa Marika-Alderton (1994). Fotografía exterior y funcionamiento higrotérmico de la vivienda.

constructiva aborígen: situar la vivienda de espaldas a la montaña y de cara al valle.

La fidelidad de Murcutt a sus principios del diseño bioclimático queda demostrada cuando, años más tarde de la construcción de esta vivienda, le encargan su ampliación y éste, lejos de añadir nuevas geometrías en planta, se dedica a prolongar en la misma dirección ambos volúmenes de la vivienda. Una solución simple que permite mantener sus principios y orientación.

La segunda vivienda del mismo arquitecto, la Marika Alderton House, está situada en el Este de Arnheim, en la comunidad de Yirrkana, con una latitud Sur de 12°.

Para el diseño de esta vivienda Murcutt toma la decisión contraria a la anterior, decide orientarla con una diferencia de 90° en planta respecto a la otra, hacia los vientos dominantes, que inciden de forma perpendicular a la fachada longitudinal. De esta forma, la principal problemática característica del clima tropical propio de esta región, el excesivo calor, queda solventado por las corrientes de aire que barren todo el interior de la vivienda en su

dirección más corta, generando la continua renovación del aire interior.

También ayuda a ello el diseño modular de sus fachadas, las cuales, compuestas en su mayor parte por paneles abatibles, permiten prácticamente la completa abertura de la vivienda al espacio exterior.

Cuenta además con unos segundos paneles fijos en la fachada norte que actúan como protección solar, recurso que utilizará nuevamente en una obra posterior de la que hablaremos más adelante en el capítulo dedicado al soleamiento: la Residencia del Centro de Arte Boyd.

Esta vivienda cuenta además con otro sistema que permite evacuar el aire recalentado que asciende y se almacena en la parte alta de la vivienda. Consisten en unos mecanismos metálicos orientables colocados en la cumbre que, a modo de chimenea, permiten la salida del aire recalentado (Fig.4.04).

Además de las ventilaciones cruzadas utilizadas por Murcutt, existen otros recursos en la arquitectura bioclimática que permiten

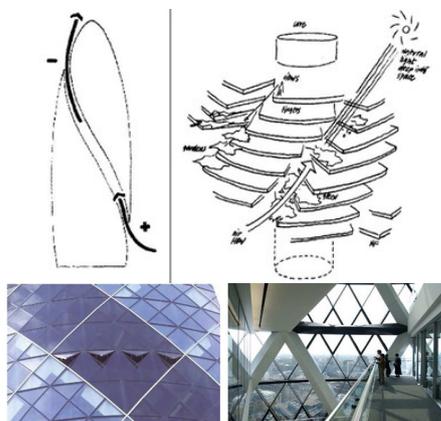


Fig. 4.1.05.- Gherkin (2001), Londres. Esquemas del efecto chimenea en su interior, fotografía de piel exterior y espacio interior.

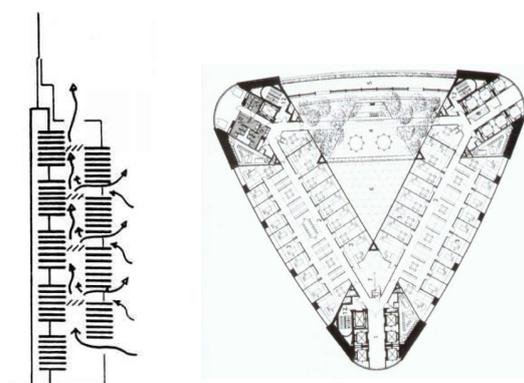


Fig. 4.1.06.- Commerzbank (1996), Frankfurt. Esquemas del efecto chimenea y ventilaciones cruzadas y planta.

jugar con las circulaciones convectivas naturales del aire para climatizar el interior de un edificio. Entre tales recursos podemos encontrar las torres de viento ⁽¹³⁾ o el efecto chimenea.

Este último es muy frecuente en los rascacielos diseñados por el estudio Foster+Partners, como su famoso edificio situado en el número 30 de la calle londinense St Mary Axe (Fig. 4.1.04) o el Commerzbank de Frankfurt (Fig. 4.1.05). En ellos, como uno de los mayores representantes del movimiento Eco-Tech, Foster tienen en cuenta el efecto producido debido a la diferencia entre las densidades del aire exterior y el interior de los edificios, provocada por su diferencia de temperatura y humedad, por la cual el aire caliente del interior que asciende y sale al exterior mediante aberturas situadas en la parte superior del edificio produce una depresión que propicia el ingreso de aire fresco a través de aberturas inferiores para completar un ciclo continuo de ventilación. Este efecto se incrementa cuanto más alto sea el espacio de circulación del aire y mayor sea la diferencia higrotérmica entre el interior y el exterior.

Pero además de resolver correctamente su

ventilación natural estos edificios deben lidiar con otro problema: el fuerte empuje del aire debido a su altura. Para ello, algunos edificios como el antes citado Gherkin o la Torre Pirelli ⁽¹⁴⁾, optan por emplear el recurso de la forma aerodinámica para desviar el mismo y disminuir así su empuje.

4.2. Agua

Nuestro planeta está compuesto en tres cuartas partes de agua que, debido a los procesos evaporativos provocados por el incremento de temperatura que ocasiona la radiación solar, se incorpora a la atmósfera en forma de vapor de agua, para precipitar más tarde de nuevo en estado líquido al descender la temperatura. Por esto, no es de extrañar que algunas de las estrategias de la arquitectura bioclimática tengan en cuenta este elemento natural para el diseño de sus edificios.

Las dos formas más frecuentes de utilización de este recurso consisten en su presencia en interiores o exteriores para la refrigeración en su área de influencia debido al proceso de evaporación o bien, su acumulación para la generación de inercia térmica, recurso

⁽¹³⁾ Este recurso se emplea en la vivienda Lighthouse, de Kingspan (2007). Ubicada en Building Research Establishment (BRE) Innovation Park, Watford, Hertfordshire (Reino Unido). Diseñada por Sheppard Robson, Alan Shingler y Martin Rode.

⁽¹⁴⁾ La Torre Pirelli (1956-1960), Milán, Italia. Diseñada por el arquitecto Gio Ponti, con la asistencia de Pier Luigi Nervi y de Arturo Danusso.



Fig. 4.1.07.- Fundación Miró (1975), Mallorca. Fotografía exterior del espacio de exposiciones.

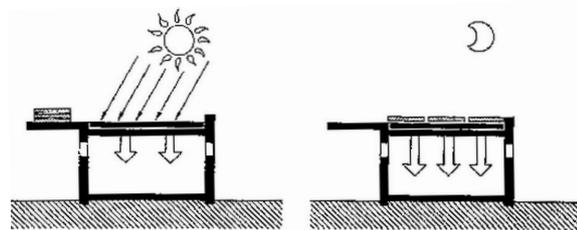


Fig. 4.1.08.- Esquema de funcionamiento del sistema Roof Pond

empleado especialmente en cubiertas. Esta tipología de cubierta recibe el nombre de cubierta plana inundable.

