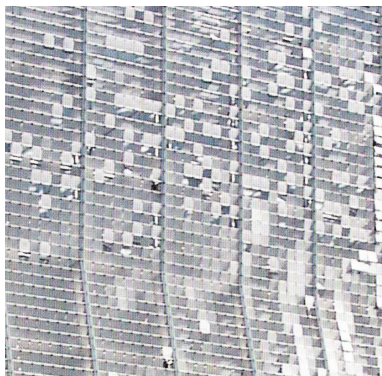
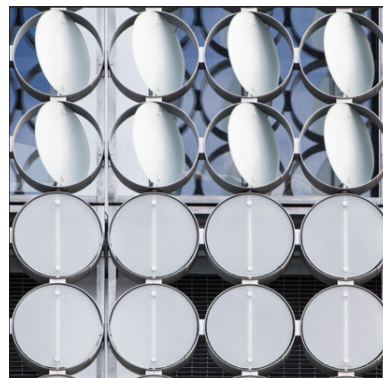
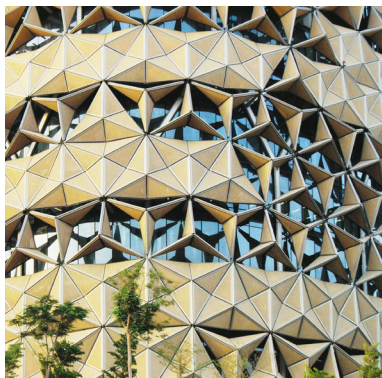


# ESTÍMULOS Y REACCIONES

Fachadas dinámicas ante el sol, el viento y la temperatura



ESTÍMULOS Y REACCIONES

Fachadas dinámicas ante el sol, el viento y la temperatura

*Alumna*

Loreto Carmenado Vaquero

DNI 51478938Q

Expediente 10071

*Tutora*

Consuelo Acha Román (DCTA)

Aula 2 TFG

Coordinador: Javier García-Gutiérrez Mosteiro

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM)

# Índice

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

## INTRODUCCIÓN

Marco histórico

Estado de la cuestión

## ESTUDIO DE LA FACHADA DINÁMICA

Antecedentes

Actualidad

Futuro

## METODOLOGÍA

Estudio de estímulos

*Viento*

*Temperatura*

*Radiación solar*

Estudio de casos

*Children's Museum en Pittsburg (2004)*

*Abu Dabi Investment Council (2012)*

*Media-Tic en Barcelona (2007)*

*Royal Melbourne Institute of technology (2012)*

## CONCLUSIONES

## FUENTES

Glosario

Bibliografía

Bibliografía comentada

Procedencia de las ilustraciones





# Resumen y palabras clave

Pensar en arquitectura dinámica es pensar en arquitectura viva, en edificios que ya no tienen cerramientos sino pieles, edificios inteligentes capaces de pensar, reaccionar y adaptarse al medio para protegerse de él y ahorrar energía.

El interés por diseñar edificios en armonía con el ambiente ha ido variando a lo largo de la historia. Desde una preocupación por el clima en las primeras construcciones de la historia y especialmente en los edificios entre 1890 y 1930, el interés por una arquitectura eficiente se perdió en la mayoría de los edificios del siglo XX con la incorporación del aire acondicionado, lo que condujo hacia una arquitectura hermética sin ventilación natural. No se hablará de climatización eficiente hasta la crisis del petróleo de 1973, cuando las fachadas comienzan a cobrar de nuevo un papel fundamental.

El progreso hacia una envolvente capaz de cambiar su forma y su geometría para adaptarse a los cambios del medio ha visto un gran avance en el siglo XXI, donde el desarrollo de la misma ha implicado entender el papel que tiene en controlar la luz y la temperatura, para llegar a ser una piel entre los mundos artificial y natural y que permita emplear las instalaciones de climatización únicamente como sistema de apoyo.

Este trabajo pretende poner de manifiesto la importancia de la envolvente del edificio como medio de ahorro del consumo energético, explorando soluciones dinámicas e innovadoras que supondrán los cimientos de una nueva arquitectura.

## 6 palabras clave

Fachada dinámica  
Eficiencia energética  
Envolvente y estímulos  
Viento  
Sol  
Temperatura ambiental

# Introducción

## Marco histórico

La arquitectura dinámica no es una invención de las últimas décadas. El interés por diseñar construcciones que se pudieran adaptar a las distintas condiciones climáticas anuales se remonta a las primeras civilizaciones nómadas. Un ejemplo de ello son las yurtas, las tiendas de campaña utilizadas por los mongoles para hacer frente a las grandes variaciones de temperatura del país a lo largo de todo el año y donde el número de capas de paja que las recubrían dependían de cada estación.

Cambiar el edificio para responder a las condiciones climáticas exteriores es una vieja estrategia, presente en la mayoría de los edificios de finales del siglo XIX y principios del XX, aproximadamente hacia la década de 1930, cuando con la expansión de los muros cortina en los rascacielos y con la invención del aire acondicionado se construyen edificios pensando esencialmente en la imagen exterior, siendo imposibles de ventilar naturalmente.

No es hasta la crisis del petróleo de 1973 cuando se empieza a pensar de manera globalizada en una climatización eficiente, donde las fachadas cobran un papel fundamental para responder al paso de energía, posicionando a las instalaciones únicamente como un sistema de apoyo. En las últimas décadas se han comenzado a desarrollar envolventes dinámicas, donde no interesa en movimiento en sí, sino cómo la arquitectura a través de él es capaz de modular las condiciones interiores de los edificios. Empiezan así a estar las figuras de los ingenieros o los consultores muy unidas a la de los arquitectos. Diseño y técnica se unen en la búsqueda de arquitectura inteligente, donde el movimiento de las fachadas de los edificios surge como una reacción a los estímulos medioambientales.

## Estado de la cuestión

En el Informe Brundtland de 1987 se habló por primera vez de desarrollo sostenible, entendido éste como la “satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades”<sup>1</sup>. Desde entonces cada país, en función de su orientación social y política, establece unos requisitos mínimos para la sostenibilidad. Gran parte de las medidas se aplican al campo de la arquitectura, especialmente en el control del consumo energético: calefacción, refrigeración, ACS y electricidad. En el ámbito internacional, la Unión Europea, por ejemplo, se ha propuesto reducir los gases de efecto invernadero en un 90% para el año 2050, donde dentro de este marco se han redactado leyes europeas de mejora de eficiencia energética y del uso de energías renovables.

1. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland) ONU 12/11/1987

En el campo de la arquitectura, las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> de los edificios suponen un 12%, mientras que las emisiones directas de este gas en la construcción y en la producción de calor y electricidad suponen un 6,4% y un 25% respectivamente.

La gran importancia que tiene la arquitectura en esta labor y el todavía generalizado desconocimiento de las nuevas tecnologías aplicadas en fachadas llevan a la redacción de este ensayo, que pretende estudiar con precisión la relación entre el movimiento de las envolventes y los cambios en las condiciones interiores de los edificios.

Los edificios referidos no se han elegido por una innovación puramente estética en su imagen exterior, sino por el papel de sus envolventes para controlar el paso de energía y por constituir los cimientos de lo que probablemente sea la arquitectura del futuro.

Para entender la reciente motivación hacia las fachadas dinámicas, es fundamental conocer sus antecedentes, de modo que se realizará un estudio de la evolución de las envolventes a lo largo de la historia, para situarlas así en el contexto actual. A continuación se hablará de los principales estímulos ante los que reaccionan: viento, radiación solar y temperatura, para realizar posteriormente un acercamiento a 4 edificios singulares en los que se aplican dichos conceptos. Finalmente, un análisis comparativo de los edificios expuestos a lo largo del trabajo permitirá comprender su importancia y determinar si serán realmente la nueva imagen del futuro.

# Estudio de la fachada dinámica

## Antecedentes

Ya con las primeras construcciones se sabía que los muros exteriores debían poder responder a las condiciones exteriores del edificio, transfiriendo energía donde se necesitara para lograr el bienestar interior. Es por eso por lo que en el pasado la mayoría de las fachadas tenían barreras energéticas. Entonces, ¿qué ha pasado para que siglos después, y en muchos ejemplos de la actualidad, haya una preocupación ante la gran cantidad de fachadas ineficientes existentes? La respuesta a esta pregunta es que las fachadas de doble piel fueron inventadas y después olvidadas, para ser reinventadas después.

Las primeras construcciones eran oscuras, místicas, en buena medida porque en la arquitectura masiva de piedra o barro era difícil hacer huecos grandes. Pero también tenía una función energética, y es que se minimizaban las pérdidas a través de dichas aberturas. Los primeros intentos de romper con esa oscuridad llegan en la Edad Media de la mano de las catedrales góticas, pero en las viviendas las ventanas siguen siendo escasas, ya que el vidrio era un material muy costoso para la época. En algunos ejemplos, como ocurría con la casa tradicional japonesa, no había vidrio, sino que las ventanas eran un simple hueco en la pared, siempre asociado a una zona de transición. Aquí ya existía una piel flexible con dos hojas, ya que dichos huecos disponían de unas contraventanas corredizas que formaban una piel flexible de dos hojas que permitía proteger del frío en invierno y de la excesiva radiación en verano.

Donde no se repararon gastos fue en el Hardwick Hall en Derbyshire (Reino Unido), construido entre 1590 y 1597 y diseñado por el arquitecto Robert Smythson para la mujer más rica después de la reina Isabel I: Bess of Hardwick. Este edificio, pese a la dificultad y al coste de la fabricación vidrio, tenía amplias ventanas, todas sombreadas por unas celosías con un motivo geométrico con forma de diamante. Todavía hoy la preocupación de la inversión actual es mucho mayor que la del ahorro energético que pueda tener el edificio en el futuro como ocurre con las fachadas dinámicas de las que se hablará en el siguiente apartado.

01. Palacio de retiro imperial Katsura en Kioto, Japón (1615-1662)

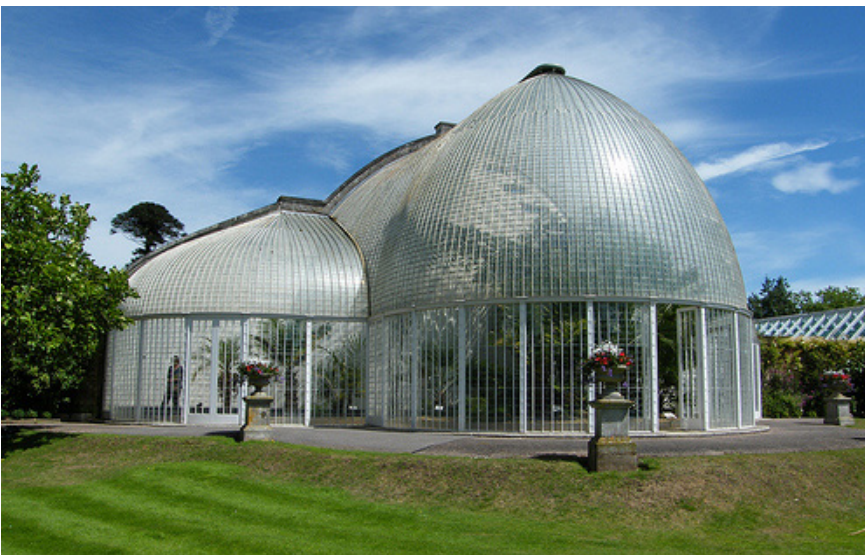


02. Hardwick Hall en Derbyshire, Reino Unido (1590-1597)



En el siglo XVII, mientras se acababa el Hardwick Hall (conocido como “*more glass than wall*”, o lo que es lo mismo, “más vidrio que muro”), Inglaterra experimentaba una crisis energética, donde la madera consumida por la industria era insostenible y el rey James prohibió su uso para la fabricación de vidrio, y así preservar su poderosa marina (haciendo que para otros usos se tuviera que utilizar el carbón como combustible). A finales de siglo, el rey William III puso impuestos para las ventanas, haciendo que cuanto más grandes fueran y cuantas más hubiera más se pagara.

En algún lugar durante el siglo XVIII, y alejado del uso de vivienda, los constructores de invernaderos empezaron a mirar el trabajo del físico francés Pierre Bouguer, quien en 1729 descubrió que el grado con el que el vidrio absorbía y reflejaba la luz dependía de su ángulo de incidencia. Otra aportación la hizo John C. Loudon en 1805 al afirmar que la esfera era el cuerpo geométrico que tenía menores pérdidas de calor. Con todo ello, los invernaderos, al diseñarse en primer lugar por aspectos funcionales, se convirtieron en unas construcciones eficientes, con nuevos sistemas de cerramientos (donde los elementos macizos eran reducidos a un mínimo), estrategias de ventilación natural y tecnologías eficientes para el calor. Ejemplos de ello fueron la Casa de la Palmera construida por los hermanos Bailey en 1849 en los jardines de Bicton Gardens cerca del condado inglés de Devon, y el Palacio de cristal de Paxton para la exposición mundial de 1851, que tuvo un impacto tan grande que hizo que se construyeran numerosos edificios de cristal para las exposiciones de otras ciudades.



03. Casa de la Palmera, Devon, Reino Unido (1841-1849)

La revolución industrial en el siglo XIX cambia la forma de hacer arquitectura. Los nuevos materiales y métodos de construcción (hierro y cristal), junto con el impulso que estaban teniendo los invernaderos, hace que la envolvente de los edificios se desmaterialice no solo en los invernaderos: las estructuras portantes de hierro se emplean primero en grandes almacenes, para hacerlo después en edificios administrativos. El momento más significativo se produce en Chicago en 1871 tras el gran incendio que dejó 6 km<sup>2</sup> de la ciudad destruida. La reducción a cenizas de 18.000 viviendas, locales y fábricas, junto con unos encarecidos precios del terreno, el desarrollo de la estructura metálica y la seguridad de los ascensores provocan el nacimiento de la construcción en altura en Chicago.



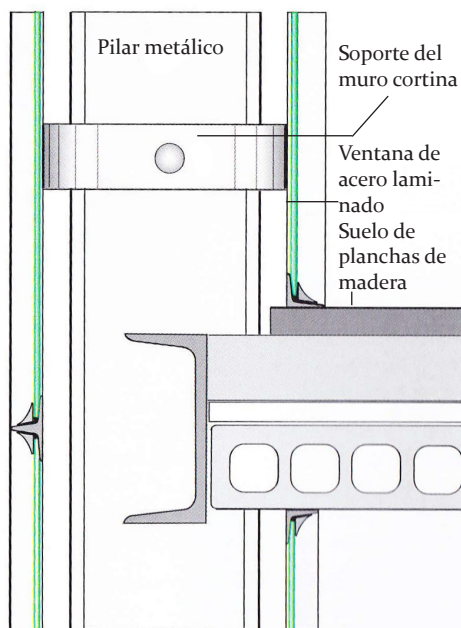
04. Almacenes Carson, Chicago, Estados Unidos (1899)



Asociado al desarrollo en altura se produce también una desmaterialización de la envolvente como se adelantaba anteriormente: las fachadas macizas eran poco económicas, además de ofrecer escasas posibilidades de iluminación. Por esta razón se utilizan también el hierro y el cristal en fachadas de edificios administrativos representativos. Los edificios construidos por la denominada Escuela de Chicago tenían así un estilo arquitectónico común: pilares de hormigón como soporte o cimentación, estructuras metálicas, ventanas corridas que ocupaban la mayor parte de las fachada (y que dará lugar más adelante al muro cortina) y la eliminación en muchos casos de los muros de carga. Un ejemplo es el edificio Carson (o Almacenes Carson) de Louis H. Sullivan, donde además se habla de funcionalismo: en la apariencia exterior del edificio se muestra su estructura interior y su función, y por lo tanto la forma sigue a la función.

La influencia de la escuela de Chicago llega al Movimiento Moderno (primer tercio del siglo XX), con una arquitectura caracterizada por espacios diáfanos, la ausencia de decoración y el vidrio en grandes dimensiones. Esto último fue posible gracias al descubrimiento del proceso de laminación en 1903 del francés Edouard Benedictus, lo que permitió hacer láminas de vidrio cada vez más grandes.

Salvo pocas excepciones, los arquitectos del siglo XX solo se preocupaban por la apariencia de sus edificios. Además, la adaptación de la refrigeración a los edificios en 1902 por Willis Carrier (llamándolo aire acondicionado), hizo que la mayoría de los arquitectos se olvidaran de la energía y el diseño de la envolvente explorados por Loudon, en el que las fachadas podían recoger la energía a su interior y guardarla. Así, los edificios se cierran definitivamente al exterior. Son herméticos, con ventanas no practicables donde solo se puede controlar la humedad y la temperatura mecánicamente. Las envolventes tenían así una función estática. Hoy en día sabemos que se puede controlar la temperatura, la luz, la humedad y el viento sin sacrificar la eficiencia energética.



05. Izquierda: Detalle de la sección de la fachada de la Fábrica Steiff

06. Derecha: Imagen exterior de la fábrica Steiff, Giengen, Alemania (1903-1908)

Como ya se ha dicho, había algunas excepciones en el siglo XX en los que se miraba más allá de la apariencia formal del edificio. Un ejemplo de ello fue la fábrica de la Margarete Steiff GmbH en Giengen (Alemania) finalizada en 1908 y proyectada por Richard Steiff. Su fachada presentaba una innovación: tenía una capa exterior de dos hojas de paneles de vidrio traslúcido, colgando delante de la construcción como una piel lisa. El vidrio traslúcido producía una luz difusa, muy buena para la costura. Con el fin de guardar el aire atrapado en el muro con cámara de aire, las ventanas fueron instaladas entre el interior y el exterior de las hojas de vidrio. Cuando se abrían las ventanas se producía una ventilación cruzada. Sin embargo, esta idea de muro cortina no llegó a los Estados Unidos, debido principalmente a su ubicación en un pequeño pueblo poco conocido. Además, estos edificios eran muy cálidos en verano y fríos en invierno, aunque podría haber funcionado en algunos lugares.

