



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## **Estrategias de diseño para viviendas de alta eficiencia energética**

Autor

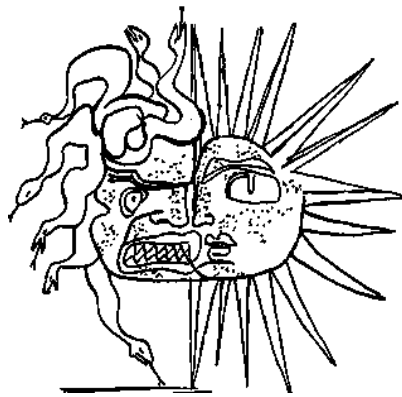
**Daniel Ariza Gracia**

Director

**Enrique Cano Suñén**

Escuela Universitaria de Ingeniería y Arquitectura (EINA)  
2013





*"El sol es dictador según los  
climas y según las estaciones"  
(Le Corbusier)*



# Estrategias de diseño para viviendas de alta eficiencia energética

## Resumen

El sector de la edificación consume el 40% del total de la energía del Unión Europea, cifra que está aumentando. Por esta razón la reducción del consumo energético en el sector de la construcción es una prioridad en las políticas energéticas de la UE. Una de las estrategias para su reducción consiste en el diseño de viviendas de alta eficiencia energética, conocidas como "low-energy buildings" o "passive house", que se basan en la reducción de pérdidas por transferencia de calor, en la utilización de sistemas mecánicos de ventilación y en el aprovechamiento de energía renovables.

El diseño de viviendas de alta eficiencia energética no solamente se basa en aumentos de espesor de los aislamientos, de la utilización de determinadas soluciones constructivas o de la implementación de instalaciones para el aprovechamiento de energías renovables. El diseño y construcción de viviendas energéticamente eficientes exige una serie de decisiones proyectuales a priori que optimicen desde los diseños iniciales su consumo energético y que sean compatibles con las distintas estrategias utilizadas por cada arquitecto.

El Proyecto Fin de Grado tratará de cuantificar en términos energéticos las pérdidas que se producen en cada decisión de proyecto, tales como la volumetría y forma del edificio, la tipología de cubiertas y fachadas, los puentes térmicos existentes o el tamaño, disposición y distribución de los huecos de la envolvente. Además, los ahorros energéticos dependen de la introducción de sistemas pasivos relacionados con la arquitectura bioclimática y la reducción de pérdidas en ventilación y activos, como la utilización de aprovechamientos solares (tanto en placas como en iluminación) y la utilización sistemática de intercambiadores de energía en los sistemas de ventilación.

En primer lugar se realiza un recorrido cronológico por la historia de la arquitectura, analizando y entendiendo cómo desde la experiencia de lo ya construido se puede mirar hacia el futuro más próximo. Tras este inicio de carácter genérico se redacta un apartado sobre la importancia del lugar en el proceso proyectual, haciendo especial énfasis en la orientación solar y en estrategias de diseño según el clima. Después, se valora el factor de forma en el edificio, así como de su envolvente térmica o puntos críticos en la construcción. Una vez expuestos estos temas, de carácter básicamente compositivo, se enunciarán y definirán los sistemas de instalaciones principales que pueden realizarse en una vivienda para conseguir un aporte energético importante aprovechando los recursos renovables que nos ofrece el medio.

En esta dinámica, el Proyecto Fin de Grado, tratará de cuantificar la pérdidas que se producen en cada decisión proyectual, para evaluar cualitativamente las consecuencias directas de los diseños aplicados. Por lo tanto es necesario identificar los puntos más incidentes en el consumo de energía para minimizarlos desde la Arquitectura.

El objetivo final será enfrentar y sopesar valores arquitectónicos de espacialidad, contexto e historia con otros elementos pasivos y activos de captación y ahorro de energía, desvelando así una arquitectura correcta con todos los sentidos de su entorno.