Un ejemplo de este tipo de cubierta, aunque posiblemente no fuese concebida con fines bioclimáticos, lo encontramos en la Fundación Miró, situada en Mallorca, última voluntad del reconocido pintor Joan Miró (Fig. 4.1.06).

En ella, el arquitecto Rafael Moneo, premio Pritzker de arquitectura en 1996, combina un centro de estudios para artistas y becarios con diferentes espacios para la exposición de obras de arte, entre ellas las colecciones personales del artista.

Posiblemente el origen de esta tipología de cubierta empleada en la fundación fuese la necesidad de evocar el espíritu de Miró y su deuda respecto a las tradiciones y a las condiciones naturales del Mediterráneo, sin por ello anular sus características de aislamiento térmico natural que propicia la elevada inercia térmica de este elemento.

La verdadera tipología de cubiertas bioclimáticas inundadas, también denominadas "roof ponds" (Fig. 4.1.07), son aquellas en las que la masa térmica está constituida por recipientes de agua cerrados y sellados que actúan como elementos de amortiguación térmica.

En climas con variación estacional, en invierno durante el día, los elementos de agua se cargan térmicamente mediante su exposición a la radiación solar, transmitiendo calor al interior mediante intercambio radiativo. Durante la noche, estos elementos de acumulación térmica se cierran al exterior mediante paneles aislantes, liberándose el calor acumulado en ellos hacia el interior por radiación y evitando pérdidas térmicas hacia el exterior.

Durante el verano el mecanismo se invierte. Los elementos de agua permanecen cerrados al exterior mediante paneles aislantes, absorbiendo parte del calor acumulado en espacios interiores. Por la noche, estos paneles se abren permitiendo que el calor acumulado se libere a la atmósfera, contribuyendo así a la refrigeración del edificio. Esta medida suele combinarse con otros mecanismos de evacuación del calor en la edificación mediante ventilación nocturna.

Otras tipologías de cubierta que emplea dicho elemento, derivadas de la evolución de las cubiertas vegetales, son la cubierta drenante y la cubierta con aljibe (Fig. 4.1.09), donde recipientes o materiales de diversa índole recogen el agua de lluvia, almacenándola hasta que la vegetación la requiera o para tratarla y destinarla a otros usos.

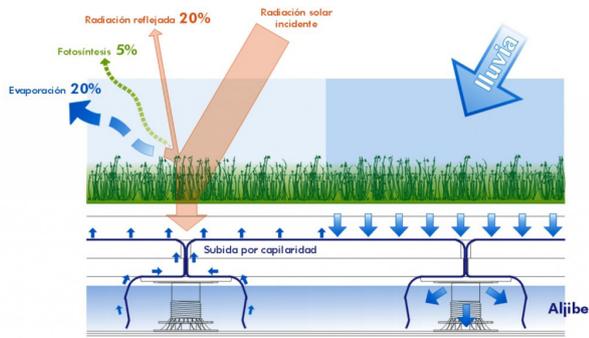


Fig. 4.1.09.- Esquema de funcionamiento del sistema de cubierta con aljibe



Fig. 4.1.10.- Fotografía del Riad El Noujoum, Marrakech, Marruecos

Este tipo de cubiertas, recomendables en climatologías diversas y allí donde el régimen de lluvias contribuya, presentan innumerables ventajas tanto desde el punto de vista del confort higrotérmico como desde la consideración del efecto ambiental que es capaz de producir en su entorno próximo, aunando las características de las cubiertas inundables con las de las cubiertas verdes, ya que son una excelente protección contra la radiación solar, retienen hasta el 70% de agua, que por evaporación vuelve a la atmosfera y aumentan la capacidad de enfriamiento por evaporación, con la consiguiente mejora del grado de humedad ambiental.

Pero, como se ha mencionado con anterioridad, la acumulación térmica no es la única aplicación posible del agua en el bioclimatismo. En los climas cálido-secos, propios de regiones desérticas, el problema es justamente el opuesto pues, además de la masividad de sus edificios que les permiten mantener constante la temperatura interior, precisan de la generación de humedad que conlleve la refrigeración del entorno.

Esto se consigue mediante edificaciones con pequeñas aperturas hacia el exterior que permiten controlar la cantidad de radiación que entra al edificio y evitar así su sobrecalentamiento y volcadas

hacia el interior mediante patios llenos de vegetación, fuentes y estanques, ya que tanto la vegetación como el agua producen evaporación, ayudando a la refrigeración del espacio.

Un perfecto ejemplo de ello son las edificaciones tradicionales marroquíes, entre las cuales están presentes los riad y las madrazas.

Los riad (Fig. 4.1.10) son antiguas casas-palacio de la arquitectura tradicional marroquí, de cinco o seis habitaciones distribuidas en pocas plantas y entorno a un jardín o patio interior al aire libre. Muchas de ellas han sido hoy en día restauradas y convertidas en hoteles.

Las madrazas son escuelas marroquíes en donde se imparten enseñanzas religiosas y demás asignaturas. En ellas también se suelen quedar los estudiantes que acuden a la ciudad de otras regiones para realizar algún tipo de estudio. Como norma general, las madrazas suelen contar con un patio central en el que verás una fuente, y varias habitaciones que sirven para el estudio o el descanso de los estudiantes que habitan allí.

Una de las madrazas más famosas, situada en Marrakech, es la madraza de Ben Youssef. Otro ejemplo, situado en Fez, es la madraza



Fig. 4.1.11.- Butterfly House (1997), Samuel Mockbee. Fotografía exterior



Fig. 4.1.12.- Butterfly House (1997), Samuel Mockbee. Maquet de la vivienda comparada con la fisionomía de una hoja

Bou Inania.

Este tipo de edificaciones también están presentes en algunas regiones de Andalucía, antaño ocupada por la religión musulmana en época del imperio Al-Ándalus.

Por otra parte, en aquellas regiones en las que la presencia de agua escasea, resulta de mucha utilidad otra aplicación de este recurso que nada tiene que ver sin embargo con su utilización para el control de la temperatura interior. Se trata de su almacenamiento para consumo.

Un perfecto ejemplo de este modo de empleo es la Butterfly House de Samuel Mockbee (Fig. 4.1.11).

Este arquitecto norteamericano y cofundador del programa Auburn University Rural Studio en el Condado de Hale, Alabama, tiene como centro de su trabajo como artista una educación basada en el lugar. Su obra es a menudo conocida como Arquitectura de la Decencia, debido a su firme creencia en que una arquitectura inteligente y vanguardista no debe estar reservada a las clases más pudiente de Nueva York o Los Ángeles, sino que debe ser utilizada para mejorar la calidad de vida de aquella población estadounidense que más lo necesita.

Debido a su fuerte creencia en la importancia social de la implicación de la arquitectura,

Mockbee cree que un estudiante de arquitectura no puede aprender acerca de la complejidad de su función social, a menos que salga de las clases y aprenda acerca de cómo funciona su práctica dentro de la comunidad.

Como profesor en la Universidad de Auburn, en 1993 Mockbee crea el Rural Studio, una oportunidad fuera del campus que pretende mostrar al estudiante cómo la arquitectura puede ser usada para impactar y cambiar la comunidad local, en lugar de quedar reservada únicamente a una clase social pudiente.