Uno de los primeros arquitectos que propusieron un sistema sofisticado para conseguir el control térmico fue Le Corbusier, que en colaboración con el ingeniero Gustav Lyon juntaron dos sistemas: el muro cortina (*mur neutralisant*) y la “respiración exacta” (*respiration exacte*). El término de respiración exacta viene de la apicultura, donde para que las colonias de abejas no muriesen de frío en invierno se hacían colmenas con dobles paredes y respiraderos, creándose así capas de aire circulante que mantenían la temperatura interior invariable de 35°.

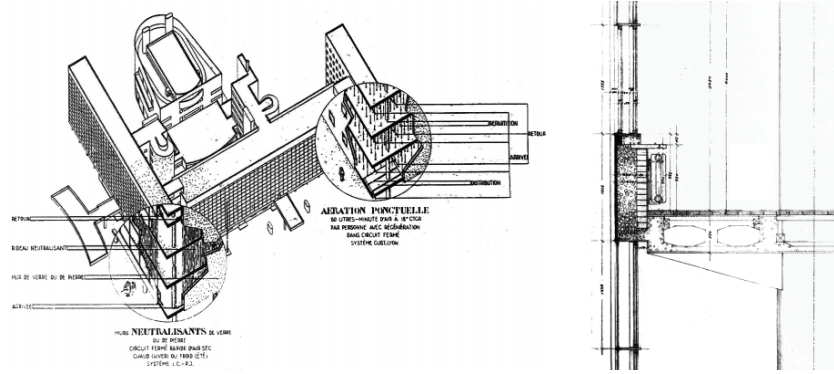
Así el concepto de *respiration exacte* se refiere a un sistema de ventilación mecánica que garantiza una temperatura interior confortable. Por otro lado, el *mur neutralisant* está basado en la circulación mecánica de calor o aire frío en el interior de la cámara de aire de la doble fachada de escasos centímetros.

La idea de combinar ambos sistemas era conseguir que el aire frío o caliente, según la época del año, fuera empujado dentro de una cámara de aire por un ventilador, succionado desde este lugar hacia otro, estando así constantemente reciclado. Le Corbusier propuso su idea de *mur neutralisant* en el concurso para el Palacio de la Sociedad Naciones en Ginebra (Suiza) en 1928,



o7. Sistema *mur neutralisant* y *respiration exacte* en el *Centrosoyuz*, Moscú, Rusia (1933)

o8. Edificio *Centrosoyuz* en la actualidad, sin sistema *mur neutralisant* pero conservando la doble fachada acristalada, ahora con ventanas practicables.



aunque no lo ganó. Sin embargo, ese mismo año lo presentó al concurso de la Unión Central de Cooperativas de Consumidores en Moscú, y esta vez sí ganó.

El uso del *mur neutralisant* no fue bien visto, ya que numerosos expertos decían que no funcionaría en Moscú: en el invierno, el calor que radiaría la cámara de aire lo haría mucho antes a las temperaturas bajo cero exteriores que a las interiores (por haber un mayor salto térmico). Además, no existían los vidrios aislantes, y el muro cortina no estaba tan bien sellado como ahora. Le Corbusier pidió ayuda al American Blower Company para apoyar sus ideas, pero ésta dijo que según sus cálculos, el sistema propuesto por Le Corbusier requería, en términos de calefacción y ventilación, el doble de potencia que los sistemas empleados en su país. De esta manera, la idea del *mur neutralisant* murió.

Le Corbusier volvió a probar sus muros calentados a presión (respiración exacta) en la Armée du Salut (o La ciudad del refugio) en París en 1933. Trabajó con unos ingenieros de St. Gobain (un fabricante de cristal), quienes advirtieron que el comportamiento de la fachada mejoraría con una tercera capa de vidrio. Aun así, este sistema tampoco funcionaba bien. Finalmente, en la fachada sur todo acristalada se instaló una sola capa y el acondicionamiento del aire fue eliminado. Así, el calentamiento que se producía en su interior era tan elevado que se obligó a poner ventanas practicables.

El último intento de emplear el *mur neutralisant* fue en 1947 para la Sede de la Organización de las Naciones Unidas en Nueva York. Pero pese a ser el autor



del proyecto, la idea de la doble piel acristalada acondicionada no fue tomada en serio, y Le Corbusier se convirtió en un propulsor activo de técnicas solares pasivas, como es el caso de los *brise-soleil*, las ventanas practicables o paneles que bloqueaban la luz del sol.

Las complejidades técnicas de los sistemas propuestos por Le Corbusier se resolvieron más tarde en la segunda mitad del siglo XX, en los edificios de St. George's middle School en Reino Unido y el Occidental Chemical building en Nueva York.

St. George's middle School fue proyectado por Emslie Morgan y completado en 1961. El edificio, con una doble capa de vidrio de 12,2 metros de altura que cubre toda la fachada suroeste, fue posiblemente el primer edificio diseñado con la intención de coger, guardar y emitir la energía térmica para un uso posterior. Morgan consideró la orientación, el aislamiento, las ganancias solares y la envolvente del edificio en su diseño, como hacían los jardineros e ingenieros de los invernaderos del siglo XVIII.

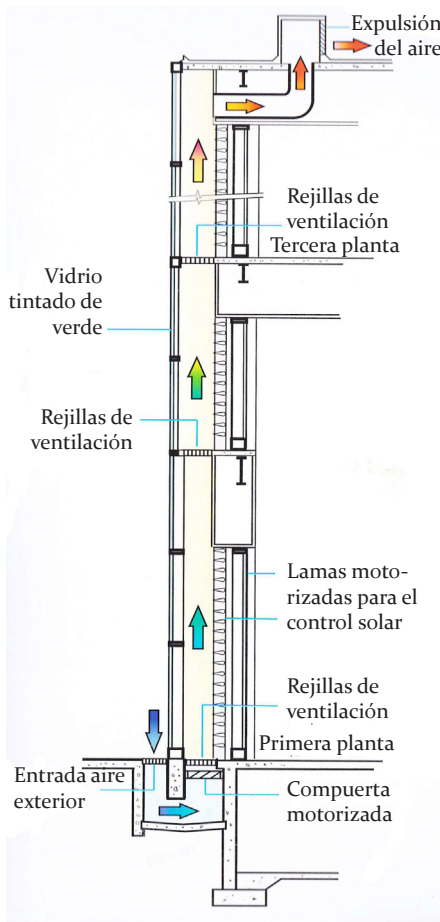
La fachada acristalada de 1.000 m<sup>2</sup> estaba rellena con unos difusores horizontales móviles, que permitían convertir la luz directa en indirecta. Las ventanas podían abatirse para admitir aire fresco. Todos estos elementos móviles se albergaban en el espacio resultante de 0,61m entre la doble piel de vidrio. Morgan confiaba además en la masa térmica del suelo de hormigón del edificio para absorber el calor que desprendían la iluminación y los ocupantes. Así, bastaba con encender las luces antes de que empezaran las clases para precalentar las aulas para mantener una temperatura en el edificio siempre superior a los 16°C en invierno. Por ello, el sistema de calefacción central (de carbón) que tenía el edificio, nunca se utilizó, tal y como dijo el director del colegio en una entrevista para un periódico de la época. No obstante, el edificio se calienta mucho en verano (llegando hasta los 40°C la fachada acristalada) y es muy frío en invierno, donde los 16°C son inaceptables en la actualidad. Aun así, hay que reconocer los intentos de Morgan de que la fachada no fuera un mero embalaje, sino que contribuyera al bienestar interior.

09. Izquierda superior: vista exterior de las ventanas abatibles en el St. George's middle School

10. Izquierda inferior: vista interior de las ventanas abatibles en el St. George's middle School

11. Abajo: imagen del sistema solar pasivo original del St. George's middle School, Cheshire, Reino Unido (1961)





El Occidental Chemical Building, proyectado por Mark R. Mendell, fue completado en 1980 en plena crisis del petróleo. Pese a las dificultades que tuvo su construcción, fue el primer edificio norteamericano con doble piel, y el predecesor más importante para Norteamérica, sino para todo el mundo, de fachadas activas.

Las políticas energéticas del por entonces presidente de los EEUU Jimmy Carter para ahorrar energía (apostando por energías renovables como la solar o la eólica) fueron consideradas ingenuas e infantiles, ya que los diseños solares se asociaban con el *hippie-centric* o el movimiento *back-to-the-land* (fenómeno social norteamericano de los años 1960 y 1970 consistente en una migración desde las áreas urbanas a las rurales). Así, cuando Mendell propuso a los ejecutivos del Hooker Chemicals & Plastics Corporation convertir el Occidental Chemical Building en el edificio más eficiente del mundo tuvieron ciertos reparos, por no querer que se asociara a la compañía con estos dos movimientos. Finalmente Mendell les convenció, y creyeron que si realmente funcionaba su diseño la compañía sería vista como un modelo de responsabilidad, mostrando una solución al país ante la dependencia excesiva de petróleo del extranjero.



Mendell se inspiró en el diseño solar pasivo de John Yellot, un ingeniero e inventor que fundó su primera compañía solar en la década de 1950. El edificio, con una fachada de doble piel acristalada, tenía sus 9 plantas muy parecidas, ya que Yellot creía que las presiones del interior de la cámara de aire se igualarían así mejor. Tenía así una estructura de acero, con dos pieles acristaladas separadas una de otra con una cámara de aire de 1,2 metros. La piel exterior era un muro cortina convencional que colgaba de la estructura de hormigón del edificio, cuyo vidrio tintado de verde tenía una transmitancia del 80%.

12. Derecha: Vista exterior en el 2012 del Occidental Chemical Building, Nueva York, Estados Unidos (1980)

13. Izquierda superior: Sección por fachada del Occidental Chemical Building

14. Imagen de la cámara de aire del Occidental Chemical Building

Cada planta estaba rodeada por unas pasarelas de hormigón que contenían 3 rejillas en cada pórtico del edificio. Durante el verano, y actuando en modo refrigerante, el aire es conducido bajo tierra por un plenum (de 61cm), un espacio cerrado con aire a baja velocidad y a más presión que la atmosférica, y donde el aire introducido se reparte de igual manera en toda su superficie interna. Así, el aire llega hasta a todas las esquinas del edificio, para ascender posteriormente por las rejillas de las pasarelas hasta su llegada a la cubierta, donde es expulsado. Durante el invierno, actuando en modo calefacción,

unos reguladores de tiro mecánicos cierran el paso del aire exterior al plenum a la planta baja. Por la noche, las lamas que controlan la luz del sol son cerradas, ayudando así a que el calor se transfiera lentamente al interior de la cámara de aire.

En la actualidad, la fachada del edificio se comporta de manera totalmente diferente. Tras ganar diversos premios y ser publicado en distintos libros y revistas, el edificio cambió de dueño. Es entonces cuando empieza a presentar problemas, ya que ninguno de los nuevos dueños invirtió dinero en mantenerlo. Las lamas de protección solar dejaron de funcionar a mediados de 1990, y fueron vendidas por fragmentos después del 2001. Actualmente es un edificio muy frío en invierno y muy cálido en verano, pero en el que la reparación del sistema original supone un coste tan elevado que el edificio se climatiza con un sistema central convencional.

Como todos los edificios de los que se hablará más adelante, con fachadas dinámicas, el Occidental Chemical Building dependía de todos los subsistemas para funcionar, y la rotura de un elemento era suficiente para que dejara de funcionar en su conjunto. Es por ello por lo que en el caso de estos edificios es muy importante tener la documentación de los sistemas mecánicos del edificio, así como la explicación de su funcionamiento y el mantenimiento necesario.

Con este edificio, el progreso que suponían los aportes de John Claudius Loudon, Le Corbusier o Emslie Morgan entre otros, fue revivido, aunque por poco tiempo. Con el nuevo presidente de los Estados Unidos, Ronald Reagan, a finales de 1980, las subvenciones a las energías renovables como la solar fueron eliminadas. Y de nuevo fueron relacionadas con el *back-to-the-land*, aunque a finales de la década ingenieros y arquitectos crearon la primera norma energética: ASHRAE 90<sup>1</sup>.

1. ASHRAE 90: normativa publicada en Estados Unidos en el año 1975, y que ofrecía unos requisitos mínimos para los diseños de eficiencia energética exceptuando a los edificios residenciales de baja altura. En el año 2001 se actualizó, siendo renombrada como ASHRAE 90.1 en el año 2001



## Actualidad

Como se ha visto, desde la década de 1960 los edificios eran revestidos cada vez con mayor frecuencia por muros cortina. Con el tiempo, dejaron de ser edificios singulares y se convirtieron en algo monótono, donde la fachada se separaba de la estructura para convertirse en un mero embalaje (tal y como apoyaba Robert Venturi al hablar de su teoría de cobertizo decorado)

Además del muro cortina, algunos arquitectos como Tadao Ando volvieron a emplear en sus obras materiales tradicionales como la madera no tratada o el hormigón. Al mismo tiempo proporcionó en sus edificios un renacimiento del hormigón liso, que a finales de siglo se podía encontrar con múltiples acabados: teñido con penetración, con áridos especiales, granulado o trabajosamente pulido. Conjuntamente a Tadao Ando, Peter Zumthor también trabajó en sus obras con materiales predominantemente no tratados como era la piedra, la madera y el hormigón, en edificios como las Termas de Vals de piedra, o la Casa de Artes en Bregenz (1997), donde combina vidrio y hormigón.

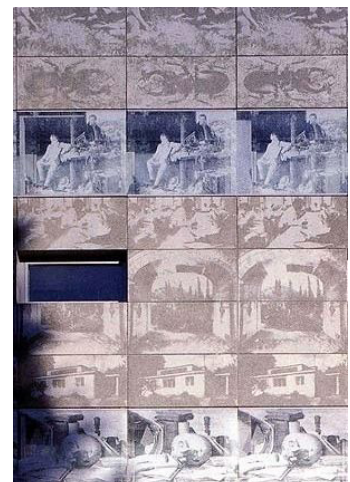
Así, materiales tradicionales como la piedra, el ladrillo o la madera se vuelven a emplear junto con nuevos productos industriales como la madera contrachapada. Todos estos materiales se utilizan en una época reclamada por las modas, donde lo único duradero es el cambio. La sociedad cada vez incorpora más la tecnología a sus vidas, por lo que la arquitectura tampoco puede sustraerse de dichos cambios. Aparecen nuevos procedimientos de fabricación en relación al recubrimiento del cristal, como son las serigrafías, las láminas de cristales líquidos o de holografías, que consiguen transmitir información a través de la fachada. Un ejemplo de ello es el conjunto de 94 viviendas de Francis Soler en París (1997), donde el edificio prismático es decorado con imágenes multicolores aplicadas sobre la capa de cristal exterior. Los arquitectos Herzog & de Meuron en la biblioteca de la escuela técnica superior para economía forestal en Eberswalde (Alemania, 1999), utilizan ilustracio-

15. Izquierda: Francis Soler, fachada de 94 viviendas en París, Francia (1997)

16. Tercera imagen: imágenes aplicadas en la fachada de las 94 viviendas en París.

17. Cuarta imagen: H&M, fachada de la biblioteca en Eberswalde, Alemania (1999).

18. Derecha: ilustraciones fotográficas que revisten la fachada de la biblioteca en Eberswalde





nes fotográficas para revestir las placas prefabricadas de cristal y hormigón que cubren el cubo. En estos dos ejemplos, especialmente en el último, se crea la caja decorada de la que hablaba Venturi. Así, la fachada se convierte en un embalaje conforme a la moda de esos años, pero hay que pensar que no se puede cambiar como la ropa.

De alguna manera es una fachada de medios, donde la fachada transmite mensajes independientemente de su forma arquitectónica o de sus materiales. Mensajes que se encuentran en las fachadas de numerosas ciudades como el Picadilly Circus en Londres o en el Times Square de Nueva York. Junto a estos ejemplos se puede hablar de la Torre de los vientos de 1986, diseñada por Toyo Ito y ya demolida. Sobre a una chimenea de salida de aire ya existente, se instalaron fuentes de luz que, reaccionando a las condiciones del ambiente como el viento o a los ruidos del tráfico, daban lugar a juegos de luces.

