

# Conceptos y técnicas de la Arquitectura Bioclimática

**Resumen:** Siendo el sol la principal fuente energética que afecta al diseño bioclimático, es importante tener una idea de su trayectoria en las distintas estaciones del año.(V)

## Publicación enviada por Bioclimatico

- [Trayectoria solar](#)
- [Radiación directa, difusa y reflejada](#)
- [Formas de transmisión del calor](#)
- [Capacidad calorífica e inercia térmica](#)
- [Confort térmico](#)
- [Efecto invernadero](#)
- [Fenómenos convectivos naturales](#)
- [Calor de vaporización](#)
- [Efecto climático del suelo](#)
- [Pérdida de calor en viviendas \(invierno\)](#)
- [Microclima y ubicación](#)
- [Ubicación](#)
- [Forma y orientación](#)
- [Captación solar pasiva](#)
- [Aislamiento y masa térmica](#)
- [Ventilación](#)
- [Aprovechamiento climático del suelo](#)
- [Espacios tapón](#)
- [Protección contra la radiación de verano](#)
- [Sistemas evaporativos de refrigeración](#)

## Trayectoria solar

Siendo el sol la principal fuente energética que afecta al diseño bioclimático, es importante tener una idea de su trayectoria en las distintas estaciones del año.

Como se sabe, la existencia de las estaciones está motivada porque el eje de rotación de la tierra no es siempre perpendicular al plano de su trayectoria de traslación con respecto al sol, sino que forma un ángulo variable dependiendo del momento del año en que nos encontremos.

Sin entrar en detalles técnicos, y particularizando para el hemisferio norte, por encima del trópico de Cáncer (es decir, una situación geográfica en la que está España):

- Hay sólo dos días del año en los que el eje de rotación es perpendicular al plano de traslación: el equinoccio de primavera (22 de marzo) y el equinoccio de otoño (21 de septiembre). En estos días, el día dura exactamente lo mismo que la noche, y el sol sale exactamente por el este y se pone por el oeste.
- Después del equinoccio de primavera, los días son cada vez más largos, y el sol alcanza cada vez mayor altura a mediodía. La salida y la puesta de sol se desplazan hacia el norte (es decir, tiende a salir cada vez más por el nordeste y a ponerse por el noroeste). Esta tendencia sigue hasta el solsticio de verano (21 de junio), el día más largo del año, para seguir después la tendencia contraria hasta llegar al equinoccio de otoño.
- Después del equinoccio de otoño, los días son cada vez más cortos, y el sol cada vez está más bajo a mediodía. La salida y la puesta de sol se desplazan hacia el sur (es decir, tiende a salir cada vez más por el sudeste y a ponerse por el sudoeste). Esta tendencia sigue hasta el solsticio de invierno (21 de diciembre), el día más corto del año, para seguir después la tendencia contraria hasta llegar al equinoccio de primavera.

Para hacerse una idea, en una ciudad tal como Cáceres, en los equinoccios, la elevación alcanzada por el sol a mediodía son unos  $50^\circ$  sobre la horizontal. Avanzando hacia el solsticio de verano, el sol cada vez se eleva más, hasta los  $74^\circ$  (nunca llega a estar vertical), y avanzando hacia el solsticio de invierno, el sol cada vez está más bajo, hasta los  $27^\circ$ . En cuanto a la salida y puesta, en el solsticio de invierno, se llegan a desplazar  $31^\circ$  hacia el sur, y en el solsticio de verano  $21^\circ$  hacia el norte.

También hay que tener en cuenta que el horario solar no es el horario oficial. Por ejemplo, en Cáceres, para calcular la hora solar hay que restar a la oficial 2h 25' en verano y 1h 25' en invierno.

Estas trayectorias solares que acabamos de describir tienen una consecuencia clara sobre la radiación recibida por fachadas verticales: en invierno, la fachada sur recibe la mayoría de radiación, gracias a que el sol está bajo, mientras que las otras orientaciones apenas reciben radiación. En verano, en cambio, cuando el sol está más vertical a mediodía, la fachada sur recibe menos radiación directa, mientras que las mañanas y las tardes castigan especialmente a las fachadas este y oeste, respectivamente.

## Radiación directa, difusa y reflejada

La energía solar incidente en una superficie terrestre se manifiesta de tres maneras diferentes:

- La radiación directa es, como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol.
- La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste.
- La radiación reflejada es, como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben.

Para hacerse una idea, en Cáceres, en un día medio de marzo, la energía directa supone  $2,09 \text{ Kwh/m}^2$ , mientras que la energía difusa es  $1,91 \text{ Kwh/m}^2$ , es decir, la difusa es un 48% del total, mientras que en un día medio de agosto, la directa supone  $6,00 \text{ Kwh/m}^2$ , mientras que la difusa es  $2,08 \text{ Kwh/m}^2$ , en este caso, un porcentaje del 25%. Esto se debe a que en agosto está menos nublado que en marzo.

## Formas de transmisión del calor

Es importante tener presentes los mecanismos de transmisión del calor para comprender el comportamiento térmico de una casa. Microscópicamente, el calor es un estado de agitación molecular que se transmite de unos cuerpos a otros de tres formas diferentes:

Conducción. El calor se transmite a través de la masa del propio cuerpo. La facilidad con que el calor "viaja" a través de un material lo define como conductor o como aislante térmico. Ejemplos de buenos conductores son los metales, y de buenos aislantes, los plásticos, maderas, aire. Este es el fenómeno por el cual las viviendas pierden calor en invierno a través de las paredes, lo que se puede reducir colocando un material que sea aislante. El coeficiente de conducción térmica de un material es una medida de su capacidad para conducir el calor.