En particular para el caso de la Butterfly house, se toma como premisa para su diseño la recogida de las pluviales, dando lugar al elemento más singular de la vivienda, una cubierta que parte de la aplicación de la biomímesis, o ciencia que aplica soluciones propuestas por elementos de la naturaleza, para crear la perfecta geometría que, al igual que las enormes hojas amazónicas, recogen y conducen el agua

Otro caso de esta aplicación son los tejados ecológicos de las viviendas berlinesas de Potsdamer Platz (Fig. 4.1.13), en los cuales se recoge el agua de lluvia y se almacena en un tanque subterráneo que tiene capacidad para 3.500 m³ para suplir estanques artificiales, áreas verdes, e incluso en la descarga de sanitarios.



Fig. 4.1.13.- Fotografía de los tejados ecológicos de Potsdamer Platz, Berlín

Estos techos ecológicos se utilizan además en otras muchas áreas de la ciudad, debido en parte también a los impuestos que se cobran a las propiedades que generan escorrentías directas al drenaje local. Lo que impulsa que el agua de lluvia sea recolectada y conservada para evitar que se descargue a los sistemas locales. De esta forma la gente consigue reducción en los impuestos si convierte sus zonas impermeables (techos y pavimentos) en zonas de captación de agua de lluvia. Ésta y muchas otras iniciativas convierten a Berlín en una de las urbes más sostenibles del planeta.

4.3. Soleamineto

La arquitectura bioclimática no emplea mecanismos activos para la producción de energía calorífica. Por ello, no es de extrañar que trate de captar, acumular y distribuir de la manera más eficiente posible el equivalente pasivo que supone la radiación solar.

El soleamiento produce, tanto por radiación directa como difusa, un aumento de la temperatura sobre las superficies sobre las que incide. La radiación que incide sobre cualquier superficie del edificio es parcialmente reflejada de nuevo hacia el exterior, parcialmente absorbida y transformada en energía térmica y

parcialmente transmitida al interior a través de huecos y ventanas. La energía absorbida y transmitida contribuye al balance energético del edificio.

Por lo tanto, en el cálculo de la radiación solar incidente sobre el edificio, es preciso considerar la suma de la radiación directa incidente sobre éste, la radiación difusa aportada por la atmósfera y la radiación reflejada por las diferentes superficies del entorno.

La radiación difusa, relacionada con la iluminación natural, es la suma de la radiación difusa procedente del cielo después de reflejarse en las nubes y la radiación difusa reflejada procedente del terreno, el medio físico y los edificios adyacentes.

Además, la radiación solar crea gradientes de temperatura entre las superficies al sol y a la sombra, actuando así sobre la velocidad del aire y permitiendo así el desarrollo de estrategias de ventilación en la edificación.

La captación de los recursos energéticos procedentes del sol se realiza en el edificio, como sistema energético pasivo, mediante componentes cuyo objetivo es captar la energía solar y transmitirla al interior en forma de calor. Las aportaciones energéticas solares pueden desarrollarse



Fig. 4.1.14.- Proyecto para un refugio de montaña, Nicolas Dorval-Bory, Juan Carlos Lopez Huerta y Emilio Marin. 2009, Santiago de Chile

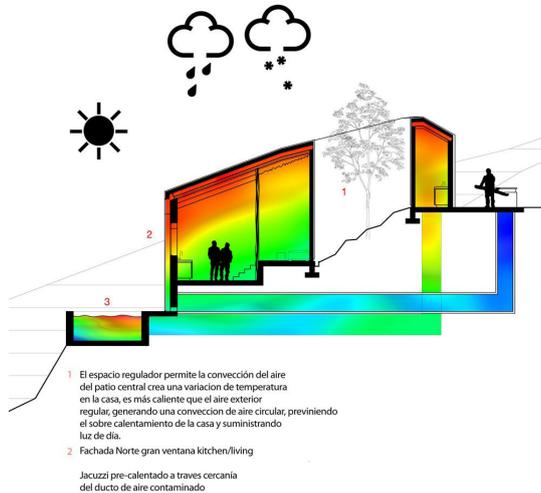


Fig. 4.1.15.- Proyecto para un refugio de montaña, Nicolas Dorval-Bory, 2009, Santiago de Chile. Funcionamiento térmico del edificio

en la edificación a través de mecanismo de ganancia directa o ganancia diferida o retardada.

La ganancia directa se produce cuando la radiación solar actúa de forma inmediata como recurso de ganancia térmica, calentando el aire del espacio que se desea acondicionar desde el instante en el que penetra en el interior de éste.

Los mecanismos más frecuentes para la ganancia directa hacia el interior del edificio son, tantos los ventanales en la cubierta o fachadas al sur en el hemisferio norte, norte en el hemisferio sur, este y oeste; como los patios

La ganancia diferida o retardada se produce cuando la radiación solar actúa como recurso de ganancia térmica para el calentamiento de elementos intermedios entre el espacio que se desea acondicionar y el exterior. Dichos elementos pueden tener carácter masivo y constituir los elementos de cerramientos opacos de la edificación, caracterizados por su masa térmica, o bien tratarse de espacios, habitables o

no, adyacentes a la edificación, desde los cuales se transmite el calor almacenado a los espacios a acondicionar. La transferencia térmica diferida se basa en la capacidad de acumulación del calor de estos elementos intermedios.

Perfecto ejemplo de ambos mecanismos de captación solar es el refugio de montaña sostenible para deportes de invierno situada en las colinas de Santiago de Chile, diseñada por los arquitectos Nicolas Dorval-Bory, Emilio Marín y Juan Carlos López Huerta para un concurso organizado por una compañía de bloques de hormigón celular.

Para esta casa, se pretendía responder a la creación de una nueva tipología arquitectónica que partiese tanto del funcionamiento técnico como de las características del lugar y el programa. Trabajando con la gama de bloques de hormigón celular se consigue desarrollar una estrategia simple para la utilización de este material de la mejor manera y aprovechar así todas sus propiedades.

La tipología de refugio de montaña en

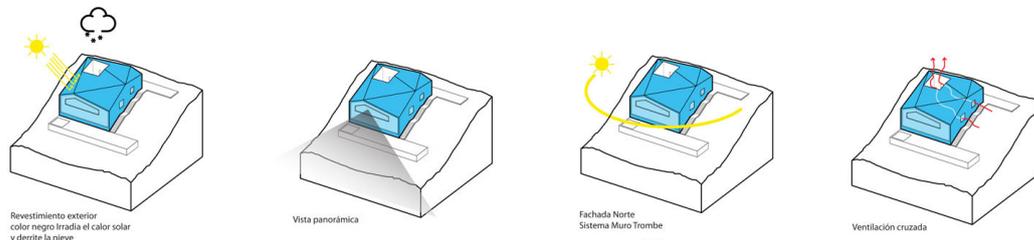


Fig. 4.1.16.- Proyecto para un refugio de montaña, Nicolas Dorval-Bory, 2009, Santiago de Chile. Esquemas del funcionamiento climático del edificio

terreno escarpado, funcional y eficiente energéticamente propio de la arquitectura vernácula será un claro referente para este proyecto. Al igual que estos refugios, el proyecto se integra con la topografía, buscando principalmente protegerse del frío, que puede ser particularmente fuerte en las colinas de Santiago.

