

Arquitectura para un habitar sostenible.

Innovaciones en ideación y tecnologías contemporáneas.

Autor: Carmen Zurita Sánchez

Tutor: Emilio Cachorro Fernández



Trabajo Fin de Grado Noviembre 2018
Universidad de Granada
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Autor: Carmen Zurita Sánchez
Tutor: Emilio Cachorro Fernández

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	7
1.1 Objetivos.....	10
1.2 Metodología.....	11
Capítulo 2. Antecedentes y encuadre histórico.....	13
2.1 De la Revolución Industrial a la Revolución Ecológica.....	15
2.2 La crisis y los nuevos conceptos de sostenibilidad y reciclaje.....	19
2.3 Ecourbanismo.....	27
Capítulo 3. Arquitecturas Sostenibles.....	37
3.1 Implantación.....	43
3.1.3 Coordenadas Superficiales.....	44
3.1.2 Edificaciones Subterráneas.....	51
3.2 Formas.....	59
3.3 Envolvertes.....	67
3.3.1 Pielas Verticales.....	68
3.3.2 Quinta Fachada.....	80
3.4 Instalaciones.....	91
Capítulo 4. Conclusiones.....	101
Capítulo 5. Bibliografía.....	107

Capítulo 1. Introducción

El presente texto se realiza como Trabajo Fin de Grado de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada, en el curso 2017-2018, encuadrado en la línea de “Historia de la arquitectura, de la construcción y de la representación” tutorizada por el profesor Emilio Cachorro desde el Área de Composición Arquitectónica adscrita al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada.

El desarrollo del trabajo se basa en el interés personal de la autoría del mismo en la investigación y conocimiento en relación con el empleo de nuevas tecnologías en la concepción de la arquitectura, y cómo éstas inciden en la concepción del proyecto y la definición última de la obra construida.

En el devenir histórico podemos apreciar como los avatares políticos, sociales y económicos en cada época han sido claves para la definición de los modos de intervención en arquitectura, que en ciertos casos han creado tendencias, líneas de intervención proyectual y/o estilística, que podemos en muchos casos relacionar con los llamados movimientos artísticos en sus diversas formas de expresión.

Paradigmática es la influencia de la revolución industrial de la segunda mitad del siglo XIX en la aparición de nuevas maneras de entender la sociedad y su arte que, con la incorporación de nuevos materiales como el hierro y más tarde el hormigón armado a la construcción, permitió la implementación de nuevos paradigmas, con la reconsideración de los invariantes de la arquitectura hasta entonces conocida, que supuso el movimiento moderno en la arquitectura.

Tras el paréntesis de las grandes guerras europeas en los inicios del siglo XX, y con la recuperación económica iniciada en el continente a la mitad de dicha centuria y la fe en el progreso en las sociedades desarrolladas, en la década de los setenta se produce la eclosión del empleo de nuevos materiales proporcionados por el desarrollo económico y científico que se incorporan a la concepción proyectual y a la construcción de la obra arquitectónica bajo la denominación de “High Tech”. La tecnología se convierte en protagónica en la arquitectura, no sólo por su utilización como materiales sustentantes y de acabado, durante los años 70, sino también provocando nuevas reflexiones sobre modos de habitar la ciudad y de vivir sus arquitecturas.

1.1 Objetivos

El presente trabajo se centrará en el análisis de nuevas propuestas y estrategias arquitectónicas contemporáneas, en un periodo acotado desde el año 2000 a la actualidad, que son significativas y han sido reconocidas internacionalmente y surgen en un momento histórico donde tanto conceptos como materialidades están en continuo proceso de crisis y reconsideración, lo que obliga a la búsqueda de respuestas más imaginativas para nuevos hábitats más eficaces.

En nuestros días, la crisis del modelo desarrollista fomentado por el neocapitalismo y la concienciación sobre las afecciones al medio natural que el mismo ha conllevado, han provocado la necesidad de reflexionar sobre nuevas tecnologías, basadas en conceptos como los de sostenibilidad, la construcción ecológica, la sociología, la eficiencia energética y el reciclaje, aportando una adecuada respuesta para un nuevo modo de construir y de habitar.

Desde la antigüedad hasta nuestros días, podremos observar como se ha buscado la armonía con el entorno, dando lugar al concepto de arquitectura sustentable. Se produce una apropiación de la innovación con nuevas técnicas para la proyección y la construcción, desde la investigación de materiales hasta su combinación con diferentes sistemas pasivos y activos en la edificación, que van a definir nuevas formas en el diseño del territorio y cambios en la manera de habitar las ciudades y sus espacios.

La finalidad con la que se expone este trabajo es presentar una reflexión sobre el aumento de las inquietudes que aparecen en la arquitectura desde un punto de vista en relación con la naturaleza y lo ecológico, destacando las posturas teóricas que conceptualizan las obras arquitectónicas dando respuestas materiales al pensamiento gracias a las cuales se simbolizan los aspectos de una sociedad que se enfrenta a un gran hándicap contra el que la humanidad se encuentra en continua lucha, el cambio climático.

1.2 Metodología

En primer lugar, se desarrolla una evolución histórica desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, de manera que exista una reflexión ordenada para entender por qué han aparecido las problemáticas actuales en el sector de la arquitectura, cuáles han sido las razones por las que se llega de una crisis industrial a una ambiental, qué consecuencias han tenido estos hechos históricos y cuáles son los obstáculos a los que nos enfrentamos.

En todos sus diferentes ámbitos, se presentan diferentes bloques para comprender como la arquitectura aborda las problemáticas actuales, desde la escala de la ciudad a la escala más cercana del proyecto. De esta manera, se desarrollan los factores existentes que condicionan el estudio de las obras y aportan soluciones ecológicas a las obras condicionando la composición de una manera significativa hacia un modo de producción sustentable.

La implantación, la forma, los cerramientos, y las instalaciones estructurarán el trabajo plasmando como conceptos individuales que son condicionantes en el proceso de ideación y que van a tener una trascendencia directa en la sostenibilidad de los edificios. Se presentarán estrategias ya experimentadas, que se han ido desarrollando a lo largo de la historia y han dado lugar a soluciones innovadoras y tecnológicas. Las cuestiones expuestas afectan al proyecto y a su concepción, por lo que cada una de las temáticas seleccionadas se recogen acompañadas de ejemplos que ilustran y avalan la importancia e influencia de cada una de ellas en la arquitectura.

De esta manera, se ha realizado una selección de obras de diferentes lenguajes arquitectónicos, las cuales son concebidas y condicionadas por la sustentabilidad y a la hora de ser proyectadas se caracterizan por una posición de respeto y comprensión hacia las oportunidades naturales existentes que aporta cada lugar. Los arquitectos que se presentan con sus proyectos, han sido reconocidos y premiados internacionalmente, además de ser autores que expresan el condicionante de la sostenibilidad como un germen principal de definición para sus proyectos y relevante en el resultado de sus arquitecturas.

Capítulo 2. Antecedentes y encuadre histórico



2.1 De la Revolución Industrial a la Revolución Ecológica

El mundo sufre un giro en su desarrollo debido a la Revolución Industrial, que marcará un antes y un después en los cambios sociales, ambientales y demográficos, además de impulsar la evolución de las tecnologías. En el siglo XVIII aparece la industrialización en Gran Bretaña y se extiende por toda Europa hasta la actualidad, modificando económicamente el mundo en el que vivimos, convirtiendo una sociedad que estaba basada en la agricultura y la artesanía en una nueva era marcada por la sustitución del trabajo humano por maquinarias, que impulsará la producción, la calidad y la cantidad del producto.

La Revolución Industrial provoca la aparición de grandes conflictos sociales, ya que las diferencias entre clases se diferencian aún más radicalmente, separándose los burgueses, el proletariado y los campesinos. Por este motivo, las ciudades sufrieron por primera vez las modificaciones más relevantes debido a la migración de las familias más humildes del campo a la ciudad, buscando nuevas oportunidades laborales. Las mejoras industriales favorecieron el crecimiento demográfico debido al aumento de la industria alimenticia, a los nuevos sistemas de higiene y a la creación de nuevos sistemas de comunicación y desplazamiento.

Debido a la Revolución Industrial aparece un nuevo sistema político, el capitalismo que perdura hasta nuestros días y dará paso posteriormente al consumismo, fenómeno muy presente en la actualidad causado por la producción en serie y masiva. Podemos ver que no todos los cambios provocados por esta época han sido positivos. Es en este momento en el que nace en el mundo el problema ambiental que ha ido en aumento hasta hoy en día. Las máquinas construidas en aquella época, al igual que las que se usan en la actualidad, son contaminantes, consumen energías finitas y causan grandes daños al medioambiente.

Los cambios urbanos y en la arquitectura tardarán un poco más en llegar, pese a su demanda desde comienzos de siglo como podemos ver en el artículo publicado por Thomas Hope en la *Revue Général de l'Architecture* en 1935, en el que se anotaba el anhelo por la aparición de un nuevo estilo que respondiera tanto a las exigencias constructivas como a los nuevos deseos del presente. Tras este periodo de reflexión y con-

tinua búsqueda de nuevas soluciones, los cambios vuelven a paralizarse, la exposición de todos los argumentos que sostenían la necesidad de una nueva variante en el estilo arquitectónico, no fueron suficientes pese a la evidencia existente en la sociedad. Es en 1890 con la comercialización de nuevos sistemas de estructuras, con el desarrollo comercial del acero y del hormigón armado, cuando se comienza a producir una nueva arquitectura.¹

Por todo esto el diseño industrial tendrá que jugar un papel principal para abordar y resolver los problemas que aparecen condicionados por el contexto tecnológico en el que se va a entrar, revolucionando cada una de las civilizaciones existentes. Le Cobusier ya fue fiel durante toda su vida a la consideración de la máquina y la industria como las mayores impulsoras del cambio global cotidiano, buscándolo y experimentándolo desde la tecnificación de sus obras.

Se comienza después de la primera Guerra Mundial a simplificar la arquitectura, entendiendo la ornamentación como una fuerza de trabajo y de material innecesaria, por lo tanto también de capital derrochado.² Se comienza a concebir el producto como algo moderno que ha de estar construido, no para representar algo, sino para poder prestar el servicio necesario para el que se ha diseñado.

Todo el desarrollo de la producción industrial y su concepción en el mundo, llegará a su punto de máximo fracaso entre 1929 y 1932, debido a que se pasa de desarrollar pocos modelos de mucha duración a muchos modelos de poca duración. Esto indica que la sociedad comienza a desarrollar un programa de derroche incontrolado, dejando a un lado la calidad.

La tecnología es un concepto amplio que abarca un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, que sirven para el diseño y construcción de objetos para satisfacer necesidades humanas. Gracias a este periodo de revolución y al desarrollo de la sociedad, la tecnología adoptó un papel principal gracias a la introducción de la ciencia y

¹ Véase: Collins, Peter y de Solà-Morales, Ignasi, *Los ideales de la arquitectura moderna: su evolución (1750-1950)*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.

² Véase: Loos, Adolf, "Ornamento y delito", en *Ornamento y delito y otros escritos*, Barcelona, Gustavo Gili, 1980.

las ingenierías en el ámbito de la arquitectura. La innovación tecnológica es provocada por la experimentación y el aprendizaje en acumulación a lo largo de la historia. La fuente principal de innovación se aferrará a partir del siglo XX a la capacidad creativa y competente de la arquitectura.³

Desde este momento histórico se marca un antes y un después en la concepción de la arquitectura y la manera de entender las diferentes formas de habitar. Es por ello, que el ser humano comienza a modificar el medio en el que vive sin ningún tipo de restricciones, se comienzan a explotar intensiva y sistemáticamente los recursos naturales y el sector industrial se multiplica de manera que la contaminación se convierte en un problema que más tarde dará lugar a graves consecuencias irreparables.

A principios del siglo XX, se empieza a reflexionar y cuestionar sobre las repercusiones que ha tenido la Revolución Industrial, siendo el inicio y punto de partida de un crecimiento económico basado en los procesos tecnificados de producción, lo que ha dado lugar provocado el consumo masivo y la producción descontrolada. El sector de la construcción es uno de los mayores responsables de la contaminación que se produce cada día en nuestro planeta, por eso es imprescindible comenzar a introducir la sostenibilidad en cada uno de los proyectos, en la composición del urbanismo y a la hora de modificar nuestros paisajes. El siglo pasado alcanza el reto de haber modificado la naturaleza de manera equivalente a lo que la humanidad había hecho en toda la historia.

A finales de la década de los cincuenta, después de 150 años de Revolución Industrial, la conciencia ecológica empieza a aparecer, pero no es hasta la década de los setenta cuando realmente debido los procesos de deterioro ambiental hacen evidente la necesidad de búsqueda de maneras alternativas de crecimiento y desarrollo económico que eviten y paralicen los procesos ya avanzados de deterioro del planeta. Hasta este momento, no existían compromisos internacionales, es en 1980 cuando comienza a crearse organismos mundiales como la CEPAL y la ONU, marcando el inicio y la lucha contra la contaminación y la devastación de la tierra.⁴

³ Véase: Maldonado, Tomás, *El diseño industrial reconsiderado*, Barcelona, Gustavo Gili, 1993.

⁴ Véase: Díaz Camacho, Miguel Ángel y Nubiola, Clara, *Arquitectura y cambio climático*, Madrid, Los Libros de la Catarata, 2018.



2.2 La crisis y los nuevos conceptos de sostenibilidad y reciclaje

La concienciación sobre el deterioro y la necesidad de encontrar una calidad medioambiental en nuestro planeta ha provocado la aparición del concepto de sostenibilidad, buscando un equilibrio con el medio que nos rodea.

A lo largo de la historia la arquitectura ha ido adaptándose al medio y a las necesidades sociales de cada momento. La utilización de arquitecturas naturales y vernáculas comenzó a desaparecer tras la revolución industrial, debido a que el ser humano creyó que podría con todo y que explotar al máximo los recursos naturales no iba a tener consecuencias.

Es a finales del siglo XX cuando se comienza a tener una concienciación oficial sobre los cambios climáticos la cual nos va a comenzar a condicionar y poner unas pautas para poder seguir desarrollando nuestro planeta y construyendo nuestras ciudades. Durante este periodo, comenzamos a apreciar la aparición de catástrofes naturales y cambios en la naturaleza que comenzarán a afectar a la humanidad y condicionarán sus formas de vida. Estos factores serán una advertencia de la catástrofe que tendrá lugar en el próximo milenio si no se consigue construir una conciencia colectiva sobre la sociedad de la importancia y el concepto de sostenibilidad.

El modelo económico de los países industrializados fue cuestionado por primera vez en el año 1968 por el llamado Club de Roma, que más tarde en el año 1972 publicará el conocido “Alto al crecimiento” en el que se recoge la necesidad de relacionar la protección de la naturaleza con el desarrollo económico.

A raíz de este hecho histórico se comienzan a fundar los ministerios de medio ambiente que más tarde darán lugar a la aparición del concepto de desarrollo sostenible en 1987 tras la 42ª sesión de las Naciones Unidas.⁵ Los compromisos medioambientales se formalizan de manera universal en el año 1992 cuando tiene lugar la Cumbre de La Tierra, en Río de Janeiro, donde se desarrollará la Agenda21, un programa global que condicionará el desarrollo sostenible del siglo XXI. Esta buscará y estará basado en

⁵ Véase: Gauzin Müller, Dominique; Maes, Pascale, y Favet, Nicolas, *Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos*, Barcelona, Gustavo Gili, 2006.

el desarrollo de un plan común que buscará un equilibrio basado en la sostenibilidad ambiental, social y económica, basados en una lucha contra la pobreza, una modificación de los modos de consumo, un control demográfico, una protección sanitaria y una promoción de un modelo urbano viable en los países en vías de desarrollo.

Este proyecto se basará en la implantación de políticas ambientales mediante la elaboración de Planes de Acción Local, que se desarrollaran en cada una de las numerosas administraciones regionales europeas. De esta manera los países se comprometen a encontrar juntos las vías de un desarrollo que responda a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas.

Tras la cumbre de Río, cuatro años después se elaboró el Protocolo de Kioto, el cual tendrá unos fines muchos que buscarán ser mucho más eficientes. En este se recogen restricciones sobre la emisión de CO₂ y otros cinco gases contaminantes que provocan el efecto invernadero. Estos compromisos deberían alcanzarse entre los años 2008-2012 y supondrían la reducción de un 5% de las emisiones en comparación con las existentes en 1990. En noviembre de 2009 aprobaron y aceptaron el tratado 141 firmantes, 36 países de todo el mundo, siendo rechazado por algunos de los países más contaminantes del mundo como Estados Unidos y Canadá.⁶

Aunque solo nueve de los países que se comprometieron a llevar a cabo estas nuevas medidas para el control de emisiones, no lo cumplieron, pero técnicamente se cumplió lo acordado, se ha visto como los objetivos del protocolo fueron insuficientes y tuvieron unos objetivos poco ambiciosos. Debido a todos estos acontecimientos históricos en relación a la ecología y sostenibilidad del planeta, se pudo ver como la concienciación de este cambio necesario ha afectado a la política, la economía y por lo tanto a la arquitectura y el urbanismo.

Al hablar de consecuencias en política y economía un gran referente es el Factor 4: Informe al Club de Roma donde se presentarán unas perspectivas que mejorarán el futuro de las generaciones mediante la elaboración de unas políticas económicas que produzcan beneficios protegiendo el medioambiente. La teoría expuesta es que es "posible multiplicar por dos las riquezas disponibles utilizando la mitad de recursos

⁶ Véase: Ibidem.

naturales y aumentando la calidad de vida⁷ gracias a la explotación de las nuevas tecnologías.

Ante dichas propuestas, el desarrollo sostenible se convierte ya en una realidad económica que va a afectar a todo el sector industrial, terciario y de la construcción, de manera que las grandes marcas y empresas empezarán a tomar conciencia sobre sostenibilidad y protección del entorno ecológico. Los acuerdos de Kioto tienen una repercusión directa sobre el urbanismo y la arquitectura. El sector de la construcción será uno de los encargados principales en la realización de obras públicas y tendrá que esforzarse en el ahorro energético y de materias primas, además de disminuir la emisión de gases que provoquen el efecto invernadero.

El compromiso de nuestro sector con el ahorro energético y la sostenibilidad será imprescindible para disminuir el efecto invernadero y el evitar el deterioro del entorno ecológico. Será un factor fundamental que los profesionales tengamos en cuenta las necesidades de los usuarios y que exista una accesibilidad económica, para de esta manera crear un vínculo directo entre la arquitectura, la técnica y su coste.