Convección. Si consideramos un material fluido (en estado líquido o gaseoso), el calor, además de transmitirse a través del material (conducción), puede ser "transportado" por el propio movimiento del fluido. Si el movimiento del fluido se produce de forma natural, por la diferencia de temperaturas (aire caliente sube, aire frío baja), la convección es natural, y si el movimiento lo produce algún otro fenómeno (ventilador, viento), la convección es forzada.

Radiación. Todo material emite radiación electromagnética, cuya intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre. La radiación infrarroja provoca una sensación de calor inmediata (piénsese en una estufa de butano, por ejemplo). El sol nos aporta energía exclusivamente por radiación.

## Capacidad calorífica e inercia térmica

Si a un cuerpo le aportamos calor, este eleva su temperatura. Si lo hace lentamente decimos que tiene mucha capacidad calorífica, puesto que es capaz de almacenar mucho calor por cada grado centígrado de temperatura. Las diferencias de capacidad calorífica entre el agua y el aceite, por ejemplo, (mayor la primera que el segundo) es lo que hace que, al fuego, el agua tarde más en calentarse que el aceite, pero también que el agua "guarde" más el calor.

Se llama calor específico de un material (en Kcal/Kg°C) a la cantidad de calor que hay que suministrarle a 1 Kg para que eleve su temperatura 1°C.

La capacidad calorífica y el almacenamiento de calor traen aparejados ciertos fenómenos. Por ejemplo: en casa, en invierno, cuando encendemos la estufa al llegar por la tarde, la habitación tarda en alcanzar una temperatura agradable, y cuando la apagamos, por la noche, la temperatura de la habitación todavía es buena y no se enfría inmediatamente. Esto ocurre también en las estaciones: en el hemisferio norte, el 21 de abril (equinoccio de primavera) el sol está en la misma posición que el 21 de septiembre (equinoccio de otoño), y sin embargo, las temperaturas son mayores en esta última fecha, por la sencilla razón de que la tierra todavía "guarda" el calor del verano, que irá perdiendo poco a poco. Esta "resistencia" de la temperatura a reaccionar inmediatamente a los aportes de calor es lo que llamamos inercia térmica.

Este es un concepto importante en las viviendas bioclimáticas: si tienen poca inercia térmica, reaccionarán rápidamente a la radiación solar, calentándose pronto durante el día (hablamos del invierno), pero también por la noche se enfrían más rápido: el retardo entre los aportes de calor y la temperatura alcanzada es pequeño. En cambio, en viviendas con gran inercia térmica, la radiación solar no provocará una subida rápida de la temperatura de la casa, porque el calor se está almacenando, y posteriormente se libera lentamente por la noche, por lo que no se producirá una disminución brusca de temperatura; además, las variaciones de temperatura se amortiguan, no alcanzando valores tan extremos.

Entonces, la inercia térmica en una vivienda lleva aparejado dos fenómenos: el de retardo (de la temperatura interior respecto a la temperatura exterior), y el de amortiguación (la variación interior de temperatura no es tan grande como la variación exterior).

## Confort térmico

Muchos tenemos la idea intuitiva de que nuestro confort térmico depende fundamentalmente de la temperatura del aire que nos rodea, y nada más lejos de la realidad.

Podemos decir que nuestro cuerpo se encuentra en una situación de confort térmico cuando el ritmo al que generamos calor es el mismo que el ritmo al que lo perdemos para nuestra temperatura corporal normal. Esto implica que, en balance global, tenemos que perder calor permanentemente para encontrarnos bien, pero al "ritmo" adecuado. Influyen varios factores:

### Factores que influyen en el ritmo de generación de calor

Actividad física y mental. Nuestro cuerpo debe generar calor para mantener nuestra temperatura corporal, pero también es un "subproducto" de nuestra actividad física y mental. Para una situación de reposo, el cuerpo consume unas 70 Kcal / hora, frente a una situación de trabajo, donde se pueden consumir hasta 700 Kcal / h para un ejercicio físico intenso.

Metabolismo. Cada persona tiene su propio metabolismo y necesita sus propios ritmos para evacuar calor.

### Factores que influyen en el ritmo de pérdida de calor

Aislamiento natural del individuo. El tejido adiposo (grasa) y el vello, son "materiales" naturales que aíslan y reducen las pérdidas de calor. La cantidad de cada uno de ellos depende del individuo.

Ropa de abrigo. La ropa de abrigo mantiene una capa de aire entre la superficie de nuestro cuerpo y el tejido que nos aísla térmicamente. Aunque la ropa de abrigo provoca una sensación de calentamiento del organismo, en realidad lo único que hacen es reducir las pérdidas de calor pues, evidentemente, no consumen energía ninguna y, por tanto, no producen calor. Como no consumen, es el mecanismo más barato energéticamente hablando para regular la temperatura del cuerpo. En nuestras pretensiones de climatización de la vivienda, debemos considerar esta solución de una manera razonable, es decir, por ejemplo, en invierno, tan exagerado sería climatizar para estar siempre en camiseta (los costes energéticos se disparan), como para estar siempre con abrigo (demasiado incómodo). Es absurdo, más que ser un símbolo de estatus, el pretender tener una casa climatizada donde podamos estar en invierno en manga corta y en verano con jersey.