El refugio, cuya función es alojar a los huéspedes que practican deportes de invierno durante el día, tiene que ser un lugar acogedor y cálido, pero fácil de usar durante el intervalo de descanso nocturno. Por lo tanto, el proyecto se organiza en torno a una planta geoméricamente cuadrada, alrededor de un patio central que sirve de amortiguación térmica entre la temperatura exterior e interior, proporcionando además un importante suministro de luz y aire fresco en verano.

Todo el refugio se ha pensado al milímetro para que sea lo más eficiente energéticamente respecto a las condiciones climáticas y la distribución funcional de los espacios está organizada de acuerdo a la temperatura más adecuada para cada actividad, jugando con los diferentes niveles permitidos por la pendiente natural y con una organización concéntrica del programa.

La fachada norte, que será la que reciba mayor insolación durante todo el año ya que el edificio se encuentra en el hemisferio sur, está constituida con un muro parietodinámico, sistema de ganancia diferida que calienta

el aire situado entre el vidrio y la pared de bloques de hormigón por efecto invernadero que entra al interior mediante unas válvulas motorizadas durante el día, mientras que durante la noche, será el calor almacenado en los bloques de hormigón el que calefactará la vivienda. Las válvulas motorizadas evitan un flujo inverso de aire durante la noche además de impedir el sobrecalentamiento por efecto invernadero de la vivienda durante la estación estival.

La fachada norte cuenta a mayores con un ventanal que estará compuesto por un doble vidrio con cámara de aire gracias al sistema del muro parietodinámico que permite una ganancia directa hacia los espacios vivideros, permitiendo disfrutar también de las espectaculares vistas de la montaña.

Además, todas las paredes de bloques de hormigón están pintadas de negro, contribuyendo a absorber la radiación solar y facilitar la calefacción del edificio.

El refugio cuenta además con un sistema de calefacción consistente en una bomba de calor geotérmica, que toma aire del exterior y lo calienta gracias a la energía geotérmica a su paso por una tubería subterránea y es conducido a la base de la cámara de aire del muro parietodinámico.

Sin embargo, no en todos los climas será necesaria la captación de energía solar ya que, en climas cálidos propios de las zonas próximas al Ecuador, el excesivo



Fig. 4.1.17.- Residencia del Centro de Arte Boyd (1999), Glenn Murcutt, Riversdale, West Cambewarra, Australia. Fotografías interiores y exterior de las habitaciones de la residencia.

calor provocado por la radiación solar, casi perpendicular a la superficie terrestre sin variación estacional, será un gran problema a tener en cuenta.

Para ello será necesario el empleo de sistemas de protección fijos o móviles que arrojen sombra sobre las superficies de fachada o impidan el paso de la radiación al interior. Existen numerosas tipologías para esta clase de protecciones, que van desde los famosos brise-soleil dados a conocer por Le Corbusier durante el Movimiento Moderno, pasando por la prolongación de los faldones de la cubierta a modo de aleros, hasta sistemas de lamas horizontales o verticales, ya sean colocadas en sentido paralelo o perpendicular a la fachada.

Un claro ejemplo de la utilización de protecciones solares lo encontramos en toda la arquitectura de Glenn Murcutt, en especial en la Residencia del Centro de Arte Boyd, donde estos elementos se transforman en signo de identidad del edificio (Fig. 4.1.17).

La residencia se sitúa en una ladera suave orientada al este que baja hacia el río Shoalhaven, cerca de la pequeña población de Cambewarra en Australia. Las habitaciones se abren al paisaje fluvial, alineadas a lo largo de un pasillo exterior cubierto, formando habitaciones cuádruples con dos baños compartidos y dejando un espacio de relación que se alterna entre ellas.

Las habitaciones para los residentes constituyen espacios muy bien fragmentados, ajustados a su uso y moduladas en torno a las dimensiones de las camas, de forma que cada habitación consta de cuatro habitáculos para cuatro camas, cada uno de ellos con ventana propia conformada por un vidrio fijo y dos paneles practicables, proporcionando sol, luz, vistas, ventilación y espacio de almacenamiento a cada residente y dejando el control de su funcionamiento a su criterio personal, casi como si de una casa se tratase.

A su vez, cada uno de estos habitáculos se distingue desde el exterior por unos paneles fijos de madera contrachapada y pintada que compartimentan externamente cada cama, proporcionando privacidad y protección solar, prolongándose los más grandes hacia el interior de forma que actúan de tabique corredizo que separa cada estancia en dos habitaciones dobles.

Este sistema es una evolución de la estrategia empleada en la fachada de la Casa Marika-Alderton. La agrupación y la repetición de los habitáculos dormitorio en la fachada dotan de una escala pública al edificio, que corresponden internamente a cada cama, dándoles presencia simbólica en el exterior.

4.4. Vegetación

La vegetación cumple un papel de gran relevancia en lo que a modificación de las condiciones climáticas inmediatas a ésta se refiere.

Los árboles de gran porte son una fuente de sombra, a la vez que desvían la trayectoria del viento actuando de protección frente al mismo. La vegetación purifica el aire del entorno de manera natural mediante la fotosíntesis y además, durante este proceso, por transpiración, aumentan los niveles de humedad y reducen así la temperatura en su área de influencia.

La cubierta, considerada como quinta fachada por el Movimiento Moderno, será la única superficie sobre la que incida la radiación solar durante todo el ciclo solar, tanto si existe variación estacional como si no, de forma que recibe la mayor cantidad de radiación solar de todo el edificio durante todo el año, a la que se deberá sacar el mayor partido mediante la captación y almacenamiento de esta energía.

Por este motivo no es de extrañar, que uno de los recursos más frecuentes de la arquitectura bioclimática sea el de las cubiertas vegetales, ya que la tierra que compone el sustrato de las mismas, constituye un material con elevada inercia térmica, perfecto para almacenar esta energía.

Combinando los beneficios de la tierra con los de la propia vegetación se consiguen multitud de ventajas, tales como favorecer la reducción del denominado efecto "isla de calor" debido a los materiales utilizados en las ciudades, que absorben la radiación solar y la reflejan en forma de calor elevando la temperatura ambiente; reducir la temperatura ambiente y captar CO₂ en las zonas de mayor densidad edificatoria; retener el polvo en la capa vegetal, filtrando metales pesados y contaminantes atmosféricos; permitir que

vivan organismos y especies animales, protegiendo la biodiversidad en las zonas urbanas; el incremento del espacio útil; la considerable mejora del aislamiento y de la estabilidad térmica interior, además de los efectos derivados de la absorción del ruido; o proporcionar alimentos con escaso gasto energético, permitiendo el cultivo de frutas y verduras.

Este tipo de cubiertas se viene empleando desde hace siglos en la arquitectura tradicional de los países escandinavos, debido a sus propiedades aislantes que ayudaban a mantener el calor generado en el interior mediante fuegos controlados en chimeneas. Todavía pueden verse hoy en día en las zonas alejadas de las ciudades o en pequeñas localidades como Røros (Fig. 4.1.19), reconocida como Patrimonio de la Humanidad por la Unesco que, con sus decenas de pequeñas casas de madera históricas en un paisaje ondulado y boscoso, parece congelada en el tiempo.