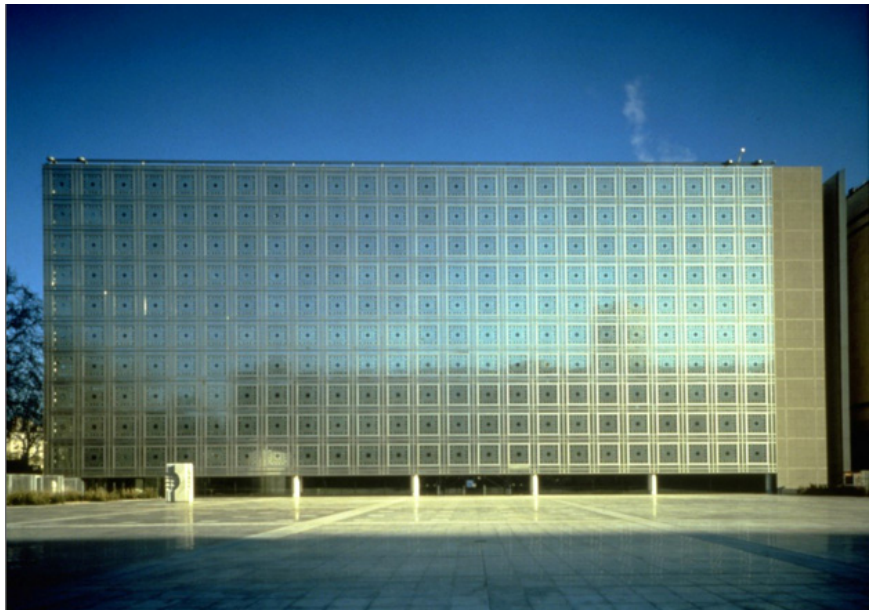
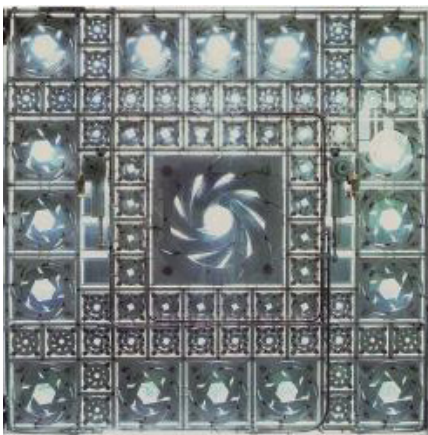
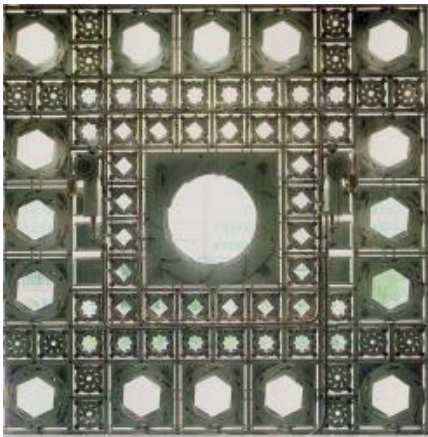


19. Arriba: Imagen nocturna de Times Square, Nueva York, Estados Unidos

20. Abajo: Toyo Ito, Torre los vientos, Yokohama , Japón (1986)

En todas estas construcciones la importancia de la fachada reside únicamente en su interés por transmitir un mensaje, por lo que de nuevo se habla de fachadas como mera decoración. Pero no hay que olvidar que dentro viven personas y que necesitan unas condiciones determinadas de temperatura, ventilación, iluminación o humedad para lograr el confort. Como se expuso en la primera parte de este trabajo, ya desde la década de los años 60 y 70 se preocupaban de ello confiando en una climatización eficiente. Así pues, se empieza a hablar del ciclo de vida del edificio, donde se presta mucha importancia a su consumo de energía, que va desde la construcción del edificio, pasando por su utilización y llegando hasta su demolición y posible reutilización de los materiales. La fachada empieza a cobrar un papel fundamental en esta tarea, donde a las condiciones placenteras en el interior del edificio se llega más fácilmente con un buen diseño de la envolvente del edificio, empleando las instalaciones del edificio únicamente como sistema de apoyo. Por consiguiente, el desarrollo de la envolvente exterior pasa por tener varias hojas, donde lo estático abre paso a lo dinámico. De la misma manera que cambian las condiciones ambientales, la fachada tiene que hacerlo para poderse adecuar a ella, ganando así importancia una envolvente exterior variable, donde la combinación de ésta junto con la técnica es imprescindible en las fachadas innovadoras.





21. Izquierda: diafragmas móviles de la fachada del Instituto del Mundo Árabe
22. Derecha: vista exterior del Instituto del Mundo Árabe, París, Francia (1987)

Uno de los primeros ejemplos de fachada dinámica, y posiblemente uno de los más conocidos, fue el Instituto del Mundo Árabe de Jean Nouvel en París (1987). En este edificio Nouvel empleó un diseño tradicional, reinterpretando una serie de figuras geométricas empleadas en la cultura árabe, pero realizándolas de una forma nueva y dinámica. La fachada suroeste está formada por unas hojas de cristal con unos diafragmas móviles que se abren y se cierran automáticamente modulando la luz y el calor solar que pasa al interior. Cada vez que se abren y se cierran dichos diafragmas se cambia el SHGC, es decir, el *Solar Heat Gain Coefficient*. Este coeficiente se expresa con un decimal, y mide la transmisión del calor directamente a través del vidrio entre el interior y el exterior. Así, un vidrio con un SHGC de 0,3 indica que está siendo bloqueado el 70% del calor solar. De esta manera, cuando los diafragmas están cerrados actúan como un amortiguador efectivo que reduce las cargas de calor. Gracias a que estas transformaciones están basadas en unos *inputs* automáticos, se abren o se cierran solo cuando es necesario, reduciendo así la demanda de una fachada que tuviera, por ejemplo, unas persianas fijas.

Esta necesidad de controlar la luz y la ganancia solar estará muy presente en algunas tipologías como en los edificios en altura, que solían ser de vidrio. Siendo considerado el edificio Seagram de Mies Van der Rohe de 1958 en Nueva York como el rascacielos más sobresaliente de la historia, en términos de energía y confort estaría muy alejado de ello. Como él, otros numerosos rascacielos, al ser el vidrio el principal material empleado en sus fachadas, hacía que fueran unos edificios muy calurosos en verano, donde la ventilación natural era casi inexistente.

Cuarenta años más tarde, en el año 1997, por fin se reconcilian los rascacielos con de vidrio con una consciencia eficiente y un confort térmico. Un ejemplo es la Torre Commerzbank localizada en Frankfurt, Alemania, y diseñada por Foster. En este edificio se integra completamente una fachada dinámica en un edificio en altura. La fachada, doblemente acristalada, cuenta con una cámara de aire de 0,16m de ancho que es ventilada con aire caliente en invierno y frío en verano. Las ventanas de la capa interior son practicables, por lo que los trabajadores pueden abrirlas y cerrarlas cuando quieren. Al

estar conectadas a un sistema de ventilación artificial, cuando se abren se interrumpe éste. La cámara se ventila a través de unos travesaños de aluminio dispuestos arriba y debajo de los paneles de vidrio exteriores. Así, cuando se abre una de las ventanas de la capa interior, el aire caliente se mueve a través de un proceso convectivo. En el interior de dicha cámara de aire se encuentran unas persianas venecianas de aluminio anodizado de 50mm de espesor, controladas automáticamente para reducir la ganancia de calor en el interior en verano o para permitir la mayor entrada de luz en invierno. De esta manera se reducen considerablemente las demandas de calefacción y refrigeración en el edificio, considerándose el primer rascacielos ecológico del mundo. Como instalaciones de climatización, el edificio cuenta para la refrigeración con un techo frío y para la calefacción con un sistema de tubos radiantes instalados en pequeños bancos alrededor del perímetro.

Otros edificios que mantienen el uso de unas persianas venecianas en el interior de una cámara de aire que se encuentra entre dos capas de vidrio son el RWE en Essen (Alemania) de Christoph Ingenhoven y el Helicon en Londres (Reino Unido) de Sheppard Robson, ambos completados en 1997 como en el caso de la Torre Commerzbank. En el primer caso, el edificio presenta un sistema de “boca de pez” en el muro cortina que le proporciona una ventilación natural, y que está complementado con unos tubos empotrados en la losa del techo para la calefacción y un techo frío para la refrigeración. El Helicon House cuenta además con unos controles programados que motorizan el movimiento del Sol con el fin de modular gradualmente la posición de las persianas venecianas para abrirlas o cerrarlas completa o parcialmente.

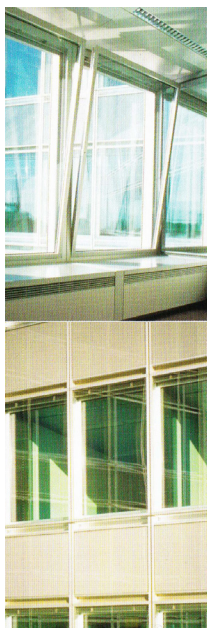
Al estar contenidas las persianas dentro de una doble piel de vidrio se consigue amortiguar el calor interior con sistemas de baja energía mecánica, como los techos fríos, que los disponen estos tres edificios, o la ventilación por debajo del suelo, que la dispone en el Helicon House. Dada la tecnología que existía en la década de los 90, hubo problemas para controlar automáticamente el movimiento de las persianas, algo que en la actualidad puede ser automatizado fácilmente.

23. Izquierda: vista exterior de la Torre Commerzbank, Frankfurt, Alemania (1997)

24. Segunda imagen: fachadas interior y exterior de la Torre Commerzbank

25. Tercera imagen: vista exterior de The Helicon, Londres, Reino Unido (1997)

26. Derecha: aberturas de las lamas venecianas de The Helicon





27. Izquierda: imagen exterior del British Pavillion, Sevilla, España (1992).  
Derecha superior: detalle del muro de agua  
Derecha inferior: detalle de la cubierta sombreada



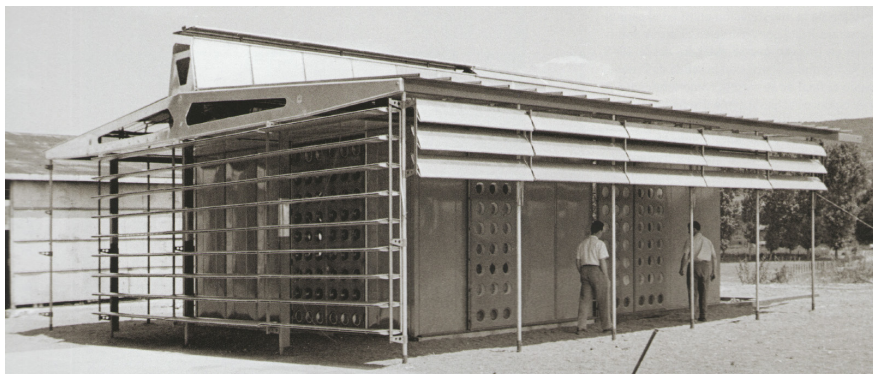
En la exposición de Sevilla del año 1992, el British Pavilion de Nicholas Grimshaw combatió las ganancias solares a través del muro acristalado de una manera muy diferente a la vista en los cuatro edificios anteriores. El pabellón, que fue diseñado para poderse montar y desmontar en cualquier lugar, incluía un muro de refrigeración donde unas cascadas de agua diseñadas por el artista William Pye caían por el exterior del edificio sobre un alzado este totalmente acristalado. Dicho muro de agua refrigeraba el exterior a través de un proceso evaporativo, pero también reducía la ganancia de calor en el interior del edificio hasta tal punto que podía encontrarse una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de 20°C en los días más calurosos. Contaba además con unos paneles fotovoltaicos integrados en la cubierta sombreada, que abastecían a las bombas que circulaban el agua. La fachada oeste, que era la que iba a tener una mayor ganancia solar, tenía unos recipientes llenos de agua apilados linealmente con una membrana impermeable, mientras que la fachada sur disponía de unas telas pretensadas que permitían reducir la ganancia solar en el interior.

El uso de un muro de agua no es habitual, entre otras causas por la calidad del agua necesaria y por los posibles problemas de legionella que puedan aparecer. No obstante, las telas pretensadas sí se han empleado en muchos otros edificios, así como las lamas automáticas, que se están convirtiendo cada vez más en una tecnología barata y fácil de controlar. Ambas soluciones se ven representadas en la librería de Will Bruder, proyectada por DWL Architects con la colaboración de la ingeniería Arup y completada en 1995 en Phoenix (Esta-

28. Izquierda: imagen exterior de la librería de Phoenix, Estados Unidos (1995)  
29. Derecha: detalle de las telas pretensadas de la fachada norte en la librería de Phoenix







30. Maison Tropicale, República del Congo (1949-1952)

dos Unidos). La librería, que se encuentra en uno de los climas más extremos de Los Estados Unidos, con unos veranos muy calurosos, tiene orientadas sus zonas de servicio al este y al oeste, con grandes expansiones de vidrio en las fachadas norte y sur. Para combatir el sol se emplean unas telas con forma de vela instaladas verticalmente en la fachada norte, y unas lamas metálicas que se mueven automáticamente.

El edificio del Lloyd's Register completado en Londres en el año 2000 por Rogers Stirk Harbour + partners, también emplea unas lamas metálicas automáticas en el exterior del muro cortina para controlar la ganancia solar. Un año más tarde, Renzo Piano continúa con esta solución, incorporando lamas metálicas en el Aurora Place, un bloque residencial situado en Sídney (Australia). En el Museo Paul Klee en Bern (Suiza), finalizado en 2005, Piano emplea nuevamente unas lamas metálicas para sombrear el edificio, además de integrar persianas en el sistema de capas de vidrio.

En todos estos edificios: el British Pavillion, la librería de Will Bruder, el Lloyd's Register, así como en el Aurora Place y especialmente en el Museo Paul Klee, se puede ver la influencia de Jean Prouvé, un arquitecto y diseñador francés cuya Maison Tropicale de 1949 disponía de unas persianas metálicas que se controlaban manualmente.



31. Izquierda: vista exterior del Aurora Place, Sídney, Australia (1997-2000)

Imagen central: fachada del edificio residencial del Aurora Place.

32. Derecha superior: detalle interior de las lamas motorizadas del Aurora Place.

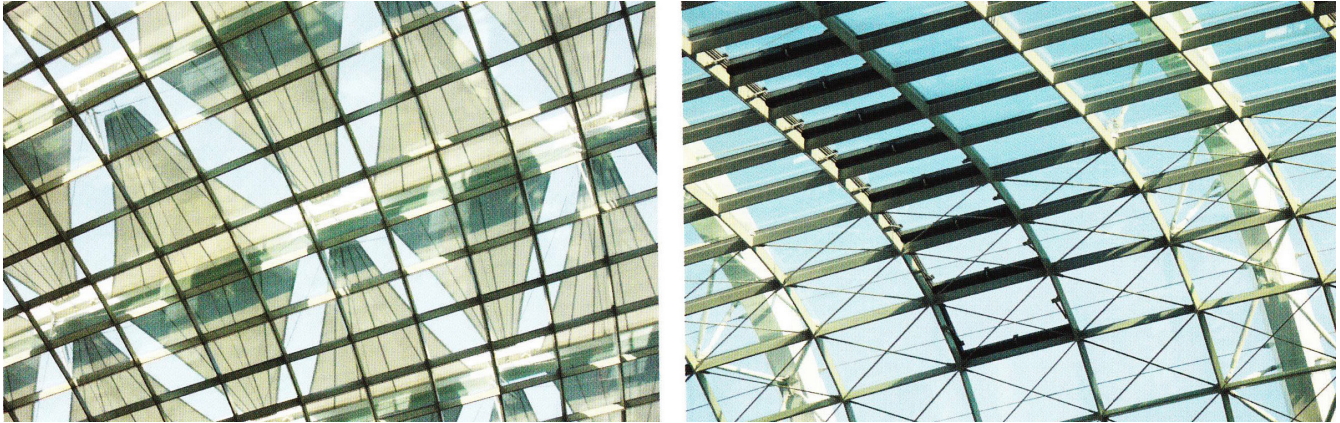
Derecha inferior: detalle exterior de las lamas metálicas del Aurora Place.



33. Izquierda: vista exterior del museo Paul Klee, Berna, Suiza (1995-2005)

34. Derecha: detalle de las lamas metálicas exteriores en el museo Paul Klee.





35. Imágenes superiores: detalle del sombreamiento de la cubierta

36. Imagen inferior: conservatorios en Gardens by the Bay, Singapur (2012)

Como ya se ha visto, el empleo de lamas se hace en edificios de distintos usos o tipologías, bien sean en edificios en altura como los explicados anteriormente a excepción del Museo Paul Klee, o en edificios más bajos como es el caso de los conservatorios en Gardens by the Bay, completados en el año 2012 en Singapur y proyectados por Wilkinson Eyre Architects. En este último, las lamas no son metálicas sino de vidrio, y se encuentran en la cubierta de los conservatorios, siendo estas operables. La cubierta se sombrea además mediante unas velas de sombra instaladas en ella y que se pueden abrir para proporcionar sombra y cerrar cuando haya fuertes vientos. Pueden ser controladas individualmente para modular la luz solar directa, que los consultores de Atelier Ten optimizaron para minimizar la ganancia solar y mejorar así el confort, así como reducir el brillo y proporcionar a los visitantes algo de sombra.

Con todo ello, se ven diferentes soluciones que buscan una mayor eficiencia energética empleando diferentes soluciones, bien sean lamas o persianas, para proporcionar sombra a unos edificios mayormente acristalados. Otras soluciones que buscan el mismo fin de sombrear evitando así una ganancia solar en el interior del edificio y evitar el sobrecalentamiento, son las propuestas en el Kiefer Technic Showroom y el Abu Dhabi Investment Council. El primero, situado en Estiria (Austria) y completado en el año 2007, fue diseñado por el arquitecto Ernst Giselsbrecht. Su fachada tiene unas guías de acero verticales sobre las que se deslizan unas piezas de un metal ligero y que permiten transformar la fachada, abriéndola o cerrándola completamente para protegerla de los rayos del sol. Con la fachada cerrada, la luz sigue penetrando, extendiéndose por toda la planta y proporcionando una visibilidad adecuada. Esto permite además reducir el uso de un sistema de refrigeración adicional. La fachada puede ser abierta o cerrada mediante un control programado, o hacerlo de manera manual. En el rascacielos del Abu Dhabi Investment Council, diseñado por Aedas y completado en el año 2012 en los

37. Fachada dinámica en el Kiefer Technic Showroom, Estiria, Austria (2007)



Emiratos Árabes Unidos, se incorpora nuevamente una fachada dinámica con unos paneles que se abren y se pliegan controlando los intensos rayos solares característicos del país.

Una década anterior al rascacielos del Abu Dhabi Investment Council, el Pabellón de Venezuela para la Expo 2000 ya utilizó estructuras adaptables que tenían la posibilidad de abrirse o cerrarse de acuerdo al clima: según el sol, el viento o la lluvia. El pabellón es una gran flor de 16 pétalos que, gracias a unos pistones hidráulicos, se abren y se cierran de forma automática y de acuerdo al clima itinerante. Los pétalos, de estructura tubular, están realizados con unas lonas de color violeta que emulan en las 4 fachadas la formación de 4 orquídeas gigantes, la flor nacional de Venezuela. El pabellón tuvo una gran acogida en Hannover, donde se celebró la Expo, ya que en los 6 meses que estuvo abierto fue visitado por 5 millones de personas, solamente superado por el pabellón alemán.

Si bien es cierto que aunque hasta ahora las fachadas que se han visto son predominantemente de vidrio (especialmente empleado en rascacielos), muchas envolventes dinámicas tienen materiales muy diferentes dadas las grandes posibilidades existentes, especialmente en los edificios que no son residenciales.