Temperatura del aire. Es el dato que siempre se maneja pero, como decíamos, no es el fundamental a la hora de alcanzar el confort térmico.

Temperatura de radiación. Es un factor desconocido, pero tan importante como el anterior. Está relacionado con el calor que recibimos por radiación. Podemos estar confortables con una temperatura del aire muy baja si la temperatura de radiación es alta; por ejemplo, un día moderadamente frío de invierno, en el campo, puede ser agradable si estamos recibiendo el calor del sol de mediodía; o puede ser agradable una casa en la cual la temperatura del aire no es muy alta (15°C), pero las paredes están calientes (22°C). Esto es importante, porque suele ocurrir en las casas bioclimáticas, en donde la temperatura del aire suele ser menor que la temperatura de las paredes, suelos y techos, que pueden haber sido calentadas por el sol.

Movimiento del aire. El viento aumenta las pérdidas de calor del organismo, por dos causas: por infiltración, al internarse el aire en las ropas de abrigo y "llevarse" la capa de aire que nos aísla; y por aumentar la evaporación del sudor, que es un mecanismo para eliminar calor (ver más adelante "calor de vaporización").

Humedad del aire. La humedad incide en la capacidad de transpiración que tiene el organismo, mecanismo por el cual se elimina el calor. A mayor humedad, menor transpiración. Por eso es más llevadero un calor seco que un calor húmedo. Un valor cuantitativo importante es la

humedad relativa, que es el porcentaje de humedad que tiene el aire respecto al máximo que admitiría. La humedad relativa cambia con la temperatura por la sencilla razón de que la máxima humedad que admite el aire cambia con ella.

## **Efecto invernadero**

Es el fenómeno por el cual la radiación entra en un espacio y queda atrapada, calentando, por tanto, ese espacio. Se llama así porque es el efecto que ocurre en un invernadero, que es un espacio cerrado por un acristalado. El vidrio se comporta de una manera curiosa ante la radiación: es transparente a la radiación visible (por eso vemos a través de él), pero opaco ante radiación de mayor longitud de onda (radiación infrarroja). Cuando los rayos del sol entran en un invernadero, la radiación es absorbida por los objetos de su interior, que se calientan, emitiendo radiación infrarroja, que no puede escapar pues el vidrio es opaco a la misma.

El efecto invernadero es el fenómeno utilizado en las casas bioclimáticas para captar y mantener el calor del sol.

## **Fenómenos convectivos naturales**

Como ya dijimos, la convección es un fenómeno por el cual el aire caliente tiende a ascender u el frío a descender. Es posible utilizar la radiación solar para calentar aire de tal manera que, al subir, escape al exterior, teniendo que ser sustituido por aire más frío, lo cual provoca una renovación de aire que se denomina ventilación convectiva. El dispositivo que provoca este fenómeno se denomina chimenea solar.

En un espacio cerrado, el aire caliente tiende a situarse en la parte de arriba, y el frío en la de abajo. Si este espacio es amplio en altura, la diferencia de temperaturas entre la parte alta y la parte baja puede ser apreciable. Este fenómeno se denomina estratificación térmica. Dos habitaciones colocadas a diferentes alturas, pero comunicadas entre sí, participan de este fenómeno, y resultará en que la habitación alta esté siempre más cálida que la baja.

## **Calor de vaporización**

Cuando un cuerpo pasa de estado líquido a gaseoso, necesita absorber una cantidad de calor que se denomina calor de vaporización. Entonces el agua, al evaporarse, necesita calor, que adquiere de su entorno inmediato, enfriándolo. Por eso los lugares donde hay agua están más frescos.

Las plantas están transpirando continuamente, eliminando agua en forma de vapor. Por eso los lugares donde hay plantas están también más frescos.

El agua de un botijo permanece fresca a pesar de que haga calor, gracias a que el barro de que está hecho es permeable al vapor de agua, permitiendo entonces la evaporación de parte del agua interior, que refresca la masa de agua restante.

## **Efecto climático del suelo**

El suelo tiene mucha inercia térmica (ya explicamos lo que es esto), lo que amortigua y retarda las variaciones de temperatura, entre el día y la noche, e incluso entre estaciones. La amortiguación de temperatura que se produce depende de la profundidad y del tipo de suelo. Para amortiguar las variaciones día - noche el espesor debe ser de 20 - 30 cm, para amortiguar las variaciones entre días de distintas temperaturas, espesor de 80 a 200 cm, y para amortiguar variaciones invierno - verano, espesores de 6 - 12 m.

Aunque en la práctica no sea factible grandes profundidades en enterramientos de viviendas, si que han surgido proyectos de viviendas semienterradas para tratar de aprovechar esta capacidad de amortiguamiento del suelo.

## Pérdida de calor en viviendas (invierno)

Ya hemos hablado de los tres mecanismos de transmisión del calor. En una vivienda, los tres funcionan para producir pérdidas de calor. En el interior de la casa, el calor se transmite entre los paramentos (muros, techos, suelos) principalmente por radiación, y entre los paramentos y el aire interior principalmente por convección. El calor "viaja" a través de los paramentos por conducción, hasta alcanzar el exterior de la casa, donde se disipa por convección y radiación. Para reducir las pérdidas de calor, se actúa principalmente sobre el fenómeno de conducción a través de los paramentos, intercalando una capa de material térmicamente aislante.