Las tendencias en la arquitectura ecológica tienen tras de sí un recorrido de décadas, dentro del cual podemos situar como partidarios principales al *low-tech* y al *high-tech*. Debido al gran impacto de la cumbre de Río y la crisis petrolífera, las primeras propuestas alternativas ecológicas comenzaron a aparecer durante los años setenta. Estos proyectos se centraron sobre todo en propuesta colectivas y residenciales, en los cuales se hace un especial hincapié en la colaboración con la ciudadanía, tanto en el campo de la concepción del proyecto como en la elaboración de estos.

De esta manera las primeras arquitecturas *low-tech* aparecen con la presencia de la madera, un material de fácil puesta en obra, cálido y ligero. Más adelante se desarrollarán también proyectos realizados en tierra, con fachadas y cubiertas ajardinadas.⁸ Por lo tanto, al hablar de *low-tech* no podremos dejar de citar al arquitecto Paolo Soleri, pionero en arquitecturas ecológicas, fundador del concepto “arcología” una combina-

7 Véase: Ibidem, p.12.

8 Véase: Reyes, César; Barahona Pohl, Ethel, y Pirillo, Claudio, *Arquitectura sostenible*, Valencia, Pencil, 2007.

ción de arquitectura y ecología. Uno de sus proyectos más relevantes es la construcción de una nueva ciudad en mitad del desierto para unos 5000 habitantes, llamada Arcosanti.

Soleri propone una utópica arquitectura que se rige por la constante relación entre el entorno y su habitante, el respeto al medio ambiente, la supresión del coche, la construcción con materiales naturales, la conservación del agua y la disminución del uso de energías. Este proyecto sigue en construcción en la actualidad con equipos de voluntarios y estudiantes, que entienden que este prototipo es un perfecto laboratorio perfecto de arquitectura bioclimática.⁹

Dentro de este marco arquitectónico podremos destacar también arquitecturas sociales como las viviendas Tinggarden en Copenhague de los daneses Vandkunsten o los colegios y albergues juveniles autoconstruidos en Stuttgart de Peter Hübner.



1. Paolo Soleri:
Arcosanti, desierto de Arizona, 2009;
Vista panorámica del proyecto.

2 y 3. Vandkunsten:
viviendas Tinggarden, Copenhague, 1983;
vista interior de espacios comunes del proyecto y volumetría.

⁹ Véase: Iolanda Lima, Antonietta, *Soleri: architecture as human ecology*, New York, Monacelli Press, 2003.

La arquitectura del *high-tech* representa por otro lado la construcción de grandes equipamientos y edificios de oficinas con acero y vidrio. En este ámbito encontraremos proyectos que buscan un enfoque ecológico mediante las tecnologías y la informática. Esta corriente arquitectónica va de la mano de arquitectos-estrella internacionales. Algunos de ellos son Renzo Piano, Norman Foster, Richard Rogers, Gilles Perraudin, Thomas Herzog y Françoise-Hélène Jourda, los cuales se unieron para desarrollar la investigación de la construcción con la utilización de energías renovables y fundaron Read.

La asociación fue perfeccionando estas ideas hasta llegar a la actualidad y ser hoy lo que conocemos como *eco-tech* o arquitectura sustentable. La agrupación fue presentada y reconocida por la Comunidad Europea a partir de la asamblea de Florencia de 1993 en la que se discutió sobre el uso de energía solar en la arquitectura y el urba-



1. Norman Foster:
Torre Commerzbank,
Frankfurt, 1996.

2. Françoise-Hélène Jourda y Gilles Perraudin:
Centro cultural Mont Cenis, Herne, 1997;
vista exterior fachada principal.

nismo. La torre Commerzbank en Frankfurt de Norman Foster y el Centro Cultural Mont Cenis de Françoise-Hélène Jourda y Gilles Perraudin, son dos claros ejemplos de esta nueva tendencia hacia una arquitectura más amigable con el medioambiente.¹⁰

De esta forma surgirá una corriente intermedia entre el *low-tech* y el *high-tech* que se desarrollará en Europa y buscará la armonía entre el uso de materiales naturales y nuevos productos industriales. Los arquitectos que representan esta nueva línea de proyectos son la agencia Behnisch & Partner, fundada en 1989 por Günter Behnisch y más tarde integrada por su hijo Stefan Behnisch. Sus obras se caracterizan por la luminosidad y el color, practicados desde los setenta. Además, aportan a sus proyectos tratamientos paisajísticos y de zonas verdes de manera natural que vinculan al usuario directamente con los entornos urbanos.

La piscina del sanatorio de Bad Elster y el Instituto de Investigación de la Naturaleza de Wageningen en Holanda son algunos de sus últimos proyectos representativos en relación con esta tendencia arquitectónica. Por ello cabe resumir con que “el futuro se halla en un uso heterogéneo de los materiales, que integre la protección del entorno sin renunciar a la modernidad”.¹¹



Behnisch & Partner:
Instituto de investigación de la Naturaleza, Wageningen, 1993;
Vista exterior e interior del proyecto.

10 Véase: Gauzin Müller, Dominique; Maes, Pascale, y Favet, Nicolas, Op. cit., 2006.

11 Véase: Ibidem.

La Unión Europea tras la cumbre de Río se ha situado como uno de los continentes líderes en políticas de sostenibilidad aplicadas al urbanismo y la arquitectura. Se han desarrollado por ello decenas de programas y normativas además del apoyo financiero, no solo en Europa sino a niveles internacionales, como el Consejo de los Arquitectos Europeos (CAE) o la asociación Green Building Challenge.

Observando los diferentes países comprometidos con parar el cambio climático, como Alemania, los Países Escandinavos, Reino Unido o Francia, vemos que la preocupación por el medioambiente es común en política y economía debido a que la opinión pública ya es crítica y sensible al hablar del tratamiento del entorno y la relación del hombre con la naturaleza y el entorno que le rodea.

En toda Europa el enfoque ecológico ha conseguido pasar de ser una implicación progre a ser un elemento indispensable para la elaboración de proyectos, otorgándoles el carácter innovador y moderno necesario para dar una buena imagen internacional. Este hecho también se debe a la llegada de los Verdes, que mediante su poder político han promovido leyes y ayudas basadas en conceptos que van desde el ahorro de energía hasta la clasificación de residuos.

Gracias a la globalización y la concienciación con los riesgos ecológicos, hemos conseguido activar la búsqueda de nuevas estrategias energéticas, de nuevas tecnologías que nos permitan desarrollar la arquitectura y el urbanismo de una manera respetuosa y responsable que defina la sociedad futura en la que queremos vivir.¹²

12 Véase: Reyes, César; Barahona Pohl, Ethel, y Pirillo, Claudio, Op. cit., 2007.



2.3 Ecourbanismo

A principios del siglo únicamente un 10% de la población humana vivía en núcleos urbanos, sin embargo, esta cifra ha aumentado hasta un 50%. Se espera que para 2025 el porcentaje suba hasta un 75%, lo cual nos hace ver que el sistema de modelo urbano con más de 7000 años de antigüedad ha sido todo un éxito.

Actualmente las ciudades presentan el mayor índice de contaminación en relación al cambio climático, son los principales atentados contra el medio ambiente, los puntos principales de contaminación y consumición de recursos. Debido a esto, si no se comienza a controlar el crecimiento de la ciudades y su integración con el entorno el acceso a los servicios básicos para la vida no podrá obtenerse en cualquier lugar, y aparecerán núcleos urbanos marginados en los que no encontraremos agua caliente, electricidad o salubridad, por lo que la sociedad desarrollará una división radical entre ricos y pobres.¹³

De esta manera tenemos que pensar que las ciudades son las principales culpables de la destrucción ecológica global y que será fundamental proyectarlas ecológicamente y serán el punto de partida para abordar y acotar la situación medioambiental actual. Vitruvio expuso la primera reflexión sobre la relación del entorno y el ser humano, reflexionando sobre temas fundamentales tales como la orientación, la iluminación o el emplazamiento.

Este punto de vista se mantuvo durante dos mil años, entendiendo al hombre como centro de todo y viendo la naturaleza como su fuente para cubrir necesidades. No es hasta el siglo XIX cuando por necesidades de higiene y salubridad en las ciudades industriales se comienza a plantear la necesidad de un cambio en las ciudades. A pesar de estas propuestas y de un acercamiento con la naturaleza, no constituye una preocupación sobre el agotamiento de recursos, sino que gracias al optimismo latente de la época el efecto potencialmente devastador de las tecnologías sobre el entorno no representaba una gran preocupación.

13 Véase: Rogers, Richard y Gumuchdjian, Philip, *Ciudades para un pequeño planeta*, Barcelona, Gustavo Gili, 2009.

Estos nuevos fundamentos plantearían una tendencia de verde para la salud idea que podemos ver en los proyectos de Ciudad Jardín de Ebenezer Howard o el Plan de Reforma y Ensanche de Barcelona de Ildefonso Cerdá. El problema es que la naturaleza se siguió contemplando como una posesión para el hombre, aunque se comenzara a proteger y a explotar de manera beneficiosa para la calidad de vida.¹⁴

Al hablar de ciudades sostenibles tendremos que tener presente el nuevo concepto de urbanismo ya definido como ecourbanismo. Este término hace referencia al desarrollo de comunidades humanas sostenibles en los núcleos de entornos edificados en armonía y equilibrio con el medio que les rodea.

Este concepto está alcanzando gran protagonismo para los planteamientos urbanos, arraigándose como una nueva disciplina indispensable que va a superar las piezas tradicionales del urbanismo convencional.

El planeamiento urbano sostenible va a ser la única vía que conseguirá frenar el deterioro y la amenaza de nuestro entorno, además de convertirse en un factor indispensable de competición entre regiones. Los arquitectos y urbanistas tenemos la obligación



Ildefonso Cerdá:
Plan de Reforma y Ensanche de Barcelona, 1863;
proyecto original del Plan Cerdá y vista aérea del ensanche.

14 Véase: Ruano, Miguel, *Ecourbanismo: entornos humanos sostenibles: 60 proyectos*, Barcelona, Gustavo Gili, 2006.

de comprender como los temas ambientales y el avance de las nuevas tecnologías van a tener un impacto directo en nuestras formas de vivir, de relacionarnos y de trabajar, y por ello van a condicionar y ser columna vertebral de las políticas territoriales existentes.¹⁵

Por lo tanto, haciendo referencia al concepto que apunta el urbanista ecólogo Herbert Girardert, las ciudades tendrán que optar por alcanzar un “metabolismo” circular, es decir controlar y evitar el consumo de energías agotables y experimentar con las renovables, fomentando su producción y posterior reciclaje. Va a ser fundamental para este cambio la comprensión general del problema existente, además de la conexión entre los ciudadanos, la política y el transporte, para poder generar ciudades auténticamente sostenibles. La planificación urbana nacerá, uniendo todos estos factores, que en resumidas cuentas darán lugar a la unión de la ecología urbana, la economía y la sociología.

Uno de los problemas que presentan nuestras ciudades es que no se han planificado pensando en la explotación de los transportes públicos. A día de hoy el automóvil es un factor indispensable de cada ciudadano, lo que ha provocado una expansión de las ciudades, alejándolas de sus centros históricos y provocando la zonificación. Así se consigue separar las diferentes actividades en núcleos inconexos encontrando el trabajo, las viviendas y el ocio desvinculados en el conjunto de ciudad. Esta situación nos obligará a depender del coche, nos condicionará las vías de relación ciudadano-ciudad, que además impedirá el crecimiento hacia las ciudades sostenibles por la casi inexistente relación entre lo urbano y el medio ambiente.

La nueva planificación de ciudades conllevará pensar en una ciudad compacta, preparada para recoger el aumento de población y desvinculada del automóvil, pero que ofrezca soluciones viables para las conexiones y movilidad favoreciendo su desarrollo colectivo. Al definir una ciudad como compacta tendremos que entender que las actividades principales tendrán que estar cerca y funcionar en armonía, permitiendo estar conexas mediante el transporte público o peatonal, permitiendo que el trabajo, el ocio y la vivienda convivan en conjuntos cercanos y conectados.¹⁶

15 Véase: Ibidem.

16 Véase: Ibidem.

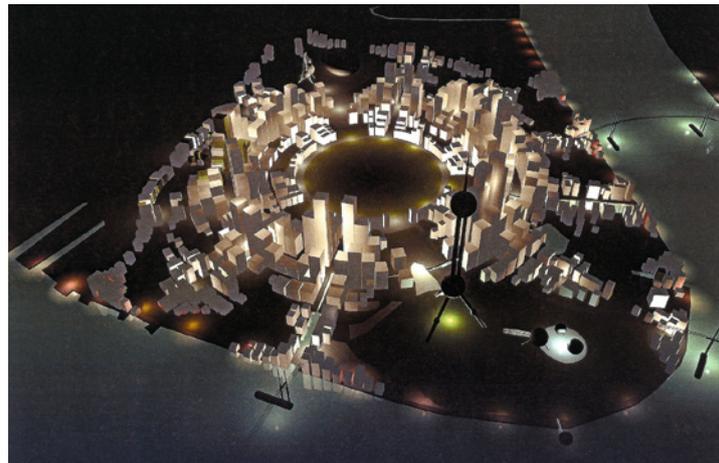
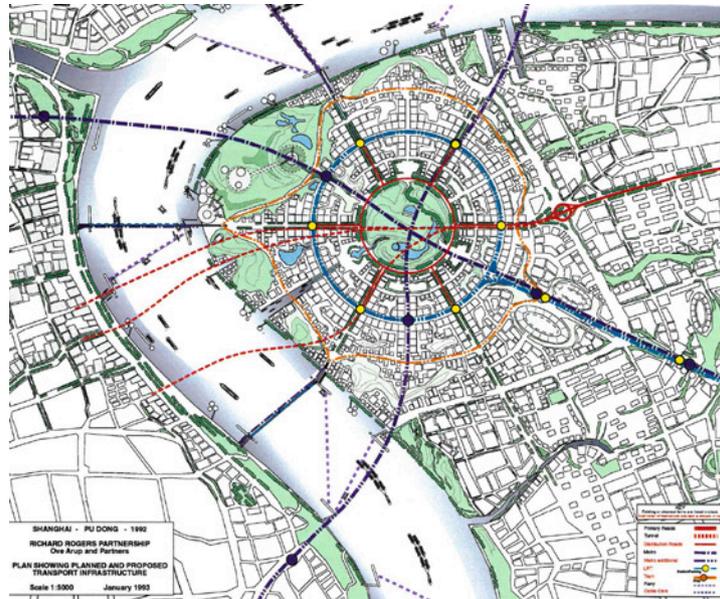
No solo será imprescindible la integración de los transportes públicos ecológicos, sino que tendremos que pensar en la integración de parques y vegetación en cada uno de los barrios que conformen el conjunto ciudad. Esto nos aportará importantes ventajas medioambientales, ya que los árboles, jardines y zonas verdes nos aportará sombra y frescor en las calles. Esto permitirá además la reducción del ruido - ya que la vegetación podrá absorberlo - mitigarán la contaminación absorbiendo gases contaminantes, y producirán oxígeno, aportando una calidad al aire que nos rodea.

En este conjunto de propuestas para los núcleos urbanos podremos incluir el reciclaje de residuos y aguas en una ciudad. Sería conveniente plantear la reutilización de los residuos humanos de manera que estos pudieran producir combustibles y fertilizantes. La recogida de aguas grises será otro factor imprescindible mediante su depuración y tratamiento, dándole posteriormente un nuevo uso.

En el ámbito de la arquitectura existen proyectos urbanos que centran sus ideas en la reducción y el consumo, además de la protección del medioambiente. El proyecto de Lu Jia Zui, desarrollado por el estudio de Richard Rogers & Partners. Esta propuesta recoge la construcción de un nuevo núcleo financiero que no está desvinculado de la vida urbana. De esta manera se propone el estudio crear una trama que, mediante espacios públicos, transportes y parques, hace una unión entre lo residencial, lo comercial y el trabajo. Se propone un sistema radial que potenciará las conexiones peatonales y el uso de la bicicleta mediante grandes bulevares que se encontrarán en un corazón vegetal en el núcleo del proyecto.¹⁷

De esta forma demuestran que la combinación de actividades y la potenciación del transporte público podrían reducir la necesidad de la utilización del automóvil en un 60%. Al desarrollar un sistema que cuenta con un menos número de carreteras y espacios aislados, comienzan a aparecer calles y plazas que permitirán el desarrollo de actividades y la relación entre ciudadanos. La diferenciación de la altura entre grandes edificios potenciará la captación de luz natural y permitirá la existencia de una ventilación natural, disminuyendo la utilización de aires acondicionados y electricidad.

¹⁷ Véase: Rogers, Richard y Gumuchdjian, Philip, Op. cit., 2009.



Richard Rogers & Partners:
Shanghai Masterplan, 1992-1994;
planta original del proyecto y maqueta.

El enfoque circular que se le otorga al proyecto, les demuestra que finalmente es posible hasta un 70% de ahorro tanto en plantas energéticas como en el coste de la vida a largo plazo. El proyecto les permite medir el impacto de estrategias sobre consumo de energía, necesidad de transporte y de aparcamiento, movimiento peatonal y aprovechamiento de la luz natural.

Este proyecto no es un modelo que vaya a imponerse en la ciudad de Shanghái, sino más bien una demostración de planificación de ciudad mediante un desarrollo sostenible. Al igual que el los arquitectos propone proyectos urbanos ecológicos en grandes ciudades como esta última, también experimentan en pequeños núcleos urbanos en los que la planificación permitirá compaginar estrategias urbanas con agrícolas.¹⁸

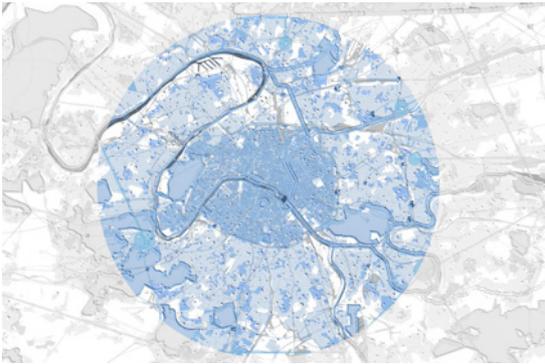
Un ejemplo de este desarrollo puede ser la propuesta que Rogers elabora para el desarrollo de una “tecnópolis postindustrial” para 5000 personas en Mallorca. La idea del proyecto la basan en la concentración de recogida de aguas pluviales y la explotación de las fuentes de energía renovables. Disponen tres núcleos urbanos situados en las colinas, conectados entre sí, con un sistema de recogida y reciclaje de aguas que impulse la ocupación agrícola, promueva la aparición de calles y plazas y a su vez provoque la aparición de vegetación en el entorno.