# Índice

## **1. Introducción. Arquitectura y sostenibilidad**

1.1. Una verdad Incómoda	1
1.2. La tradición ambiental en la arquitectura	3
1.2.1. Los tratadistas y la arquitectura de estilo	3
1.2.2. Arquitectura sin arquitectos	6
1.2.3. El movimiento moderno: Le Corbusier	6
1.2.4. El regionalismo crítico español	9
1.2.5. La nueva sensibilidad ambiental en la arquitectura española	10

## **2. Lugar: aspectos relacionados con el clima y la orientación**

2.1. Incidencia de la orientación de la vivienda en el balance energético en función del clima	11
2.1.1. Grecia. La matemática del Sol.	13
2.1.2. Roma. Function follows the Sun.	14
2.1.3. La orientación como elemento generador del programa	16
2.1.4. Parámetros relevantes según la orientación del edificio	19
2.2. Estrategias bioclimáticas en el planeamiento urbano y proyecto arquitectónico	20
2.2.1. Clima y localización geográfica de la vivienda	21
2.2.2. Medidas para exprimir el Sol	28
2.2.3. La Iluminación natural	37
2.2.4. La Ventilación natural	41

## **3. Condiciones de las instalaciones: Eficiencia y rentabilidad económica**

3.1. Utilización de los intercambiadores del calor del aire de ventilación como principio de ahorro energético en vivienda unifamiliar.	45
3.1.1. Infiltración en carpinterías e instalaciones	46
3.2. Utilización de placas solares térmicas	48
3.2.1. Para la producción de ACS	48
3.2.2. Para su utilización en calefacciones con suelo radiante.	51
3.2.3. Para acumulación e intercambio en ventilación	53
3.3. Utilización de placas fotovoltaicas.	57
3.3.1. Eficiencia y rendimiento de la instalación	57
3.3.2. Aprovechamiento del calor residual de los inversores y del calentamiento de las placas	59
3.4. Utilización de energía geotérmica.	60
3.4.1. Sistemas de alto intercambio de energía.	60
3.4.2. Sistemas de bajo intercambio de energía (Bomba de Calor - Pozo canadiense/Pozo provenzal)	61
3.5. Eficiencia en las instalaciones de iluminación	66

## **Índice de Figuras**

## **Bibliografía**





## Prefacio

*"I can remember clearly my first encounters with the delights of the old architecture of Spain: a tiled water-tank inside the door of a Sevillian courthouse; familial lunch inside the shuttered house of a **pueblo** closed-up from the blinding glare of **mediodía**; the intimacy of the seated-fire in a howling Pyrenean night (the foc of Catalonia); a potted plant on the edge of the great retaining wall of La Cartoixa (the Carthusian monastery at Valldemossa, Mallorca) watered by porosity through the **terracota** coping beneath which ran a hidden watercourse" (John Sergeant)*

*"Recuerdo claramente mi encuentro con los encantos de la vieja arquitectura española: un estanque de agua revestido de azulejos en el patio de una casa sevillana; la comida familiar en una casa de **pueblo** con las persianas bajadas, totalmente cerrada a la cegadora luz del **mediodía**: la intimidad de la estancia en torno a la chimenea encendida en una noche tempestuosa en el Pirineo catalán; los tiestos alienados sobre el muro de la Cartuja de Valldemossa, en Mallorca, refrescado por el agua que discurre oculta por canales revestidos de **cerámica** porosa". (John Sergeant)*

La redacción de este Trabajo Fin de Grado llega en un momento de crisis para nuestro país. Prácticamente a todos los niveles de nuestra sociedad. Sin embargo, es la energía aquel en el que voy a centrar los esfuerzos de mi estudio, y en concreto, la energía que como arquitectos constructores empleamos. Según Ezequiel Usón, director del Máster de la Universidad Politécnica de Catalunya "Arquitectura y Sostenibilidad: herramientas de diseño y técnicas de control ambiental", los edificios y el proceso de urbanización son responsables, como mínimo, del 50% de las emisiones de gases nocivos para la atmósfera. Además, el sector de la edificación consume el 40% de la energía de la Unión Europea, cifra que cada año incrementa.

Sin ponernos dramáticos, el objetivo de este párrafo inicial no es otro que entrar rápidamente en contexto, en la realidad actual que nos envuelve, y en la que nos va a tocar intervenir.

En círculos arquitectónicos, hablar de estos temas de moda -como el mal entendido boom de la sostenibilidad, y otras tantas palabras como balance, equilibrio, ambiente, verde, ecológico... que tantas veces están siendo usadas vacías de contenido- supone un peligro, un riesgo del que soy consciente y no se va a entrar en juicio.