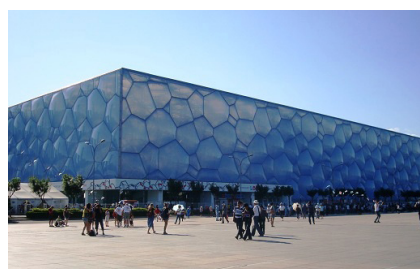
Un material relativamente nuevo es el etileno-tetrafluoroetileno, más conocido como EFTE. La primera vez que se utilizó en arquitectura como sustituto del vidrio fue en el año 1982 en un pabellón de un zoo en los Países Bajos, aunque su mayor desarrollo lo tuvo en la década de 1990s. El EFTE pesa cien veces menos que el vidrio, deja pasar más luz y si se dispone en doble lámina o en forma de "almohada" es más aislante. Además, es un material fácil de limpiar y reciclable.

El primer ejemplo sonado de este material fue el proyecto de Nicholas Grimshaw con la colaboración de la ingeniería Arup en el año 2003: Eden, situado en Cornwall (Reino Unido). La envolvente tiene una estructura de nido de abeja que sostiene las almohadas de EFTE, que se inflan continuamente con bombas de aire, lo que provoca un considerable amortiguador térmico que garantiza un clima tropical en el interior del invernadero.

Otros edificios en los que se ha utilizado el EFTE como material principal de la fachada son el National Aquatics Center en Beijing (China), proyectado por PTW Architects con la colaboración nuevamente de la ingeniería Arup, y el Unilever Haus en Hamburgo (Alemania) de Behinisch Architecten. Más recientemente, el edificio Media-Tic en Barcelona (España) de los arquitectos Enric Ruiz-Geli de Cloud 9 Architects utilizaron este material, aunque a diferencia de los anteriores disponía de una tercera capa en el interior.



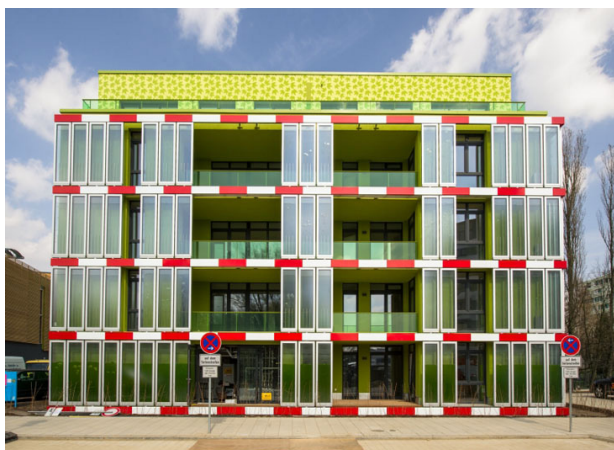
38. Pabellón de Venezuela de la Expo 2000 en Hannover, Alemania



39. Izquierda: Vista exterior Eden, Cornwall, Reino Unido (2003)

40. Derecha: Vista exterior del National Aquatics Center en Beijing, China (2008)





- 41. Izquierda: vista exterior de la BIQ house en Hamburgo, Alemania (2013)
- 42. Paneles con microalgas en la BIQ house

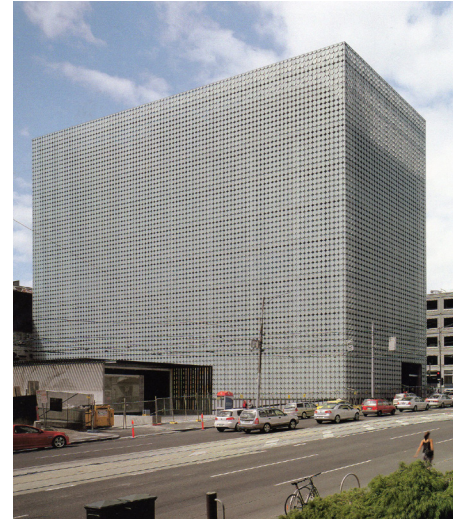
En la BIQ house en Hamburgo, Alemania y finalizado en el 2013, las fachadas sudeste y sudoeste tienen unos paneles biorreactores que contienen agua y algas en su interior. Esto permite que se genere calor y energía mediante un proceso bioquímico. Además es un sistema de sombreado dinámico, ya que va variando, y proporciona un aislamiento térmico y acústico. El calor generado se envía a un centro de gestión de energía automatizado, donde se cosecha el calor térmico para generar agua caliente. Además de producir agua caliente, el calor almacenado se redistribuye en el sistema de calefacción del edificio. En los meses de verano, al tener los paneles una mayor exposición solar las microalgas se reproducen más, oscureciendo los paneles y proporcionando sombra en el interior. Por último, las algas que se cosechan se recogen y son posteriormente fermentadas en una planta externa, lo que permite generar el biogás empleado en la generación de electricidad.

Hasta ahora se han vistos edificios que principalmente buscan protegerse de la radiación del sol o acumularla, bien sea con el uso de lamas, persianas, estructuras plegables o con nuevos materiales como el EFTE. Si lo que se busca es todo lo contrario se puede utilizar la envolvente para recoger la radiación solar con unos paneles solares o fotovoltaicos. Es el caso del centro de entretenimiento Xicui localizado en Beijing, del estudio Simeone Giostre y completado en el año 2008. La fachada principal es una gran pantalla diseñada como un muro cortina que integra unas celdas fotovoltaicas que producen a lo largo del día la energía necesaria para iluminar la pantalla, sobre la que se proyectan vídeos.

En el Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) de Sean Godsell, se da un paso más allá al no estar fijas las celdas. El edificio, localizado en Australia y finalizado en el año 2012, tiene una fachada de doble piel formada por 16.000 discos de cristal traslúcido. Los discos son móviles, pivotando sobre un eje vertical en respuesta a la posición del sol. Se convierte así en una fachada dinámica, cuyo exterior está compuesto por 774 paneles, cada uno de los cuales albergan 21 discos de cristal con un espesor de aproximadamente 9mm. Los paneles están alojados en una subestructura de acero separada 1m de la fachada interior (un muro de dos capas de vidrio con una cámara de gas argón). Las fachadas oeste, este y norte, las expuestas al sol, son las que contienen los elementos móviles que pivotan automáticamente en función de la hora del día y del año, abriéndose de 5 a 80°C. Actualmente la universidad se encuentra desarrollando unas superficies fotovoltaicas que en un futuro

podrán remplazar a los cristales traslúcidos, pudiendo así optimizar las ganancias de electricidad al adaptarse al movimiento del sol.

Así como la utilización de la energía procedente del Sol está muy extendida, pocos son los edificios que emplean el viento como generador del movimiento en la fachada. Un ejemplo es el Children's Museum de Pittsburg (Estados Unidos) finalizado en el 2004 y diseñado por Koning Eizenberg Architecture, siendo el diseño de la fachada del artista Ned Kahn. Esta fachada de Kahn se concibe como una segunda piel que parece ondear con el viento sin ninguna dificultad, transformando así la fachada estática del museo en una dinámica. No tiene ningún sistema de control sofisticado, sino que se repiten 39.000 hojas de resina acrílica instaladas sobre unas bisagras hasta la parte superior del edificio.



43. Arriba: vista exterior del RMIT, Australia (2012)

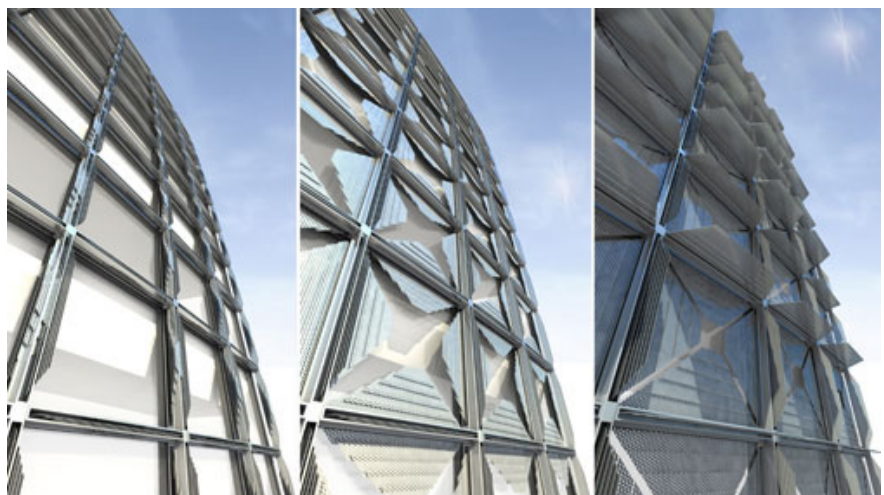
44. Abajo: fachada dinámica del RMIT

## Futuro

Si bien es cierto que cada vez se ven más fachadas dinámicas, siguen estando en continuo desarrollo. Un ejemplo son los sensores inalámbricos desarrollados en la década de 1990 en la universidad de California en Berkeley. Estos sensores microscópicos tenían una dirección IP que podían ser instalados en los edificios para controlar algunos factores como la iluminación o los sistemas de ventilación mecánica. Dado el reducido tamaño de los sensores, así como su barato precio, hace que tengan un gran potencial, ya que gracias a ellos la piel del edificio se convierte en una materia orgánica que siente a través de una percepción digital.

Siguiendo con esta tecnología, Siemens ha desarrollado los Micro-electro mechanical systems, o lo que es lo mismo, los MEMs, donde reúnen varios sensores en un solo microchip, por lo que si uno se rompe, todavía sobran cientos o miles. Hasta dentro de 5 o 10 años no se va a comercializar, pero es una tecnología muy prometedora. Así, Siemens ha creado unos sensores de temperatura radiante y flujo de calor que pueden ser incrustados en el vidrio. Estos vidrios pueden utilizarse en los acristalamientos de los edificios, y permiten oscurecer o clarear el cristal basándose en la medida de la ganancia solar en tiempo real.

Otro sistema en desarrollo para controlar la ganancia solar es el sistema Helio Trace del estudio Skidmore, Owings & Merrill (SOM) en colaboración con el Adaptive Building Institute (ABI). Se propone como una solución posible a las dificultades que tienen algunos sistemas constructivos como los muros cortina de responder al movimiento del Sol. Se trata así de un sistema de sombreado dinámico, compuesto por unos paneles segmentados que se expanden y se contraen de acuerdo a la posición del sol. Los paneles no tienen por qué ser opacos, sino que pueden estar hechos de diversos materiales



45. Sistema Helio Trace del estudio SOM en colaboración con ABI.



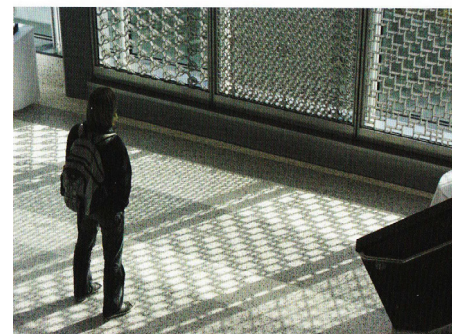
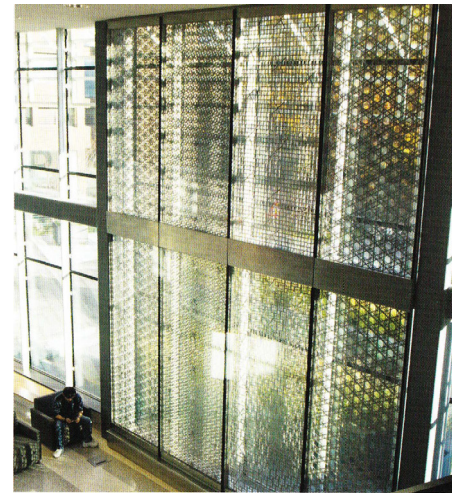
como vidrios tintados o metales perforados. De esta manera se logra modular la luz que entra al edificio y controlar la ganancia de calor en el interior, reduciéndola hasta en un 81%.

También de ABI es el sistema de sombreado conocido como Tessellate. Se trata de un conjunto de paneles enmarcados independientemente y que cambian constantemente para modular la luz y la ganancia solar, la ventilación y la circulación del aire, la privacidad y las vistas. Cada panel lo forman un conjunto de hojas perforadas de diversos metales o plásticos creando diferentes estampados. Estas hojas instaladas en marcos son motorizadas, moviéndose en relación con las otras hojas del marco para cambiar así la luz transmitida a través de sus aberturas, lo que permite variar su opacidad constantemente.

Como se viene diciendo a lo largo del trabajo, además de protegerse contra la radiación solar se puede recogerla, empleando por ejemplo paneles solares o fotovoltaicos en fachadas y cubiertas. El grupo The Center for Architecture Science and Ecology, más conocido como CASE, ha diseñado una sistema conocido como ICSF (*Integrated Concentrating Solar Façades*) de células fotovoltaicas que se integran en las fachadas o patios interiores. Se trata de unos muros compuestos por unas pequeñas células fotovoltaicas que dada su forma concentran la luz solar para producir electricidad. Además de captar la energía solar, permite la entrada de una luz difuminada a través de ellas, con lo que se reduce la necesidad de luz eléctrica en el interior. Así, es un sistema que por un lado permite producir electricidad y energía térmica, y por el otro mejora la iluminación interior y reduce la ganancia solar. Este sistema se ha empleado en los laboratorios del *Syracuse Center of Excellence in Environmental & Energy Systems*, más conocido como SyracuseCOE, y localizado en Estados Unidos. El prototipo, con una malla de 8x8 células fotovoltaicas, se encuentra anclado a una ventana de la fachada sur de los laboratorios.

En referencia a edificios que utilizan otros estímulos como el viento como generador del movimiento se encuentra el rascacielos Strawscraper, que pretende convertir su fachada en un parque eólico sin recurrir a las turbinas convencionales, más ruidosas y dañinas para las aves, siendo además difícil de integrar en los edificios. El rascacielos, recubierto de una especie de “pelo” es capaz de convertir la energía del viento en electricidad a través de apéndices móviles que revisten la fachada cuyo movimiento produce electricidad por efecto piezoeléctrico, es decir, por la capacidad que tienen algunos materiales de adquirir una polarización eléctrica en su masa al ser sometidos a tensiones mecánicas. Aunque todavía está en desarrollo, este sistema pretende ser integrado en el futuro en otros rascacielos.

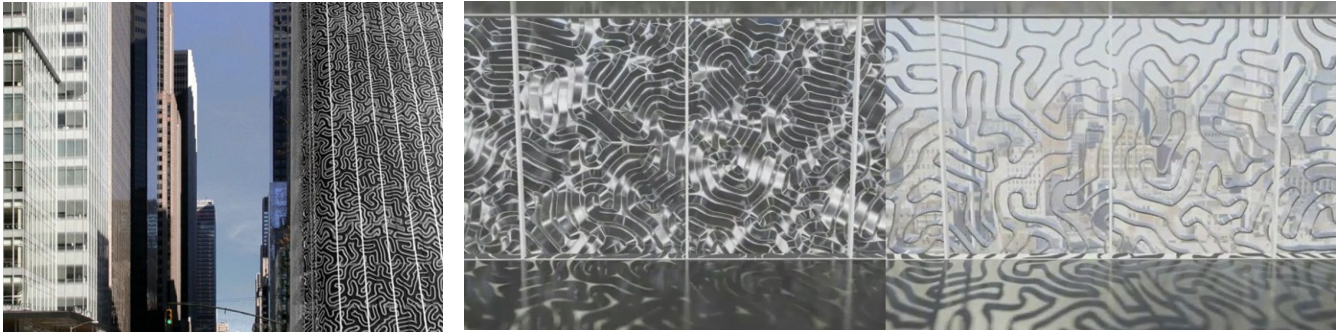
Las envolventes de algunas propuestas pueden reaccionar ante varios estímulos a la vez, como es el caso de la Torre Biónica de Chris Bosse para Abu Dhabi. La torre tendrá una piel que reaccionará en función de las condiciones ambientales incluyendo la temperatura del aire, humedad, presión del aire, radiación y contaminación. Es así una promesa de la arquitectura del futuro, donde ésta se comporta como un organismo o ecosistema, siendo así una fachada inteligente capaz de conseguir la máxima eficiencia energética, así como la mayor comodidad para los usuarios que se encuentren en ella.



46. Arriba: Sistema Tessellate del grupo ABI.

47. Abajo: Sistema ICSF incorporado en los laboratorios del SyracuseCOE, Estados Unidos.





48. Fachada homeostática,  
vista exterior y detalle interior

El prototipo de la denominada “fachada homeostática” del estudio neoyorkino Decker Yeadon Architects sigue esta línea, al estar formada la fachada por un material flexible (elastómero dieléctrico) que se dobla como un músculo artificial que filtra o no el calor solar según la forma que presente. El sistema responde automáticamente a las condiciones ambientales, con lo que se consigue regular la temperatura del interior del edificio de una forma eficaz. El movimiento se produce gracias a la extensión y la contracción del elastómero, que se abre cuando se calienta y se cierra cuando se enfría.

En estos últimos ejemplos, así como en los ya existentes, se ve una promesa de edificios inteligentes, los cimientos del tipo de arquitectura que podría emerger en nuestro mundo, que cada vez está más controlado e informatizado.

Como se ha explicado a lo largo del trabajo, el interés en edificios eficientes apareció, desapareció y volvió a resurgir tras la crisis energética de 1970. Pero ahora, ¿se volverá a perder este interés? Hay un factor muy importante y que antes no se daba y son las normativas que con el calentamiento global que se está dando en el planeta son cada vez más restrictivas. Esto hace que los edificios necesiten cambiar su manera de concebirse, especialmente la envolvente, la parte que más influye en las condiciones que habrá en el interior del edificio. Se han desarrollado diversas normas ISO que cuantifican los índices de sostenibilidad en la edificación, mucho más completas que las normativas vigentes, aunque poco a poco se irán implantando. Así, cada vez es más complicado dejar de pensar en una arquitectura eficiente, aunque solo sea por la obligación de cumplir una normativa.





# Metodología

## Estudio de estímulos

En este trabajo se ha hablado de arquitectura dinámica, donde la envolvente de ésta es capaz de cambiar su forma y su geometría para adaptarse al clima en el que se encuentra. Para ello, es fundamental entenderlo, saber cómo varía y ver qué factores de éste se van a considerar, bien sea para proteger el interior del edificio o para aprovecharlos.