Los edificios se proyectarán de manera que todas las energías naturales sean empleadas y aporten una mejora en la calidad de vida, aportando ventilación y luz natural, explotando todas las condiciones medioambientales del sitio. Se propone recuperar maneras de relaciones y asentamientos tradicionales, para poder plantear un desarrollo sostenible. Para alcanzar el desarrollo de comunidades sostenibles y corregir en todo lo posible las ciudades actuales, tendremos desde la necesidad y el conocimiento de la ciudadanía que exigir unos compromisos políticos y económicos que tiendan a la sostenibilidad medioambiental y a la equidad social. Por ello tendremos que explotar las nuevas tecnologías y las comunicaciones, sin olvidar la complejidad de lo que es a día de hoy una ciudad moderna, pero atendiendo a la necesidad de conectar directamente nuestras urbes con su población y el entorno natural que las rodea, entendiéndolo, protegiéndolo e integrándolo.¹⁹

18 Véase: Ruano, Miguel, Op. cit., 2009.

19 Véase: Ibidem.

Podemos ver como el grupo de MVRDV implanta en más de una ocasión sistemas de producción de energías renovables. Es en la propuesta que realizan para el Grand Paris; Paris Plus Petit (2009) donde desarrollan la construcción de un nuevo sector urbano en la ciudad para conseguir cambiar y hacer la ciudad más accesible mediante la implantación de nuevas infraestructuras. Lo más característico es que en el conjunto se propone la construcción de parques eólicos para la producción de energía de una manera sostenible.²⁰



MVRDV:

Plan para El Grand Paris: Paris Plus Petit, Paris, 2009-2030;
planta con zonas de actuación, paneles solares sobre cubiertas, vista 3D, parques eólicos.

²⁰ Véase: "MVRDV - GRAND PARIS", en: www.mvrdv.nl/projects/421-grand-paris, [consultado el 29 de agosto de 2018].

Una clara referencia en la actualidad a este tipo de urbanismo sostenible lo podemos ver expuesto también en el proyecto ganador del concurso para la construcción de una nueva ciudad a las afueras de París. Europa City (2018) es la nueva ciudad que el grupo BIG diseña como solución sostenible. El proyecto propone la elaboración de una ciudad soterrada que fusione la agricultura y el medio ambiente, luchando contra el caos urbano existente y proponiendo una nueva manera de vivir en medio de la naturaleza.

Esta nueva ciudad se acerca a un nuevo concepto conocido como “rururbanismo”, en el que se une lo rural con lo urbano. Se plantea un sistema de cubiertas verdes, que como si de una piel se tratara, se despliega por todo el territorio y recoge bajo sí toda la ciudad comercial proyectada. Esta nueva ciudad va a desarrollarse con las más altas tecnologías y una atención especial a la sostenibilidad creando nuevas conexiones entre los núcleos urbanos cercanos, creando un sistema que permita el desplazamiento mediante vías peatonales, ciclorutas y trenes eléctricos, buscando alcanzar así una armonía entre la construcción y la naturaleza.²¹

21 Véase: «Discover EuropaCity», en: www.europacity.com/en/discover-europacity, [consultado el 21 de septiembre de 2018].



=



BIG:
Eurocity, Paris, 2018-...;
esquema idea de proyecto y planta.

Capítulo 3. Arquitecturas Sostenibles

La arquitectura nace a raíz de la necesidad del ser humano de buscar refugio y a partir de ahí se convierte en su máxima forma de expresar los avances tecnológicos y objetivos que alcanza. La historia de la arquitectura se desarrolla y caracteriza por comprender y materializar los valores y la armonía, lo cual nos muestra que la arquitectura está sujeta principalmente al factor de la funcionalidad, no por ello siendo despreciable ni menos importante su componente estética.

En la actualidad, todo gira principalmente en torno a una vertiente reductiva. De esta forma la arquitectura comienza a basarse en lo económico, en la obtención de beneficios que van a ser determinantes en su definición. Es por esto que los beneficios aparecerán a corto plazo, pero nos alejaremos de alcanzar iniciativas ecológicas, que solo darán fruto si se contemplan a un largo plazo.

Las formas que adquieran las arquitecturas serán decisivas para la interacción de la ciudad con el ciudadano. Mediante sus capas, sus envolventes y sus diferentes materializaciones conseguiremos crear vínculos y conexiones que harán del conjunto un lugar más habitable. De esta manera se humanizan las ciudades, y esto nos dará lugar a una arquitectura evolutiva, cambiante, que permita ser modificada a lo largo de su existencia para poder responder a las necesidades de cada época.

Igual que la nueva arquitectura debe responder a las necesidades de la sociedad, tenemos que entender que es necesario también adaptar adecuadamente los edificios ya existentes a estas premisas. Así podremos observar como intervenciones como la de Carlo Scarpa en Castelvecchio (Verona, 1957) o la intervención de Ieoh Ming Pei en el Louvre (París, 1989), son propuestas que conservan su forma inicial, la ponen en valor y provocan una modernización de los edificios que consigue otorgarles la continuidad en el tiempo, reciclándolos, volviéndolos a poner en uso y renovándolos.²²

Gracias a los desarrollos tecnológicos del último siglo y todos los avances informáticos que hemos alcanzado, tendremos que aprender a combinarlos con lo tradicional y lo troncal de la arquitectura. De esta manera las nuevas arquitecturas tendrán que pensar tanto en instalaciones que miren hacia la sostenibilidad, que busquen el bajo consumo de nuestros edificios y que provoquen un ahorro de energías, siendo obligatorio mirar

22 Véase: Rogers, Richard y Gumuchdjan, Philip, Op. cit., 2009.

hacia el pasado teniendo en cuenta que la combinación de lo nuevo de la mano de lo antiguo nos aportará siempre soluciones más productivas.

Los cerramientos y envolventes tendrán que pensarse como pieles que aíslen y protejan, pero también como oportunidades para generar ventilaciones naturales y cruzadas además de una fuente natural de obtención de luz. El equilibrio entre estas posibilidades aportará a los espacios una mayor calidad que acercará a los usuarios a su entorno. Así, surge la arquitectura bioclimática, que se desarrolla desde sus inicios contando con factores de confort y sostenibilidad.

Esta variante se centrará en: la reducción de las demandas energéticas de los edificios y lograr la calidad del ambiente interior gracias al equilibrio entre temperatura, humedad y calidad del aire. Evitar el consumo de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo o el gas natural, sustituyéndolos por energías renovables. Disminuir la producción y emisión de gases contaminantes para frenar el efecto invernadero. Controlar y disminuir el consumo de energía eléctrica y agua.

Para alcanzar estos requisitos, ya impuestos en la sociedad y necesarios, tendremos que comenzar explotando a las estrategias de diseño de las que disponemos.²³ Contaremos con unas medidas pasivas, que se basarán en el máximo aprovechamiento de las cualidades que el entorno nos ofrece, como son la correcta orientación, el diseño de la forma respondiendo al clima, recogida y reciclaje de aguas, la radiación solar y la explotación de ventilaciones e iluminaciones naturales, entre otros. En resumen, todo lo que no conlleve una instalación auxiliar y condicione la composición de nuestro proyecto.

Las medidas activas son las que sirvan de apoyo para las pasivas, mediante instalaciones dimensionadas en relación a las necesidades energéticas, como pueden ser el uso de captadores solares para la producción de agua caliente o electricidad, ventilaciones mecánicas, el uso de la geotermia y la implantación de aerogeneradores. Estas soluciones podrán desarrollarse de manera aislada o combinándolas entre ellas, poniendo en armonía lo tradicional de la arquitectura con las nuevas tecnologías.

²³ Véase: Neila González, F. Javier, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid, Muni-lla-Leria, 2004.



3.1 Implantación

Una de las claves fundamentales a la hora de proyectar en arquitectura es el entorno. El conocimiento del lugar, su identificación, la orientación y las preexistencias van a ser determinantes en la formalización del edificio. La decisión del emplazamiento dentro de un terreno provoca un cambio en la concepción de espacios, creando nuevos vacíos y relaciones con el entorno que rodea al edificio.

La edificación tiene que ponerse en armonía con su entorno, buscando las relaciones y el equilibrio entre la nueva arquitectura y la naturaleza. La orientación va a ser un factor clave para cualquier decisión posterior y tendrá que estar condicionada por el clima local y el impacto ambiental que provoque en el solar. De esta forma mediante el emplazamiento, ya sea en altura o en planta y el giro, se determina la orientación del edificio a través de la cual se van a poder explotar energías gratuitas y renovables, tratando de crear una síntesis del microclima existente en el lugar que permita identificar disposición y la configuración del edificio ideales aprovechando las potencialidades naturales *in situ* mediante las preexistencias, la forma construida, etc.²⁴

El ambiente exterior, que permitirá la incorporación de elementos como el agua y la vegetación, va a ser protagonista y en gran parte culpable de los ambientes y situaciones interiores de cada obra, de la penetración de luz, la existencia de humedad o las sombras.

24 Véase: Yeang, Ken, *El rascacielos ecológico*, Barcelona, Gustavo Gili, 2002.

3.1.1 Coordenadas Superficiales

La arquitectura en toda su implantación buscará una integración, un intercambio y una adaptación en relación al lugar en el que se localice. La mayoría de los proyectos aprovechan y explotan las capacidades del terreno, las vistas, la vegetación próxima, los vientos, la existencia de luz y sombra y otros aspectos que puedan presentar los alrededores de la construcción. De esta forma al materializar el pensamiento arquitectónico se atenderán a los principios naturales preexistentes que nos van a determinar el modo en el que ocupar el suelo.

Los principios de sostenibilidad, en relación a la orientación o adaptación a la topografía, van a ser esenciales para la creación de un nuevo hábitat construido que busque alcanzar las máximas calidades de confort. Uno de los conceptos más relevantes en la arquitectura es el del “eje heliotérmico” desarrollado en el proyecto de la Ville Radieuse por Le Corbusier, basado en la sustitución total de los ejes de simetría por estos nuevos, que tendrán que marcar una nueva y única dirección para mejorar el rendimiento global de la luz en los edificios. El eje heliotérmico varía en 19° hacia el este del eje geográfico.²⁵

El proyecto de Herzog & de Meuron para la sede del Banco BBVA (Madrid, 2015) es un edificio que se basa en la arquitectura pasiva para solventar sus necesidades energéticas, criterio que va a condicionar desde la composición de los edificios hasta sus detalles técnicos. Situado en una parcela cerca del aeropuerto, el solar ya contaba con edificaciones realizadas para el parque industrial Foresta, diseñado por Jorge Beroiz, que se van a integrar en el proyecto. El edificio consta de un volumen de tres plantas a modo de “alfombra”, así definido por los arquitectos, en toda la superficie de la parcela, con una gran plaza central y un edificio en altura que será icono de la sede.

La torre en altura coincide formalmente con la planta, como si hubiera sido extraída de la “alfombra” y elevada. Al principio este edificio estaba alineado con las alas horizontales del conjunto, pero más tarde los arquitectos tras realizar estudios solares decidieron que tenía que estar totalmente orientada al sur. La razón es que al sur el sol está

²⁵ Véase: Ragot, Gilles; Chadoin, Olivier y Weiner, Cyrille, *La cité de refuge: Le Corbusier et Pierre Jean-neret: l'usine à guérir*, Paris, Editions du patrimoine, Centre des monuments nationaux, 2016.

Proyecto presentado a concurso



Edificio terminado



Proyecto construido frente a proyecto presentado a concurso:

- Las calles y los edificios aumentan de tamaño
- Mejor integración de los edificios existentes
- Cambio de orientación de la torre



Herzog & de Meuron:
sede del banco BBVA, Madrid, 2015;
esquema idea y modificación de proyecto y vista de la torre elevada.

más alto por lo tanto para la protección solar sería suficiente con un alero de dos metros, esto les permite suprimir la colocación de brise-soleils, que habrían obstaculizado las vistas desde arriba. La fachada norte, gracias a la orientación elegida no necesita protección solar, siendo suficiente un pequeño voladizo en la cubierta ovalada. No solo la orientación proporciona al proyecto una mayor cantidad de luz, sino que además aporta una cualidad de transparencia de suelo a techo, unas vistas panorámicas de la ciudad y un mayor impacto visual tanto desde el interior del conjunto como desde el exterior.²⁶

Por lo tanto, la ubicación está directamente relacionada con la posición del sol, es decir la latitud. Dependiendo de la latitud a la que responda nuestro proyecto veremos cómo los rayos del sol inciden de manera diferente, las latitudes bajas son las que cuentan con una radiación uniforme y perpendicular durante todo el año; las medias diferencian claramente entre las diferentes estaciones; y las altas, situadas a partir de los círculos polares, provocarán épocas en las que no llegará a amanecer o anochecer.

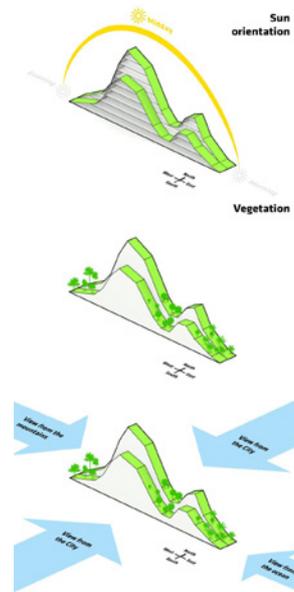
La altitud en relación al nivel del mar también será un gran condicionante, modificando la temperatura hasta varios grados por metro y el factor orográfico que afectará principalmente al movimiento de los vientos dependiendo del tipo de cordilleras o montañas que nos rodeen. Todos estos factores van a ser los principales encargados de definir la directa relación entre arquitectura y clima, que marcarán la diferenciación de materiales, sistemas constructivos y diseños.²⁷

El conjunto residencial Beach Resort del grupo BIG en Hualien (Taiwán, 2009-2018) manifiesta mediante su arquitectura la intersección perfecta entre el entorno construido y la naturaleza. El proyecto busca captar al máximo la vistas de las montañas y el mar, creando una nueva topografía que hace eco del paisaje montañoso existente. La orientación de estas montañas residenciales y de comercios es fundamental en la definición de proyecto. El equipo de arquitectos dirigido por Bjarke Ingels, desarrolla las nuevas colinas de este a oeste enmarcando el paisaje y creando un sistema de sombras gracias al propio edificio que responde al clima tropical existente, cálido y húmedo. La luz

26 Véase: Adams, Carol A.; Vidal, Laura, y Durán, Sebastián, *Reinventar la empresa en la era digital*, Madrid, BBVA, 2014, pp. 263-284.

27 Véase: "Nueva sede para BBVA, 2007-2015, Madrid", en *AV Monografías*, 191-192, 2017, pp. 94-106.

Arquitecturas sostenibles



BIG:
conjunto residencial Beach Resorts, Hualien (Taiwán), 2009-2018;
edificio construido, maqueta del proyecto, esquemas de principios sostenibles, vista aérea del conjunto.

natural más favorable de norte a sur entrará directamente a las viviendas, y es el propio edificio mediante sus franjas el que limita y protege de la entrada de las luces de bajo y alto ángulo.

Adicionalmente, las bandas paralelas que nacen del terreno crearán una nueva topografía artificial vegetal que se integra con el entorno natural existente. Este tratamiento vegetal de las cubiertas transitables dota a la obra un plan de bajo consumo energético, una mejora de las condiciones de climatización y de recogida de aguas.²⁸

En España también podemos encontrar modelos que relacionan directamente la concepción del edificio con los espacios que lo rodean. Este concepto lo podemos ver en la Ciudad del Medio Ambiente (2008), situada en Soria y diseñada por Tuñón y Mansilla, plantean un conjunto de diferentes piezas, obtenidas desde la fragmentación de una semiesfera, que están interconectadas y conforman una relación compleja entre espacios exteriores e interiores.²⁹

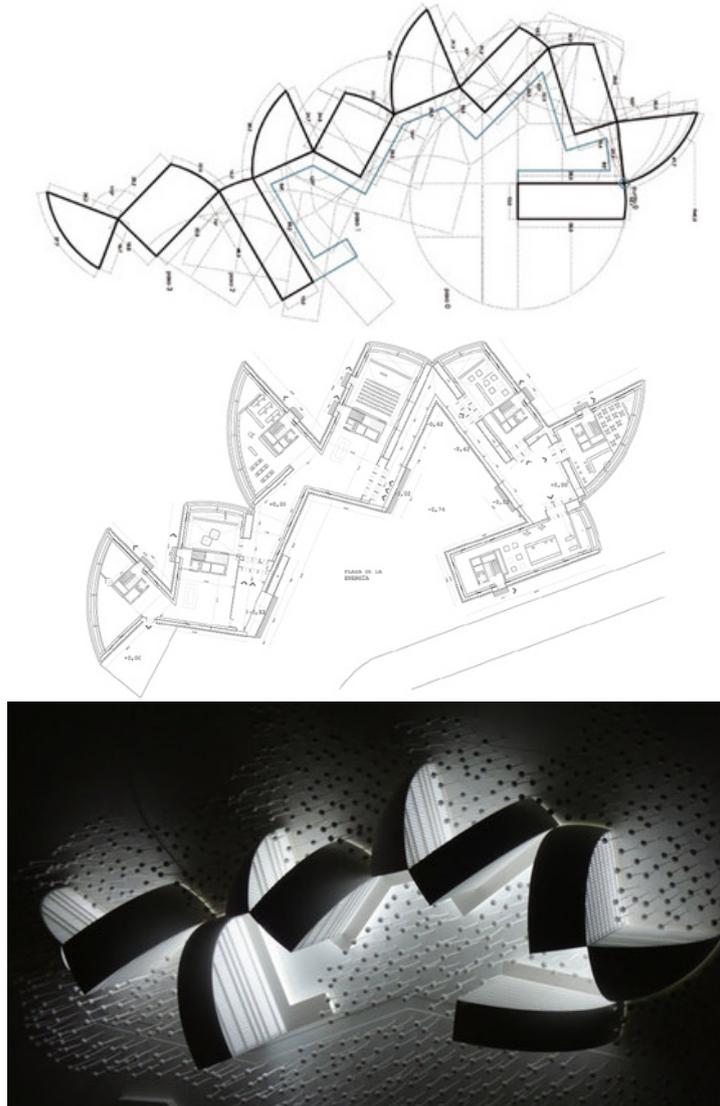
La implantación de las cúpulas está vinculada a la forma que lo define, partiendo de una semiesfera que se fracciona, mediante cortes que crean sectores que se articulan, y despliegan, girando y desplazando cada una de las piezas. El proyecto aprovecha las capacidades materiales y energéticas del entorno del río Duero, se proyecta de acuerdo a criterios de la tecnología medioambiental optimizando constructivamente el edificio y respondiendo a la demanda energética existente.