En el caso de esta localidad, en la que los termómetros marcan durante la estación invernal temperaturas medias de -11°C, pudiendo ser muy inferiores, estas construcciones solventan el problema de las bajas temperaturas de forma que el aislamiento de la capa vegetal de sus cubiertas se suma al de la capa de nieve que las cubre durante el invierno, incrementando considerablemente su característica aislante.

En la actualidad existen varios tipos de cubiertas vegetales, todas ellas son soluciones ensayadas por la arquitectura vernácula que han evolucionado adaptándose a los avances tecnológicos actuales. Entre ellas podemos distinguir las cubiertas vegetales extensivas, semi-extensivas e intensivas.

Las cubiertas extensivas, en las que encontramos un sustrato de vegetación de poco espesor, generalmente con especies vegetales autóctonas, emplea plantas



Fig. 4.1.18.- Fotografía de cubiertas vegetales en Geiranger Fjord, Noruega



Fig. 4.1.19.- Fotografía de cubiertas vegetales en Røros, Noruega

resistentes, ya que sobre las cubiertas pueden estar sometidas a fuertes vientos, heladas o excesiva radiación solar, especialmente en la época estival. Se caracterizan por precisar un mantenimiento muy reducido o nulo en zonas con precipitaciones abundantes en las que no sea necesaria la instalación de riego por goteo. Generalmente se utilizan hierbas naturales, musgo y vegetación con capacidad de regeneración. La elección de la vegetación extensiva se basará en la adaptación al entorno natural y será distinta dependiendo de la región climática. Además, la cubierta extensiva se caracteriza por precisar un mantenimiento muy reducido, que puede limitarse a dos o tres visitas de inspección y control al año

La plantación semi-extensiva se compone de algunas especies de la familia de tipo extensivo, mezcladas con arbustos pequeños y plantas aromáticas. Los espesores de la tierra vegetal varían por lo general entre 15 y 30 cm. y cuentan con elementos para una mayor retención de agua. Esta tipología necesita además mayor mantenimiento y puede exigir, dependiendo de las especies utilizadas, unas mayores necesidades de riego, siendo recomendable instalar en algunos casos sistemas de riego por goteo

Mientras que en la cubierta extensiva la composición de las plantas y su crecimiento sigue su propio proceso natural, la cubierta semi extensiva permite formar composiciones

paisajísticas que juegan con las propiedades aromáticas de las plantas y el color.

Por otro lado la cubierta ajardinada o intensiva, es un auténtico jardín en el edificio, permite vegetación de grandes dimensiones, así como el cultivo de verduras, hortalizas y frutales. Se realiza sobre cubiertas planas y la sobrecarga que va a suponer la vegetación y el uso al que vaya a ser destinada debe estar contemplado en el proyecto. Además, los continuos aportes de agua y nutrientes son factores a tener en cuenta en el cálculo de su mantenimiento y por tanto de su sostenibilidad.

En el panorama arquitectónico actual encontramos numerosos ejemplos de esta tipología de cubiertas, convirtiéndose muchas veces en reclamo para aquel sector poblacional que busca una tipología de vivienda más sostenible.

Un ejemplo de ello es el barrio sostenible Augustenborg Ecocity, en la ciudad de Malmö, Suecia. A aproximadamente a 1 km del centro urbano, este barrio cuenta con las azoteas ajardinadas más extensas de todo el mundo.

El diseño sostenible de este barrio sueco tiene su origen en las inmediaciones del año 2000, cuando la zona residencial de Augustenborg empezó a convertirse en un barrio marginado y numerosos inquilinos decidieron abandonarlo. La ciudad apostó



Fig. 4.1.20.- Fotografía de la cubierta ajardinada de la Biblioteca de Varsovia (1999), Polonia



Fig. 4.1.21.- Fotografía de la fachada vegetal del Museo Quai Branly Greenwall, Patrick Blanc (2005), París

entonces por un enfoque ecológico para enfrentarse al problema y decidió crear 10.000 metros cuadrados de azoteas. Además, se construyeron enormes espacios verdes y se mejoró la eficacia energética y el acceso a instalaciones de reciclaje, lo que convierte a este barrio en todo un modelo en lo que a sostenibilidad se refiere.

También en esta ciudad se sitúa el distrito de 600 viviendas de Västera Hamnen, situado junto al Puente del Oeste donde también podemos encontrar la famosa Turning Torso, una antigua zona industrial contaminada y en notable decadencia que actualmente ha sido descontaminada y cuenta con 3.000 metros cuadrados de cubiertas ecológicas, flanqueados por dos grandes parques diseñados para albergar especies vegetales locales, lo que permite una depuración del aire de la ciudad.

Otro famoso ejemplo de aplicación de techos verdes lo encontramos en la Biblioteca de la Universidad de Varsovia (Fig. 4.1.20), cuya cubierta alberga un jardín botánico abierto al público en el año 2002 que ocupa el equivalente a 1,5 estadios de fútbol, y constituye un reclamo ineludible para los habitantes de la ciudad.

Sin embargo, la creación de superficies verdes no sólo es aplicable a las cubiertas, ya que su práctica es extensible también a otras superficies del edificio como las fachadas vegetales.

Ejemplos de esta tipología los encontramos en la obra del botánico francés y miembro del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Patrick Blanc, autor de los jardines verticales del Caixa Forum de Madrid y el Museo Quai Branly (Fig. 4.1.21).

La ingeniera agrónoma Zaloa Azkorra ⁽¹⁵⁾, está investigando las características que tienen las paredes vegetales y su potencial como aislante acústico y térmico.

A día de hoy, sus investigaciones ya le han permitido demostrar que esta tipología de paredes tienen un gran potencial de aislante acústico, tanto instaladas en exteriores como interiores. Su próximo objetivo será investigar acerca de sus propiedades como aislamiento térmico.

Saloa Azkorra explica que, *“aunque estas paredes tienen un coste de mantenimiento, sus ventajas van más allá del aislamiento. Contribuyen a la reducción de la contaminación atmosférica y son una aportación estética en nuestras grises ciudades.”*

⁽¹⁵⁾ Zaloa Azkorraes también profesora de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Minas y de Obras Públicas de la UPV-EHU.

5. Conclusiones

El peligro de las modas o tendencias arquitectónicas radica en que suelen traducirse en la imitación de un mero resultado estético, olvidando su verdadera finalidad funcional.

Debido a la concienciación sobre la grave crisis energética y medioambiental en la que nos encontramos, el bioclimatismo y otras formas de arquitectura ecológica se plantean en el horizonte como la solución para un desarrollo sostenible.

El gobierno europeo trata a toda costa de imponer este estándar, con la intención de poner fin al problema que supone la insostenibilidad del modelo de desarrollo actual. Es de ahí de donde surge la nueva normativa 2010/31/UE., por la cual se exigen modelos de edificios próximos a las cero emisiones para un futuro muy cercano (nZEB).