Hay que cuidar los llamados puentes térmicos, que son lugares de refuerzo o juntas de los paramentos que pueden estar contruidos con materiales diferentes al resto, existiendo por tanto una discontinuidad de la capa aislante. Estos lugares pueden convertirse en vías rápidas de escape del calor.

Sin embargo existe otra causa de pérdida de calor: la ventilación. Para que una casa sea salubre necesita un ritmo adecuado de renovación de aire. Si esta renovación se realiza con el aire exterior, estamos perdiendo aire caliente e introduciendo aire frío. Hay que llegar a un compromiso entre la ventilación que necesitamos y las pérdidas de calor que podemos admitir, a no ser que se "precaliente" el aire exterior de alguna manera.

Pero aunque reduzcamos la ventilación al mínimo, una baja estanqueidad de la casa puede forzar la ventilación aunque no queramos, especialmente en días ventosos: son las infiltraciones. Por ello, es importante reducir al máximo este fenómeno, cuidando especialmente las juntas de cierre de puertas y ventanas.

Aunque se reduzca la ventilación y las infiltraciones al mínimo, cuando hay viento, la convección forzada, fenómeno del cual ya hablamos, hace que el calor que se transmite del interior al exterior de la casa se disipe mucho más rápidamente en el paramento exterior. La única manera de disminuir este fenómeno es evitando que el viento golpee la casa, bien eligiendo una ubicación donde la casa esté protegida de los vientos dominantes de invierno, bien estableciendo barreras naturales mediante la vegetación.

## Microclima y ubicación

El comportamiento climático de una casa no solo depende de su diseño, sino que también está influenciado por su ubicación: la existencia de accidentes naturales como montes, ríos, pantanos, vegetación, o artificiales como edificios próximos, etc., crean un microclima que afecta al viento, la humedad, y la radiación solar que recibe la casa.

Si se ha de construir una casa bioclimática, el primer estudio tiene que dedicarse a las condiciones climáticas de la región y, después, a las condiciones microclimáticas de la ubicación concreta

### Ubicación

La ubicación determina las condiciones climáticas con las que la vivienda tiene que "relacionarse". Podemos hablar de condiciones macroclimáticas y microclimáticas.

Las condiciones macroclimáticas son consecuencia de la pertenencia a una latitud y región determinada. Los datos más importantes que las definen son:

- Las temperaturas medias, máximas y mínimas
- La pluviometría
- La radiación solar incidente

- La dirección del viento dominante y su velocidad media

Las condiciones microclimáticas son consecuencia de la existencia de accidentes geográficos locales que pueden modificar las anteriores condiciones de forma significativa. Podemos tener en cuenta:

- La pendiente del terreno, por cuanto determina una orientación predominante de la vivienda
- La existencia cercana de elevaciones, por cuanto pueden influir como barrera frente al viento o frente a la radiación solar
- La existencia de masas de agua cercanas, que reducen las variaciones bruscas de temperatura e incrementan la humedad ambiente
- La existencia de masas boscosas cercanas
- La existencia de edificios

La elección de la ubicación de la vivienda, si ello es posible, es una decisión muy importante en el proceso de diseño bioclimático, si acaso tan importante como el diseño de la vivienda en sí misma. Además de seleccionar la ubicación más adecuada, debemos tener en cuenta que siempre es posible actuar sobre el entorno (añadiendo o quitando vegetación o agua, por ejemplo), para modificar las condiciones microclimáticas. Es lo que llamamos corrección del entorno.

## Forma y orientación

La forma de la casa influye sobre:

- La superficie de contacto entre la vivienda y el exterior, lo cual influye en las pérdidas o ganancias caloríficas. Normalmente se desea un buen aislamiento, para lo cual, además de utilizar los materiales adecuados, la superficie de contacto tiene que ser lo más pequeña posible. Para un determinado volumen interior, una forma compacta (como el cubo), sin entrantes ni salientes, es la que determina la superficie de contacto más pequeña. La existencia de patios, alas, etc. incrementan esta superficie.
- La resistencia frente al viento. La altura, por ejemplo, es determinante: una casa alta siempre ofrece mayor resistencia que una casa baja. Esto es bueno en verano, puesto que incrementa la ventilación, pero malo en invierno, puesto que incrementa las infiltraciones. La forma del tejado y la existencia de salientes diversos, por ejemplo, también influye en conseguir una casa más o menos "aerodinámica". Teniendo en cuenta las direcciones de los vientos predominantes, tanto en invierno como en verano es posible llegar a una situación de compromiso que disminuya las infiltraciones en invierno e incremente la ventilación en verano.
- La captación solar (explicaremos esto un poco más en la orientación)

La orientación de la casa influye sobre:

- La captación solar. Normalmente interesa captar cuanto más energía mejor porque es nuestra fuente de climatización en invierno (en verano utilizaremos sombreados y otras técnicas para evitar la radiación). En las latitudes en que nos encontramos, conviene orientar siempre nuestra superficie de captación (acristalado) hacia el sur. La forma ideal es una casa compacta y alargada, es decir, de planta rectangular, cuyo lado mayor va de este a oeste, y en el cual se encontrarán la mayor parte de los dispositivos de captación (fachada sur), y cuyo lado menor va de norte a sur. Hay que reducir la existencia de ventanas en las fachadas norte, este y oeste, puesto que no son muy útiles para la captación solar en invierno (aunque pueden serlo para

ventilación e iluminación) y, sin embargo, se producen muchas pérdidas de calor a su través.

