

# Arquitectura, clima y meteoros

## Calentamiento climático y arquitectura

Estamos en deuda con el físico irlandés John Tyndall por haber descubierto en 1859 que el  $\text{CO}_2$  es opaco a ciertas longitudes de onda del espectro de los infrarrojos, en especial a las que emite la Tierra hacia el espacio. Estas ondas quedan atrapadas en la atmósfera terrestre y provocan el calentamiento climático. En el pasado, el  $\text{CO}_2$  estaba perfectamente integrado en el ciclo del carbono. Al quemar madera se emitía  $\text{CO}_2$ , pero enseguida era absorbido por los árboles en crecimiento, que lo atrapaban para convertir el carbono en material tangible y liberaban el oxígeno que necesitamos los seres humanos para respirar. Pero el descubrimiento del carbono fósil —es decir, de todas esas formas de energía escondidas en el subsuelo de nuestro planeta y que había sustraído de la atmósfera des-

Documento con fines educativos extraído de Philippe Rahm, 2021, *Escritos climáticos*. Puente editores, Barcelona.

de tiempos inmemoriales, como el gas natural, el carbón o el petróleo— alteró el ciclo ecológico del carbono.

A partir del siglo XIX, se comenzaron a quemar estos combustibles fósiles de carbono y los árboles no bastaban para absorber tal cantidad de  $\text{CO}_2$ . Este  $\text{CO}_2$  quedó suspendido en el aire y fue bloqueando cada vez más los infrarrojos emitidos por la Tierra, lo que ha provocado un inexorable calentamiento del planeta. Sus consecuencias se han hecho patentes durante estos últimos años, de modo que la lucha contra las emisiones de  $\text{CO}_2$  se ha convertido en una prioridad. Y aquí entra en juego la arquitectura, ya que el sector de la construcción es responsable del 39% de las emisiones mundiales, muy por encima del transporte aéreo, por ejemplo, que representa el 2%. De ese 39%, solo el 11% se debe a los materiales de construcción y al proceso edificatorio. El 28% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  de todo el planeta es producto del funcionamiento de los edificios a lo largo de su vida útil, principalmente por la calefacción y, en menor medida, por el aire acondicionado.

Resulta prioritario que actuemos para reducir este 28%, y podemos hacerlo incrementando el aislamiento térmico de los edificios. Con un espesor mínimo de 20cm, podríamos reducir al mínimo un gasto en calefacción que, a nivel mundial, depende todavía de los combustibles fósiles en un 85%. En contra de lo que suele decirse, el edificio

más ecológico es ante todo un edificio bien aislado térmicamente; que sea de madera o de hormigón es secundario. Un edificio de aluminio con 25 cm de aislamiento térmico será mucho más eficaz para combatir el calentamiento climático que un edificio de piedra con 8 cm de aislamiento. Sin embargo, esta es precisamente la recomendación de la normativa francesa, que resulta del todo insatisfactoria si la comparamos con las exigencias alemanas o suizas.

En nuestros proyectos, abordamos esta cuestión energética de la arquitectura, responsable directa del 28% del calentamiento climático. Al considerar que estos aspectos del rendimiento energético, la calefacción, la ventilación o la iluminación, constituyen la causa, el sujeto, objetivo y principal responsabilidad de la arquitectura, nos proponemos renovar los principios formales y funcionales de nuestra disciplina para que, en adelante, sea climáticamente comprometida y estéticamente sensual.

### **Ciudad meteorológica, arquitectura climática: repensar la disciplina arquitectónica en la era del calentamiento climático**

El calentamiento climático nos recuerda que la arquitectura es, en esencia, el arte de construir climas: las casa sirven para tener menos calor cuando las temperaturas son elevadas, para ponerse a la sombra cuando el sol aprieta, para calentarse cuando hace demasiado frío, para guarecerse cuando llue-

ve. Tradicionalmente, el urbanismo y la arquitectura se basaban en esta realidad climática y en sus consecuencias: la comodidad y la salud. Esto es lo que se desprende de los tratados de Vitruvio o de Leon Battista Alberti, donde la exposición al viento y al sol, los índices de humedad del aire y las temperaturas determinaban la forma de la ciudad y de los edificios. Estos motivos fundamentales del urbanismo y la arquitectura fueron ignorados en el transcurso del siglo XX gracias a la ingente cantidad de energía fósil empleada por las bombas, los motores, los refrigeradores, los sistemas de calefacción y climatización y que hoy provocan el efecto invernadero y el calentamiento climático.