La orientación elegida para cada una de las piezas es la que permite que las fachadas cuenten con sistemas pasivos, buscando cada una de las piezas el aprovechamiento de energía solar que recibe el edificio. En función de la orientación, cada módulo cuenta con diferentes sistemas, existiendo fachadas ventiladas, de inercia invertida o de muros trombe, alcanzando de esta manera la máxima eficiencia energética.³⁰

28 Véase: "Conjunto residencial, 2009, Hualien (Taiwán)", en *AV Monografías*, 162, 2013, pp. 88-84.

29 Véase: "Cúpula de la Energía, 2008, Soria", en *AV Monografías*, 144, 2010, pp. 148-154.

30 Véase: "Cúpula de la Energía en Soria", en *El Croquis*, 161, *Mansilla y Tuñón 1992-2012*, 2012, pp. 276-290.



Tuñón y Mansilla:
Cúpula de la Energía en Ciudad del Mediambiente, Soria, 2008;
esquema de giros y orientación de las piezas, planta proyecto y maqueta de las cúpulas.

Capítulo 3

Por esto los arquitectos definen que el edificio va a ser construido “como lo hace la naturaleza, por lo tanto, tendrá una serie de condicionantes, que hacen que el edificio parta de una cúpula que va sectorizándose, emplazándose y girándose de forma que nosotros somos capaces de reconstruir la unidad.”³¹

31 www.dicyt.com/noticias/soria-acoge-la-presentacion-del-edificio-de-la-cupula-de-la-energia, [consultado el 30-10-2018].

3.1.2 Edificaciones Subterráneas

El primer hábitat utilizado por el hombre fue la cueva ya que gracias a ella encontró protección de la lluvia y el frío en invierno o del sol y el calor en verano. Con el paso del tiempo el ser humano comienza a modificar y ampliar estos refugios en los que desarrolla la vida, ampliándolos y mejorándolos a su gusto.

Estos hábitats tienen un vínculo directo en sus orígenes con las explotaciones agrícolas o ganaderas, que posteriormente pasarán a ser hogares debido a conflictos políticos o religiosos. Un claro ejemplo de esta arquitectura lo podemos encontrar en España, tras la expulsión de los moriscos, quienes tuvieron que asentarse en cuevas en las afueras de las ciudades. En otras zonas estas cuevas se utilizaron únicamente como lugares de almacenamiento agrario y ganadero. Debido al desarrollo de la sociedad y de los hechos este tipo de construcciones ha estado directamente vinculado a un sector con poca capacidad económica, dejando a un lado el fantástico comportamiento bioclimático, siendo esto último el único motivo que ha permitido sobrevivir a este hecho arquitectónico después de siglos.

La estabilidad de la temperatura anualmente es uno de los puntos fuertes a destacar, debido a la tierra que funciona perfectamente como aislamiento térmico natural, mantenidos siempre 18° y 22°. Podremos apreciar que la temperatura en verano será fresca, llegando incluso a ser fría por las noches al igual que en invierno, pero aportando la capacidad de provocar un rápido acondicionamiento térmico.

Las principales problemáticas aparecerán al pensar en los sistemas de ventilación provocando la presencia constante de humedades, y la iluminación que al no controlarse puede dar lugar a espacios oscuros.³²

32 Véase: Neila González, F. Javier, Op. cit., 2004, pp. 395-417.

La casa Aloni, situada en la Isla Antiparos (Grecia, 2008) del grupo decaARCHITECTURE es una construcción que muestra como la arquitectura puede desaparecer en la naturaleza y su entorno. El proyecto funciona como un elemento artificial que une dos colinas como un puente integrándolo en el paisaje, dependiendo su existencia de su contexto. Orientado su eje principal de norte a sur, abre sus fachadas de este a oeste mirando hacia el paisaje del valle y el mar.

Dos grandes muros van a contener la tierra perpendicularmente entre las dos colinas, creando una cubierta vegetal con la que se integrará con su entorno gracias a vegetación autóctona y rompiendo la continuidad del paisaje únicamente con sus cuatro patios. Su situación, su desarrollo en un solo nivel entre colinas casi enterrado y la presencia de vegetación y cultivos, van a otorgarle al proyecto una protección natural frente al clima, un aislamiento explotando los recursos naturales que provocará la termorregulación de la casa.³³

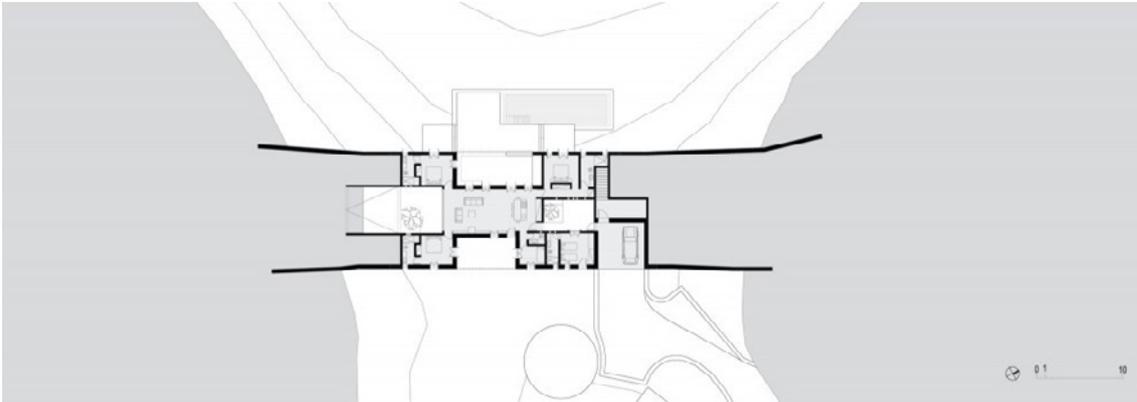
Las diferentes técnicas y beneficios que han ido desarrollando las tipologías de construcciones enterradas han dado lugar a gran variedad de formas y aplicaciones, que han venido justificadas por los tipos de terreno, la situación e integración con el paisaje o las diferentes necesidades. Por todo ello se llegan a crear topografías artificiales que crearán arquitecturas subterráneas únicamente para favorecer las condiciones climáticas y explotar los beneficios de situarse bajo tierra.

La Universidad Femenina de Ewha en Seúl (2004-2008) obra del arquitecto francés Dominique Perrault es un edificio que se integra en el entorno como una brecha que divide el conjunto en dos y lo atraviesa. El edificio está completamente enterrado creando una colina artificial y fragmentado por una gran explanada que desciende y asciende en su extremo final, dotada de bancos y escalones que puede ser usada como anfiteatro exterior.³⁴

La edificación situada bajo tierra se divide en dos cuerpos simétricos que se abren mediante cristalerías a la gran explanada central. Toda la superficie exterior se cubre con vegetación autóctona creando un tejado transitable mediante recorridos peatonales.

33 Véase: Jodidio, Philip, *100 contemporary houses*, Colonia, Taschen, 2011, vol1, pp. 168-173.

34 Véase: "Universidad Femenina Ewha, 2004-2008, Seúl (Corea del Sur)", en *AV Monografías*, 134, 2008, pp. 100-109.



decaArchitecture:
Casa Aloni, Isla Antíparos, 2008;
planta de la vivienda y vista aérea entre colinas.

les. La arquitectura se convierte, tanto en su traza central como en sus senderos de las zonas verdes, en una vía de conexión que conecta sus dos puntos de acceso. El proyecto es el resultado de soluciones actuales de sostenibilidad, reduciendo las propias necesidades energéticas gracias a la cobertura verde y el enterramiento que lo aíslan del ruido de la ciudad, permiten el aprovechamiento de la energía geotérmica, la recogida de aguas y la creación de laberintos térmicos mediante los muros perimétricos y las losas, que calientan y enfrían el aire en verano e invierno.

Dominique Perrault además, centra gran parte de su obra en el estudio de la arquitectura subterránea, desarrollando el concepto de *groundscape* que conduce al desarrollo arquitectónico y urbano del subsuelo. Desde esta nueva perspectiva, relaciona la idea del suelo como condición habitable ecológica de la arquitectura, alejándose de la imaginación del subsuelo como algo húmedo, oscuro e incómodo, explorándolo como una nueva realidad diferente de la construida, un nuevo recurso que permite la apertura del campo arquitectónico existente, la potencialización de las redes urbanas, la capacidad de obtención de una inercia térmica natural y el respeto incomparable por el paisaje.³⁵

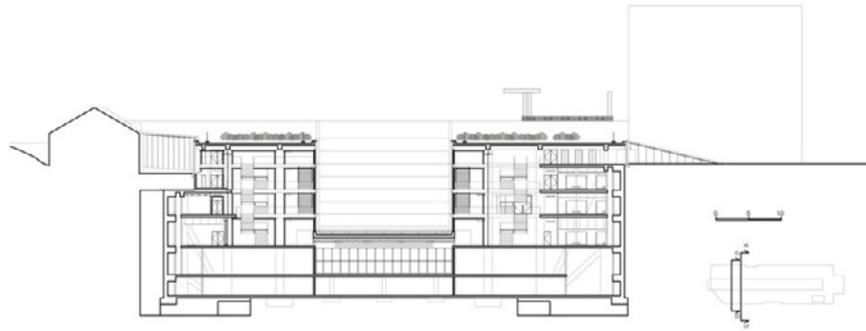
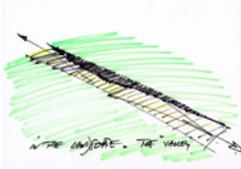
“Es un trabajo sobre la configuración de la realidad, a través de la arquitectura subterránea, donde no se trata de vivir, sino de marcar y esculpir lugares para la vida urbana en la tierra, esta epidermis abierta al cielo.”³⁶

El *Groundscape* es una parte inferior del mundo, es lo que veríamos al bucear si el suelo fuera como el océano y las ciudades como embarcaciones en su superficie, es un paisaje de una naturaleza diferente, que extiende este último y ensancha nuestro mundo.

Para acabar de hablar de arquitecturas subterráneas citaremos como referente a Glenn Murcutt que condiciona sus diseños a las claves climáticas de cada zona, realizando proyectos que sin la aplicación de altas tecnologías puedan funcionar. Basándose en favorecer la ventilación natural gracias a la diferenciación de fachadas y su posición

35 Véase: Perrault, Dominique, *Groundscapes: other topographies*, Orleans, Hyx, 2016.

36 www.perraultarchitecture.com/en/news/3366-release_of_groundscapes_-_autres_topographies_dominique_perrault.html, [consultado el 30 Septiembre 2018].



Dominique Perrault:
Universidad Femenina de Ewha, Seúl, 2004-2008;
esquemas de ideas, sección transversal del proyecto y vista aérea estado actual.

relativa al sol, la forma de la planta y la elevación del proyecto, todos estos conceptos van a ser clave y nos van a permitir acercarnos a una elaboración de arquitectura más sostenible.

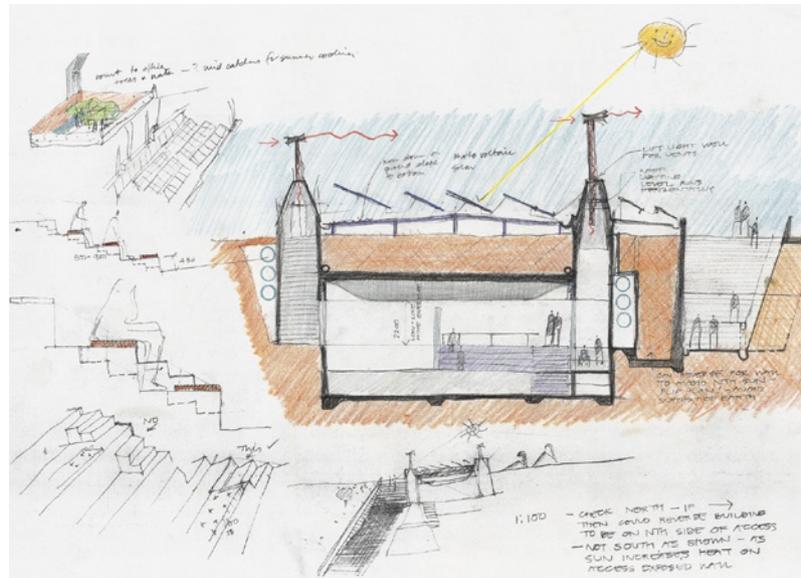
El proyecto The Australian Opal Centre (2008-) diseñado por Glenn Murcutt y Wendy Lewin, es un museo nacional subterráneo que cuenta con dos plantas bajo tierra y es energéticamente eficiente. Los arquitectos protegen y entierran el edificio en su entorno, enterrándolo, y capacitándolo para producir su propia energía, agua, luz y ventilación.³⁷ En la región en la que se sitúa el conjunto a 760 kilómetros de Sydney, las temperaturas en verano oscilan entre los 25° C durante la noche y los 45° C por el día, en invierno la variación térmica es de los -7° C a los 18° C, siendo una zona climática cálida y árida.

Esta última es una de las justificaciones de mayor peso por las que se desarrolla el edificio soterrado ya que, al situar el museo en los yacimientos activos existentes, la temperatura bajo rasante, desde los dos hasta los diez metros de profundidad, se mantiene estable durante todo el año alrededor de los 22° C. Por el subsuelo también existe un acuífero que alberga un gran volumen de agua a una temperatura estable de 56° C.

De esta manera, se consigue estabilizar térmicamente el edificio de manera sostenible explotando los recursos que presenta el entorno existente. El AOC además cuenta con sistemas autónomos de producción de energía, como la recogida de aguas de lluvia y las placas fotovoltaicas para la producción de electricidad.³⁸

37 www.australianopalcentre.com/the-building/, [consultado el 29 agosto 2018].

38 Véase: "Australian Opal Centre", en *El Croquis*, 163-164, *Glenn Murcutt 1980-2012*, 2012, pp. 402-408.



Glenn Murcutt y Wendy Lewin:
The Australian Opal Centre, Lightning Ridge (Australia), 2008;
sección esquemática del proyecto y maqueta.



3.2 Formas

“La forma arquitectónica es el punto de contacto entre la masa y el espacio. Las formas arquitectónicas, las texturas, los materiales, la modulación de luz y sombra, el color, todo se combina para infundir una calidad o espíritu que articule el espacio.”³⁹

La forma es la estrategia proyectual encargada de poner en relación el edificio en planta, con su situación en la parcela y la orientación. Este concepto va a condicionar el aprovechamiento climático del proyecto variando en relación a su volumen y superficie. El volumen de los edificios condiciona la capacidad de almacenar e intercambiar calor.

El factor de forma es la relación entre la superficie exterior y el volumen que alberga, siendo bioclimáticamente la solución más óptima la que presente una menor pérdida de energías. Este concepto vendrá condicionado también por el clima recomendándose un factor de forma reducido para climas fríos, entre 0,5 y 0,8, y para climas cálidos un valor de este mayor superior a 1,2. Este primer concepto será únicamente un acercamiento al intercambio de energía interior-externo de los edificios, ya que no tiene en cuenta conceptos como la situación o la envolvente concreta del proyecto.

Las estrategias pasivas de diseño tendrán un rol más importante sobre las soluciones adoptadas. La compacidad es el valor que va a cuantificar el grado de concentración de las masas que componen el edificio, pudiéndose decir que cuanto más compacidad exista menor cantidad de puentes térmicos van a existir, lo cual puede crear inconvenientes en la solución de ventilaciones e iluminaciones naturales al reducir el contacto con el exterior. Los factores determinantes para esta toma de decisiones serán la orientación hacia las vistas o la calle y su exposición solar además de crear una relación entre las características geométricas y su planta o envolvente.⁴⁰

En este sentido, la obra de Norman Foster para la construcción del City Hall de Londres (1998-2002) resulta paradigmática. Está situada al sur del río Támesis, entre el puente London Bridge y Tower Bridge. El proyecto es uno de los que tienen mayor relevancia

39 Véase: Bacon, Edmund N., *Design of cities*, Nueva York, Penguin Books, 1978.

40 Véase: Neila González, F. Javier, Op. cit., 2004.

simbólica en la capital, comunicando la transparencia y accesibilidad a los ciudadanos mediante la composición de su piel exterior. Es un edificio público sostenible y no contaminante, que presenta un nuevo concepto de la forma arquitectónica.

La configuración del proyecto va a venir condicionada por la búsqueda de un rendimiento energético óptimo que va a protegerse del sol proveniente del sur y va a captar el máximo de la luz difusa del norte. Su forma ovalada, sensiblemente inclinada, reduce la superficie expuesta a la radiación solar directa y favorecerá el confort térmico del edificio gracias a su bajo factor de forma.

La parte del ovalo orientada al sur cuenta con un sistema de escalonamiento en todas sus plantas para autoprotegerse en los meses de verano cuando el sol esté más alto, y que permitirá la penetración, sin obstáculos, del sol en el ayuntamiento en los meses más fríos de invierno, cuando los rayos solares sean más bajos. Además, el edificio está provisto de ventanas que se pueden abrir para facilitar los sistemas de ventilación naturales. Las estrategias de refrigeración y calefacción hacen que el edificio sea casi completamente autosuficiente, no necesitando energías adicionales aparte de la electricidad fotovoltaica autoproducida.⁴¹

A este respecto hay que destacar los trabajos de investigación de Victor Olgyay, pionero en sus aportaciones a la arquitectura y el urbanismo bioclimático, de los que podemos subrayar las siguientes ideas.