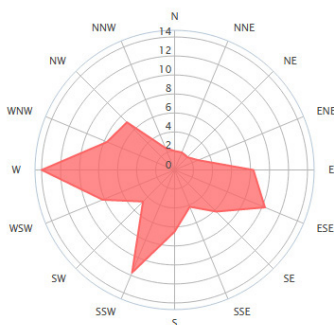
Los principales estímulos ante los que reaccionan estas fachadas son el viento, la temperatura y la radiación solar, siendo este último el más extendido. Las fachadas dinámicas, como ya se ha visto, suponen un gran ahorro para el edificio en términos de eficiencia, pero también una inversión inicial más elevada que cualquier otra fachada convencional. Por ello es imprescindible estudiar e interpretar adecuadamente dichos estímulos exteriores con el fin de que la fachada sea coherente al clima y funcione correctamente.

Rosa de los vientos y datos brutos del viento.

Estadísticas basadas en observaciones tomadas entre el 02/2011 y el 10/2012 diariamente entre las 7 de la mañana y las 7 de la tarde hora local.

Datos proporcionados por Windfinder, para Las Rozas de Madrid

Distribución de la dirección del viento en (%)  
Año



## Viento

“Corriente de aire producida en la atmósfera por causas naturales, como diferencias de presión o temperatura”.

El viento, según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), es el movimiento del aire con relación a la superficie terrestre. Se considera únicamente la componente horizontal del vector velocidad, donde al ser una magnitud vectorial se precisa conocer tanto la dirección como la velocidad del viento.

Para determinar la dirección del viento se toman habitualmente ocho sectores de dirección: norte entre 337,5° y 22,5°, noreste entre 22,5° y 67,5°, este entre 67,5° y 112,5°, sureste entre 112,5° y 157,5°, sur entre 157,5° y 202,5°, suroeste entre 202,5° y 247,5°, oeste entre 247,5° y 292,5° y noroeste entre 292,5 y 337,5°.

La unidad más empleada a la hora de medir la velocidad del viento son los

Mes del año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Año
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Dirección del viento dominante	◀	▶	◀	▶	▶	▶	▶	▶	◀	◀	▲	▶	▶
Probabilidad de viento >= 4													
Beaufort (%)	2	8	1	5	2	3	2	1	1	1	0	1	2
Velocidad media del viento (kts)	2	4	4	5	4	4	4	3	4	3	2	2	3

km/h, pudiéndose manejar otras como el m/s. La predicción de la velocidad se hace atendiendo a sus valores medios, con una media de 10 minutos. Los valores de velocidad instantánea son las rachas, es decir, desviaciones transitorias de la velocidad del viento con respecto a su valor medio. No obstante, para realizar un estudio del clima y, particularmente del viento, se emplearán únicamente las velocidades medias.

Tanto la dirección como la velocidad del viento se pueden representar simultáneamente en la rosa de los vientos, donde se muestra la frecuencia de ocurrencia de cada dirección y su velocidad en una localidad y un periodo de tiempo determinados.

AEMET y Windfinder proporcionan información en tiempo real en diferentes estaciones meteorológicas, así como previsiones o bases de datos. AEMET está enfocado en España, mientras que Windfinder proporciona información de todo el mundo, ofreciendo además estadísticas, donde en el caso del estudio del viento elaboran rosas de los vientos mensuales.

Una vez analizadas la dirección y la velocidad del viento, se puede utilizar dicho movimiento en las fachadas de los edificios para transformar la energía del viento en electricidad, convirtiéndose así la fachada en un parque eólico. Esto funcionará especialmente en rascacielos, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura sobre el nivel del suelo.

*Temperatura*

“Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K)”.

La temperatura del aire, según AEMET, es la temperatura leída en un termómetro que está expuesto al aire protegido de la radiación solar. Aunque la unidad en el sistema internacional el Kelvin, en páginas como AEMET o Windfinder se encuentran medidas en grados centígrados ° C. En ambas páginas se proporciona información en calidad de tiempo real, con temperaturas a lo largo de las diferentes horas del día, además de previsiones y resúmenes diarios de los últimos 7 días. En Windfinder también se puede ver la temperatura media del aire a lo largo de los diferentes meses del año.

El estudio de las temperaturas medias a lo largo del año permite adecuar la fachada del edificio en función de ésta. En climas fríos interesa acumular el calor procedente de la radiación del sol, que se puede conseguir a través de materiales muy aislantes como el EFTE. En climas cálidos, se evitará el sobrecalentamiento interior en el edificio, donde el sombreamiento es imprescindible. En la búsqueda de una fachada dinámica, se podrán emplear materiales o sistemas que puedan variar su forma en función del calor que los atraviese.

Temperatura media del aire.  
 Estadísticas basadas en observaciones tomadas entre el 02/2011 y el 10/2012 diariamente entre las 7 de la mañana y las 7 de la tarde hora local.  
 Datos proporcionados por Windfinder, para Las Rozas de Madrid

Mes del año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Año
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Temperatura media del aire (°C)	7	9	12	14	20	25	27	27	23	17	12	7	16

### *Radiación solar*

“Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol”.

Según la AEMET, la radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas, produciéndose directamente desde la fuente (en este caso el Sol), hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, y su energía, visibilidad o poder de penetración vienen dadas por su longitud de onda y su frecuencia.

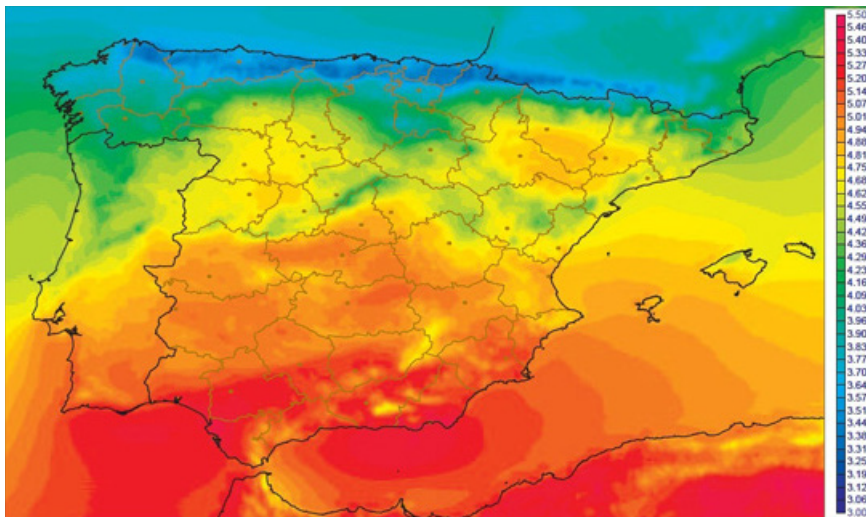
Las medidas de radiación son importantes, entre otras cosas, para estudiar la distribución y las variaciones de la radiación incidente, reflejada y total, muy importante en el campo de la arquitectura al incidir ésta sobre las envolventes de los edificios.

La radiación directa es la irradiancia que alcanza la superficie, en un plano horizontal, procedente únicamente del disco solar. Es empleada como luz solar para iluminación, y se mide por medio de pirheliómetros, utilizados junto con un sistema de seguimiento solar para mantenerlo orientado al sol. Las mediciones están sujetas a El Grupo Mundial de Normalización (WSG), adoptado en el congreso de 1979 de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

La radiación difusa, a diferencia de la radiación directa, procede del resto del cielo debido a los procesos de dispersión que se producen en la atmósfera. La radiación global es la suma de las radiaciones directa y difusa, y se mide con un piranómetro. Este instrumento se puede utilizar también para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas o para medir la radiación global reflejada. La irradiación solar o energía solar radiante se suele expresar en kilovatios-hora por metro cuadrado y día,  $\text{KWhm}^{-2}\text{día}^{-1}$  (la empleada en AEMET), o en Kilojulios por metro cuadrado y día,  $\text{KJhm}^{-2}\text{día}^{-1}$ .

La Red Radiométrica de la Agencia Estatal de Meteorología en España está compuesta por 58 estaciones, en las que se mide la radiación solar directa, global, difusa y reflejada. En la página de AEMET, se puede encontrar un Atlas de Radiación Solar en España, en el que se recogen mapas, gráficos y tablas valores medios mensuales, estacionales y anuales de las variables superficiales de radiación solar global, directa y difusa en el plano horizontal (por lo que si se estudia una superficie inclinada los datos serán diferentes).

Con respecto a la arquitectura, si se busca protegerse de la radiación solar hay veces en los que no basta con las soluciones pasivas como la orientación de los huecos o un sombreado de los mismos con voladizos. Las lamas o persianas móviles ofrecen una solución a este problema mucho mayor, ya que se adaptan a la radiación recibida a cada instante, además de ser una tecnología muy económica. Existen además otros nuevos materiales, algunos en desarrollo como los vidrios que son capaces de oscurecerse o clarearse en función de la ganancia solar en tiempo real. Si bien son más caros, a medida que se vayan implantando en el mercado y crezca la demanda se irán abaratando, siendo una solución ideal al proteger de la radiación sin perjudicar las vistas que se tengan desde el interior del edificio.



Irradiancia global media en el periodo 1983-2005

Fuente: AEMET

Si lo que se quiere es captar la radiación solar, habrá que utilizar paneles solares o fotovoltaicos, que si se integran en una fachada dinámica podrán moverse en función de la posición del sol para captar la máxima radiación en cada instante.

### Estudio de casos

Tras analizar los principales estímulos ante los que reaccionan las fachadas, se han elegido 4 edificios significativos que emplean el movimiento como respuesta a la radiación del sol, al viento y a la variación de temperatura. Cada edificio proporciona así una solución innovadora ante dichos estímulos, cambiando su forma en consecuencia para poder adecuarse al entorno y mejorar sus condiciones interiores.

## CHILDREN'S MUSEUM

## EDIFICIO

Situación: Pittsburg (Estados Unidos)  
 Fecha de construcción: 2004  
 Programa: museo interactivo para niños  
 Plantas: 3  
 Tamaño: 200.000m<sup>2</sup> sobre rasante;

## AGENTES

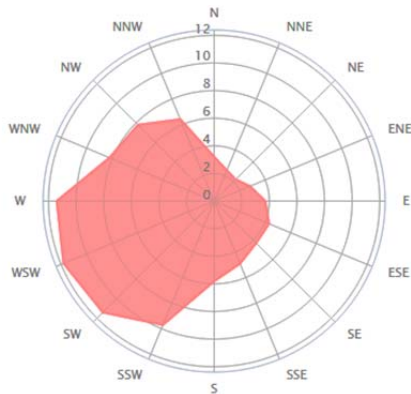
Promotor: Children's Museum de Pittsburg  
 Arquitecto: Koning Eizenberg Architects  
 Diseño de fachada: Ned Kahn  
 Ingeniero estructural:  
     Arup  
     Atlantic Engineering Services  
 Ingeniero mecánico:  
     IBE Consulting Engineers y  
     Elwood S. Tower Corporation

## CERTIFICACIONES

LEED Plata en 2006

## ENTORNO

Coordenadas: 40° N, 80° W  
 Clima: continental húmedo/ subtropical  
 Rosa de los vientos



La fachada dinámica del Museo para niños de Pittsburg envuelve al nuevo pabellón finalizado en el año 2004. Este pabellón, que contiene la entrada principal y un espacio de exposición, pretendía unir dos edificios históricos existentes en un único conjunto. Estos eran al oeste La vieja oficina de correos, del siglo XIX y de la Arquitectura de *Beaux Arts*, y al este el Planetario, del año 1939 y del movimiento Art Deco.

Finalizado en el año 2004, le otorgaron la certificación LEED plata en el año 2006, convirtiéndose así en uno de los edificios de mayor certificación LEED del país. Esto quiere decir que fue construido y diseñado con materiales y recursos naturales, con una eficiencia energética y del uso del agua, así como de emisiones a la atmósfera, con una calidad del ambiente interior y con una innovación en el diseño, además de priorizar los recursos regionales.

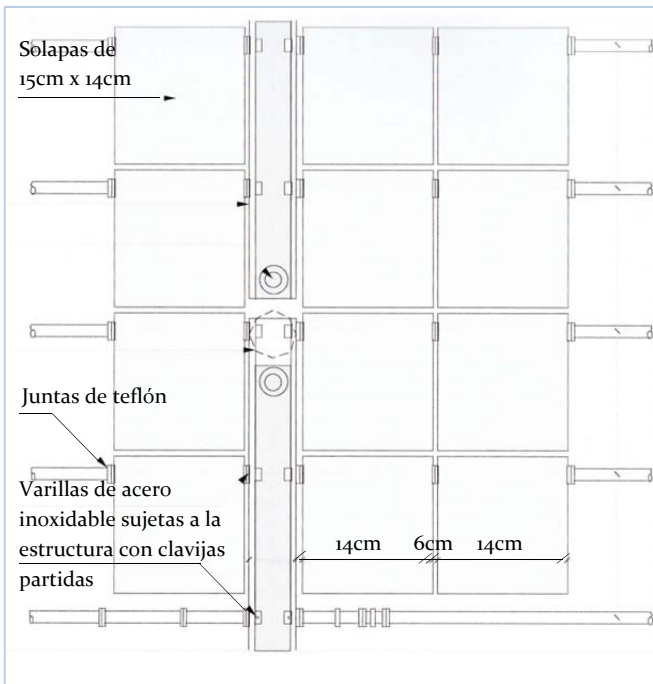
Originalmente los arquitectos querían que la fachada del nuevo pabellón fuese de policarbonato, con una doble piel traslúcida con un efecto similar a las farolas del escultor y diseñador estadounidense-japonés Isamu Noguchi, pero el presupuesto no era suficiente. Así, diseñaron la fachada que finalmente se construyó: un muro cortina convencional con una estructura secundaria de aluminio situada aproximadamente a 1,8 metros de la anterior, extendiéndose desde el forjado de la segunda planta hasta por encima de la cubierta. Esta segunda piel, a la que llamaron "nube articulada", la diseñaron los arquitectos Koning Eizenberg en colaboración con el artista californiano Ned Kahn. Además de actuar como un protector solar, parece fluctuar con el viento, convirtiéndose así en una fachada dinámica y reluciente.

49. Abajo: vista exterior de la fachada principal

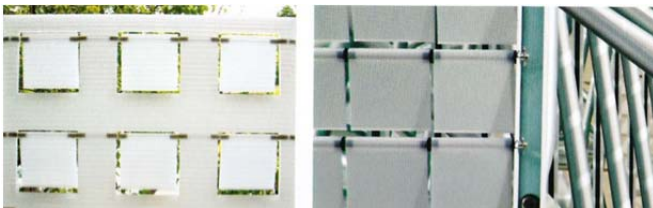
50. Izquierda: detalle de segunda piel



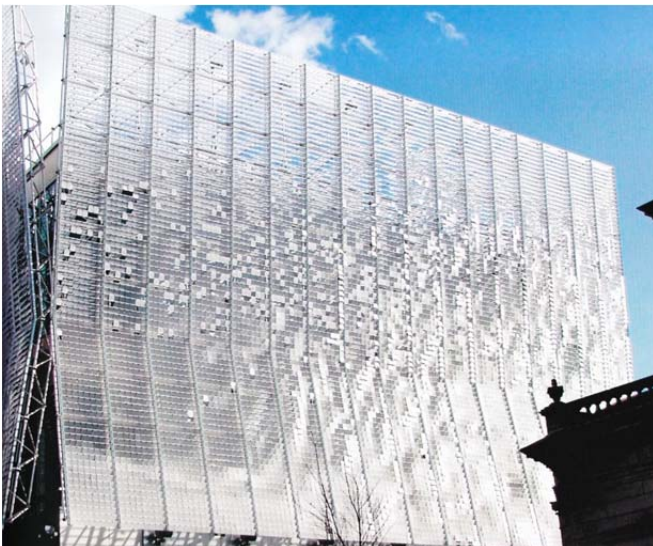




51. Arriba: detalle de las solapas  
Abajo: aproximación de la piel exterior



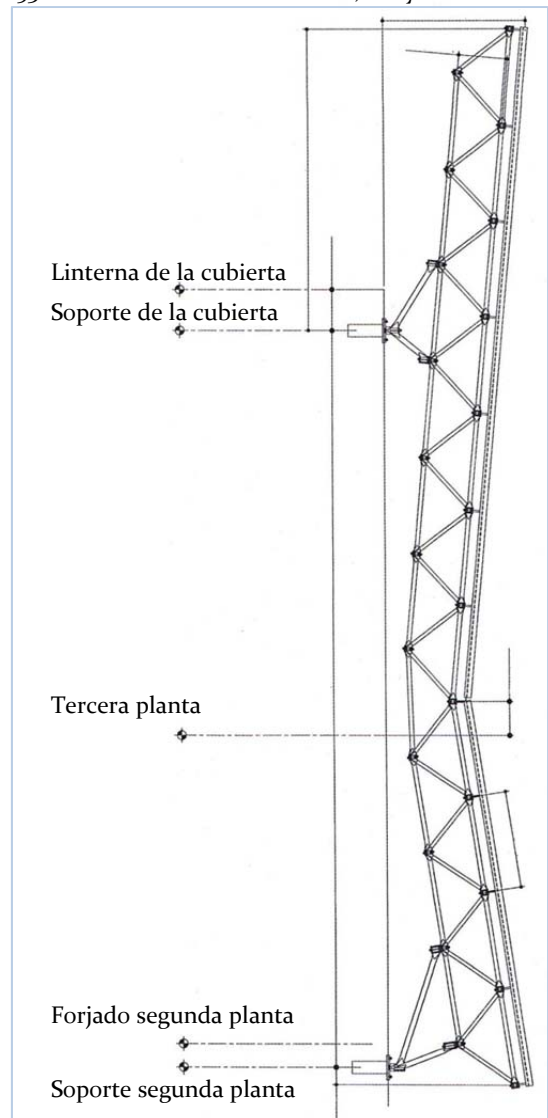
52. Abajo: vista exterior del pabellón nuevo



Esta fachada demuestra que los componentes móviles en arquitectura no necesitan artilugios eléctricos ni mecanismos sofisticados para adaptarse a las condiciones medioambientales, lo que significa actuar sin la necesidad del control humano.