En la batalla que tenemos por delante contra el calentamiento climático, ¿podríamos cambiar los métodos de elaboración del proyecto arquitectónico y urbano y convertir el clima y la meteorología en las auténticas herramientas de diseño? ¿Podemos basar una sección en un movimiento convectivo? ¿Y diseñar una planta conforme a los distintos grados de incidencia solar? ¿Y escoger un material según su valor de efusividad, o diseñar una fachada en función de la emisividad? ¿En qué consiste una ciudad meteorológica? ¿Qué es la arquitectura climática? Nuestros proyectos cuestionan la disciplina arquitectónica más allá de las asunciones posmodernas que, durante casi 60 años, han condenado a la arquitectura a no ser más que una forma simbólica, un constructo social y estético sin responsabilidad ecológica ni material.

# ¿Qué es la arquitectura meteorológica?

## **La arquitectura es el arte de construir climas**

El objeto de la arquitectura es el espacio, un espacio que se sustrae del espacio general de la atmósfera terrestre, que se encierra entre cuatro muros, un suelo y un techo porque solamente así, solamente confinando un determinado volumen podemos modificar las características físicas del aire (temperatura, humedad, velocidad, composición) y de la luz (espectro visible, infrarrojos, radiación ionizante y no ionizante). El objetivo es hacer de ese espacio un lugar habitable para el ser humano cuando el ambiente natural circundante es dema-

siado cálido o frío, demasiado húmedo, soleado o umbrío, cuando cae la lluvia o la nieve; es decir, cuando es inhabitable.

### **El ser humano habita la invisibilidad del aire, no la visibilidad de los muros**

La finalidad de la arquitectura es el vacío espacial en el que podemos penetrar, y no la compacidad del muro, que nos resulta inaccesible. En lugar de formas geométricas, el arquitecto debe diseñar climas. Su arte radica en modificar una porción del clima natural, en domesticar una cierta cantidad de atmósfera terrestre, en volver antrópico un espacio natural. La razón de ser de la arquitectura consiste en hacer habitable artificialmente un clima cuando, en su estado natural, resulta inhabitable para el ser humano. La misión de la arquitectura se basa en modificar los parámetros físicos de este clima para que podamos habitarlo. Todo el arte arquitectónico se fundamenta en mediciones térmicas, higrométricas, químicas o electromagnéticas.

¿Con qué medios cuenta? Paradójicamente, el arquitecto utiliza los lápices para trazar lo que es macizo (que se corresponde con los muros y, por tanto, no tiene ningún interés para él, excepto su capacidad para confinar el aire) y no lo que es vacío (que se corresponde con los espacios y constituye el objetivo último de la arquitectura). En los tiempos del estructuralismo y del posmodernismo, el arquitecto dirigía todo su esfuerzo hacia lo visible, pero

hoy deberá interesarse por lo invisible, ya que son estos huecos aéreos los que podemos habitar, y no la materia visible de los muros macizos. Por tanto, deberíamos modificar el proceso proyectual, trazar los vacíos en lugar de los macizos, diseñar el espacio y no los muros, representar el clima más que la opacidad de lo compacto, colorear el vacío y dejar en blanco el macizo.

Este cambio en el criterio de representación, esta traslación del centro de atención de lo visible a lo invisible tiene lugar gracias a las nuevas herramientas informáticas de representación de lo invisible: el aire, el vapor de agua, las ondas, la luz. En primer lugar, están los programas de modelización de los comportamientos físicos de los fluidos denominados CFD (Computational Fluid Dynamics: dinámicas de fluidos computacional), que permiten modelizar el aire y mostrar su movimiento convectivo en función de la gravedad y de las fuentes de calor o frío. Incluso es posible modelizar los movimientos del aire atendiendo a fenómenos de presión y depresión. También disponemos de aplicaciones informáticas con las que modelizar la luz, su incidencia, su reflexión superficial y su difusión en el espacio según la hora del día y la latitud. Además, contamos con la posibilidad de modelizar y representar los efectos de la conducción en las paredes, la radiación térmica que depende de la emisividad de los materiales. El conjunto de estas nuevas herramientas de modelización y representación per-

mite abordar la materia misma del espacio, trabajar directamente con el vacío, dar forma a lo invisible, manipular la atmósfera, construir el clima.