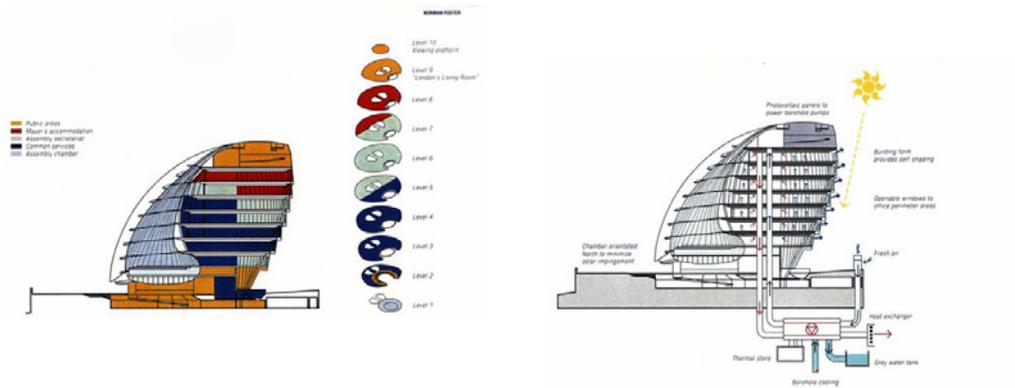
La planta cuadrada no es la forma óptima en ninguna zona, pero las formas alargadas con orientación norte-sur funcionaran peor que las primeras.

Las formas óptimas en todos los climas templados serán las plantas alargadas en dirección este-oeste.

En latitudes entre 32° y 56°, el sur del edificio recibe el triple de radiación en invierno que su este y oeste, pero durante el verano la radiación de los muros este y oeste es mayor que la del sur.⁴²

41 www.fosterandpartners.com/es/studio/people/partnership-board/norman-foster/, [consultado el 14 de septiembre 2018].

42 Véase: Olgyay, Victor, *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.



Norman Foster:
City Hall, Londres, 2008;
secciones con usos y funcionamiento energético y foto del proyecto en la actualidad.

Un proyecto característico por su forma, además de por su integración de energías sostenibles, es el Kaohsiung Stadium (2007-2009) en Taiwan proyectado por Toyo Ito. Su diseño no solo muestra un avance en las técnicas constructivas y el desarrollo de las tecnologías, sino que también se diferencia mediante su forma abierta de los estadios convencionales cerrados.

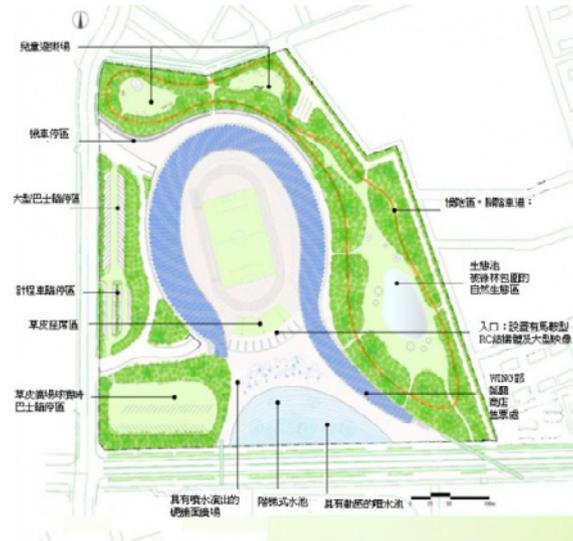
Construido para los Juegos Mundiales del año de su inauguración, se califica como un edificio verde, concebido como un círculo abierto, con forma de signo de interrogación, comparado con un dragón moviendo la cola, animal muy presente en la cultura asiática. Inspirándose en el concepto de Feng shui, que significa literalmente viento y agua y es un sistema tradicional chino que define que colocación de los objetos y diseño es la mejor para aprovechar estas energías naturales.

De esta forma, se elabora un estudio meteorológico del lugar que va a determinar la dirección del viento de verano y se va a aprovechar para maximizar las posibilidades de enfriamiento natural. Esta es la razón principal por la que el estadio, ni por los lados ni por el techo, se cierra en un círculo para poder crear un túnel por el que va a pasar el aire refrescando al espectador durante los meses de temperaturas más elevadas.

La forma que adopta el proyecto también permite que el público al encontrarse en el recinto pueda contemplar el paisaje en el que se encuentra, dándole una continuidad visual al campo y al entorno natural verde que lo rodea. La piel que materializa el estadio va a estar recubierta con miles de paneles solares, a modo de escamas de dragón, a la vez que se consigue la producción de electricidad total para su funcionamiento, y cuenta con un sistema de recogida de aguas pluviales para su uso en el interior del estadio.⁴³

En nuestro país, podemos encontrar obras menos conocidas pero que utilizarán estas mismas estrategias pasivas, que permitirán mediante la forma acercarse a una arquitectura más sostenible. La casa de Acero y Madera situada en Ranón (Asturias, 2003) del equipo de arquitectos Ecosistema Urbano es un claro ejemplo de arquitectura que ha sido concebida a partir del estudio de la geometría y orientación. Se consigue adap-

43 Véase: "Estadio Central para los Juegos de 2009 en Kaohsiung", en *El Croquis*, 147, Toyo Ito 2005-2009, 2009, pp. 136-157.



Toyo Ito:
Estadio para los Juegos Olímpicos, Kaohsiung (Taiwán), 2007-2009;
planta original del arquitecto y vista aérea del estadio olímpico.

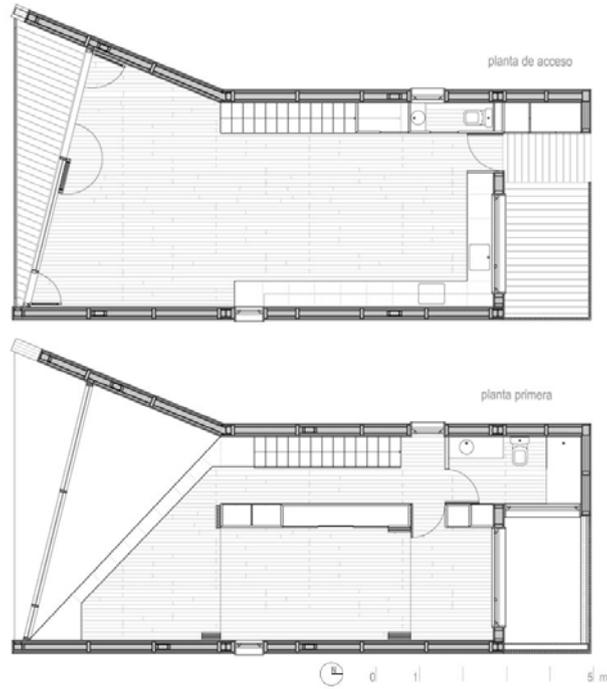
tar a las necesidades climatológicas respetando la vegetación existente en la parcela.⁴⁴

La vivienda construida en acero y madera, como su nombre indica, se despega del suelo apoyada en cuatro puntos minimizando su impacto en el paisaje e integrándose en el gracias a su materialidad definida por las maderas pino norte y pino douglas. El espacio orientado a sur, se proyecta con una doble altura acristalada para controlar la temperatura gracias a su orientación solar, geometría y pliegues, por lo que este espacio funciona como un dispositivo bioclimático fundamental para el funcionamiento térmico.

Para evitar los puentes térmicos, las fachadas de mayor superficie son totalmente ciegas, y los huecos que se disponen en las otras son practicables para alcanzar gracias a las diferentes posiciones la regulación higrotérmica. Por ello la forma de la vivienda es compacta, buscando y consiguiendo de esta manera optimizar el factor de forma.⁴⁵

44 www.ecosistemaurbano.com/portfolio/house-of-steel-and-wood/, [consultado el 18 de septiembre de 2018].

45 Véase: Reyes, César; Baraona Pohl, Ethel y Pirillo, Claudio, Op. cit, 2007.



Ecosistema Urbano:
Casa de Acero y Madera, Ranón (Asturias), 2003;
plantas de proyecto y fachada oeste.



3.3 Envolventes

Las envolventes en arquitectura van a ser el vínculo directo de intercambio de calor entre el interior y el exterior de nuestros proyectos. En este apartado se va a hacer una clasificación de los diferentes tipos de pieles que se conciben como envolventes que tiene un edificio. Se distinguirán entre cerramientos y cubiertas, siendo elementos determinantes en el diseño y sostenibilidad de nuestros proyectos.

Estas capas van a ser la protección directa de los espacios interiores, su construcción será fundamental para el correcto funcionamiento del proyecto, teniendo el papel principal de refugiarnos y protegernos de los factores externos. Serán las encargadas de filtrar el aire, de manera que se consiga el menor consumo y pérdidas de energía, además de controlar el impacto que tiene directo sobre el edificio.

En el desarrollo del proyecto ecológico tendremos que tener en cuenta las pérdidas térmicas, los aislamientos y las componentes de nuestras fachadas y cubiertas que nos aportan permeabilidad a la luz, el aire y el calor. Estas características permitirán, mediante su estudio y conocimiento, crear unas condiciones interiores que definan espacios, usos y atmósferas, además de la sostenibilidad del edificio y sus particularidades, que condicionan la manera de percibir la arquitectura.

3.3.1 Piel Vertical

Cuando hablamos de cerramientos y al concretar en este tipo concreto de envolvente, podremos observar y aprender de numerosas referencias que a lo largo de la historia han sido claves en la evolución de los sistemas constructivos. Por ello se hará referencia a ejemplos que materializan los diversos sistemas del edificio, ya sean pasivos o activos, su concepción formal y constructiva, y como gracias a la integración de nuevas soluciones y tecnologías se consiguen composiciones ecológicas.

Uno de los conceptos claves en la composición de fachadas es la explotación de las fuentes de energías naturales, como es el viento. Si en el proyecto relacionamos la composición de plantas y fachadas, conseguiremos aprovechar al máximo los sistemas de ventilación naturales. Estos mecanismos se deberán emplear siempre que sea posible, ya que suministran aire fresco a los espacios interiores y aportan confortabilidad y bienestar al usuario.

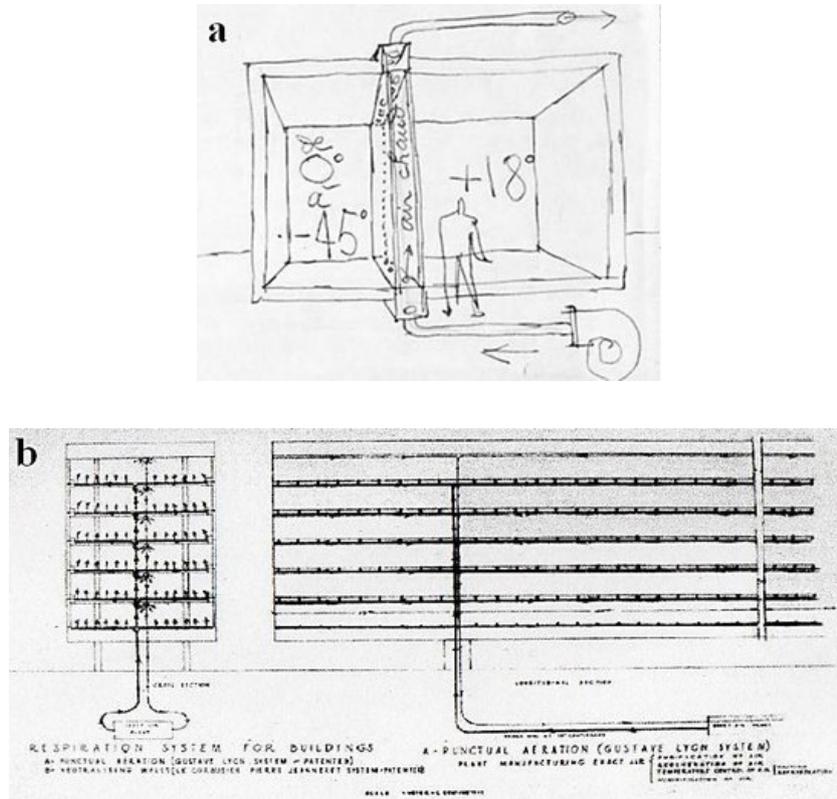
Las fachadas de doble piel permiten la utilización de mecanismos, como la creación de sistemas invernadero y la renovación de aire mediante muros ventilados que reducirán la necesidad de ventilación mecánica, Le Corbusier ya introdujo en sus proyectos, aparte del recurso de los *brise-soleils*, la idea de “respiración exacta” y “muro neutralizante” proponiendo un nuevo sistema de ventilación para las fachadas.

Esta idea propone la creación de una doble piel acristalada, encargada de la renovación del aire y el mantenimiento de la temperatura interior durante todo el año independientemente de las condiciones climatológicas exteriores. La respiración exacta es un sistema independiente al muro y mecánico que introducirá aire en la cámara existente creando una circulación interior que permitirá el control de las temperaturas. De esta manera se crea un “espacio invernadero” en el que en invierno se almacenará el calor y en verano se ventilará gracias a la salida de aire por la cubierta.⁴⁶

La concepción de este tipo de cerramientos no es una novedad en la arquitectura, al hablar de este tipo de fachadas que buscan el control de la luz o la ventilación, descubrimos que anteriormente Louis I. Kahn ya había las había experimentado en su obra.

46 Véase: Gilles, Olivier y Cyrille, Op. cit., 2016.

Él utilizaba el concepto de doble piel, creando dos fachadas que crean un espacio entre sí, sistema que le permite la aportación de cualidades lumínicas y térmicas al edificio.⁴⁷ Cerca de estas ideas, otra solución tradicional es la creación en la arquitectura japonesa del *engawa* o *hisashi*, espacio que define en su arquitectura la transición entre el exterior y el interior. De esta manera podemos ver como los métodos tradicionales y pasivos llevan a la creación de arquitectura más sostenible



Le Corbusier:
 La cité de refuge, Paris, 1929;
 a.concepto de muro neutralizante y b.croquis de respiración para la cité de refuge.

47 Véase: Kahn, Louis I., *Louis I. Kahn: conversations with students*, New York, Princeton Architectural Press, 1998.

Uno de estos métodos de ventilación los podemos ver en el proyecto de la Mediateca de Sendai (Japón, 2001), situado en una ciudad llena de zonas verdes y árboles, donde Toyo Ito desarrolla un proyecto reconocido e icónico para la ciudad. El edificio propuesto y ganador del concurso, apuesta por la transparencia y abre sus envolventes hacia la naturaleza.

“La arquitectura no debería ser un muro grueso y rígido sino una epidermis flexible y suave, como nuestra piel, que nos permitiera intercambiar información con el mundo exterior.”⁴⁸

Para poder solucionar la transparencia y no desatender a los problemas que supondría a niveles de sostenibilidad y energía, la Mediateca acoge claramente los conceptos de una arquitectura ecológica y sostenibles, ya que resuelve sus fachadas modificando sus orientaciones. La sur, la principal, cuenta con un doble vidrio que incrementa la ligereza del proyecto, la oeste, es una cara opaca recubierta por un entramado metálico, y las fachadas norte y este se diferencian en cada piso gracias a sus múltiples acabados de vidrio, aluminio y policarbonato.

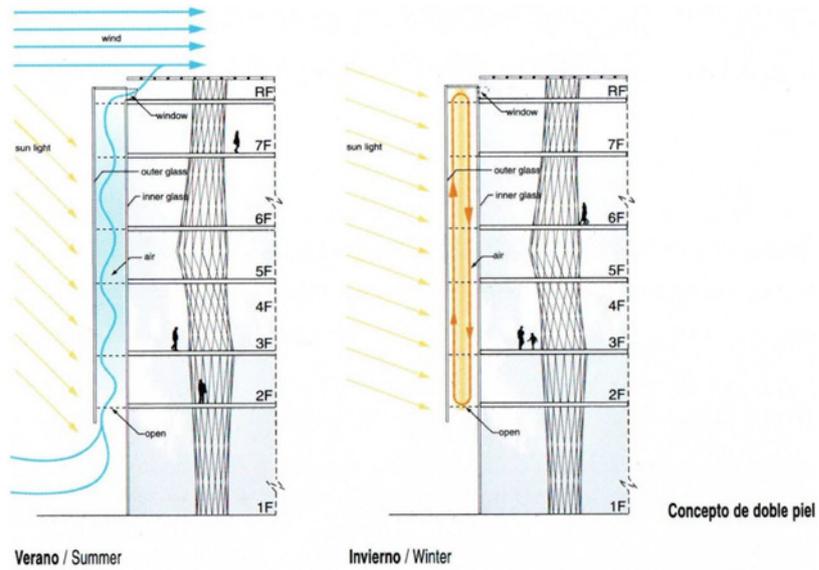
El proyecto consta de tres conceptos principales: las plataformas, los troncos estructurales y la piel exterior. Así el edificio estará desarrollado y construido con la más alta tecnología, en relación directa con el entorno gracias a la envolvente casi inexistente y ligera que será fuente de luz y de ventilación.

La fachada sur, ya citada cumple un sistema inspirado en la idea de respiración exacta. La doble piel crea un espacio intermedio de aire que permite el almacenamiento de calor en los meses más fríos, y contará con un sistema de trampillas en la cubierta para su correcta ventilación en verano. De esta manera se crea naturalmente un espacio de aire que está en sintonía con el resto de elementos proyectuales.⁴⁹

Al citar los conceptos de muro neutralizante y respiración exacta encontramos otras referencias en las que se pueden ver desarrolladas estas ideas como una respuesta

48 Ito, Toyo, “Tarzán en el bosque de los medios”, en *2G: revista internacional de arquitectura*, nº 2, 1997, p.121.

49 Véase: Ito, Toyo, “Mediateca de Sendai”, en *El Croquis*, 123, Toyo Ito 2001-2005, 206, pp. 46-101.



Toyo Ito:
Mediateca de Sendai, Sendai (Japón), 2001;
esquemas de funcionamiento de fachadas y vista exterior cerramientos.

contemporánea a la sostenibilidad de nuestros edificios. En nuestro país, el proyecto ECOBOX sede de la Fundación Metrópoli de Ángel de Diego Rica en Alcobendas (Madrid, 2005), es un proyecto que integra innovación y creatividad con arquitectura bioclimática, en un edificio de tres niveles estructurados en torno a un atrio central de libre altura.⁵⁰

Su arquitectura va a venir definida por soluciones tradicionales, como la orientación y el control de la luz mediante los huecos en fachadas, sumadas a soluciones bioclimáticas que aportarán un correcto control térmico. El atrio jugará un papel protagonista en el proyecto, siendo un espacio de conexiones, luz y transparencia.



Angel de Diego Risa:
Ecobox, Alcobendas, 2005;
vista de la fachada principal del proyecto.

50 www.construible.es/2007/09/16/ecobox, [consultado el 19 de septiembre de 2018].