El objetivo de estas líneas será exponer cómo el arquitecto, desde la primera fase de génesis proyectual, comenzará a tomar unas decisiones que si bien comenzarán a dar forma a una nueva construcción, éstas tendrán a su vez unas importantes consecuencias en las ganancias y pérdidas energéticas durante la vida de ese edificio. Es un conocimiento que todo arquitecto debería adquirir antes de enfrentarse al ejercicio de proyectar, de manera que al menos seamos conscientes de aquello que se tiene entre manos para realizar una correcta toma de decisiones.

Casi nunca será el objetivo principal de un proyecto arquitectónico su máxima eficiencia energética, por ello no se puede empezar a concebir viviendas u otros edificios desde este único punto de vista, justamente entran en valor otros muchos parámetros que en ocasiones irán en contra de un mejor aprovechamiento pero en pro de un resultado final más coherente. Sin embargo la realidad nos hace ver cómo a poco las ordenanzas y regulaciones que provienen tanto de Europa como a nivel nacional van encaminadas hacia un inminente recorte del consumo energético por parte del sector de la construcción. Así, sería de una gran utilidad para el oficio, sabernos manejar con estas herramientas y métodos que pueden complementar nuestro conocimiento para realizar una arquitectura sensata, que si bien no siempre esté a la altura de los libros de historia, por lo menos no deterioren la misma.

Para abrir este prefacio he utilizado la cita del arquitecto J. Sergeant donde es capaz de desvelar con una brillante precisión lo que supone una visión externa de la España vernácula, lejos de los estereotipos que nos caracterizan banalmente. Cuando explica sus sensaciones no es capaz de traducir determinadas palabras como tierra, pueblo o mediodía, palabras con las que como arquitecto español sí me siento identificado. Palabras llenas de contenido.

La arquitectura de nuestro país a lo largo de la historia se ha nutrido de referencias procedentes del mundo romano y musulmán, y que en tantas ocasiones está siendo olvidada por la insensibilidad de



gran parte de la arquitectura contemporánea, que no moderna. En la cual se recurre únicamente a sistemas de calefacción y refrigeración mecánicos para conseguir el confort. No sería mucho pedir, como apunta Sergeant, , que se recupere sensibilidad del pasado en los nuevos barrios de las ciudades españolas y en los nuevos edificios. Podemos proporcionar confort de una manera natural: las ventanas se pueden abrir y las persianas pueden regularse sin tener que utilizar constantemente el termostato y el aire acondicionado.

Hace más o menos una década que se empieza a tener conciencia ambiental en España, que hasta la entrada en vigor del nuevo Código técnico de la edificación del año 2006 las normativas en materia de ahorro energético e impacto ambiental de los edificios han sido muy poco exigentes. Basta salir a la calle para descubrir docenas de edificios acristalados sin protecciones solares, con un número excesivo de puentes térmicos y críticos donde se producen grandes pérdidas energéticas, viviendas con insuficiente aislamiento térmico en las zonas frías de España, locales sin posibilidad de una correcta ventilación natural... Y aquí es importante resaltar estos valores de la técnica y de la física de la construcción como una de las principales armas que debemos dominar para el ejercicio de la arquitectura.

Tenemos el privilegio, y también la responsabilidad, de poder intervenir sobre el territorio español. Un terreno amplio, vasto, extenso, que nos ofrece infinitas posibilidades para crear nuestro modelo de arquitectura. Un modelo que deberá tener en cuenta el lugar y, por lo tanto, una aguda apreciación del papel del clima y el *genius loci* (Alexander Pope, 1713. Christian Norberg-Schulz, *Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture*, 1979).

España no tiene un clima mediterráneo generalizado, sino que existe un espectro climático mucho más complejo, que incluye desde el clima extremadamente severo de la alta montaña hasta la lluviosa Galicia, pasando por la intensa aridez de las mesetas interiores. Es de esperar que la nueva arquitectura pueda identificar esas diferencias y presentar respuestas regionales radicalmente diferentes. El inminente aumento de los costes del transporte debido al encarecimiento de los combustibles y la naturaleza accidentada de la península posiblemente obligará a reinstaurar la vieja disciplina de la materialidad: construir con los materiales locales.