La estructura de aluminio de la segunda piel soporta decenas de miles de solapas acrílicas de 14cm x 15cm, enhebradas con unas varillas de acero inoxidable con un diámetro de 13 cm. Todas las solapas están separadas unas de otras unos 6cm, un espacio que se mantiene gracias a dos juntas de teflón (polímero muy resistente al calor y a la corrosión) que también permite que las solapas se balanceen libre e independientemente. Los ensamblajes de las solapas fueron diseñados y fabricados por la subcontrata EXTECH, comprobando que durante las tormentas o fuertes vientos no se atasquen. Las solapas acrílicas se mueven en función del viento, pero también iluminan con una luz resplandeciente durante la noche. Hacia el interior, las solapas difuminan la luz solar, previniendo además de la radiación directa.

53. Sección de las fachadas norte, sur y oeste



## ABU DHABI INVESTMENT COUNCIL

## EDIFICIO

Situación: Abu Dabi (Emiratos Árabes)  
 Fecha de construcción: 2012  
 Programa: oficinas, sede del consejo de inversión  
 Plantas: 29+2 (bajo rasante)  
 Tamaño: 75.000m<sup>2</sup>

## AGENTES

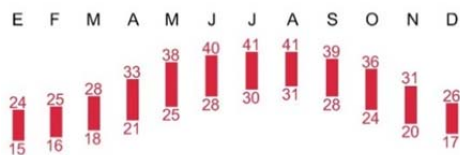
Promotor: Abu Dhabi Investment Council (ADIC)  
 Arquitecto: Aedas  
 Ingeniero mecánico, asesor de fachada: Arup  
 Diseño fachada: Aedas  
 Fabricante de la fachada: Yuanda

## CERTIFICACIONES

Premio CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) 2012 al más innovador

## ENTORNO

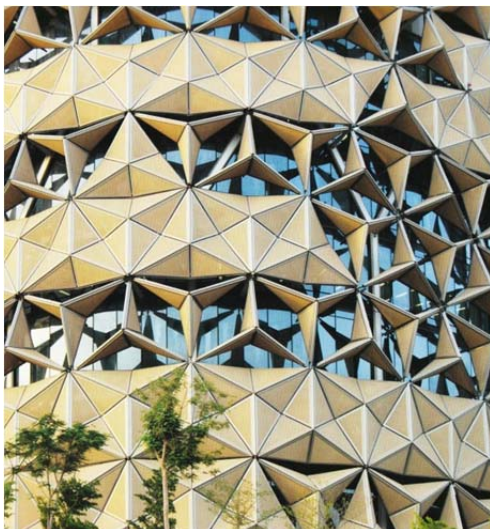
Coordenadas: 24°N, 54°E  
 Clima: árido-caliente  
 Temperaturas medias máximas y mínimas:



Fuente: Worldweatheronline

54. Abajo: detalle de la fachada

55. Derecha: vista exterior de las dos torres



La sede del Abu Dhabi Investment Council (ADIC) se encuentra ubicada en dos torres acristaladas de 150 metros de alto, unidas mediante un único basamento de vidrio. Las fachadas de las torres, inspiradas en las tradicionales celosías árabes del tipo mashrabiya, proporcionan sombra a las dos torres de una manera dinámica e innovadora, lo que ha hecho que se conviertan en un icono de la ciudad.

El sombreado de las torres se realiza a través de unos 1.000 elementos instalados sobre ellas como si fueran paraguas de tres lados. Están compuestos por unos paneles de fibra de vidrio revestidos de EFTE (politetrafluoretileno) traslúcido con una transmitancia del 20% de la luz visible, sujetos con ménsulas a la fachada acristalada convencional. Las celosías mashrabiya se pueden mover individualmente, teniendo 5 posiciones entre la abertura y el cierre para adecuarse al movimiento de sol alrededor del edificio. Gracias a ello, se minimiza la ganancia solar en el interior del edificio, lo cual es de gran importancia dado el clima árido-caliente del lugar. Así, se logra reducir la demanda de refrigeración, mejorando el comportamiento del vidrio al aprovechar mejor la luz del día.

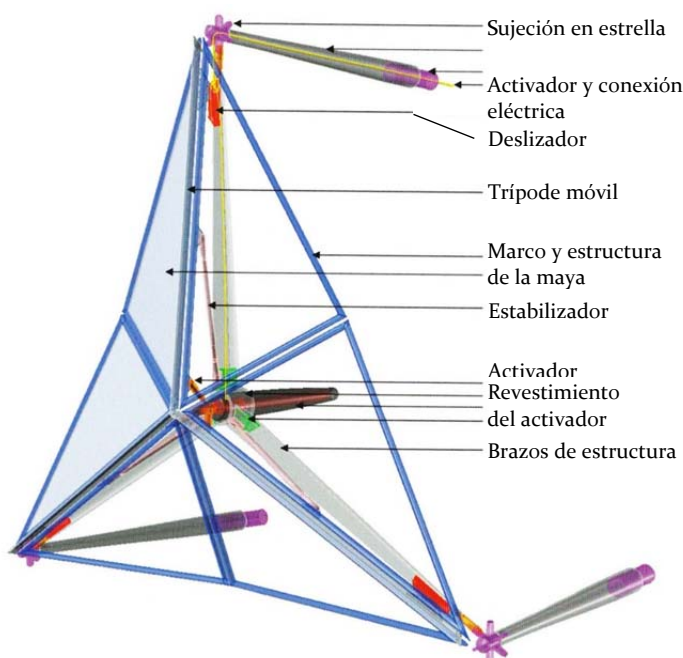
En el desarrollo de la fachada los arquitectos de Aedas tuvieron varias preocupaciones. Una de ellas fue la incertidumbre de cómo afectaría el movimiento de los elementos de la fachada dinámica a la estructura, ya que hasta entonces nadie había construido ese sistema. Además se encontraba expuesto a un clima extremadamente caliente, ventoso y arenoso. Les asesoró el grupo de ingenieros de Arup, que les dieron consejo de los efectos estructurales que tenían sobre el sistema, así como unas pautas para un mejor uso de los materiales en términos de energía y construcción.





Por otro lado, la constructora china Yuanda, para ser la que fabricara y levantara el sistema de la fachada, construyó unas réplicas del mismo y las sometió a horas de test con arena, viento, tierra y agua salada bajo un intenso calor para comprobar su funcionamiento en Abu Dhabi. Como fue la única constructora que se propuso tanto para el sistema exterior como para el muro cortina interior, fue la elegida. Fabricaron todos los componentes en China, donde los testaron y los desmontaron para trasladarlos a Abu Dhabi, donde los volvieron a unir y a testar antes de la instalación.

La construcción de cada mashrabiya consiste en un trípode central conectado a una estructura de 3 brazos en forma de Y que se encuentra atada al muro cortina a través de unas ménsulas, aunque es estructuralmente independiente.



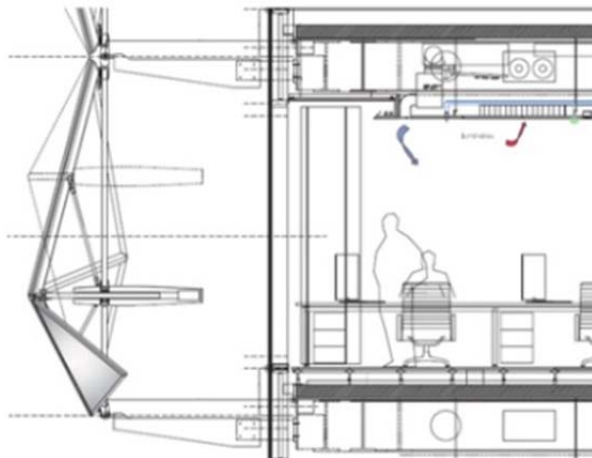
56. Diagrama de la celosía mashrabiya © Aedas

El sombreado se produce a través de 6 paneles estructurales de fibra de vidrio revestida de PTFE, individualmente enmarcados a cada una de las unidades mashrabiya del proyecto. El cableado los activadores que permite el movimiento de estos paneles está oculto en el trípode, discurriendo por las ménsulas de soporte y la estructura en Y. A diferencia de lo que se pensaba, los activadores son muy silenciosos, por lo que los ocupantes del edificio no oyen el movimiento mecanizado de las celosías al cambiar de posición.



57. Distintas aberturas de los paneles © Aedas

Cuando el conjunto de las celosías mashrabiya está cerrado, éste se separa aproximadamente 2 metros del muro cortina interior.



57. Sección por fachada © Virginia Duran

La cámara resultante permite limpiar desde ella las fachadas, colgándose desde la cubierta. Horizontalmente, los brazos en voladizo de cada trípode se separan unos de otros 4 metros.



58. Detalle de la cámara © Arup

Los arquitectos compararon el sistema de sombreado empleado con otros muros cortina donde se confiaba únicamente en una mayor reflexividad del vidrio para reducir la ganancia solar en el interior. Las celosías del tipo mashrabiya, abiertas únicamente un 20%, se traducían en una transmitancia de luz visible (VLT) de aproximadamente un 40%, lo que igualaba el rendimiento del muro cortina. Además, en otros proyectos que no tuvieran la posibilidad de graduar la abertura, el mejor VLT que podrían esperar estaría entre el 5% y el 13%, lo que supondría un ambiente interior muy oscuro.

Así, el sistema dinámico propuesto supone una reducción de la ganancia solar en el interior de entre el 20 y el 60% comparado con una fachada convencional. Esto supone una reducción anual del 35% en refrigeración y un 15% menos de la demanda de energía.

## ROYAL MELBOURNE INSTITUTE OF TECHNOLOGY (RMIT)

## EDIFICIO

Situación: Melbourne (Australia)

Fecha de construcción: 2012

Programa: centro de investigación de diseño y estudios de posgrado con diversas salas de conferencias y seminarios, así como una cafetería y un espacio de exposiciones.

Plantas: 8+2 (bajo rasante)

Tamaño: 13.000m<sup>2</sup>

## AGENTES

Arquitecto: Sean Godsell Architects

Ingeniero estructural: Felicetti Pty Ltd

Diseño de fachada: Permasteelisa Pty Ltd

## ENTORNO

Coordenadas: 37° 49'S, 144° 57' E

Clima: oceánico

Temperaturas medias máximas y mínimas:



Fuente: Worldweatheronline

59. Derecha: discos móviles de la fachada  
60. Abajo: vista exterior del RMIT



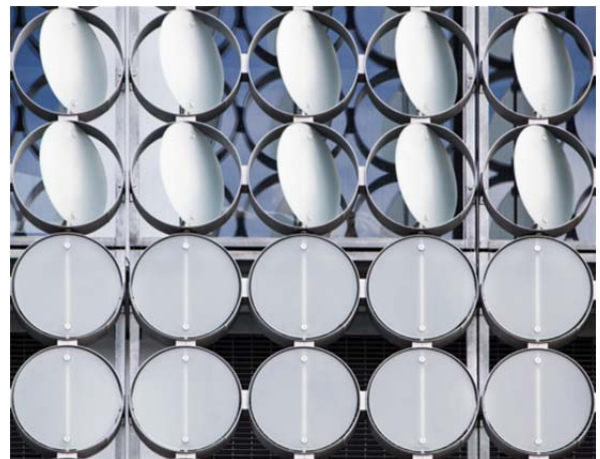
El edificio para el RMIT surge con el propósito de concentrar en un único edificio una amplia gama de investigaciones de diseño, así como estudios de posgrado, ya que hasta entonces se encontraban dispersos en distintos campus.

El centro también proporciona al RMIT una base de investigación colegial, donde los estudiantes de posgrados en campos como el diseño de textil y de moda, trabajaran junto a los que se dedican a la arquitectura, a la ingeniería aeronáutica, al diseño industrial, a la arquitectura del paisaje o al diseño urbano.

Los espacios interiores son diáfanos, por lo que los grupos de investigación, que suelen estar entre 6 meses y 3 años, se pueden instalar donde quieran adaptándolo a sus necesidades. Así, los espacios han sido diseñados para albergar la naturaleza orgánica de la investigación, en desarrollo constante, donde además las personas que trabajen en él, aun siendo de distintos campos, puedan encontrarse al hacer un uso normal del edificio.

El edificio incorpora en su fachada unos discos móviles capaces de producir electricidad a partir de la luz que inciden sobre ellos. Son efectivamente unos módulos fotovoltaicos, con la peculiaridad de no estar fijos, lo que permite adecuar la fachada a cada hora del día y obtener la máxima electricidad posible.

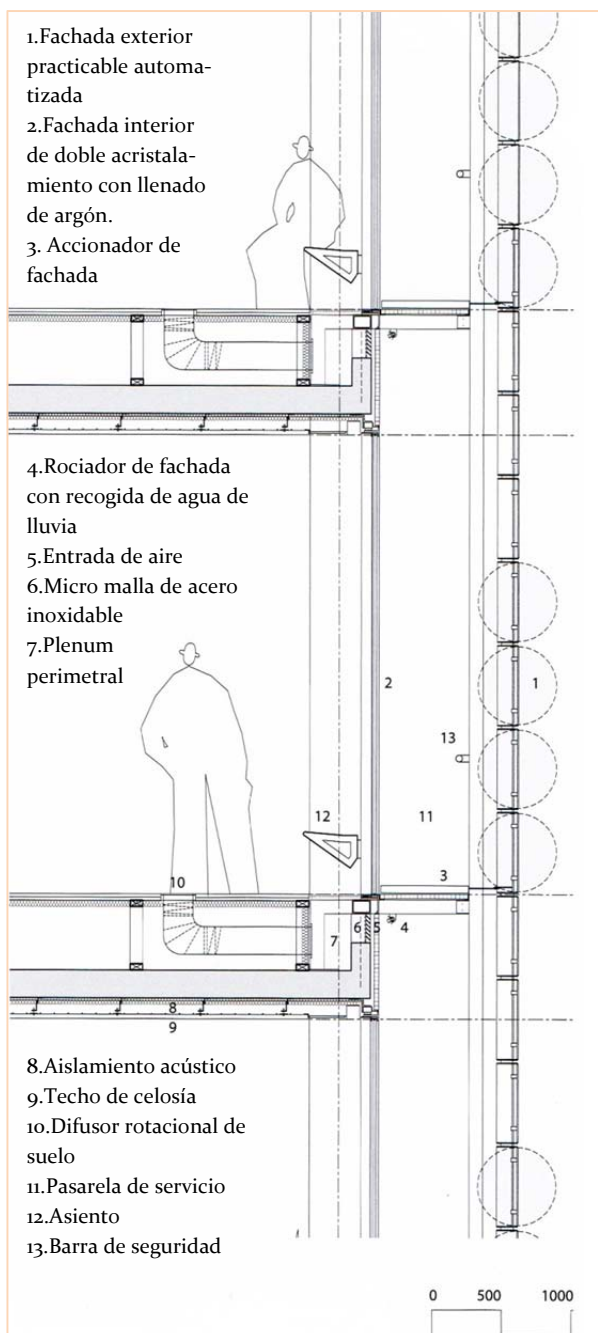
El centro incorpora además un gran número de soluciones de diseño ambiental sostenible (DAS)





La envolvente del edificio es una doble fachada, con 16.000 discos móviles en la fachada exterior pivotando sobre un eje vertical en función de la posición del sol en ese momento y girando de 5 a 80°C. Los discos, de aproximadamente 9mm de espesor, están agrupados en unos paneles de acero de 21 discos cada uno. Están localizados en las fachadas oeste, este y norte, las expuestas al Sol.

La fachada exterior se encuentra separada de la interior, de dos capas de vidrio, por una cámara de aire de gas de argón de 1m.



61. Sección de la doble fachada



61. Imagen de la cámara de gas argón entre la doble fa-

La piel exterior del edificio, además de incluir células fotovoltaicas, es un sistema de sombra automatizada, con refrigeración por evaporación y tomas de aire fresco. Todo ello hace que mejore la calidad de aire interior, además de reducir los costes de mantenimiento.

Las células fotovoltaicas con forma de disco que se encuentran en la fachada se han dispuesto pensando en una fácil sustitución de las mismas. De esta manera, cuando se mejore su tecnología (dentro del propio centro del RMIT también se está investigando en placas solares) se pueden reemplazar.

Al poderse actualizar la fachada a medida que evolucione la tecnología solar, se prevé que ésta pueda generar la electricidad suficiente para abastecer todas las necesidades del edificio.

Se convierte así en un edificio que además de incorporar las últimas tecnologías en su fachada puede seguir renovándose, convirtiéndolo continuamente en un edificio innovador.