La ventilación se resuelve mediante dos sistemas diferentes combinados. El primero es la introducción de aire mediante el sistema de almacenamiento en el subsuelo, que circulara de manera natural por las canalizaciones integradas en las fachadas (concepto de respiración exacta). El segundo sistema está situado en los muros y su composición, acondicionando los muros masivos para que puedan almacenar energía gracias a los dispositivos del sistema uno (concepto de muro neutralizante). De esta manera se crea un circuito de ventilación que hará recorrer el aire desde el subsuelo pasando por sus espacios interiores y cerramientos.

La caja diseñada muestra al exterior su forma mediante vidrios tamizados por lamas metálicas que filtran y que protegen de la exposición solar directa gracias a la implantación de mecanismos de graduación. Otra característica a destacar es la utilización de materiales sanos, reciclables, naturales y tradicionales, que funcionarán como un sistema pasivo al que se suman los almacenes energéticos distribuidos por toda su envolvente. Estos almacenes funcionan mediante la colocación de grava entre las dos hojas de hormigón en la fachada y en una gran masa en el subsuelo del mismo material que consigue el perfecto aislamiento de la caja y la capacidad de almacenamiento.⁵¹

Tanto la obra de Toyo Ito como la de Ángel de Diego Rica, muy distantes en su concepto y materialización, están relacionadas directamente por las soluciones que optimizan el funcionamiento de sus edificios.

Igualmente es fundamental en el proyecto concebir el cerramiento como una herramienta transformable, que al modificarse en forma y orientaciones puede aportar nuevas reacciones del edificio. Por ello para buscar una solución que no requiera energías contaminantes, tendremos que tener en cuenta otros factores aparte de la ventilación y el viento, como son la luz y el calor. La permeabilidad de la capa externa del proyecto, así como su transparencia son factores clave que hay que controlar y condicionar para buscar un equilibrio con el medio.

Es el caso del proyecto de la Torre Energy Mansion de BIG en Shenzhen (China, 2009), un edificio encargado de atender las necesidades climáticas y buscar la optimización de energías. En este ejemplo se abarca la posibilidad de explotar las energías natura-

51 Véase: Reyes, César; Barahona Pohl, Ethel y Pirillo, Claudio, Op. cit., 2007, pp. 261-277.

les mediante la formación de sus fachadas, y no únicamente mediante mecanismos.

“Shenzhen Energy Mansion es nuestro primer ejemplo construido de ‘ingeniería sin motores’ - la idea de que podemos abordar la dependencia de la maquinaria de nuestros edificios y dejar que la arquitectura cumpla con el rendimiento. Shenzhen Energy Mansion aparece como una sutil mutación del clásico rascacielos y explota la interfaz del edificio con los elementos externos: sol, luz del día, humedad y viento para crear la máxima comodidad y calidad en el interior. Una evolución natural que se ve diferente porque funciona de manera diferente”.⁵²

Bjarke Ingels y su equipo, proyectan dos torres unidas mediante un zócalo que albergarán el centro de tecnología e innovación de la compañía de energía Shenzhen. Estas torres formarán parte del horizonte existente, y se convertirán en un nuevo hito en la ciudad y responderán a cada una de sus orientaciones con formas diferentes. La piel que lo envuelve está diseñada de manera que se exploten todos los recursos sostenibles existentes, creando una envolvente ondulada que viste a ambas torres y que se aleja del muro cortina tradicional.⁵³

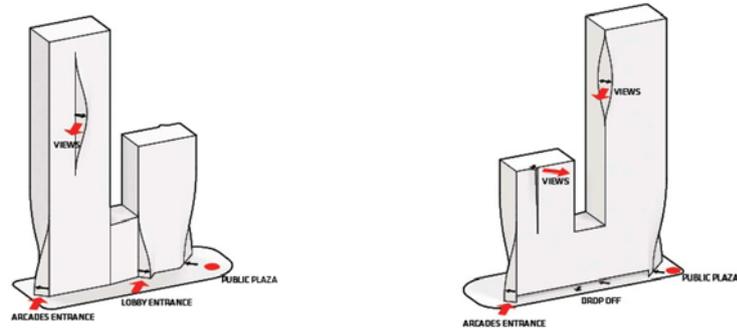
Gracias a los pliegues de la fachada se forman huecos cerrados que permitirán el aislamiento, la entrada de luz y la colocación de paneles solares, aportando un ahorro de hasta el un 60% de energía. Las formas se ondulan como si de una tela se tratara, orientando estas formas para conseguir una fachada hacia el norte que se abre y permite la penetración de la luz natural y las vistas, mientras que hacia el sur se cierra para minimizar la exposición solar. Estas hendiduras que se abren y cierran desvelando los espacios interiores, otorgan al edificio una imagen diferente desde cada punto de la ciudad.⁵⁴

Este modo la construcción se va a convertir en un mecanismo básico para los sistemas de captación, acumulación, regulación y distribución de energía. No solo las formas

52 Entrevista a Ingels, Bjarke / BIG, Shenzhen Energy Mansion, 7 de agosto de 2018, disponible en: www.plataformaarquitectura.cl/cl/899795/shenzhen-energy-mansion-big.

53 Véase: Bjarke Ingels, “Torre Energy Mansion, 2009, Shenzhen (China)”, en *AV Monografías*, 162, 2013, pp. 80-84.

54 Véase: Maffei, Andrei, Toyo Ito: le opere, i progetti, gli scritti, Florencia, Electa, 2001.



BIG:
Shenzhen Energy Mansion, Shenzhen (China), 2009;
esquemas de fachadas y vista aérea del rascacielos existente.

de los cerramientos, sus huecos o sistemas nos van a condicionar el confort térmico del edificio, sino que todos estos conceptos van a estar directamente vinculados a las cualidades de estas pieles externas y su materialización.

En la arquitectura popular los materiales han sido el resultado de explotar los recursos existentes, además de que estos ayudaran a la correcta gestión energética del edificio gracias al estudio de sus propiedades físicas. En el desierto las tribus nómadas fabrican las telas de sus tiendas con lana de sus cabras, en Islandia los muros se hacen de bloques de pasto aprovechando su capacidad aislante y los inuit fabrican sus iglúes con hielo, lo que nos muestra que donde los recursos son mínimos la arquitectura, la imaginación en armonía con la correcta utilización de los materiales nos proporciona soluciones de confortabilidad y habitabilidad.

En el siglo XXI, la utilización de este tipo de arquitectura ligada al lugar y sus oportunidades está muy desarrollada. La casa experimental Memu Meadows en Japón (2009-2011) es un claro ejemplo de innovación y sostenibilidad mediante el reciclaje. El proyecto de Kengo Kuma desarrolla una vivienda basada en los Cise, una tipología de casa hecha de hierba, bambú y tierra típica de los Ainu, grupo étnico indígena, que se compone de un espacio central, que articula el resto de estancias, con una chimenea que funciona durante todo el año. Los Cise estan en contacto directo con el suelo, y buscan mantener el calor de la tierra y recuperar el que se desprende.

La casa experimental que desarrolla el arquitecto combinará la utilización de nuevos materiales con técnicas y elementos tradicionales. La estructura principal del proyecto está construida con madera y recubierta por una membrana tensada de poliéster fluocarbono. Esta membrana está formada por tres capas principales, la exterior ya mencionada, la interior realizada con fibra de vidrio creando una membrana extraíble, y el aislamiento térmico, que se resuelve mediante el reciclado de botellas PET.⁵⁵

La idea principal es que la casa sea capaz de soportar condiciones climatológicas extremas con el empleo de estos materiales. La envolvente diseñada se va a comportar

55 "Kengo Kuma construye una casa experimental en Hokkaido (Japón)", Arquitectura Viva, disponible en: <http://www.arquitecturaviva.com/es/Info/News/Details/4221>, [consultado el 12 de septiembre de 2018].



Kengo Kuma:
casa experimental Memu Meadows, Japón, 2009-2011;
vista interior de la casa y el cerramiento y vista de la casa nevada.

como un aislamiento térmico basado en una ingeniería ambiental dinámica y permitirá la entrada de luz natural a todos los espacios. De esta forma el día comenzará cuando llegue la luz y acabará al llegar la noche, vinculando la vida directamente con los ritmos de la naturaleza.

Otra obra realizada por el mismo arquitecto y característica por sus cerramientos es el Hotel de Yusuvara (2010). En este edificio podemos ver como Kengo Kuma relaciona la utilización de materiales autóctonos con soluciones innovadoras y tecnológicas que van a resolver las problemáticas de confort térmico y ventilación de manera sostenible. Inspirado en las Chad-Do, edificios de carácter público para los viajeros, el cerramiento presenta en planta baja sistemas de muros cortinas combinados con una fachada resuelta con módulos de paja, enlazando directamente la arquitectura con el entorno.

El conjunto de hotel y mercado se materializa con la construcción de un cerramiento de paja que, mediante su colocación sobre una estructura metálica encargada de permitir el movimiento de estos módulos, permitirá la creación de ventilación natural de los espacios interiores y favorecerá el aislamiento térmico del edificio.⁵⁶

⁵⁶ www.kkaa.co.jp/works/architecture/community-market-yusuvara/, [consultado el 31 de agosto de 2018].



Kengo Kuma:
Mercado y Hotel de Yusuhara, Japón, 2010;
detalles en maqueta de colocación de los módulos de paja y vista del proyecto.

3.3.2 Quintas fachadas

Las cubiertas son unas de las partes con mayor exposición de un edificio, por lo que el control de la filtración de aire y luz también juega un rol principal en la definición de la quinta fachada de los edificios. Esta superficie es la que cuenta con una exposición solar mayor convirtiéndose en uno de los elementos más conflictivos y decisivos en la búsqueda de soluciones bioclimáticas.

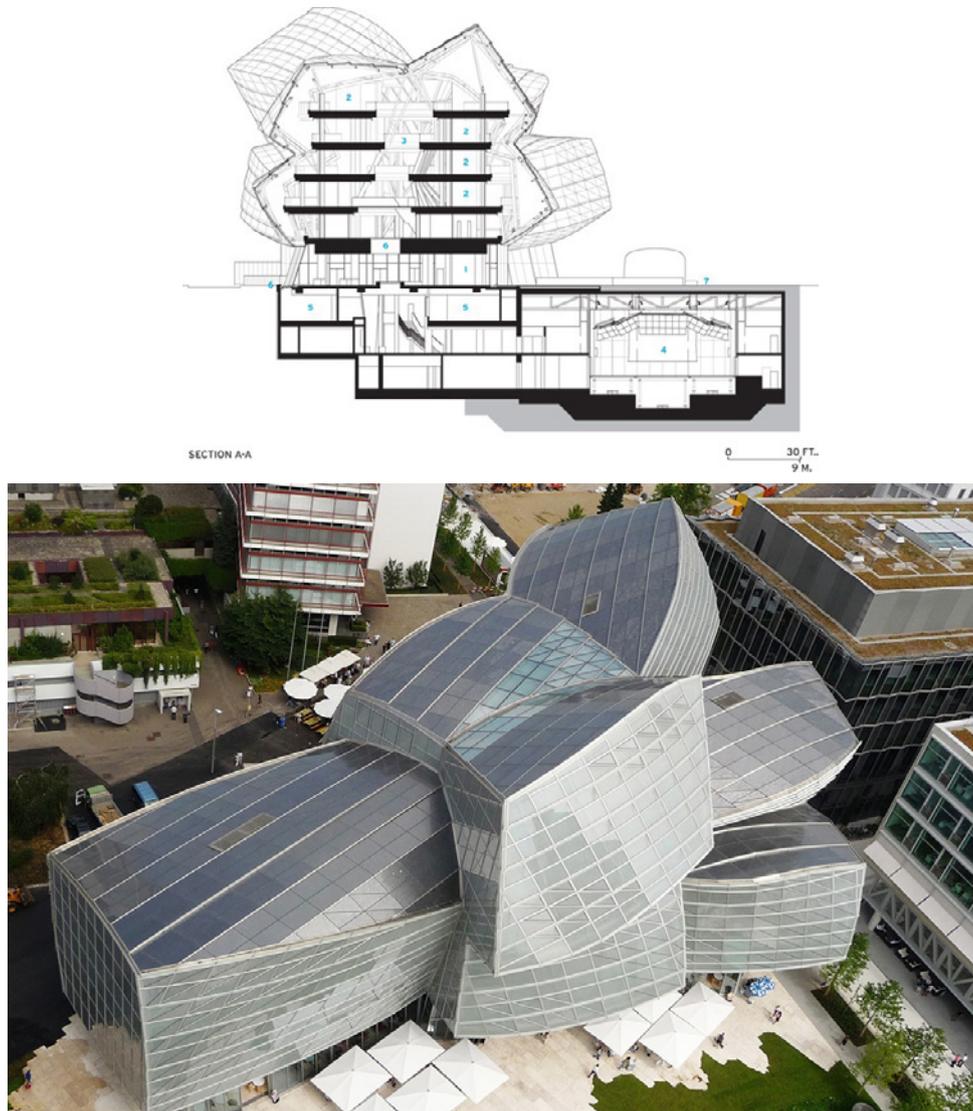
El acabado de estas va a ser fundamental, existiendo innumerables soluciones para el control térmico y el correcto aislamiento. El principal problema que presentan es el recalentamiento y posterior sobrecalentamiento de los espacios situados bajo ellas. La utilización de colores claros o elementos como el aluminio que son reflectantes son buenas opciones para mejorar su comportamiento, siempre acompañados de un correcto aislamiento térmico.

Otras soluciones posibles que se pueden combinar con las ya propuestas, es la creación de cubiertas ventiladas. La ventilación se podrá prever con la creación de cámaras de aire como espacios no habitables, solución que principalmente se presenta en las cubiertas con faldones, y presentando mayor complejidad para la creación de estas cámaras en cubiertas planas o inclinadas de una hoja.⁵⁷

El edificio de oficinas Fabrikstrasse de Frank Gehry (2009) en Basilea, se sitúa en una antigua zona industrial que la farmacéutica Novartis ha recuperado para la creación de un nuevo campus en la ciudad. La inexistencia de limitaciones en la parcela y los compromisos medioambientales, permiten a Gehry la proyección de unos espacios de trabajo abiertos y en directa conexión con el entorno.

De acuerdo con el versátil concepto de oficinas multiespacio, las plantas se desarrollarán de manera diáfana y estarán divididas en dos por un atrio central y la escalera que permitirán gracias a su conexión directa, la entrada de luz en todo el proyecto. La envolvente plegada se apoyará sobre diferentes estructuras, y formarán piel con una eficiencia energética muy alta.

57 Véase: Smith, Peter F.; Luxán, Margarita y Veuthey, Maysi, *La arquitectura en un clima de cambio: una guía para el diseño sostenible*, Barcelona, Reverté, 2017.



Frank Gehry:
Edificio Novartis, Fabrikstrasse 15, BasileaMercado y Hotel de Yusuhara, Japón, 2009;
sección del proyecto y vista de la cubierta.

La piel exterior protegerá de la radiación gracias al acristalamiento triple, y las aberturas existentes motorizadas introducirán el aire fresco por los pisos más elevados provocando un intercambio de calor gracias al gran atrio central. Además, esta gran piel no estará en contacto directo con la envolvente, generando así una cámara de aire alrededor de todo el edificio que favorecerá el intercambio de calor y la renovación de aire. Como apoyo a estos sistemas, para el enfriamiento del edificio se emplea el uso de aguas subterráneas y fluviales.

La cubierta que unifica los diferentes espacios de las cinco plantas existentes, van a ser fundamentales en los sistemas de ventilación y en la cantidad de luz que penetra en el proyecto. La luz natural se fusionará con las instalaciones de iluminación ambiental y su combinación provocará un efecto de transparencia. En ella también se instalan un sistema de accesorios ajustables de haluro de metal que harán que la luz rebote y se refleje en ello, y de esta manera iluminará el centro del edificio y marcará su forma. La instalación de células fotovoltaicas en el 85% en la superficie de esta piel será esencial en la producción de energía del edificio. De esta manera Frank Gehry alcanza mediante la definición constructiva de la piel que envuelve el edificio, un ambiente interior y una atmósfera común en el proyecto gracias a soluciones sostenibles.⁵⁸

Otra de las medidas más sencillas para el medioambiente será la creación de pieles vegetales, tanto en proyectos de nueva obra como en rehabilitación. Aunque esta solución arquitectónica pueda parecer novedosa, se viene utilizando desde hace siglos, como en Noruega o Islandia donde las antiguas civilizaciones ya cubrían sus viviendas con vegetación para mejorar las capacidades térmicas. Los Jardines Colgantes de Babilonia, datados entre los años 605 y 562 a.C., eran terrazas escalonadas cubiertas de vegetación construidas sobre edificios abovedados y son uno de los primeros ejemplos conocidos de cubiertas ajardinadas.⁵⁹

Le Corbusier ha sido uno de los primeros arquitectos contemporáneos en dotar a sus edificios regularmente con cubiertas ajardinadas; solución que constituía uno de sus “Cinco puntos de una nueva arquitectura” formulados en 1926. En la actualidad países

58 Véase: Strathaus Ulrike, Jehle-Schulte, Frank O. *Gehry: Novartis Campus - Fabrikstrasse 15*, C. Merian, 2010.

59 Véase: Neila González, F. Javier, Op. cit., 2004.

como Suiza o ciudades como París y Copenhague han recogido en sus normativas la obligación de implantar en los proyectos futuros este tipo de cubiertas.⁶⁰

La ejecución de estas cubiertas carece de complejidad técnica, es imprescindible una correcta impermeabilización y aislamiento para poder colocar las siguientes capas necesarias para su instalación, encargándose estas de las raíces, la contención de tierra, la recogida de aguas y por último un sustrato para la colocación de la vegetación.

Un claro ejemplo de este tipo de solución arquitectónica es la que aporta Renzo Piano al edificio de La Academia de Las Ciencias en California (2005-2008), en el cual el arquitecto rehabilitó una construcción del año 1934 otorgándole al edificio una nueva solución de iluminación y sostenibilidad mediante diseño de vanguardia.

Está ubicado en uno de los parques principales de San Francisco, el Golden Gate Park de California. El edificio ha sido clasificado como una obra maestra de la arquitectura que entrelaza la naturaleza y su biodiversidad con las innovaciones técnicas. La sustentabilidad es uno de los puntos fuertes del proyecto, tanto que es considerado uno de los edificios más verdes del planeta.