Sin embargo, es la definición de Louis Khan la que tomo como referencia para mi pensamiento, *el "genius" denota lo que una cosa es o lo "que quiere ser"*.

Yo me pregunto, en este nuevo momento que nos ha tocado construir, ¿qué quiere ser nuestra arquitectura?





*“Ser sostenible en arquitectura implica asumir una nueva filosofía proyectual más respetuosa con el medio, lo cual además no es un obstáculo para la creatividad, sino que constituye una oportunidad para el diseño arquitectónico y para el desarrollo de innovaciones en el campo de la tecnología de la construcción.” (Jacques Herzog)*

## 1. Introducción. Arquitectura y Sostenibilidad

En este primer apartado introductorio se van a exponer por un lado una serie de definiciones y actos fehacientes sobre el estado actual del planeta relacionado con el cambio climático, con la intención de definir con algo de precisión el problema energético de la última década, para después, en segundo lugar, dar paso a una introducción de carácter histórica, recorriendo con intención algunos de los nombres y teorías ejemplares en la historia de la arquitectura y analizando proyectos arquitectónicos cuyo comportamiento es realmente sostenible con su entorno.

La totalidad de este capítulo está redactada gracias al estudio y seguimiento del libro “La nueva sensibilidad ambiental en la arquitectura española” del arquitecto Ezequiel Usón, ejemplar que me ha ayudado a entender la sostenibilidad en la arquitectura como la oportunidad que no podemos dejar escapar para intervenir en nuestro territorio de una manera más eficiente y atenta.

### 1.1. Una verdad incómoda

“Si no hay un cambio radical en la gestión de los recursos y la producción de CO<sub>2</sub>, antes de una década nuestro planeta entrará en una dinámica catastrófica, se deshelarán los polos, se romperán los ciclos climáticos, sufriremos perturbaciones meteorológicas extremas: inundaciones gigantescas, largos periodos de sequía, olas de calor mortales...” (Al Gore, 2006)

Albert Arnold Gore fue el Vicepresidente de los Estados Unidos bajo la presidencia de Bill Clinton, galardonado con el Premio Nobel de la Paz por su contribución a la reflexión y acción mundial contra el cambio climático (antes denominado calentamiento global), y con el Premio Príncipe de Asturias de Cooperación Internacional. En 2006 protagonizó el documental ganador del Óscar: “Una verdad incómoda”; éste trata del cambio climático, del que responsabiliza a las personas, sus gobiernos e industrias que lo generan, e insta a emprender un camino de búsqueda de energías limpias para evitar la destrucción del planeta.

La sociedad humana se ha convertido en un agente geológico de influencia planetaria. La deforestación y la expansión de los terrenos agrícolas, el desarrollo urbano incontrolado, la producción industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente primaria de energía, están modificando aceleradamente la composición de la atmósfera y la hidrosfera terrestre, induciendo un cambio climático global de consecuencias imprevisibles.

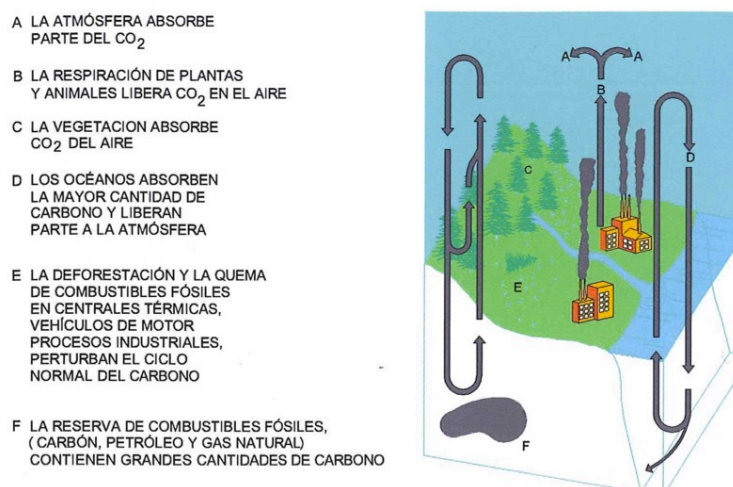


Figura 1. Ciclo carbono en la naturaleza

El aumento de la conciencia mundial sobre la crisis climática y el agotamiento de recursos no renovables está generando en la comunidad global el deseo y la necesidad de cambiar nuestros hábitos destructivos de las últimas décadas, adoptando progresivamente formas de desarrollo sostenible, que no exploten la Tierra hasta el agotamiento de sus recursos sino que progresen en armonía con ella y ayudando a sus procesos naturales. Esta línea de pensamiento se ha convertido en uno de los paradigmas de finales del siglo XX: la sostenibilidad, concepto que tiene su origen en el informe de la World Commission on Environment and Development (WCED) del año 1987 titulado *Our Common Future*.