## **Cambio de paradigmas**

Desde que trabajamos con el propio espacio vacío y no con sus límites macizos, hemos constatado un cambio en la manera de proyectar. Ya no recurrimos a la geometría, a la morfología, a las combinaciones de puntos, líneas y superficies, a las relaciones de proporción entre conjuntos, a transformaciones geométricas, a la adición, la sustracción, la inclusión, la simetría..., sino que comenzamos a manejar toda una ciencia meteorológica que repentinamente nos ha relevado unos nuevos modos de composición arquitectónica: la convección, la conducción, la evaporación, la presión o la radiación. La geometría euclídea, como base del diseño del espacio y de las formas arquitectónicas, ha dado paso a la meteorología.

El aire caliente tiende a subir impulsado por la convección atmosférica: las masas de aire caliente ascienden y desplazan el aire más frío, que vuelve a caer en otro lugar más lejano. En la vivienda, hace más calor bajo el techo que sobre el suelo. Si pretendemos ahorrar energía, es preciso que aprovechemos la estratificación térmica natural. Nos quitaremos ropa en la parte más alta, nos la pondremos en la más baja. Nos bañaremos arriba, dormiremos abajo. Así va tomando forma el espa-



cio en función de principios meteorológicos, así se diseña una sección basada en la meteorología y no en la geometría. Por supuesto, el principal objetivo es bajar las emisiones de  $\text{CO}_2$  para reducir el calentamiento climático, ya que el 90 % de la energía consumida para alimentar la calefacción todavía proviene de combustibles fósiles. Al quitarnos ropa en la parte más alta, aprovechamos las pérdidas naturales de calor que parten del suelo hacia el techo y templan el aire. Reducir la calefacción en los edificios debe ser la primera medida para disminuir las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

El espacio puede concebirse mediante principios formales meteorológicos, en lugar de geométricos, gracias a la representación de los flujos de aire que se producen inevitablemente en los edificios como consecuencia de la ventilación necesaria para eliminar la humedad del aire y renovar el oxígeno. De este modo, podemos acometer el diseño de un edificio en torno a este flujo de aire y conseguir que esta corriente de aire vertebré todo el espacio, acomodando el flujo y las variaciones de velocidad a los distintos usos de cada zona. La ventilación deberá ser más intensa en una sala de reuniones, ocupada por muchas personas que van a respirar y emitir vapor de agua, que en una biblioteca, cuya superficie está repleta de libros, que no respiran, y a la que acceden menos personas. Cuando ventilamos en invierno debemos calentar el aire exterior aportado para elevar la temperatura

hasta el nivel de confort humano, alrededor de los 21°C, lo que supone un nuevo gasto energético.

Debemos tener en cuenta, por tanto, que para combatir el cambio climático debemos limitar al mínimo la ventilación o, más exactamente, debemos renovar el aire de una dependencia según unos valores muy precisos que varían según su número de ocupantes y la actividad que desempeñan en ella (cuanto más intensa es la actividad física, con más frecuencia deberemos renovar el aire). De este modo, si una sala está ocupada por personas y libros, podemos disponerlos en función de las corrientes de aire, diseñando el espacio y el edificio como un río, que contará con aceleraciones (torrentes) y deceleraciones (lagos), con una zona central de flujo más rápido y laterales donde el aire se remansa. Mediante el diseño de este flujo podremos, por otra parte, intervenir en la forma y en la textura de la ciudad para diluir, dispersar o concentrar estas partículas finas, o evitar los callejones sin salida para que el viento circule a lo largo de todas las calles, ubicar los lugares de trabajo allí donde la velocidad del viento sea mayor, y los libros en aquellos otros lugares donde el aire está más calmado. Así dejaremos de renovar el aire inútilmente en las bibliotecas y ahorraremos energía. Si nos apoyamos en la mecánica de fluidos en lugar de en la geometría euclidiana, podremos resolver las cuestiones espaciales, luchar contra el cambio climático e idear nuevas formas con crite-

rios meteorológicos que dejen atrás la mera plasticidad.

Como último ejemplo, hablaremos de la iluminación. Si cartografiamos la distribución natural de la luz, descubriremos qué lugares reciben de media una mayor incidencia y podremos establecer toda una gradación de intensidad lumínica. Destinaremos a áreas de trabajo aquellas regiones que cuenten con una mejor iluminación y ocuparemos las más oscuras con almacenes. Más allá de este primer reparto, podemos diseñar el espacio de acuerdo con esta gradación luminosa incorporando formas que aprovechen la máxima aportación solar, algo que permitirá ahorrar energía tanto en iluminación como en calefacción.