El edificio estará abierto hacia su exterior, abriendo la mirada y conectándolo con el gran parque en el que se sitúa, lo que otorgará al edificio una obtención de luz natural, permitiendo que todos sus espacios interiores estén iluminados naturalmente en un 90%. Los diferentes espacios que definen el museo son muy singulares. Podemos encontrar en él un acuario con enormes tanques acuáticos, una gran reserva verde, un planetario y unas salas de exposiciones que estarán en contacto directo con la cubierta, resuelta con cien mil metros cuadrados de vegetación.⁶¹

Sin duda lo más destacable del proyecto es la resolución de su cubierta. El gran techo verde ideado por el arquitecto está definido por una gran superficie ondulada que hará homenaje a las colinas de San Francisco. La vegetación elegida para dicha cubierta estará formada por 1,7 millones de plantas autóctonas, que nos cubrirán los ciento

60 Véase: Corbusier, Le, *Hacia una arquitectura*, Barcelona, Poseidón, 1978.

61 Véase: "Nueva sede de la Academia de Ciencias", en *AV Monografías*, 119, *Renzo Piano. Building workshop*, 2006, pp. 126-130.

doce mil metros cuadrados de espacio público. Esta vegetación estará formada por especies nativas que a su vez llamarán a especies animales como pájaros o mariposas junto a algunos frutos.

Las claraboyas situadas estratégicamente cuentan con sistemas de ventanas automatizadas, que se abren y cierran para permitir una correcta ventilación y una humedad óptima. Además, la colocación de celdas fotovoltaicas en todo el alero perimetral permitirá la obtención de energía previniendo así las emisiones de CO₂. La mayoría de los materiales utilizados para la construcción del edificio fueron reciclados u obtenidos de manera natural, como la madera que fue plantada de manera sustentable o el aislante térmico de los muros que se produjo con pantalones vaqueros reciclados.⁶²

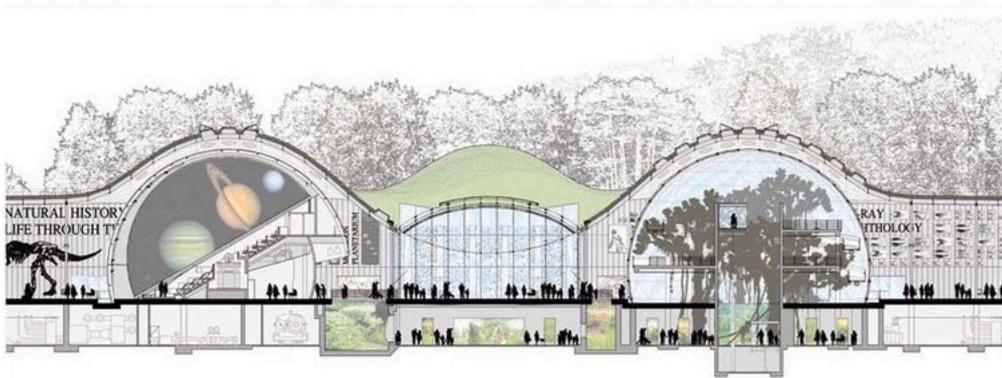
Desde el punto de vista ambiental esta solución arquitectónica cuenta con beneficios innumerables, favoreciendo la calidad del aire, la absorción de gases contaminantes, además de la liberación de oxígeno. Otra ventaja presentada por esta solución de la envolvente es la capacidad de aislamiento térmico y sonoro, facilitando la reducción de las pérdidas térmicas y ganancias de calor y disminuyendo la radiación solar.

Un punto positivo adicional a destacar en las cubiertas vegetales es la capacidad de almacenamiento de agua. De esta manera, se podrán instalar sistemas de recogida de aguas, como aljibes, para la recogida de aguas pluviales que permitirá su reutilización en el proyecto, consiguiendo su reciclado y posterior aprovechamiento.

De otra parte, mediante la proyección de las cubiertas, también se podrán alcanzar otros beneficios espaciales como pueden ser la iluminación y ventilación natural. El efecto chimenea es un concepto muy avanzado en los últimos años, sistema basado en la expulsión del aire caliente mediante un núcleo central que permitirá la creación de un recorrido de suelo a cubierta donde. El concepto del funcionamiento de este sistema es el que podríamos ver en la implantación de patios, espacios capaces de condicionar térmicamente los edificios e iluminarlos como pozos de luz.⁶³

62 Véase: “*Academia de las Ciencias de California, 2000-2008, San Francisco (Estados Unidos)*”, en *AV Monografías*, 197-198, *Renzo Piano. Building workshop*, 2017, pp. 34-44.

63 Véase: Neila González, F. Javier, Op. cit., 2004, pp. 294-300.



Renzo Piano:
La Academia de las Ciencias, California, 2005-2008;
sección del proyecto y vista de la cubierta vegetal.

En España, el edificio Call Center Telefónica Móviles, proyecto de Felipe Pich Aguilera y Teresa Batlle situado en Toledo (2005) está determinado por su arquitectura medioambiental y los materiales empleados. El proyecto se divide en tres zonas principales cubiertas por un gran manto que va a otorgar plasticidad y flexibilidad a todo el conjunto. Las zonas principales son una primera zona que funciona como gran atrio climatizado gracias a la cubierta, una segunda zona ligada a la primera y situada al sur que funcionará como un gran invernadero en triple espacio y una tercera zona definida por volúmenes cerrados y patios semicubiertos con vegetación orientados hacia el norte.⁶⁴

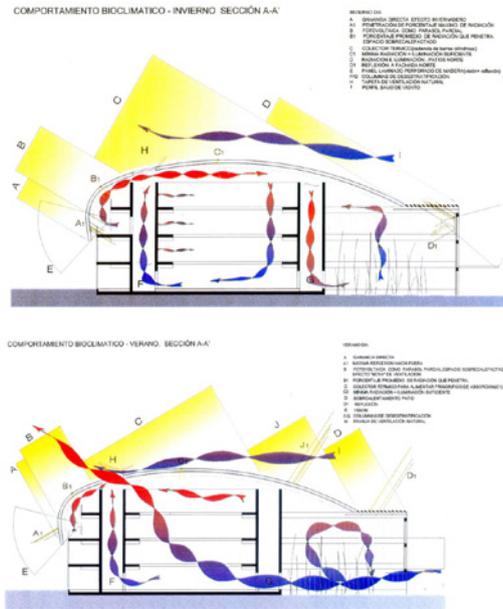
La cubierta cóncava es la encargada de que la luz penetre en la zona de invernadero, por sus patios y por el atrio creando un equilibrio de luz natural en el conjunto gracias a la ausencia de divisiones horizontales masivas en el núcleo central. Esta cualidad espacial beneficiará el funcionamiento del efecto chimenea en el edificio, y favorecerá a la correcta circulación del aire.

Además de esta solución se instala un sistema de aljibes ecológicos gracias a los cuales se capta y almacenan aguas pluviales para el mantenimiento de los patios y su vegetación. Estos patios serán claves para la absorción del ruido y causarán un efecto de refrigeración natural. La zona sur, definida como una zona de invernadero servirá de apoyo de confort en invierno al resto de los espacios. De esta manera la cubierta además de recoger los tres ámbitos diferentes, permitirá la captación de energía y distribución de aire caliente y frío a todo el proyecto.

Por último, las cubiertas también podrán funcionar como pieles en las que se introduzcan elementos e instalaciones tecnológicos que en combinación con los sistemas pasivos aporten sostenibilidad al conjunto. El estudio de Cloud9, formado por Enric Ruiz Geli, proyecta una nueva piel para el Acuario de Nueva York (2006). El proyecto es una clara estructura hipertensada que pretende relacionar la arquitectura con los seres vivos que existen en el lugar mediante la explotación de la alta tecnología y la combinación de materiales.⁶⁵

64 Véase: Reyes, César; Barahona Pohl, Ethel y Pirillo, Claudio, Op. cit., 2007, pp. 165-189.

65 Véase: "Acuario de Nueva York (Estados Unidos)", en *AV Monografías*, 128, *Emergentes. Twenty Emerging Teams*, 2007, pp. 56-57.



Felipe Pich Aguilera y Teresa Batlle:
 Call Center Telefónica Móviles, Toledo, 2005;
 secciones de comportamiento térmico del edificio y vista de la cubierta.

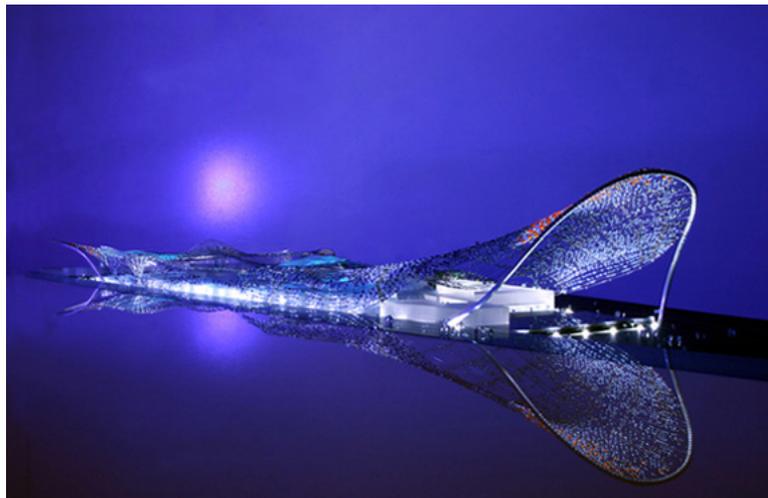
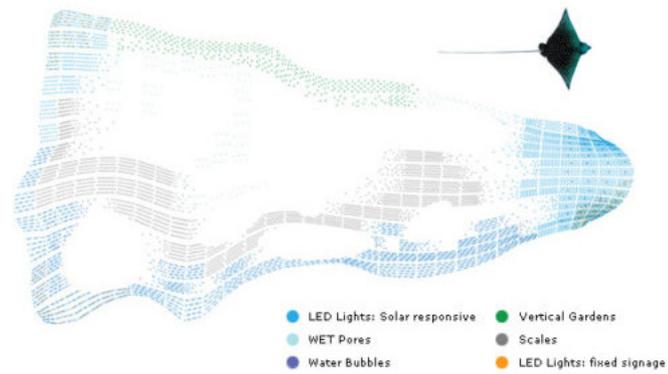
La propuesta integrará de nuevo al acuario en el paisaje y los ciudadanos gracias a su piel, creada por una estructura de acero y cubierta por más de cuarenta mil luces LED. Estas lámparas formarán una red que almacenará luz solar durante el día, de manera que dependiendo de cuánta energía se haya obtenido las luces cambiarán de color durante las noches. De esta manera se conseguirá enseñar a las personas la relación entre luz solar y la energía.

La red va a hacer de cuerpo del acuario, estando compuesta por varios tipos de pieles mediante el uso de diferentes materiales que cada uno reaccionará a los factores atmosféricos. Hay zonas hechas con azulejos cerámicos, placas de metal que se muevan con el viento, creando sonidos y reflejando la luz del sol, techos de planchas de ETFE que se inflen y desinflen para controlar el ingreso de la luz solar y el viento además de superficies ascendentes verdes.

La red abre hueco a los edificios existentes del acuario permitiendo la entrada de lluvia o la cubrición de espacios públicos cuando sea necesario.

El proyecto conseguirá transmitir al visitante las condiciones atmosféricas existentes gracias a su materialidad, sus sonidos y sus diferentes juegos de luces y sombras, haciendo inmediata la conexión del ser humano con el medio mediante la utilización de altas tecnologías.⁶⁶

66 Véase: Cloud9, "Acuario en Coney Island: Nueva York, EE.UU. 2006", en *Arquine: revista internacional de arquitectura*, 47, 2009, p. 72.



Cloud9:
Nueva piel para el Acuario, Nueva York, 2006;
composición de las diferentes zonas de la cubierta y vista de la propuesta para el acuario.



3.4 Instalaciones

Los sistemas mecánicos de nuestros edificios van a ser los encargados de suministrar la energía renovable. La mayoría de estas energías vienen del sol y el viento y nos permitirán transformar la energía para producir electricidad o calor. Por ello podríamos explotar estas fuentes para crear sistemas capaces de acondicionar ambientalmente los espacios, producir agua caliente y producir energía eléctrica.

Las diferentes necesidades y demandas del edificio, presentan el requerimiento de un tipo u otro de energías. Como energías renovables y sostenibles tendremos la solar térmica, la solar fotovoltaica, la eólica, la biomasa, la geotérmica y la del mar.⁶⁷

La energía solar cuenta con dos variantes principales, la solar térmica y la solar fotovoltaica. La térmica emplea la utilización del calor del sol para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción. Este tipo de instalación se encarga de captar la energía, transformarla en energía térmica y almacenarla o transferirla para poder ser utilizada en los puntos de consumo. La integración de estos elementos, los colectores, en la composición arquitectónica es clave para un rendimiento eficiente, siempre que se sitúen correctamente y se gradúen para captar el máximo número de horas posibles de sol.

La energía solar fotovoltaica es la obtenida de la transportación de luz y que va a permitir producir electricidad. Esta energía es producida por colectores que gracias a su orientación e inclinación, como en el caso de energía solar térmica, van a formar parte de la piel del edificio, pudiendo ser empleados como elementos de sombra revestimiento o cerramiento.⁶⁸

Un claro ejemplo de integración de estas energías es la Pérgola Fotovoltaica diseñada por José Antonio Martínez Lapeña y Elías Torres para la explanada del Fórum de Barcelona (2004). El toldo fotovoltaico cuenta con una superficie 4500 m² de captadores de energía, que van a incorporarse a las numerosas instalaciones industriales existente en esta área de Barcelona.

67 Véase: Smith, Peter F.; Luxán, Margarita y Veuthey, Maysi, Op. cit., 2017.

68 Véase: Neila González, F. Javier y Acha Román, Consuelo, *Arquitectura bioclimática y construcción sostenible*, Pamplona, DAPP Publicaciones Jurídicas, 2009.

La explanada que cubre también diseñada por la pareja de arquitectos, está protegida por este elemento creando un gran espacio de sombra a la vez que produce energía. La cubierta está inclinada 30° orientada hacia el sur y sostenida por cuatro grandes patas de hormigón.⁶⁹

Otro edificio característico por la instalación de sistemas fotovoltaicos que producen energía renovable es la ampliación de la sede de BMW WELT(2003-2007)⁷⁰ en Múnich. Coop Himmelblau realiza el diseño de un edificio de características vanguardistas y que implanta la tecnología en sus soluciones, buscando un planteamiento de diseño sustentable gracias a la combinación de sistemas pasivos y activos.

La cubierta es la máxima expresión del alcance de estos sistemas innovadores, ya que cuenta con 16.500 m² de paneles solares instalados sobre ella y su estructura metálica para generar energía. De esta forma gracias a la energía solar se consigue producir gran parte de la electricidad que demanda el edificio a diario. Este proyecto se convierte en un hito para la marca de coches en la ciudad, pero sin dejar de ser un edificio práctico en su función y respetuoso con el medioambiente.⁷¹

La energía eólica es otra de las energías más renovables e interesantes de hoy en día. Principalmente esta energía va a estar producida por el movimiento de una turbina eléctrica que es generada por la acción del viento en un aerogenerador. Estos elementos generadores de electricidad, los molinos, van a trabajar de manera aislada o agrupada dependiendo de su impacto ambiental.⁷²

La adaptación de estos sistemas a la arquitectura es compleja, además de que nunca se puede considerar la energía eólica como única fuente de producción de energía ya que depende de la existencia o no de viento y por ello hay que prever sistemas de producción en paralelo a este.

69 www.jamlet.net/, [consultado el 13 de octubre de 2018].

70 www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/bmw-welt, [consultado el 27 de septiembre de 2018].

71 Véase: "Mundo BMW", en *Revista Metro Arq Internacional*, 193, Buenos Aires, 2014.

72 Véase: Neila González, F. Javier y Acha Román, Consuelo, Op. cit., 2009.



1



2

1. José Antonio Martínez Lapeña y Elías Torres:
Pérgola fotovoltaica para el Forum, Barcelona, 2004.

2. Coop Himmelblau:
BMW WELT, Munich, 2003-2007;
vista aérea cubierta con paneles fotovoltaicos.

La Expo del año 2000 celebrada en Hannover (Alemania) tuvo el lema de “Hombre, Naturaleza y Tecnología – origen de un nuevo mundo”. El estudio de arquitectura holandés MVRDV realizó el pabellón de los Países Bajos buscando el equilibrio entre estos tres puntos temáticos principales y aportando soluciones para la existencia de la vida humana en el planeta tierra. Reflejan así las necesidades de su país, que una y otra vez le ha ganado terreno al mar y que en un futuro no muy lejano va a necesitar aún más espacio, y una solución será haciéndolo verticalmente.⁷³

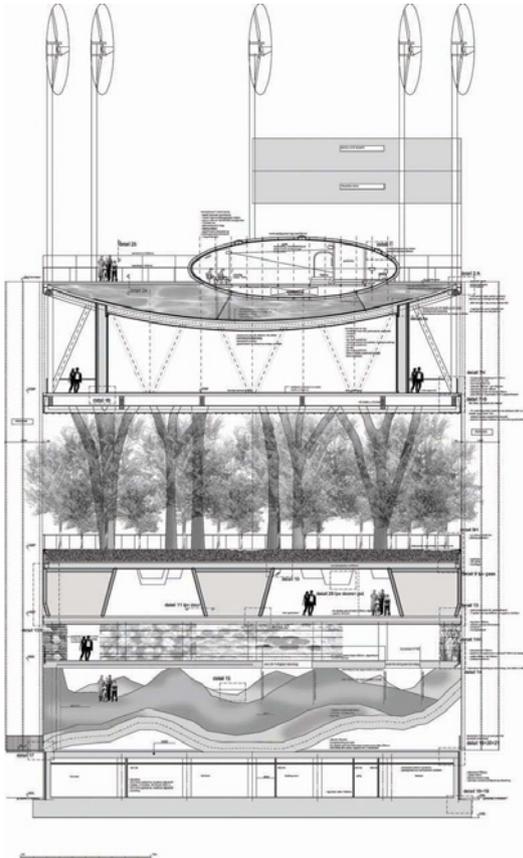
El concepto principal que intenta plasmar el pabellón es que la tecnología y la naturaleza no tienen por qué excluirse mutuamente, sino que pueden complementarse la una a la otra. Los protagonistas en Hannover son los recursos renovables, la cultura del reciclaje y el progreso respetuoso con la naturaleza. El edificio va a apilar en múltiples niveles los diferentes modos de ser del paisaje.