MEDIA-TIC

EDIFICIO

Situación: Barcelona (España)  
 Fecha de construcción: 2007  
 Programa: actividades productivas relacionadas con tecnologías de la información y de la comunicación: TIC.  
 Plantas: 8+2 (bajo rasante)  
 Tamaño: 15.908,4m<sup>2</sup> sobre rasante; 7104,0m<sup>2</sup> bajo rasante  
 Coste: 20.791.486 €

AGENTES

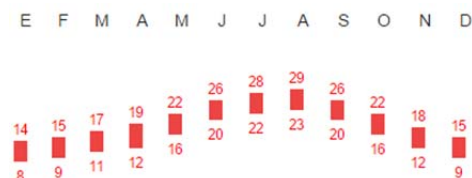
Promotor: Consorci de la Zona Franca  
 Arquitecto: Enric Ruiz-Geli – Cloud 9  
 Ingeniero estructural: BOMA- Agustí Obiol

CERTIFICACIONES

Etiqueta: A  
 Premio World Architecture Festival: mejor edificio ecológico 2011

ENTORNO

Coordenadas: 41º 24' N, 2º 11' E  
 Clima: mediterráneo  
 Temperaturas máximas y mínimas:



Fuente: Worldweathersonline

62. Abajo: vista exterior de la fachada principal

63. Derecha: detalle fachada sureste de EFTE



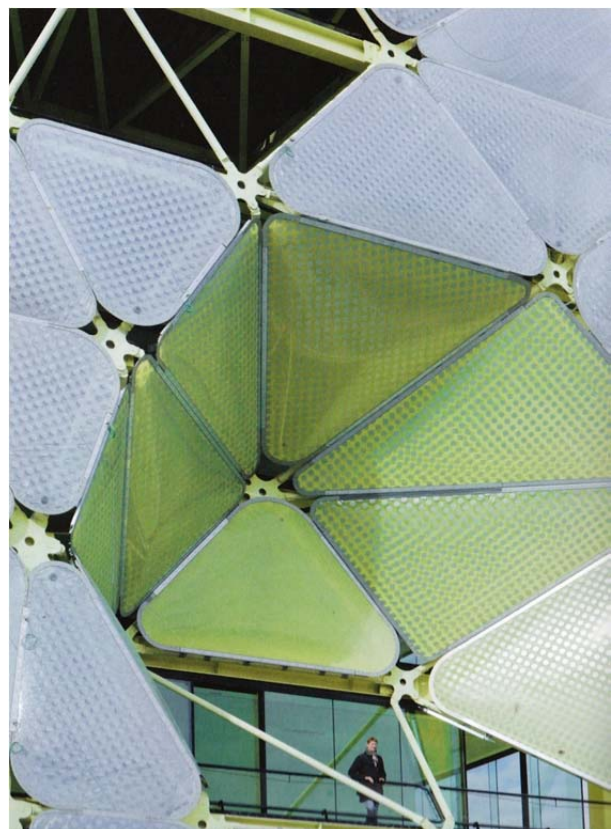
El edificio Media-TIC surge de la colaboración de El Consorci de la Zona Franca y el Ayuntamiento de Barcelona, con el deseo de convertirse en uno de los iconos de una ciudad nueva, innovadora y sostenible.

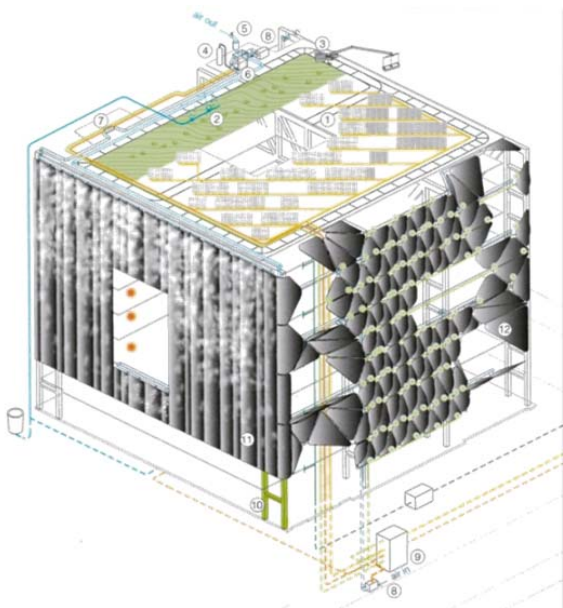
El edificio, que se encuentra en el distrito 22@ (200 ha de suelo industrial en Poblenou que desde el 2000 se están convirtiendo en un distrito productivo e innovador), aglutina el tejido empresarial del sector de las nuevas tecnologías de Barcelona.

Es el primer edificio *high tech* de Barcelona, donde la piel de EFTE de la fachada ayuda a reducir el CO<sub>2</sub> en un 55% gracias a sus filtros solares dinámicos de EFTE. Esto, junto con las reducciones de CO<sub>2</sub> que se consiguen gracias a la cubierta fotovoltaica, al uso de energía limpia y a la eficiencia derivada de los sensores inteligentes, hace que se convierta en un edificio de emisiones cero, reduciendo el 95% del CO<sub>2</sub>.

La piel de EFTE produce además un descenso del valor del factor solar máximo exigido por el CTE del 0,45 al 0,10.

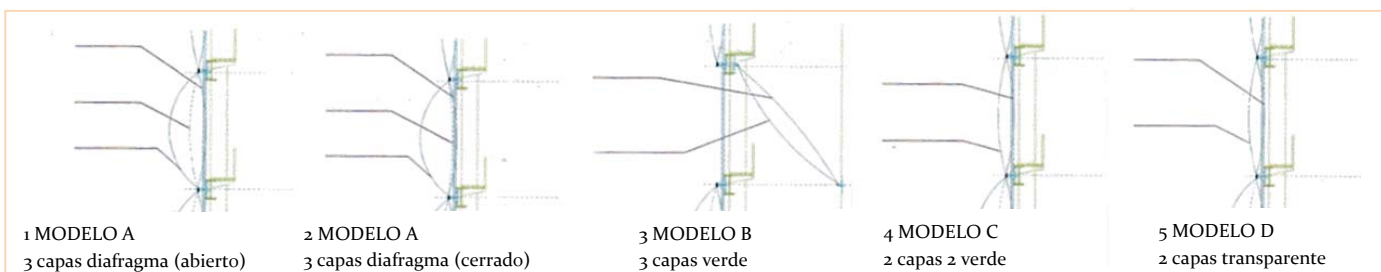
Se constituye así el primer edificio de EFTE en España.





Las fachadas del edificio son diferentes según su orientación. Fachada Sancho de Ávila (12) con orientación sureste. Dispone de 5 tipos de cojines:

- Tipo A: de 3 capas (cada cojín con un sensor de luz) con protección solar neumática que ajusta la transmitancia del 65% al 45%.
- Tipo B: de 2 capas, con impresión de la capa exterior de círculos de plata y con tintes verdes EFTE de papel de aluminio en la capa interior, con transmisión solar del 55%.
- Tipo C: de 2 capas, con tinte de la capa exterior transparente y lámina interior de EFTE verde en la interior, con transmisión solar del 65%.
- Tipo D: de 2 capas, siendo la capa exterior transparente y la interior con impresión de círculos de plata negativa, con transmisión solar del 50%.

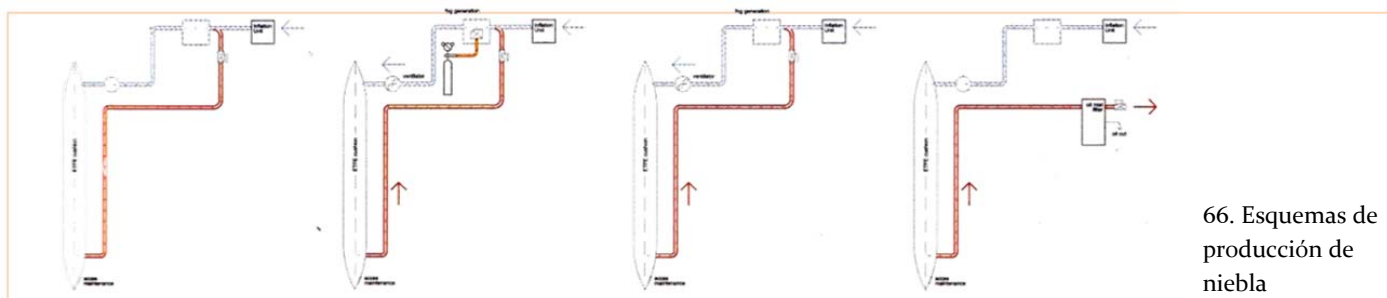
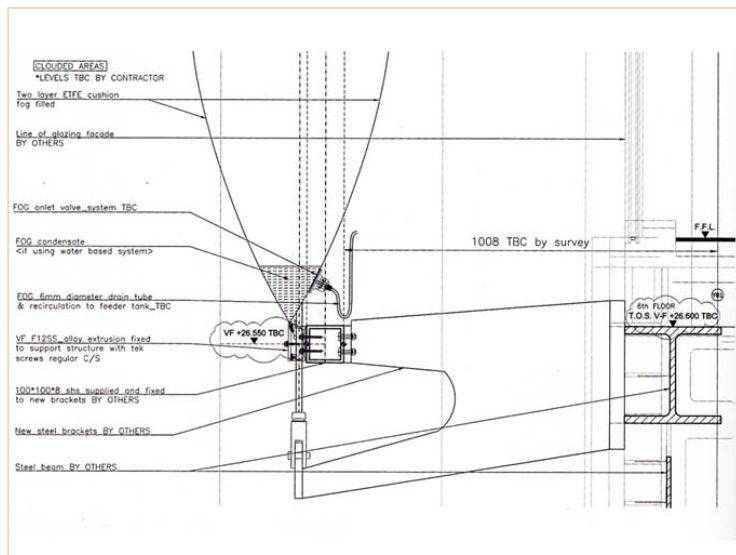


64. Distintos tipos de cojines

Fachada CAC (11) con orientación suroeste. Dispone de un sombreado de luz solar que se obtiene a través de un sistema que inyecta niebla en los cojines, lo que permite reducir la energía solar hasta un 90%. La niebla se genera en la cubierta, introduciéndose en los cojines verticales de la fachada (de más de 30m de altura) con el mismo sistema de tubos necesarios para garantizar la presión de aire de la fachada.

- Escenario 1: sin niebla. Compresor en marcha interrumpida (potencia máxima 200w)
- Escenario 2: producción de niebla. máquina de producción de niebla en marcha, con circulación de aire para llevarla al cojín.
- Escenario 3: niebla estable, con compresor en marcha interrumpido (sistema quieto)
- Escenario 4: extracción de niebla, con filtro de niebla de aceite en marcha y compresor en marcha continua.

65. Detalle de unión entre estructura secundaria y cojines



66. Esquemas de producción de niebla



# Conclusiones

Las fachadas dinámicas siguen siendo desconocidas, pese a haber sufrido un gran desarrollo en los últimos años. Son todavía muy pocos los edificios que emplean el movimiento de su envolvente como un controlador de la energía que pasa a su interior, adecuándola a las necesidades humanas de bienestar.

Aunque esté demostrada la reducción del consumo en edificios con fachadas cinéticas, habrá que esperar unas décadas más para verlas implantadas en todos los edificios de nueva construcción. Estas envolventes son más caras que las tradicionales, con una inversión inicial tan elevada que hace que sean muy pocos los edificios que las puedan costear, excluyendo así prácticamente todos los residenciales. Pese al gran avance de la tecnología, los edificios tienen un ciclo de vida de hasta 100 años, por lo que no se pueden renovar a la misma velocidad que otros sectores, provocando un desarrollo más lento.

Los aparatos electrónicos se devalúan con gran rapidez, pero con la tecnología aplicada en las edificaciones no puede ocurrir lo mismo. Es necesario invertir lo necesario en su mantenimiento, así como entender cómo funciona para hacer un buen uso de ella (de ahí la ventaja de las pieles inteligentes que reaccionan por sí mismas y que evitan una mala programación). Las fachadas dinámicas se amortizan en bastantes años, por lo que es fundamental que funcionen correctamente a lo largo de la vida útil del edificio, para poder recuperar el coste inicial invertido y obtener un importante ahorro en climatización, así como reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Gracias a las nuevas normativas, cada vez más restrictivas, y la búsqueda de edificios de energía casi nula, el interés en edificios energéticamente eficientes está aumentando. Las certificaciones energéticas cuantifican el impacto ambiental desde el planteamiento urbanístico hasta el fin de la vida, incluyendo los materiales y su transporte a la obra, así como la construcción y lo más importante, el uso del edificio. Esta etapa es la de mayor consumo energético del edificio, y por lo tanto en la que más hincapié hacen las normativas. El gran problema de las certificaciones ambientales es que no proponen soluciones concretas, y un edificio mal proyectado, con una mala orientación o con poca protección solar, puede obtener la mejor clasificación ambiental empleando instalaciones muy eficientes. Pero la arquitectura no puede tomar ese camino, sino que desde el diseño debe estar pensada en un clima determinado. La arquitectura pasiva como una solución a estas cuestiones está más implantada, con algunos estándares tan conocidos como la Passivhaus.

No hay que olvidar que el clima es cambiante, y que elementos de la arquitectura pasiva como unos voladizos fijos producen sombras no deseadas en invierno, o que los muros trombe tan útiles para acumular calor en invierno impiden la entrada de luz desde el exterior con un consiguiente mayor consumo de luz eléctrica. Las fachadas dinámicas, en cambio, permiten aprovechar los estímulos cuando son necesarios, así como protegerse de ellos únicamente en el momento preciso para no perjudicar otros aspectos.

Algunos estímulos como la radiación solar se han tenido muy presentes a lo largo de la historia, y como consecuencia, los edificios ofrecen numerosas posibilidades para su captación o protección. Otros, como el viento, apenas tienen representación en la arquitectura, haciendo que todavía sea un campo por descubrir. Sea como fuere, la arquitectura dinámica continuará desarrollándose, en un contexto en el que la arquitectura mucho tiene que aportar ante las exigencias mundiales de reducción de la contaminación.

# Glosario

## CTBUH

Council on Tall Buildings and Urban Habitat. El Consejo, fundado en la Universidad de Lehigh en el año 1969, es una organización sin ánimo de lucro que estudia e informa sobre los aspectos de la planificación, el diseño y la construcción de edificios altos. También otorga varios premios todos los años, como es el caso de los mejores edificios altos, recompensando la innovación.

## LEED

“Leadership in Energy and Environmental Design”. Es un sistema de certificación de edificios sostenible, implantado por primera vez en el año 1998 en Estados Unidos, aunque se ha internacionalizado desde entonces. Esta certificación cuantifica el impacto que supone el emplazamiento del proyecto, la eficiencia en el uso del agua y de energías, los materiales utilizados, la calidad del ambiente interior y la innovación en el diseño. Dependiendo de la puntuación que se obtenga, será una certificación LEED plata, oro o platino.

## NZEB

El concepto de un edificio de “energía neta casi nula” (NZEB) fue introducido en la directiva 2010/31/UE del Parlamento y de Consejo Europeo del 19 de mayo de 2010. Según ella, la cantidad de energía requerida, que sería muy baja, debería estar cubierta en gran medida por energía procedentes de fuentes renovables. Este estándar será obligatorio para los Estados miembros de la Unión Europea en el año 2020.

## WAF

World Architecture Festival. Es una reunión anual de arquitectura celebrada por primera vez en Barcelona en el año 2008 y a la que asisten cada año más de 2000 arquitectos de 60 países diferentes. Concede premios internacionales a proyectos arquitectónicos, entre los que se encuentran los de producción de energía y reciclaje.



# Bibliografía

## Libros y revistas

- AAVV. *El croquis*, Sean Godsell. 1997-2013 nº165 Madrid: El croquis Editorial, 2014; 224 páginas
- AAVV, *Manual de uso de términos meteorológicos*. Madrid: Agencia estatal de meteorología, 2014; 36 páginas
- BROTO, Carles. *Fachadas. Innovación y diseño*. Barcelona: Links, 2011; 300 páginas
- FORTMEYER, Russell. *Kinetic architecture: designs for active envelopes*. Mulgrave: Images Publishing Group, 2014; 221 páginas
- OSAMA YOUSSEF, Elkhayat. "Interactive movement in kinetic architecture". *Journal of Engineering Sciences Assiut University*, vol 42, nº3 (2014), p. 816-845
- RAMIREZ, Juan Antonio. *La metáfora de la colmena: de Gaudí a Le Corbusier*. Madrid: Siruela, 1998; 184 páginas
- RUIZ GELI, Enric. *Media-Tic*. Barcelona: Actar D, 2011; 335 páginas
- SCHITTICH, Christian. *Pieles nuevas: conceptos, capas, materiales*. Munich, en Detail, 2003; 196 páginas. Traducción alemana por Klaus E. Lehmann para Übersetzungen Hanns Schiefele
- WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus*. Barcelona: Gustavo Gili, 2014; 143 páginas

## Artículos y tesinas

- ASEFI, Maziar; Aysan FORUZANDEH. "Nature and Kinetic Architecture: The development of a new type of transformable structure for temporary applications". *Journay of Civil Engi-neering and Architecture*, vol 5, nº6 (2011), p. 513-526
- QUINTANA TAPIA, Fernando. *Fachadas con instalaciones integradas. Estrategias y metodología constructiva aplicada en reformas de fachada en edificios de oficinas de los años 1960-1980*. Tesina Final de Máster. Barcelona (2013)

## Páginas web

- Fachada dinámica* [en línea]. ,2013. [Consulta: 07-12-2015] Disponible en: <http://www.arquitecturaviva.com/es/Info/News/Details/4952>