Pese a ello, el esfuerzo que supone aunar la aplicación de estos recursos con los tres principios vitruvianos ⁽¹⁶⁾ no logra siempre un resultado exitoso, quedándose a veces la intención en mera apariencia.

Es de aquí probablemente de donde surgen todas esas imágenes idílicas de rascacielos, plagados de árboles en su interior o plantas que no se sabe muy bien como consiguen crecer sin tierra, que trepan por las fachadas de estos edificios, a los que tanta difusión se les está dando últimamente.

Con esto no se pretende dar a entender que la plantación de vegetación en las edificaciones contemporáneas no ayude a reducir los gases contaminantes producidos por las mismas, pues son una importante vía de reducción del porcentaje de CO₂ atmosférico.

Sin embargo, para el hipotético caso de un rascacielos de 200 plantas que no haya sido construido bajo las premisas de la sostenibilidad, sin medidas pasivas en el diseño del mismo que ayuden a reducir su consumo o medidas activas con energías renovables que reduzcan su huella ecológica, serían necesarias unas cuantas hectáreas de plantaciones para compensar así la contaminación producida durante su construcción y vida útil, sin mencionar siquiera su posible demolición.

Éste no es el único caso que puede encontrarse acerca de la incorrecta utilización de los recursos propios de este nuevo modelo de arquitectura. También se ha convertido en algo habitual encontrarse edificios bioclimáticos que presentan una sorprendente similitud entre ellos a pesar de estar situadas en entornos completamente diferentes.

El construir con piedra o tapial, acentuar los aleros, introducir superficies verdes o cubiertas inundables no son sinónimo de bioclimatismo si el clima en el que se sitúa la edificación no los requiere, pudiendo incluso llegar a producir un efecto adverso.

Tampoco construir con madera es sinónimo de sostenibilidad si ésta es extraída de una especie exótica y se ha traído desde el otro extremo del planeta.

Sin embargo es innegable que estos elementos son fácilmente reconocibles como pertenecientes a un mismo lenguaje. ¿Podríamos decir entonces que nos encontramos frente a un nuevo movimiento arquitectónico?

La arquitectura bioclimática no debería ser entendida como una moda o una estrategia

⁽¹⁶⁾ Según el resumen publicado por Claude Perrault en 1673, Vitrubio, en su tratado "De architectura" (15 a.C.), define la arquitectura como la suma de tres principios: *firmitas* (firmeza o durabilidad), *utilitas* (utilidad) y *venustas* (belleza). Conocidos como la tríada vitruviana.

de máquetin, pues no es más que la aplicación de la lógica a la construcción e idealización arquitectónica. Es el pasado y el presente del desarrollo sostenible pero, ¿será también el futuro?

Podría decirse que la correcta aplicación del bioclimatismo constituye una arquitectura “Low-Tech” ya que, con la simple aplicación de recursos tradicionales, evolucionados en cierta medida gracias al avance de la tecnología, podemos conseguir viviendas prácticamente autosuficientes.

Sin embargo, a pesar del enorme ahorro económico y energético que supone, la simple aplicación de medidas pasivas no es viable en ciertas zonas climáticas, ya que para aquellas áreas del globo terráqueo en donde las bajas temperaturas alcanzan niveles muy inferiores a los cero grados centígrados, se vuelve necesaria la implantación de mecanismos activos que permitan alcanzar la temperatura de confort.

Es por ello que en la actualidad la arquitectura bioclimática ha evolucionado dando lugar a lo que conocemos como arquitectura sostenible, sustentable o verde, combinando los recursos pasivos con medidas activas basadas en energías renovables. ¿Será éste el nacimiento de la arquitectura sostenible del futuro? ¿Será el sector de la arquitectura capaz de aunar al fin *utilitas* y *venustas* en favor de la sostenibilidad?

6. Investigaciones futuras

Debido a la enorme extensión de este campo de estudio, para la realización de este trabajo de investigación ha sido necesaria una extremada acotación del ámbito de estudio que, si bien sería suficiente para una primera aproximación a lo que al bioclimatismo se refiere, deja abiertas numerosas vías para trabajos futuros que complementen esta investigación.

Algunas de esas líneas de investigación podrían ser:

- Aplicación de la Arquitectura Bioclimática en los elementos que componen la envolvente de la edificación (desarrollando entre ellas las tipologías de cubiertas citadas anteriormente).
- Arquitectura bioclimática y nuevos materiales.
- La piel del edificio, aplicaciones desde el punto de vista bioclimático.
- Arquitectura bioclimática a escala urbana. Los ecobarrios.
- Low cost, durabilidad y arquitectura de la decencia en lo relativo al lenguaje arquitectónico.

7. Anexo

TERMINOLOGÍA

-Medidas pasivas: todas aquellas estrategias que afectan puramente al diseño arquitectónico, destinadas a aprovechar al máximo las condiciones del lugar, el aislamiento y la inercia térmica de los materiales, de manera que la climatización del edificio se realice de la forma más natural posible.

-Medidas activas: estrategias que emplean el apoyo tecnológico para conseguir la climatización del edificio.

-Arquitectura sustentable: término evolucionado de la arquitectura bioclimática y proveniente del término inglés sustainable development (desarrollo sostenible) empleado por primera vez en el Informe Brundtland. Hace referencia al modo de concebir el diseño arquitectónico de manera sostenible, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de la edificación de tal modo que minimicen el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes. Es también denominada arquitectura sostenible, arquitectura verde, eco-arquitectura y arquitectura ambientalmente consciente

-Huella ecológica: parámetro que mide cuanta superficie de tierra y agua requiere una población para producir los recursos que consume y absorber los desechos usando la tecnología existente. Lo ideal en todos los ámbitos de la vida es que no se consuman más recursos que los que la naturaleza puede regenerar. En las viviendas, la huella ecológica sumaría el CO₂ emitido durante la construcción (transporte de materiales y trabajadores durante la edificación), la producción o extracción de los materiales y la energía necesaria para su funcionamiento.

-Estándar Passivhaus: estándar constructivo característico de los países de Centroeuropa que plantea que un edificio eficiente debe partir de una buena envolvente, de un buen aislamiento y de un control riguroso de las infiltraciones de aire y puentes térmicos para consumir la mínima energía necesaria. Para ello emplean aislamientos de grosor elevado en todo el perímetro de la envolvente, ventanas y puertas de altas prestaciones, sistemas de ventilación mecánica con recuperación de calor y tratan de optimizar al máximo las ganancias solares.

-NZEB (nearly zero emission buildings): edificios con un balance energético próximo a cero. Se trata de edificios con un rendimiento energético muy elevado y una baja o nula necesidad de energía que debería estar cubierta principalmente mediante energía procedente de fuentes renovables, incluida producida *in situ* o en sus cercanías. Así, el término "casi nulo" hace referencia a una reducción de la demanda y un aumento de la eficiencia energética.

-Muro trombe: muro de gran inercia térmica que, debido a las características físicas del material, cambia su temperatura interior de forma mucho más lenta, almacenando el calor para desprenderlo lentamente más tarde, actuando como medida pasiva de calefacción por radiación.