- La influencia de los vientos dominantes sobre la ventilación y las infiltraciones.

## Captación solar pasiva

La energía solar es la fuente principal de energía de climatización en una vivienda bioclimática. Su captación se realiza aprovechando el propio diseño de la vivienda, y sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos. La captación hace uso del llamado [efecto invernadero](#), según el cual la radiación penetra a través de vidrio, calentando los materiales dispuestos detrás suyo; el vidrio no deja escapar la radiación infrarroja emitida por estos materiales, por lo que queda confinada entonces en el recinto interior. Los materiales, calentados por la energía solar, guardan este calor y lo liberan, posteriormente, atendiendo a un retardo que depende de su [inercia térmica](#). Para un mayor rendimiento, es aconsejable disponer de sistemas de aislamiento móviles (persianas, contraventanas, etc.) que se puedan cerrar por la noche para evitar pérdidas de calor por conducción y convección a través del vidrio.

Los sistemas de captación pueden ser definidos por dos parámetros: rendimiento, o fracción de energía realmente aprovechada respecto a la que incide, y retardo, o tiempo que transcurre entre que la energía es almacenada y liberada. Hay varios tipos de sistemas:

- Sistemas directos. El sol penetra directamente a través del acristalamiento al interior del recinto. Es importante prever la existencia de masas térmicas de acumulación de calor en los lugares (suelo, paredes) donde incide la radiación. Son los sistemas de mayor rendimiento y de menor retardo.
- Sistemas semidirectos. Utilizan un adosado o invernadero como espacio intermedio entre el exterior y el interior. La energía acumulada en este espacio intermedio se hace pasar a voluntad al interior a través de un cerramiento móvil. El espacio intermedio puede utilizarse también, a ciertas horas del día, como espacio habitable. El rendimiento de este sistema es menor que el anterior, mientras que su retardo es mayor.
- Sistemas indirectos. La captación la realiza directamente un elemento de almacenamiento dispuesto inmediatamente detrás del cristal (a unos pocos centímetros). El interior de la vivienda se encuentra anexo al mismo. El calor almacenado pasa al interior por conducción, convección y radiación. El elemento de almacenamiento puede ser un paramento de material de alta capacidad calorífica, bidones de agua, lecho de piedras, etc., y puede ser una de las paredes de la habitación, el techo, o el suelo. Un caso particular es el llamado muro trombe, en el cual, además, se abren unos registros ajustables en la parte superior y en la inferior para que se cree una transferencia de calor por conducción a voluntad. El rendimiento de estos sistemas es también menor que el del sistema directo, y presentan unos retardos muy grandes.

En el diseño de estos sistemas es importante considerar:

- La existencia de suficiente masa térmica para la acumulación del calor dispuesta en las zonas de incidencia de radiación
- La existencia de cerramientos móviles para aislamiento
- La orientación, obstáculos y sombreados de los espacios de captación, de tal manera que se maximice la captación de energía en invierno y se minimice la de verano. Repetimos de nuevo que lo óptimo es la orientación al sur de los sistemas de captación, o con una desviación de hasta 30°.

## Aislamiento y masa térmica

La masa térmica provoca un desfase entre los aportes de calor y el incremento de la temperatura (ver [Capacidad calorífica e inercia térmica](#)). Funciona a distintos niveles. En ciclo diario, durante el invierno, la masa térmica estratégicamente colocada almacena el calor solar durante el día para liberarlo por la noche, y durante el verano, realiza la misma función, sólo que el calor que almacena durante el día es el de la casa (manteniéndola, por tanto, fresca), y lo libera por la noche, evacuándose mediante la ventilación. En ciclo interdiario, la masa térmica es capaz de mantener determinadas condiciones térmicas durante algunos días una vez que estas han cesado: por ejemplo, es capaz de guardar el calor de días soleados de invierno durante algunos días nublados venideros. En ciclo anual, se guarda el calor del verano para el invierno y el fresco del invierno para el verano (sólo una ingente masa térmica como el suelo es capaz de realizar algo así).

La vivienda con elevada masa térmica se comporta manteniendo una temperatura sin variaciones bruscas, relativamente estable frente a las condiciones externas. El objetivo es conseguir que, mediante un buen diseño bioclimático, esta temperatura sea agradable. La masa térmica elevada no es aconsejable en viviendas ocasionales (viviendas de fin de semana, por ejemplo), cuyas condiciones de temperatura son irrelevantes excepto en los momentos en que se ocupan, momentos en los que se requiere calentarlas o enfriarlas rápidamente. Y rapidez y masa térmica están reñidas, por el desfase del que hablábamos anteriormente.

En general, materiales de construcción pesados pueden actuar como una eficaz masa térmica: los muros, suelos o techos gruesos, de piedra, hormigón o ladrillo, son buenos en este sentido. Colocados estratégicamente para recibir la radiación solar tras un cristal, funcionan fundamentalmente en ciclo diario, pero repartidos adecuadamente por toda la casa, funcionan en ciclo interdiario. Si la casa está enterrada o semienterrada, la masa térmica del suelo ayudará también a la amortiguación de oscilaciones térmicas, en un ciclo largo.