- Strawscrapper, edificio ecológico y autosuficiente* [en línea]. Ricardo Segura, 2013. [Consulta: 07-12-2015] Disponible en: <http://www.metroscubicos.com/articulo/consejos/2013/06/17/strawscrapper-edificio-ecologico-y-autosuficiente>
- Wind Data Becomes Smart Wall Art* [en línea] Alyssa Danigelis, 2012. [Consulta: 23-11-2015] <http://news.discovery.com/tech/wind-data-becomes-smart-wall-art-121128.htm>
- BIQ house: un edificio vivo* [en línea]. Natalia Cambroner, 2013. [Consulta: 20-10-2015] Disponible en: <http://www.labioguia.com/notas/biq-house-un-edificio-vivo>
- El edificio más ecológico de 2011.* [en línea], 2011. [Consulta: 17-10-2015] <http://noticias.masverdedigital.com/el-edificio-mas-ecologico-de-2011/>
- Fachadas dinámicas: Nuevo edificio del RMIT* [en línea] Daniel Martín Fuentes, 2014. [Consulta: 04-01-2016] <http://www.arquitecturayempresa.es/noticia/fachadas-dinamicas-nuevo-edificio-del-rmit>
- RMIT Design Hub / Sean Godsell* [en línea] Karina Duque [Consulta: 04-01-2016] <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-241703/rmit-design-hub-sean-godsell>
- Selfridges Birmingham, Future Systems, UK, 1999-2003* [en línea] José Miguel Hernández [Consulta: 23-11-2015] <http://www.jmhdezhdz.com/2012/04/selfridges-birmingham-future-systems.html>
- Más que una fachada- Showroom Kiefer* [en línea] Kiefer technic [Consulta: 23-11-2015] [http://giselbrecht.at/projekte/gewerbe\\_industriebauten/kiefer/index.html#](http://giselbrecht.at/projekte/gewerbe_industriebauten/kiefer/index.html#)
- Theme Pavillion EXPO Yeosu-KR, 2012* [en línea] [Consulta: 20-10-2015] [http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme\\_pavilion&parent=2](http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2)
- Helio Trace Robotic Facade* [en línea] Jaime Gillin, 2011. [Consulta: 23-11-2015] <http://www.dwell.com/great-idea/article/heliotrace-robotic-facade>
- En construcción: Fachada inteligente en ADIC Headquarters/ Aedas* [en línea] Katerina Gordon, 2015 [Consulta: 15-12-2015] <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-101951/en-construccion-fachada-inteligente-en-adic-headquarters-aedas>
- Fachada responsiva en la sede del Abu Dhabi Investment Council* [en línea] Daniel Martín Fuentes, 2014. [Consulta: 15-12-2015] <http://www.arquitecturayempresa.es/noticia/fachada-responsiva-en-la-sede-del-abu-dhabi-investment-council>
- GreenPix: Zero Energy Media Wall* [en línea] ArchDaily, 2015 [Consulta: 21-10-2015] <http://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall>
- Clásicos de Arquitectura: Instituto del Mundo Árabe / Jean Nouvel* [en línea] Karina Duque, 2013 [Consulta: 20-10-2015] <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel>
- En Detalle: Fachadas Homeostáticas / Decker Yeadon Architects* [en línea] José Tomás Franco, 2011 [Consulta: 21-12-2015] <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-71008/fachadas-homeostaticas-para-edificios-verdes>

**Videos**

- Belatchew Arkitekter. Youtube. (25 jun. 2013). *Strawscaper - an urban power plant by Be-latchew Arkitekter* [Archivo de vídeo], 1:42. [Consulta: 20-10-2015] <https://www.youtube.com/watch?t=50&v=ZYcIn1Fj4ow>
- Ned Kahn. Youtube, (18 sept. 2006) *Articulated Cloud by Ned Kahn* [Archivo de vídeo], 2:31 <https://www.youtube.com/watch?v=nvkNdlKVP2Y> [Consulta: 20-10-2015]
- Charles Sowers Studios (2012). *Windswept* [Archivo de vídeo], 1:27. [Consulta: 20-10-2015] <https://vimeo.com/34887509#>
- ARUP. *The BIQ house*. [Archivo de vídeo], 5:19. [Consulta: 20-10-2015] [http://www.arup.com/homepage\\_imagining\\_buildings\\_of\\_the\\_future/biq\\_film.aspx](http://www.arup.com/homepage_imagining_buildings_of_the_future/biq_film.aspx)
- Giselbrechtzt. Youtube (11 jun. 2008) *Dynamic facade, "Kiefer technic showroom"* [Archivo de vídeo], 3:21. [Consulta: 20-10-2015] <https://www.youtube.com/watch?v=rAn4ldWjw2w>
- Stefan Rutzinger. Youtube. (1 sept. 2013) *Soma-kinetic façade* [Archivo de vídeo], 2:11. [Consulta: 20-10-2015] [https://www.youtube.com/watch?v=C2\\_H8peGhMw](https://www.youtube.com/watch?v=C2_H8peGhMw)
- Stefan Rutzinger. Youtube. (17 jul. 2012) *Soma-kinetic façade* [Archivo de vídeo], 3:04. [Consulta: 20-10-2015] <https://www.youtube.com/watch?v=-52gHW65lliA>
- Einstainmc2. Youtube. (8 dic. 2012) *Cooling buildings in Abu Dhabi's heat-CNN* [Archivo de vídeo], 3:24. [Consulta: 20-10-2015] <https://www.youtube.com/watch?v=BSEVoFi9MpQ>





# Bibliografía comentada

AAVV, *Manual de uso de términos meteorológicos*. Madrid: Agencia estatal de meteorología, 2014; 36 páginas

Este libreto, elaborado por un grupo de predictores y meteorólogos de distintas unidades operativas de AEMET, ayuda a comprender la semántica empleada en las distintas páginas de meteorología, así como a saber interpretar correctamente los datos aportados. Resulta fundamental para hacer un buen estudio del clima que se está estudiando.

FORTMEYER, Russell. *Kinetic architecture: designs for active envelopes*. Mulgrave: Images Publishing Group, 2014; 221 páginas

Este libro recoge cuatro artículos en referencia a las fachadas dinámicas redactados por los autores, así como 24 ejemplos de las mismas. Los artículos hablan desde los orígenes de las fachadas cinéticas hasta los avances que se están produciendo con vistas al futuro, así como un artículo de la Casa Tugendhat de Mies van der Rohe, donde se muestra el paso de una arquitectura pasiva a una activa. Los ejemplos aportados de fachadas cinéticas se encuentran agrupados por continentes, mostrando de cada uno de ellos el funcionamiento de las mismas, acompañados tanto por fotografías que ilustran su movimiento como por secciones o esquemas para su fácil comprensión. La reciente publicación de este libro hace que esté muy actualizado, incorporando las últimas tecnologías aplicadas en fachadas.

SCHITTICH, Christian. *Pieles nuevas: conceptos, capas, materiales*. Munich, en Detail, 2003; 196 páginas. Traducción alemana por Klaus E. Lehmann para Übersetzungen Hanns Schiefele

Detail es una revista de arquitectura y detalles constructivos, que también edita libros como el que se comenta. En él, se muestran conceptos de fachadas vanguardistas por arquitectos renombrados. Aunque cuando se publicó se presentó como un libro con envolventes energéticas y económicas con conceptos de fachadas inteligentes, dado que ha pasado más de una década se emplearán de él únicamente los 3 artículos que aparecen al principio. En ellos se habla de la evolución de la envolvente hasta la actualidad, así como de los aspectos funcionales, energéticos y constructivos de ésta, para finalizar con un artículo en el que ya se expone como la fachada como generadora de calor y corriente eléctrica.

WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus*. Barcelona: Gustavo Gili, 2014; 143 páginas

Este libro expone los conceptos de arquitectura pasiva, concretando en el estándar Passivhaus, y explorando su aplicación en el marco de los territorios de climas cálidos. De una manera más general habla en la introducción de las normativas energéticas actuales, así como de la evolución que han sufrido y de los requisitos que exigen para su cumplimiento. También habla de certificaciones no obligatorias, pero aconsejables al acercarse a edificios con menos emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Procedencia de las ilustraciones

01. Palacio de retiro imperial Katsura, Kioto, Japón (1615-1662). Tomado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Katsura#/media/File:Shokin-tei.jpg/> Consultado el 15.12.2015
02. Hardwick Hall, Derbyshire, Reino Unido (1590 - 1597). Tomado de <http://thebigartexchange.com/blog/2012/9/1/hardwick-hall.html/> Consultado el 17.10.2015
03. Casa de la Palmera Devon, Reino Unido (1841-1849). Tomado de <http://www.candidalycettgreen.co.uk/live/journalism/unwrecked-england-the-palm-house-bicton-devon/> Consultado el 15.12.2015
04. Almacenes Carson, Chicago, Estados Unidos (1899). Tomado de <http://urbanland.uli.org/wp-content/uploads/sites/5/2013/11/001-SullivanCenterSurroundings1-e1382642501733-1024x882.jpg/> Consultado el 18.10.2015
05. Detalle de la sección de la fachada de la Fábrica Steiff. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture: designs for active envelopes*. (Mulgrave: Images Publishing Group, 2014). Imagen escaneada página 16.
06. Imagen exterior de la Fábrica Steiff, Giengen, Alemania (1903-1908). Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 17.
07. Sistema *mur neutralisant y respiration exacte* en el Centrosoyuz, Moscú, Rusia (1933). Tomado de Ignacio Requena Ruiz, *El dibujo de lo intangible. Luz, ventilación y bioclimatismo en la obra de Le Corbusier*. (APEGA 2010). Imagen escaneada Figura 2.
08. Edificio Centrosoyuz en la actualidad. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 19.
09. Vista exterior de las ventanas abatibles en el St. George's middle School. Fotografía de Simon Kirwan, The Lightbox: <http://lightboxuk.photoshelter.com/gallery/St-Georges-School-Wallasey-the-Solar-School/G0000JriOKC3ni50/> Consultado el 20.10.2015
10. Vista interior de las ventanas abatibles en el St. George's middle School. Fotografía de Simon Kirwan, The Lightbox. Consultado el 20.10.2015
11. Imagen del sistema solar pasivo original del St. George's middle School, Cheshire, Reino Unido (1961). Fotografía de Simon Kirwan, The Lightbox. Consultado el 20.10.2015
12. Vista exterior en el 2012 del Occidental Chemical Building, Nueva York, Estados Unidos (1980). Fotografía de Charles D. Linn, <http://www.en-clos.com/site-info/news/the-poetry-pitfalls-and-potential-of-kinetic-facades-part-two/> Consultado el 21.10.2015



13. Sección por fachada del Occidental Chemical Building. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 25.
14. Imagen de la cámara de aire del Occidental Chemical Building. Imagen de Cannon Design, <http://www.arch.ttu.edu/courses/2013/fall/5334/Students/King/06/Default.htm/> Consultado el 21.10.2015
15. Francis Soler, fachada de 94 viviendas en París, Francia (1997). Tomado de <http://soler.fr/projet/durkheim/> Consultado el 16.12.2015
16. Imágenes aplicadas en la fachada de las 94 viviendas en París. Tomado de <https://in.pinterest.com/pin/512847476296446236/> Consultado el 16.12.2015
17. H&M, fachada de la biblioteca en Eberswalde, Alemania (1999). Tomado de <http://www.ib.hu-berlin.de/~eplass/glasgow.htm/> Consultado el 16.12.2015
18. Ilustraciones fotográficas que revisten la fachada de la biblioteca en Eberswalde. Tomado de <https://www.pinterest.com/pin/100697741638823242/> Consultado el 16.12.2015
19. Imagen nocturna de Times Square, Nueva York, Estados Unidos. Imagen de Andrey Bayda tomada de <http://www.shutterstock.com/g/duha127/sets/34151-usa/> Consultado el 18.12.2015
20. Toyo Ito, Torre de los vientos en Yokohama, Japón (1986). Tomado de [http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project\\_Descript/1980-/1980-p\\_o8/1980-p\\_o8\\_en.html/](http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project_Descript/1980-/1980-p_o8/1980-p_o8_en.html/) Consultado el 18.12.2015
21. Diafragmas móviles de la fachada del Instituto del Mundo Árabe. Tomado de <http://filt3rs.net/case/solar-diaphragms-ima-nouvel-478/> Consultado el 23.12.2015
22. Vista exterior del Instituto del Mundo Árabe, París, Francia (1987). Tomado de <http://www.mimoo.eu/projects/France/Paris/Arab%20World%20Institute/> Consultado el 23.12.2015
23. Vista exterior de la Torre Commerzbank, Frankfurt, Alemania (1997). Tomado de <http://www.fosterandpartners.com/es/projects/commerzbank-headquarters/> Consultado el 23.12.2015
24. Fachadas interior y exterior de la Torre Commerzbank. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 36.
25. Vista exterior de The Helicon, Londres, Reino Unido (1997). Tomado de <http://www.mimoo.eu/projects/United%20Kingdom/London/1%20South%20Place/> Consultado el 23.12.2015
26. Aberturas de las lamas venecianas de The Helicon. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 37.
27. Imagen del exterior del British Pavillion y detalles del muro de agua y

- de la cubierta sombreada. Tomado de <http://grimshaw-architects.com/project/british-pavilion-expo/> Consultado el 23.12.2015
28. Imagen exterior de la librería de Phoenix, Estados Unidos (1995). Tomado de <http://www.dwlarchitects.com/projects/burton-barr-central-library-phoenix-arizona/> Consultado el 23.12.2015
  29. Detalle de las telas pretensadas de la fachada norte en la librería de Phoenix. Tomado de <https://www.pinterest.com/pin/328622104031321666/> Consultado el 23.12.2015
  30. Maison Tropicale, República del Congo (1949-1952). Tomado de [https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Maisons\\_Tropicales/](https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Maisons_Tropicales/) Consultado el 23.12.2015
  31. Vista exterior del Aurora Place, Sídney, Australia (1997-2000) y fachada del edificio residencial. Tomado de <http://www.sydneyarchitecture.com/cbd/cbd4-009.htm/> Consultado el 26.12.2015
  32. Detalles interior y exterior de las lamas metálicas motorizadas del Aurora Place. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imágenes escaneadas página 35.
  33. Vista exterior del museo Paul Klee, Berna, Suiza (1995-2005). Tomado de <http://www.arkigrafico.com/museo-las-tres-colinas-del-zentrum-paul-klee-obra-de-renzo-piano/> Consultado 26.12.2015
  34. Detalle de las lamas metálicas exteriores en el museo Paul Klee. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 35.
  35. Detalle del sombreado de la cubierta. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 210.
  36. Conservatorios en Gardens by the Bay, Singapur (2012). Tomado de <http://www.homedsgn.com/2012/06/26/gardens-by-the-bay-by-grant-associates-and-wilkinson-eyre-architects/gardens-by-the-bay-17-3/> Consultado el 26.12.2015
  37. Fachada dinámica en el Kiefer Technic Showroom, Estiria, Austria (2007). Tomado de <http://www.e-architect.co.uk/austria/kiefer-technic-showroom/> Consultado el 26.12.2015
  38. Pabellón de Venezuela de la Expo 2000 en Hannover, Alemania. Tomado de <http://musarq.blogspot.com.es/2015/03/frei-otto-se-va-premiado.html/> Consultado el 26.12.2015
  39. Vista exterior Eden, Cornwall, Reino Unido (2003). Tomado de <http://www.yha.org.uk/hostel/eden-project/> Consultado el 26.12.2015
  40. Vista exterior del National Aquatics Center en Beijing, China (2008). Tomado de <http://www.china-memo.com/beijing-olympic-green.html/> Consultado el 26.12.2015

41. Vista exterior de la BIQ house en Hamburgo, Alemania (2013). Tomado de <http://inhabitat.com/the-worlds-first-algae-powered-building-opens-in-hamburg/> Consultado el 26.12.2015
42. Paneles con microalgas en la BIQ house. Tomado de <http://www.labioguia.com/notas/biq-house-un-edificio-vivo/> Consultado el 26.12.2015
43. Vista exterior del RMIT, Australia (2012). Tomado de Fernando Márquez y Richard LEVENE. "Sean Godsell. 1997-2013". *El croquis*, nº165 (2014). Imagen escaneada página 158
44. Fachada dinámica del RMIT. Tomado de <https://www.pinterest.com/pin/406379566347551500/> Consultado el 26.12.2015
45. Sistema Helio Trace del estudio SOM en colaboración con ABI. Tomado de <http://www.arketipomagazine.it/it/heliotrace/> Consultado el 27.12.2015
46. Sistema Tessellate del grupo ABI. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 218.
47. Sistema ICSF incorporado en los laboratorios del SyracuseCOE, Estados Unidos. Tomado de <http://www.jetsongreen.com/2010/03/testing-a-new-dynamic-solar-facade.html/> Consultado el 27.12.2015
48. Fachada homeostática, vista exterior y detalle interior. Imágenes de Decker Yeadon Architects, tomado de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-71008/fachadas-homeostaticas-para-edificios-verdes/> Consultado el 27.12.2015
49. Children's Museum: detalle de segunda piel. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 94.
50. Children's Museum: fachada exterior. Tomado de <https://pittsburghkids.org/visit/> Consultado el 23.11.2015
51. Children's Museum: aproximación a la piel exterior y detalle de las solapas. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 98.
52. Children's Museum: vista exterior del pabellón nuevo. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 95.
53. Children's Museum: sección de las fachadas norte, sur y oeste. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 98.
54. Abu Dhabi Investment Council: vista exterior de las dos torres. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 183.
55. Abu Dhabi Investment Council: detalle de la fachada. Tomado de <http://architizer.com/blog/7-intelligent-buildings-that-prove-digitally-driven-design-works/> Consultado el 27.11.2015



56. Abu Dhabi Investment Council: diagrama de la celosía mashrabiya. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 181.
57. Abu Dhabi Investment Council: aberturas de los paneles y sección por fachada. Tomado de [https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Torres\\_Al\\_Bahar/](https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Torres_Al_Bahar/) Consultado el 27.11.2015
58. Abu Dhabi Investment Council: detalle de la cámara. Tomado de Russel Fortmeyer, *Kinetic architecture...* Imagen escaneada página 182.
59. RMIT: discos móviles de la fachada. Tomado de <http://www.arquitecturayempresa.es/noticia/fachadas-dinamicas-nuevo-edificio-del-rmit/> Consultado el 27.11.2015
60. RMIT: vista exterior. Tomado de AAVV. *El croquis, Sean Godsell. 1997-2013* nº165 Madrid: El croquis Editorial, 2014. Imagen escaneada página 158.
61. RMIT: sección de la doble fachada e imagen de la cámara de gas argón. Tomado de AAVV. *El croquis, Sean Godsell...* Imagen escaneada página 184.
62. MEDIA-TIC: vista exterior de la fachada principal. Tomado de Enric Ruiz Geli, *Media-Tic*. Barcelona: Actar D, 2011. Imagen escaneada página 45.
63. MEDIA-TIC: detalle fachada sureste de EFTE. Tomado de Enric Ruiz Geli, *Media-Tic...* Imagen escaneada página 224.
64. MEDIA-TIC: distintos tipos de cojines. Tomado de Enric Ruiz Geli, *Media-Tic...* Imagen escaneada página 234.
65. MEDIA-TIC: detalle de unión entre estructura secundaria y cojines. Tomado de Enric Ruiz Geli, *Media-Tic...* Imagen escaneada página 242.
66. MEDIA-TIC: esquema de producción de niebla. Tomado de Enric Ruiz Geli, *Media-Tic...* Imagen escaneada página 251.