-Muro parietodinámico: muro de gran inercia térmica con rejillas o conductos en la parte superior e inferior y pintado de color oscuro por la cara exterior, al que se le acopla una lámina de vidrio que crea una cámara de aire en la que se almacena el calor, generando corrientes convectivas, que se suman a la calefacción pasiva por

radiación del muro. Para evitar el efecto calefactor en verano se emplean válvulas anti retorno o se cierran las rejillas.

-Solicitaciones exteriores: acciones del clima sobre el edificio con efecto sobre su comportamiento térmico, y por tanto, sobre su demanda energética.

-Solicitaciones interiores: cargas térmicas generadas en el interior del edificio debidas a los aportes de energía de los ocupantes, equipos e iluminación.

-Desarrollo sostenible: aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras”, alcanzando el equilibrio entre el desarrollo y la conservación del medio ambiente. Término utilizado y definido por vez primera por la ex–primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland en el Informe Brundtland, publicado en 1987.

-Climograma o diagrama climático: Gráfica que representa sobre un mismo sistema de coordenadas las diferentes condiciones climáticas de un lugar, de forma que resulta muy sencillo visualizar gráficamente cuales serán los recursos bioclimáticos más apropiados para cada caso. Los más conocidos en el mundo de la arquitectura sostenible son el de Olgyay y el de Givoni, siendo este último de más fácil aplicación, lo que lo convierte en el más utilizado en la actualidad. La diferencia con el climograma de Olgyay es que el de Givoni se representan las condiciones climáticas propias de la zona de confort, la delimitación de la zonas climáticas de los posibles casos de estudio y las estrategias más apropiadas de aplicación para cada zona climática.

8. Figuras

Fig.1.2.01.- Anónimo. (2014). Le Corbusier y los “Cinco puntos de una nueva Arquitectura”. Recuperado de <https://sobrearquitecturas.wordpress.com>

Fig.1.2.02.-Anónimo. Carta de Atenas. Recuperado de <http://www.arqhys.com>

Fig.1.2.03.- Anónimo. (2012). Carta Bioclimática de Olgyay. Recuperado de <http://www.eoi.es>

Fig.1.2.04.- García Barba, F., (2010) Climograma de Givoni aplicado a la situación climática específica de Alcalá de Henares. Fuente: Esther Higuera. Recuperado de <http://www.garciabarba.com>

Fig.1.2.05.-Anónimo. (2009). Glenn Murcutt. Recuperado de <http://architecturenorway.no>

Fig.1.2.06.- mauferras. (2011). Bioarquitectura (Gernot Minke), Otros proyectos. Recuperado de <https://mauferras.wordpress.com>

Fig.1.2.07.-Regine (2009). Leon Mill spray paints a sign outside his Phillips 66 station in Perkasié, Pa. to let his customers know he is out of gas, June 1, 1973. Recuperado de <http://we-make-money-not-art.com>

Fig.1.2.08.- Anónimo. The Autonomous House: Planning for Self-sufficiency in Energy. Recuperado de <http://www.amazon.com>

Fig.1.2.09.-Anónimo. (2015). Los 5 Principios Básicos Passivhaus. Fuente: Plataforma de Edificación Passivhaus Recuperado de <http://www.tetra5.com>

Fig.1.2.10.- Payne, S. (2010). California Academy of Sciences by Renzo Piano. Recuperado de <http://www.thecoolist.com>

Fig.1.2.11.-Anónimo. Designing With Nature: The Ecological Basis for Architectural Design Hardcover – April 5, 1995 <http://www.amazon.com>

Fig.2.01.- Archivo de la autora.(2015). Corrientes convectivas en mesoclima de proximidad a grandes masas de agua para situación de día y noche.

Fig.2.02.- Archivo de la autora.(2015) Corrientes convectivas en mesoclima de montaña para situación de día y noche.

Fig.2.03.- Archivo de la autora.(2015) Efecto Foehn

Fig.2.04.- Archivo de la autora.(2015) Corrientes convectivas en mesoclima de valle para situación de día y noche.

Fig.2.05.- Archivo de la autora.(2015). Características del mesoclima de bosque.

Fig.2.06.- Archivo de la autora.(2015). Características del mesoclima de ciudad.

Fig. 4.1.01.-. Pedrós Fernández, Óscar. (2011). Casa Marie Short (1980). Sección constructiva transversal y esquema del funcionamiento higrotérmico de la vivienda. Recuperado de Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea. A solución 3/4, non a 6/8. O racionalismo anónimo en Glenn Marcus Murcutt. A Coruña.

Fig. 4.1.02.- Anónimo. Casa Marie Short (1980).Planta y fotografía exterior. Recuperado de <http://classes.sdc.wsu.edu>

Fig. 4.1.03.-Archivo de la autora.(2015). Casa Marika-Alderton (1994). Sección constructiva transversal con comportamiento térmico de la vivienda. . Y Anónimo. Planta de la vivienda recuperada de <http://>

condicionstemporals.blogspot.com.es

Fig. 4.1.04.- Anónimo. (2010) Casa Marika-Alderton (1994). Fotografía exterior recuperada de <https://a1baliero.wordpress.com> y Archivo de la autora. Funcionamiento higrotérmico de la vivienda.

Fig. 4.1.05.- Anónimo.(2011). Gherkin (2001), Londres. Esquemas del efecto chimenea en su interior, fotografía de piel exterior y espacio interior. Recuperado de <http://www.pidcock.com.au>

Fig. 4.1.06.-Anónimo.(2011) Commerzbank (1996), Frankfurt. Esquemas del efecto chimenea y ventilaciones cruzadas y planta. Recuperado de <http://www.briangwilliams.us>

Fig. 4.1.07.-Anónimo. Fundación Miró (1975), Mallorca. Fotografía exterior del espacio de exposiciones. Recuperado de <http://www.arqred.mx>

Fig. 4.1.08.-Anónimo. Esquema de funcionamiento del sistema Roof Pond. Recuperado de <http://www.nzdl.org>

Fig. 4.1.09.-Anónimo. Esquema de funcionamiento del sistema de cubierta con aljibe. Recuperada de <http://detodoenibiza.com>

Fig. 4.1.10.- Anónimo. Fotografía del Riad El Noujoum, Marrakech, Marruecos. Recuperada de <http://www.splendia.com>

Fig. 4.1.11.-Anónimo. Butterfly House (1997), Samuel Mockbee. Fotografía exterior. Recuperado de <https://visualculture09.wordpress.com>

wordpress.com

Fig. 4.1.12.-Anónimo. Butterfly House (1997), Samuel Mockbee. Maquet de la vivienda. Recuperada de <http://www.artnet.com> . Comparada con la fisionomía de una hoja

Fig. 4.1.13.-Anónimo. Fotografía de los tejados ecológicos de Potsdamer Platz, Berlín. Recuperado de <http://hidropluviales.com>

Fig. 4.1.14.-Anónimo. Proyecto para un refugio de montaña, Nicolas Dorval-Bory, Juan Carlos Lopez Huerta y Emilio Marin. 2009, Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.chilearq.com>

Fig. 4.1.15.-Anónimo. Proyecto para un refugio de montaña, Nicolas Dorval-Bory, Nicolas Dorval-Bory, Juan Carlos Lopez Huerta y Emilio Marin. 2009, Santiago de Chile. Funcionamiento térmico del edificio. Recuperado de <http://www.chilearq.com>

Fig. 4.1.16.-Anónimo. Proyecto para un refugio de montaña, Nicolas Dorval-Bory, 2009, Santiago de Chile. Esquemas del funcionamiento climático del edificio. Recuperado de <http://www.chilearq.com>

Fig. 4.1.17.-Anónimo. Residencia del Centro de Arte Boyd (1999), Glenn Murcutt, Riversdale, West Cambewarra, Australia. Fotografías interiores y exterior de las habitaciones de la residencia. Recuperado de <http://condicionstemporals.blogspot.com.es>

Fig. 4.1.18.-Archivo de la autora. (2014) Fotografía de cubiertas vegetales en Geiranger Fjord. Noruega. Fig.