Este laboratorio experimental va a crear una extensión de los espacios públicos existentes, unas relaciones entre ellos y la naturaleza dispuesta en las diferentes plantas además de una integración total de las nuevas tecnologías en la arquitectura. El cubo compuesto por capas que se superponen refleja las condiciones y características de ese momento del pueblo holandés; desde el terreno ganado al mar hasta el paisaje energético de los modernos aerogeneradores, pasando por los ordenados bosques que pueblan los campos. El organismo se entiende como un organismo autosustentable gracias a la generación de energía eólica, la circulación del agua para refrigeración, la utilización de biomasa o el calentamiento del suelo con aire reciclado, complejo sistema energético que va a vincular directamente las nuevas tecnologías y la naturaleza.

La energía geotérmica proviene del sol o del magma existente en el centro de la tierra. Habrá dos tipos de geotermia, la superficial condicionada por el sol y la profunda condicionada por el magma. Esta fuente de energía es factible para la producción de electricidad, agua caliente sanitaria o las mejoras del acondicionamiento, vendrá condicionada por el clima y su profundidad bajo tierra.

Un ejemplo de utilización e integración en el proyecto de la energía geotérmica es el

73 Véase: “Pabellón de Holanda para la Expo 2000”, en *El Croquis*, 111, MVRDV 1997-2002. *Apilamiento y estratificación*, 2002, pp. 40-59.



MVRDV:
Pabellón de Holanda para la Expo de Hannover, 2000.
Sección constructiva del pabellón junto a foto en el momento de la exposición.

Centro Geotérmico (2008) en Laugardalur, un distrito al norte de la capital islandesa, diseñado por el colectivo de arquitectos Vatnavinir. Uniendo la historia del agua en el país y su vinculación directa con la naturaleza, diseñan un conjunto de piscinas enterradas situadas en unos de los antiguos lavaderos que existían en la ciudad.

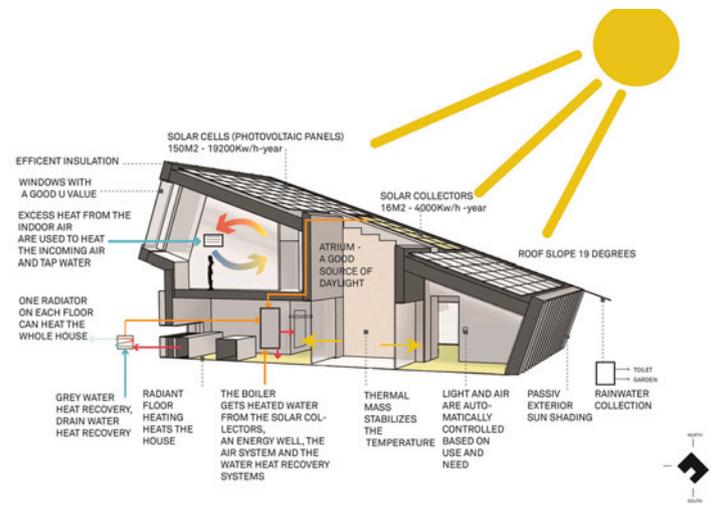
El proyecto pretende impulsar el turismo sostenible, los baños bajo tierra informarán al visitante de la importancia del agua en el país y del funcionamiento del calor geotérmico. La temperatura del agua de los baños se mantendrá mediante la utilización de esta energía renovable, y la hidrotermia, energías sostenibles a sustituir por las fósiles. También se propone erigir una pequeña central de vapor para el suministro de electricidad al área. Por lo tanto, el proyecto consigue que el área también sea autosostenible en términos de electricidad.

Otros ejemplos de arquitecturas que emplean estas energías renovables anterior citadas son los que diseña el estudio de Snøhetta. El proyecto de la PowerHouse en Kjørbo (Noruega, 2012-2014) se basa en la renovación de un conjunto de oficinas existentes desde 1980 y con grandes deficiencias energéticas. El objetivo del proyecto desarrollado será recuperar dos volúmenes completos para que se conviertan en autosuficientes. De esta forma se procede a la eliminación de los numerosos puentes térmicos mediante el aislamiento de paredes y techos, se regula la incidencia solar en el edificio, se crean circuitos de ventilación natural mediante la integración de conexiones verticales y se integran sistemas de producción de energía geotérmicos para la aclimatación del conjunto.

“Creemos que los edificios de energía positiva son los edificios del futuro. Un edificio de energía positiva es un edificio que durante su fase operativa genera más energía de la que se utilizó para la producción de materiales de construcción, la construcción, operación y eliminación. Por tanto, el edificio se transformó: de ser parte del problema para convertirse en parte de la solución.”

Este mismo estudio de arquitectura, que investiga y desarrolla todo tipo de sistemas bioclimáticos para conseguir la autonomía energética de sus proyectos ha realizado un proyecto experimental en el que sintoniza la utilización de todo tipo de energías.

La Casa Piloto ZEB (Larvik, 2014) es un proyecto que explota todos los recursos sos-



Snøhetta:
ZEB Pilot House, Larvik (Noruega), 2014:
sección medioambiental con funcionamiento de las instalaciones y vista del proyecto.

tenibles en conjunto para aprender de los métodos constructivos necesarios para la creación de una vivienda autosuficiente. Se combinan los criterios de diseño tradicional (sistemas pasivos), como la correcta orientación o la recolección de aguas, con elementos de aprovechamiento y captación energética (sistemas activos), como son la colocación de paneles solares o el empleo de energía geotérmica del terreno.

El proyecto no solo iguala sus demandas de consumo, sino que puede producir más energía de la necesaria consiguiendo alimentar la batería de un coche durante un año. Los huecos en sus fachadas y su dimensionamiento están realizados de manera que no provoquen desgastes energéticos y la elección de los materiales también será fundamental, diferenciándolos dependiendo de los tipos de estancias, las orientaciones y su almacenamiento térmico.

Otras soluciones sostenibles para la producción de energía son la biomasa, fuente de energía renovable producida gracias al sol al provocar procesos orgánicos, animales o vegetales que va a producir diferentes combustibles, o la energía mareomotriz, capaz de producir electricidad gracias al movimiento de las mareas.

En la actualidad el desarrollo de este tipo de instalaciones es crucial para el acercamiento hacia un mundo más sostenible. La innovación puede llegar a límites insospechados, tanto que se están comenzando a construir y diseñar a día de hoy islas en mitad de los océanos y mares para que, mediante la utilización de todas las energías renovables existentes, se puedan llegar a convertir en las principales fuentes de producción de energía en la Tierra.

Capítulo 4. Conclusiones

El compromiso generalizado con el medioambiente es una realidad en nuestros días y afecta a todos los sectores de cada país, desde los ámbitos políticos y económicos a los sociales, condicionando también la arquitectura contemporánea, tal como ha quedado demostrado. Y es que el sector de la construcción es el responsable de la mitad de la contaminación producida al día en nuestro planeta. Pero no hay que entender esta coyuntura como un hándicap en la ideación arquitectónica, sino como la oportunidad de abrir nuevas y auténticas vías de alcanzar la armonía y el equilibrio con el entorno, así como logrando una mayor eficiencia.

En primer lugar, es preciso repensar las ciudades, para mejorar nuestro hábitat. A tal fin, el “ecourbanismo” va a ofrecer nuevas potencialidades, buscando la ideación de nuevas urbes respetuosas y dialogantes con la naturaleza, llegando incluso a integrarla en sus núcleos. Como se constata en propuestas como la Europa City del grupo BIG, están surgiendo planteamientos que representan toda una evolución hacia nuevas formas de movilidad y de gestión del aumento de población, sin renunciar a la calidad de vida que nos aportan los entornos naturales.

De otra parte, a nivel edificatorio, se observa cómo el correcto enfoque del diseño en los proyectos arquitectónicos, desde la localización y la disposición hasta el detalle constructivo, constituye el principal responsable para lograr un correcto comportamiento sostenible, con capacidad de autosuficiencia. La combinación de sistemas pasivos, que no requieren tecnología, con sistemas activos, se convierte en aspecto clave para desarrollar soluciones desde una amplia gama de propuestas y lenguajes arquitectónicos.

A este respecto, hay que reafirmar la importancia de la implantación en el lugar, que resulta determinante para la definición de todas las demás partes de la obra. La orientación, estudiando la posición del sol de acuerdo a teorías heliocéntricas; el emplazamiento dentro de la parcela, ponderando las distancias en relación a otros volúmenes o cuerpos cercanos; o, incluso, la posible decisión de soterrarse, aprovechando la inercia térmica, repercuten en el aprovechamiento de las condiciones naturales para un mayor confort con un menor consumo de recursos; dichas circunstancias no solo afectan directamente a la relación de la obra con su entorno, sino que también aporta ventajas para la posterior definición del resto de variables del edificio.

Igualmente, la morfología de cada obra colabora en establecer un equilibrio pleno con el exterior. En este sentido, el estudio particular del clima de cada latitud es altamente decisivo, como en el City Hall de Norman Foster en Londres, entendiendo la manipulación de su forma como la mejor encargada de favorecer la sostenibilidad gracias a la comprensión de su enclave en relación a los factores climatológicos, lo que determina los intercambios interior-exterior y, con ello, las ganancias y pérdidas de energía.

Del análisis de otros elementos de la edificación, como los cerramientos, es posible comprender cómo su configuración se encuentra íntimamente ligada a un objetivo sostenible, que atiende a las particularidades de cada caso. Las pieles que envuelven los edificios funcionan de barrera física entre el dentro y el fuera, matizando la iluminación y ventilación, así como la temperatura. La evolución de las tecnologías a principios del siglo XX, propició un repertorio amplio de tipologías en fachadas y cubiertas, especialmente significativo en las experimentaciones de arquitectos como Le Corbusier, a través de conceptos como la “respiración exacta”, el “muro neutralizante” y el “brise-soleil”; o Louis I. Kahn con el recurso de la doble piel, arbitrando nuevos mecanismos para captar o eludir el calor, almacenar y reutilizar agua de lluvia, etc., de manera que, además de aislar y proteger de las inclemencias meteorológicas, alberguen un aporte al edificio de autosuficiencia.

Así, las fachadas, además de constituir la imagen de la obra, también son susceptibles de incorporar sistemas que permitan la sustentabilidad del edificio, a veces con soluciones sencillas como la dotación de cámaras de aire, tal como ejemplifica la Mediateca de Sendai de Toyo Ito, que no solo favorecen el aislamiento térmico sino que incorporan sistemas de ventilación, adaptables según la estacionalidad.

Asimismo, el tratamiento de las cubiertas muestra una relevancia máxima. Más allá de su función protectora, así como de unificar e, incluso, integrar las obras en su contexto, como se aprecia en la Academia de Las Ciencias de Renzo Piano en California. La utilización de un manto vegetal, que constituye una tipología cada vez más extendida en arquitectura, muestra también una clara pretensión de optimizar su comportamiento térmico y su adecuación medioambiental.

Sin embargo, podemos ver que cada una de estas soluciones puede estar comple-

mentadas con sistemas de producción energética que se instalen en el proyecto, como hacen MVRDV en el Pabellón de Holanda de la exposición de Hannover 2000. Es por ello que las energías renovables, algunas todavía en claro proceso de desarrollo, representan un avance técnico en la actualidad que crece a pasos agigantados. La energía solar y la eólica son las más empleadas tanto en proyectos de obra pública como en pequeñas viviendas, sin menoscabo de otras tecnologías más incipientes como la biomasa o la geotermia. La implementación de estas fuentes limpias dota a las obras arquitectónicas de la capacidad de satisfacer sus propios consumos y, en algunos casos, de ser hasta excedentarias a nivel energético. Ahora bien, el reto principal reside en la integración de estos sistemas en la composición y el diseño arquitectónicos.

En cualquiera de los casos, no se debe entender que el progreso tecnológico sea la panacea a los problemas presentes, ni tampoco al deterioro medioambiental al que nos hemos visto abocados, pero el aumento progresivo de su empleo en urbanismo y edificación, incorporándolo de manera decidida al mundo que nos rodea, está provocando resultados cada vez más favorables para la naturaleza y, por consiguiente, para los seres que habitamos en ella. Optar por soluciones y métodos amables con el ecosistema es una necesidad perentoria, más allá del nivel de exigencia que imponga cualquier normativa.

El desarrollo mediante la innovación y creatividad de la nueva manera de entender la arquitectura y proyectarla, se ha mostrado como algo fundamental para conseguir marcar una nueva era que respete y proteja el medio, a partir de su consideración como parte imprescindible de nuestras construcciones, y no un mero decorado expositivo.

En definitiva, tras el estudio realizado, cabe advertir que se ha comenzado a hacer frente a una realidad que es obvia, pero no sencilla, y la explotación en su conjunto de todas las alternativas existentes es la llave para conseguir un cambio. Las nuevas tecnologías del futuro están en pleno proceso de implantación, condicionando el panorama internacional de la arquitectura, a través de muy notorios ejemplos, cada vez más numerosos, cuya configuración demuestra que se ha entendido y aceptado nuestro genuino hábitat, desde una visión disciplinar que atiende a su verdadera esencia, concebida con los ojos de un nuevo siglo.

CAPÍTULO 5. Bibliografía

- Adams, Carol A.; Vidal, Laura, y Durán, Sebastián, *Reinventar la empresa en la era digital*, Madrid, BBVA, 2014, pp. 263-284.
- Bacon, Edmund N., *Design of cities*, Nueva York, Penguin Books, 1978.
- Collins, Peter y de Solà-Morales, Ignasi, *Los ideales de la arquitectura moderna: su evolución (1750-1950)*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.
- Corbusier, Le, *Hacia una arquitectura*, Barcelona, Poseidón, 1978.
- Díaz Camacho, Miguel Ángel y Nubiola, Clara, *Arquitectura y cambio climático*, Madrid, Los Libros de la Catarata, 2018.
- Gauzin Müller, Dominique; Maes, Pascale, y Favet, Nicolas, *Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos*, Barcelona, Gustavo Gili, 2006.
- Iolanda Lima, Antonietta, *Soleri: architecture as human ecology*, New York, Monacelli Press, 2003.
- Jodidio, Philip, *100 contemporary houses*, Colonia, Taschen, 2011, vol1.
- Kahn, Louis I., *Louis I. Kahn: conversations with students*, New York, Princeton Architectural Press, 1998.
- Loos, Adolf, "Ornamento y delito", en *Ornamento y delito y otros escritos*, Barcelona, Gustavo Gili, 1980.
- Maffei, Andrei, *Toyo Ito: le opere, i progetti, gli scritti*, Florencia, Electa, 2001.
- Maldonado, Tomás, *El diseño industrial reconsiderado*, Barcelona, Gustavo Gili, 1993.
- Neila González, F. Javier, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid, Muni-lla-Leria, 2004.
- Neila González, F. Javier y Acha Román, Consuelo, *Arquitectura bioclimática y construcción sostenible*, Pamplona, DAPP Publicaciones Jurídicas, 2009.
- Olgay, Victor, *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.
- Perrault, Dominique, *Groundscapes: other topographies*, Orleans, Hyx, 2016.
- Ragot, Gilles; Chadoin, Olivier y Weiner, Cyrille, *La cité de refuge: Le Corbusier et Pierre Jean-neret: l'usine à guérir*, Paris, Editions du patrimoine, Centre des monuments nationaux, 2016.

Reyes, César; Barahona Pohl, Ethel, y Pirillo, Claudio, *Arquitectura sostenible*, Valencia, Pencil, 2007.

Rogers, Richard y Gumuchdjian, Philip, *Ciudades para un pequeño planeta*, Barcelona, Gustavo Gili, 2009.

Ruano, Miguel, *Ecourbanismo: entornos humanos sostenibles: 60 proyectos*, Barcelona, Gustavo Gili, 2006.

Smith, Peter F.; Luxán, Margarita y Veuthey, Maysi, *La arquitectura en un clima de cambio: una guía para el diseño sostenible*, Barcelona, Reverté, 2017.

Strathaus Ulrike, Jehle-Schulte, Frank O. *Gehry: Novartis Campus - Fabrikstrasse 15*, C. Merian, 2010.

Yeang, Ken, *El rascacielos ecológico*, Barcelona, Gustavo Gili, 2002.

“Acuario en Coney Island: Nueva York, EE.UU. 2006”, en *Arquine: revista internacional de arquitectura*, 47, 2009.

“Nueva sede de la Academia de Ciencias”, en *AV Monografías*, 119, *Renzo Piano. Building workshop*, 2006.

“Acuario de Nueva York (Estados Unidos)”, en *AV Monografías*, 128, *Emergentes. Twenty Emerging Teams*, 2007.

“Cúpula de la Energía, 2008, Soria”, en *AV Monografías*, 144, 2010.

“Universidad Femenina Ewha, 2004-2008, Seúl (Corea del Sur)”, en *AV Monografías*, 134, 2008.

“Torre Energy Mansion, 2009, Shenzhen (China)”, en *AV Monografías*, 162, 2013.

“Conjunto residencial, 2009, Hualien (Taiwán)”, en *AV Monografías*, 162, 2013.

“Nueva sede para BBVA, 2007-2015, Madrid”, en *AV Monografías*, 191-192, 2017.

“*Academia de las Ciencias de California, 2000-2008, San Francisco (Estados Unidos)*”, en *AV Monografías*, 197-198, *Renzo Piano. Building workshop*, 2017.

“Pabellón de Holanda para la Expo 2000”, en *El Croquis*, 111, *MVRDV 1997-2002. Apilamiento y estratificación*, 2002.

“Mediateca de Sendai”, en *El Croquis*, 123, *Toyo Ito 2001-2005*, 2006.

“Estadio Central para los Juegos de 2009 en Kaohsiung”, en *El Croquis*, 147, *Toyo Ito 2005-2009*, 2009.

“Cúpula de la Energía en Soria”, en *El Croquis*, 161, *Mansilla y Tuñón 1992-2012*, 2012.

“Australian Opal Centre”, en *El Croquis*, 163-164, *Glenn Murcutt 1980-2012*, 2012.

“Mundo BMW”, en *Revista Metro Arq Internacional*, 193, Buenos Aires, 2014.

“Tarzán en el bosque de los medios”, en *2G: revista internacional de arquitectura*, nº 2, 1997.

www.australianopalcentre.com

www.construible.es

www.coop-himmelblau.at

www.dicyt.com

www.ecosistemaurbano.com

www.europacity.com

www.fosterandpartners.com

www.jamlet.net

www.kkaa.co.jp

www.mvrdiv.nl

www.perraultarchitecture.com

www.plataformaarquitectura.cl