El aislamiento térmico dificulta el paso de calor por conducción del interior al exterior de la vivienda y viceversa. Por ello es eficaz tanto en invierno como en verano. Una forma de conseguirlo es utilizar recubrimientos de materiales muy aislantes, como espumas y plásticos. No conviene exagerar con este tipo de aislamiento, puesto que existe otra importante causa de pérdida de calor: las infiltraciones. De nada serviría tener una casa "superaislada" si no se ha cuidado este otro factor. De todas maneras, aunque se quieran reducir al máximo las infiltraciones, siempre es necesario un mínimo de ventilación por cuestiones higiénicas, lo que supone un mínimo de pérdidas caloríficas a tener en cuenta. Para hacer eficaz el aislamiento, también es necesario reducir al máximo los puentes térmicos. Ver [Pérdida de calor en viviendas \(invierno\)](#).

En cuanto a la colocación del aislamiento, lo ideal es hacerlo por fuera de la masa térmica, es decir, como recubrimiento exterior de los muros, techos y suelos, de tal manera que la masa térmica actúe como acumulador eficaz en el interior, y bien aislado del exterior.

También es importante aislar los acristalamientos. Durante el día actúan eficazmente en la captación de la radiación solar para obtener luz y calor, pero por las noches se convierten en sumideros de calor hacia el exterior por conducción y convección (no por radiación, pues el cristal es opaco al infrarrojo). Un doble acristalado reduce las pérdidas de calor, aunque también reduce algo la transparencia frente a la radiación solar durante el día. De cualquier manera, nada tan eficaz como aislamientos móviles (contraventanas, persianas, paneles, cortinas) que se echen durante la noche y se quiten durante el día. En verano, estos elementos pueden impedir durante el día la penetración de la radiación solar.

## Ventilación

En una vivienda bioclimática, la ventilación es importante, y tiene varios usos:

- Renovación del aire, para mantener las condiciones higiénicas. Un mínimo de ventilación es siempre necesario.
- Incrementar el confort térmico en verano, puesto que el movimiento del aire acelera la disipación de calor del cuerpo humano
- Climatización. El aire en movimiento puede llevarse el calor acumulado en muros, techos y suelos por el fenómeno de convección. Para ello, la temperatura del aire debe ser lo más baja posible. Esto es útil especialmente en las noches de verano, cuando el aire es más fresco.
- Infiltraciones. Es el nombre que se le da a la ventilación no deseada. En invierno, pueden suponer una importante pérdida de calor. Es necesario reducirlas al mínimo.

### Consideramos diferentes formas de ventilar:

- Ventilación natural. Es la que tiene lugar cuando el viento crea corrientes de aire en la casa, al abrir las ventanas. Para que la ventilación sea lo más eficaz posible, las ventanas deben colocarse en fachadas opuestas, sin obstáculos entre ellas, y en fachadas que sean transversales a la dirección de los vientos dominantes. En días calurosos de verano, es eficaz ventilar durante la noche y cerrar durante el día.
- Ventilación convectiva. Es la que tiene lugar cuando el aire caliente asciende, siendo reemplazado por aire más frío. Durante el día, en una vivienda bioclimática, se pueden crear corrientes de aire aunque no haya viento provocando aperturas en las partes altas de la casa, por donde pueda salir el aire caliente. Si en estas partes altas se coloca algún dispositivo que caliente el aire de forma adicional mediante radiación solar (chimenea solar), el aire saldrá aún con más fuerza. Es importante prever de donde provendrá el aire de sustitución y a qué ritmo debe ventilarse. Una ventilación convectiva que introduzca como aire renovado aire caliente del exterior será poco eficaz. Por eso, el aire de renovación puede provenir, por ejemplo, de un patio fresco, de un sótano, o de tubos enterrados en el suelo. Nunca se debe ventilar a un ritmo demasiado rápido, que consuma el aire fresco de renovación y anule la capacidad que tienen los dispositivos anteriores de refrescar el aire. En este caso es necesario frenar el ritmo de renovación o incluso detenerlo, esperando a la noche para ventilar de forma natural.
- Ventilación convectiva en desván. Un porcentaje importante de pérdidas de calor en invierno y ganancias de calor en verano ocurre a través del tejado de la vivienda. Disponer de un espacio tapón entre el último piso de la vivienda y el tejado (un desván) reducirá de forma importante esta transferencia de calor (ver discusión sobre el desván en [Espacios tapón](#)). En verano, se puede hacer que el desván esté autoventilado por convección. Es normal que este lugar se convierta en un horno donde el aire alcance una temperatura mayor que el aire exterior; si se abren registros en su parte alta y en su parte baja, es posible dejar escapar este aire caliente, que será renovado por aire exterior. En invierno, estos registros deben estar cerrados. Es importante diseñar el desván para que esta corriente de aire no sea obstruida.
- Pérdidas por ventilación en invierno. Ya dijimos que, siempre, debemos reducir al mínimo las pérdidas de calor por infiltraciones. Estas serán importantes especialmente en los días ventosos. Sin embargo, un mínimo de ventilación es necesaria para la higiene de la vivienda, especialmente en ciertos espacios. En la cocina, por ejemplo, es necesaria una salida de humos para la cocina, o para el calentador de gas, o registros de seguridad para la instalación de gas, o ventilar para eliminar los olores de la cocina. En el baño también es necesario ventilar por los malos olores. La pérdida de calor se verifica porque el aire viciado que sale es caliente, y el puro que entra es frío. Ciertas estrategias pueden servir para disminuir estas pérdidas, como colocar los espacios necesitados de ventilación en la periferia de la casa, o tener la mayor parte de la instalación de gas en el exterior, o disponer de un electroventilador para forzar la ventilación sólo cuando sea necesario, etc.
- Fachada ventilada. En ella existe una delgada cámara de aire abierta en ambos extremos, separada del exterior por una lámina de material. Cuando el sol calienta la lámina exterior, esta calienta a su vez el aire del interior, provocando un movimiento convectivo ascendente que ventila la fachada previniendo un calentamiento excesivo.