Estos ejemplos ilustran cómo es posible diseñar la arquitectura a partir del vacío dejando a un lado los macizos, cómo es posible proyectar un edificio a partir del espacio dejando a un lado los muros. La arquitectura se fundamenta en este caso en la meteorología y no tanto en la geometría, y aprovecha fenómenos climáticos para reducir el consumo energético mientras redibuja esos vacíos y esos espacios, al tiempo que descubre nuevas formas de vivir y de habitar.

### **Lo que dice el macizo y lo que hace el macizo**

Es preciso comentar un aspecto acerca de lo macizo, de aquellas barreras levantadas para contener el aire de la vivienda que son los muros, el techo

y el suelo. ¿Cuál es su naturaleza, de qué están hechos, cómo afectan al vacío que encierran? La arquitectura estructuralista posmoderna los consideraba signos que debían comunicar algo. Si era de mármol, el muro decía: «soy rico». Si era de piedra caliza, decía: «soy parisino». Si era negro, decía: «soy rock 'n' roll». Con la arquitectura meteorológica, el muro ya no dirá nada, pero nos aseguraremos de que su composición química no contamine el aire por emitir compuestos orgánicos volátiles que puedan resultar cancerígenos; de que no haga descender la temperatura interior porque su conducción térmica sea demasiado elevada; de que esté o bastante aislado para que en invierno no lo atraviese el frío del exterior, lo que nos obligará a consumir más gasóleo para mantener caliente el interior de la vivienda y fomentará, en consecuencia, el calentamiento climático.

Si analizamos los materiales de construcción en clave meteorológica y no en clave lingüística, los escogeremos por su coeficiente de emisividad y de efusividad. Esto nos permitirá saber si al sentarme en el suelo voy a perder temperatura o mantenerla. Si la efusividad del pavimento es elevada (como en el caso del mármol), el contacto con él absorberá mi calor corporal y sentiré frío, de modo que en invierno necesitaré calentar más la habitación y seré cómplice de un nefasto incremento de las emisiones de efecto invernadero. También es interesante controlar la efusividad de muros y techos, ya que

una alta emisividad hará que el material capte en invierno el calor que desprende mi cuerpo por radiación, notaré frío y me veré nuevamente obligado a consumir energía y contribuir al calentamiento climático.

En este caso, los criterios de decisión, los valores en los que se sustentan las elecciones han experimentado un cambio radical entre el estructuralismo de la posguerra y el enfoque climático de la actualidad. Escoger un material para una fachada o para el tabique de una habitación ya no dependen de una voluntad narrativa, simbólica o metafórica, sino de un propósito climático, energético y sanitario.

### **Cómo la ciudad, que se estructuraba según una perspectiva visual, se estructura hoy en función de una corriente de aire.**

A escala urbana también se están experimentando profundos cambios de paradigma. Durante la primera mitad del siglo XX, el coche y los medios de transporte en general reorganizaron los trazados de las calles y el tejido urbano. En la segunda mitad del siglo, el sector turístico y la preservación de la memoria histórica transformaron la ciudad europea en obra de arte, con un mero valor simbólico, mientras que, en los climas desérticos o tropicales, el aire acondicionado permitió ciudades que solo podían subsistir gracias a un desorbitado consumo de energía fósil, con lo que se devaluaron el

espacio público exterior, la sombra, el frescor de una fuente, y se fomentaron los espacios interiores climatizados.

En la actualidad se están reorganizando totalmente los mocos de urbanización. El vehículo da paso a sistemas de movilidad que dependen del carbono, donde el espacio público gana protagonismo como lugar compartido de frescor en verano y calor en invierno, al tiempo que se reconoce la importancia del trazado de los vacíos, las calles y plazas en movimiento de unos vientos que refrescan en verano y eliminan del aire las partículas contaminantes.

### **Cómo la arquitectura puede convertirse en meteorológica**

Asistimos hoy a un cambio de tendencia que nos obliga a reinventar la arquitectura y el urbanismo para responder a la gravedad del calentamiento climático, a las olas de calor y sus efectos sobre la contaminación. Los planteamientos estructuralistas y posmodernos deben dejar paso a razonamientos basados en el clima, la poscrítica y el nuevo realismo. Es, por tanto, necesario recuperar los fundamentos climáticos, energéticos y sanitarios de la arquitectura y el urbanismo, ya que es urgente que superemos la dependencia de las energías fósiles, que reduzcamos las emisiones de CO<sub>2</sub> y que atajemos las olas de calor y la contaminación atmosférica.