4.1.19.-Anónimo. Fotografía de cubiertas vegetales en Røros, Noruega. Recuperada de <http://disanthegioi.info>

Fig. 4.1.20.-Anónimo. Fotografía de la cubierta ajardinada de la Biblioteca de Varsovia (1999), Polonia. Recuperada de <http://www.viajablog.com>

Fig. 4.1.21.- Fotografía de la fachada vegetal del Museo Quai Branly Greenwall, Patrick Blanc (2005), París. Recuperada de <http://www.greenroofs.com>

9. Bibliografía

- NEILA GONZÁLEZ, F. Javier. "Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible". Colección Arquitectura y Tecnología. Editorial Munilla-Lería. Madrid, 2004.
- NEILA GONZÁLEZ, F. Javier y ACHA ROMÁN, Consuelo. "Arquitectura Bioclimática y Construcción Sostenible". Colección Construcción y Urbanismo. DAPP, Publicaciones Jurídicas. Pamplona, 2007
- GAUZIN-MÜLLER, Dominique. "Arquitectura Ecológica. 29 ejemplos europeos". Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 2002
- SERRATS, Marta. "150 ideas para el diseño de casas ecológicas". Loft Publications. Barcelona, 2010.
- FROMONOT, Françoise. "Glenn Murcutt: opera e progetti". Milán: Electa, 1995
- GRANADOSMENÉNDEZ, Helena. "Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo. Eficiencia energética". Monografías CATS Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Volumen 03. Madrid, 2006
- GUZOWSKI, Mary. "Arquitectura Contemporánea. Energía Cero. Estética y Tecnología con Estrategias y Dispositivos de Ahorro y Generación de Energía Alternativos". Editorial Blume. Barcelona, 2010
- COSTA DURÁN, Sergi y FAJARDO, Julio. "Ecoatlas. Arquitectura Ecológica Contemporánea". Loft Publications. Barcelona, 2010
- Energía a debate [Revista digital] Mundi Comunicaciones, S.A., 2010 . Edición bimestral. Disponible en www.energiaadebate.com
- BOE, Real Decreto 235/2013, de 5 de abril [online]. Disponible en www.boe.es
- Documento Básico HE Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación. [online] Abril, 2009. Disponible en www.fomento.gob.es
- PEDRÓS FERNÁNDEZ, Óscar. "A solución 3/4, non a 6/8. O racionalismo anónimo en Glenn Marcus Murcutt". [Revista digital]. Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea. Nº 1, pág. 27-34. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña. 2011. Disponible en www.boletinacademico.es
- ANTELO TUDELA, Enrique; SÁNCHEZ IGLESIAS, Santiago; CRESPO GONZÁLEZ, Critóbal y RAYA DE BLAS, Antonio. [Revista digital]. Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea. Nº 2, pág. 27-35. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña. 2011. Disponible en www.boletinacademico.es
- Arquitectura high-tech. Recuperado el 15 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Walter Segal. Recuperado el 15 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- William McDonough. Recuperado el 15 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- William McDonough+Partners. Architecture and Community Design. Design Approach. Recuperado el 15 de agosto de 2015 de www.mcdonoughpartners.com/
- INHABITAT INTERVIEW: Green Architect & Cradle to Cradle Founder William McDonough 8 Questions With Architect William McDonough – Inhabitat - Sustainable

- Design Innovation, Eco Architecture, Green Building. Recuperado el 15 de agosto de 2015 de www.inhabitat.com
- Arquitectura sustentable. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Victor Olgyay. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Baruch Givoni. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Edward Mazria. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Philip Steadman. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Brenda Vale. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Charles Correa. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Elías Rosenfeld. Recuperado el 16 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Enrico Tedeschi. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Felix Trombe. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Gernot Minke. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Glenn Murcutt. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Ibo Bonilla. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Ken Yeang. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Mike Reynolds. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Norman Foster. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Richard Rogers. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Renzo Piano. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Tom Bender. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- Walter Segal. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de www.wikipedia.com
- About Passive House - What is a Passive House? Recuperado el 18 de agosto de 2015 de www.passiv.de
- Passive House requirements. Recuperado el 18 de agosto de 2015 de www.passiv.de
- Marie Short / Glenn Murcutt House. Recuperado el 5 de septiembre 2015 de www.ozetecture.org
- Marika-Alderton House. Recuperado el 6 de septiembre 2015 de www.ozetecture.org
- 'Riversdale' . Arthur & Yvonne Boyd Centre. Recuperado el 8 de septiembre 2015 de www.ozetecture.org
- Butterfly House. Mason's Bend, AL 1997. Recuperado el 10 de septiembre 2015 de www.samuelmockbee.net
- Oppenheimer Dean, Andrea. Rural Studio: Samuel Mockbee and an architecture of Decency. Recuperado el 10 de septiembre 2015 de www.arcspace.com
- Projects/30 St Mary Axe. London, UK

1997 - 2004. Foster+Partners. Recuperado el 12 de septiembre 2015 de www.fosterandpartners.com

-Projects/Commerzbank Headquarters Frankfurt, Germany 1991 - 1997. Foster+Partners. Recuperado el 12 de septiembre 2015 de www.fosterandpartners.com

-Green. Revista Detail n°7. 2014

-LECHNER, Robert. "Heating, Cooling and Lighting. Sustainable Design Methods for Architects". Fourth Edition. Wiley. New Jersey, 2014

-En Detalle: Muro Trombe. Recuperado el 20 de agosto de 2015 de www.plataformaarquitectura.cl

-SNOW HOUSE · Nicolas Dorval-Bory, Juan Carlos Lopez Huerta, Emilio Marin. Recuperado el 15 de septiembre 2015 de www.chilearq.com

-TARRIDA I LLOPIS, Marçal. "Aprender sobre las cubiertas verdes urbanas a través del caso Augustenborg". Máster de Arquitectura y Sostenibilidad: herramientas de diseño y técnicas de control medioambiental. Tesina, Mayo de 2010

-DE GARRIDO, Luis. "Arquitectura Bioclimática. Proceso de diseño arquitectónico". Metodología. Máster Avanzado en Arquitectura Sostenible y Bioclimática. Programa Internacional de Especialización Profesional. Disponible en www.masterarquitectura.info