En invierno, esta cámara de aire, aunque abierta, también ayuda en el aislamiento térmico del edificio.

## Aprovechamiento climático del suelo

La elevada inercia térmica del suelo provoca que las oscilaciones térmicas del exterior se amortigüen cada vez más según la profundidad. A una determinada profundidad, la temperatura permanece constante (es por eso que el aire del interior de las cuevas permanece a una temperatura casi constante e independiente de la temperatura exterior). La temperatura del suelo suele ser tal que es menor que la temperatura exterior en verano, y mayor que la exterior en invierno, con lo que siempre se agradece su influencia. Además de la inercia térmica, una capa de tierra puede actuar como aislante adicional.

Las cuevas siempre fueron utilizadas como protección frente a las inclemencias del tiempo; los sótanos han sido conocidos siempre por su frescor del verano, pero las dos grandes desventajas del enterramiento, la ausencia de luz y la alta humedad relativa, han hecho que cualquier idea de habitar bajo suelo sea infravalorada. Sin embargo, nuevos diseños pretenden aprovechar los efectos climáticos del suelo sin suponer una merma de iluminación y controlando la humedad.

Una idea interesante puede ser que ciertas fachadas de la casa estén enterradas o semienterradas. Por ejemplo, si se construye la casa en una pendiente orientada al sur, se puede construir de tal manera que la fachada norte esté parcialmente enterrada, o enterrarla totalmente e incluso echar una capa de tierra sobre el techo (que será plano). La luz entrará por la fachada sur y, si fuera necesario, se pueden abrir claraboyas para la iluminación de las habitaciones más interiores.

A mí personalmente me gusta la idea de enterrar parte de la fachada norte, pero no en su totalidad, de tal manera que se puedan abrir algunas ventanas para permitir la ventilación cruzada norte - sur en verano. Tampoco me gusta la idea de echar una capa de tierra sobre el tejado, lo que supone reforzar la estructura de la casa para aguantar este peso, además de que prefiero que el techo no sea plano.

Para aprovechar la temperatura del suelo, se pueden enterrar tubos de aire (cuanto más profundos mejor), de tal manera que este aire acaba teniendo la temperatura del suelo. Se puede introducir en la casa bombeándolo con ventiladores o por convección.

## Espacios tapón

Son espacios adosados a la vivienda, de baja utilización, que térmicamente actúan de aislantes o "tapones" entre la vivienda y el exterior. El confort térmico en estos espacios no está asegurado, puesto que, al no formar parte de la vivienda propiamente dicha (el recubrimiento aislante no los incluirá), no disfrutarán de las técnicas adecuadas de climatización, pero como son de baja utilización, tampoco importa mucho. Pueden ser espacios tapón el garaje, el invernadero, el desván... Este último es importante que exista. La colocación adecuada de estos espacios puede acarrear beneficios climáticos para la vivienda.

- El garaje. No importa mucho que en el garaje haga frío o haga calor, a menos que se disponga de un pequeño taller muy frecuentado en el mismo. En este caso, debido a la mayor actividad física por los trabajos propios del taller, no importará que haga algo más frío que en el resto de la casa en invierno, pero sí importará el calor. Cada uno debe evaluar para qué va a utilizar este espacio. Para aprovechar su aislamiento, se puede colocar en la fachada norte (más fría en invierno), o en la fachada oeste (donde el sol del atardecer de verano castiga de forma especial).

- El desván. La tentación de tener un espacio abuhardillado donde estudiar, dormir, etc. es muy fuerte. Yo conozco un caso en el que, al aprovechar el desván de una casa típica de pueblo como segundo piso, el dueño se vio obligado a instalar aire acondicionado cuando hasta entonces no lo había necesitado. Por eso, yo aconsejo que la buhardilla sea un espacio de baja ocupación (trastero, observatorio, etc.) sin aislamiento (el aislamiento deberá colocarse bajo el suelo de la misma), que funcione como espacio tapón. Habrá unos registros de ventilación en la parte alta y en la parte baja. En invierno los registros estarán cerrados, y la buhardilla disminuirá de forma importante las pérdidas de calor a través del techo. En verano, los registros se abrirán para que la convección forzada (ver [Ventilación](#)) refresque este espacio, evitando que se convierta en un horno y protegiendo al resto de la casa del calor del tejado.

## Protección contra la radiación de verano

Es evidente que en verano hay que reducir las ganancias caloríficas al mínimo. Ciertas técnicas utilizadas para el invierno (aislamiento, espacios tapón) contribuyen con igual eficacia para el verano. Otras técnicas, como la ventilación, ayudan casi exclusivamente en verano. Sin embargo, los sistemas de captación solar pasiva, tan útiles en invierno, son ahora perjudiciales, por cuanto es necesario impedir la penetración de la radiación solar, en vez de captarla.

Afortunadamente, en verano el sol está más alto que en invierno (ver [Trayectoria solar](#)), lo cual dificulta su penetración en las cristaleras orientadas al sur. La utilización de un alero o tejadillo sobre la cristalera dificulta aún más la penetración de la radiación directa, afectando poco a la penetración invernal. También el propio comportamiento del vidrio nos beneficia, porque con ángulos de incidencia de la radiación más oblicuos, el coeficiente de transmisión es menor. A pesar de estos beneficios, contamos con tres inconvenientes:

- El solsticio de verano (21 de junio) no coincide exactamente con los días más calurosos del verano (segunda quincena de julio y primera de agosto). Esto significa que, cuando llega el calor fuerte, el sol ya está algo más bajo en el cielo y puede penetrar mejor por la cristalera sur.
- El día tiene mayor duración (hay más horas de sol) y los días son más despejados que en el invierno
- Aunque evitemos la llegada de la radiación directa, hay que considerar también la radiación difusa y reflejada, lo que puede suponer ganancias caloríficas apreciables (ver [Radiación directa, difusa y reflejada](#)).

Para hacerse una idea, hemos estimado que la radiación recibida por una fachada sur en Cáceres es de 2,43 Kwh/m<sup>2</sup> en enero y de 4,56 Kwh/m<sup>2</sup> en agosto, por término medio. Esto significa que necesitamos dispositivos de sombreado que impidan a esta radiación llegar hasta nuestra cristalera. Algunos de estos dispositivos son:

- Alero fijo, con unas dimensiones adecuadas que impidan algo la penetración solar en verano y no estorben mucho en invierno. Para hacerse una idea, un tejadillo situado a 0,5 m por encima de la cristalera, y con 1,3 m de anchura, en Cáceres, si la cristalera tiene 2 m de alto, hace que la radiación solar incidente sea de 2,24 Kwh/m<sup>2</sup> en enero (8% menor que sin alero) y de 2,71 Kwh/m<sup>2</sup> en agosto (41% menor), en promedio.
- Toldos y otros dispositivos externos, cuya ventaja es que son ajustables a las condiciones requeridas.
- Alero con vegetación de hoja caduca. Debe ser más largo que el alero fijo y con un enrejado que deje penetrar la luz. Tiene la ventaja de que las hojas se caen en invierno, dejando pasar la luz a través del enrejado, mientras que en verano las hojas lo hace opaco. El ciclo vital de las plantas de hoja caduca coincide mejor con el verano real que con el solsticio de verano, con lo que no tenemos el inconveniente que comentábamos con el alero fijo.

- Persianas exteriores. Las persianas enrollables sirven perfectamente para interceptar la radiación.
- Contraventanas. Son más efectivas, pero quizá bloquean demasiado la luz
- Árboles. Podemos utilizar varias estrategias. Por una parte, cualquier tipo de árbol, colocado cerca de la zona sur de la fachada, refrescará el ambiente por evapotranspiración. Por otra parte, podemos buscar que el árbol sombree la fachada sur e incluso parte del tejado, si es suficientemente alto, pero debemos evitar que su sombra nos afecte en invierno. Para conseguirlo, si el árbol es suficientemente alto y está suficientemente cerca, en invierno, al estar el sol más bajo, la única sombra que se proyectará sobre la fachada sur será la del tronco, mientras que en verano, será la sombra de la copa del árbol la que se proyecte sobre la fachada sur y parte del tejado. Por otra parte, un árbol de hoja caduca nos da mayor flexibilidad en cuanto a su posición relativa respecto de la casa, porque en invierno nunca podrá proyectar la sombra de una copa maciza.

Algunas de las técnicas anteriores son válidas en general para proteger también muros, y no sólo cristalerías, aunque quizá las mejores técnicas en este caso sean el disponer plantas trepadoras sobre los muros y el utilizar colores poco absorbentes de la luz solar (colores claros, especialmente el blanco). Los espacios tapón también protegen eficazmente (desván, garage).

Las fachadas este (al amanecer) y oeste (al atardecer), así como la cubierta (durante todo el día), también están expuestas a una radiación intensa en verano. Se procurará que en estas zonas haya pocas aberturas (ventanas y claraboyas), o que sean pequeñas, puesto que no tienen utilidad para ganancia solar invernal, aunque se las puede necesitar para ventilación o iluminación. Si hay que proteger el muro, se pueden utilizar las técnicas comentadas anteriormente.

## Sistemas evaporativos de refrigeración

La evaporación de agua refresca el ambiente (ver [Calor de vaporización](#)). Si utilizamos la energía solar para evaporar agua, paradójicamente estaremos utilizando el calor para refrigerar. Hay que tener en cuenta que la vegetación, durante el día, transpira agua, refrescando también el ambiente. Varias ideas son practicables. En un patio, una fuente refrescará esta zona que, a su vez, puede refrescar las estancias colindantes. El efecto será mejor si hay vegetación. La existencia de vegetación y/o pequeños estanques alrededor de la casa, especialmente en la fachada sur, mejorará también el ambiente en verano. Sin embargo hay que considerar dos cosas: por una parte, un exceso de vegetación puede crear un exceso de humedad que, combinado con el calor, disminuirá la sensación de confort, por otra, en invierno habrá también algo más de humedad. De cualquier manera, en climas calurosos, suele ser conveniente casi siempre el uso de esta técnica.

El riego esporádico alrededor de la casa, o la pulverización de agua sobre fachadas y tejado, también refrescará la casa y el ambiente.