Las Conferencias de Río de Janeiro, Kyoto, Johannesburgo o Montreal han propuesto a las naciones de nuestro planeta adoptar un compromiso a favor del desarrollo sostenible. En general el propósito es la reducción de las emisiones de los contaminantes que están produciendo el efecto invernadero y son responsables del cambio climático global, especialmente CO<sub>2</sub>, gas metano, óxido nitroso y la familia de los HFC y CFC. La supervivencia del planeta, pasa además por asumir una nueva actitud cultural que nos permita poder vivir en armonía con la naturaleza y consumir menos, teniendo presente que los recursos del planeta no son limitados.

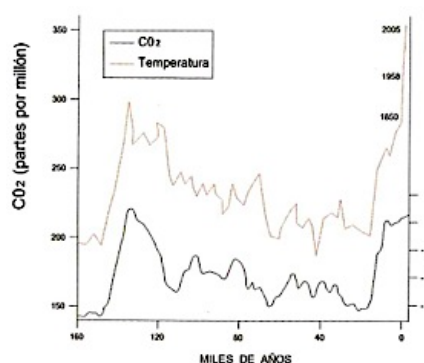


Figura 2. Relación entre incremento de temperaturas y concentración CO<sub>2</sub> (Smith, P. 2005)

Pero, ¿cuál es la conexión que puede establecerse entre intenciones políticas y proyecto arquitectónico? Sin duda, el compromiso nos obliga a los arquitectos y urbanistas a dar una respuesta disciplinar: *rediseñar nuestro entorno físico con una nueva sensibilidad ambiental*. (Ezequiel Usón, 2007).

Aunque en los últimos años las palabras sostenibilidad y arquitectura sostenible se han incorporado plenamente al vocabulario de muchos arquitectos, solamente en algunos casos se han convertido en una preocupación fundamental de su discurso arquitectónico, y hasta ahora tampoco parece que esta nueva sensibilidad se haya implantado con claridad y rigor en los programas docentes de las escuelas de arquitectura de nuestro país.

No obstante, este es un análisis que puede ser bien válido en nuestra actualidad, pero en los diez últimos años el incremento de la concienciación en las escuelas españolas ha sido notable, con la implementación de numerosos cursos y módulos, incluso máster, donde la eficiencia es uno de los principales objetivos proyectuales. Hoy, como parte de nuestra formación, debería ser de obligado requerimiento en algunos talleres de proyecto el cálculo y obtención de un nivel elevado en la etiqueta de la Certificación Energética del edificio. Porque, tarde o temprano, este requerimiento será extensible a cualquier intervención en el territorio europeo.

En Europa el entorno urbano consume aproximadamente la mitad del total de la energía que se produce, energía que se genera, en sus mayor parte, con combustibles procedentes de fuentes fósiles no renovables, que además producen las emisiones que tienen un efecto negativo permanente y acumulativo sobre el medio ambiente y que ya están provocando un cambio climático global en nuestro planeta.

En este contexto, para muchos arquitectos resulta muy difícil entender cómo la preocupación por nuestro medio ambiente se puede transformar en acciones concretas, utilizando estrategias de

diseño y concepción formal. Es más fácil definir como insostenibles algunas formas de la práctica profesional que definir lo que es la arquitectura sostenible.

La primera reflexión surge de considerar que la construcción de edificios y el desarrollo urbano inevitablemente forman parte de un sistema mucho más complejo, que requiere de una aproximación holística –principio según el cual todo conjunto orgánico o integrado conforma una realidad independiente y mayor que la suma de sus partes–.

Actualmente, debemos comprender que en el desarrollo de un proyecto, además de cumplir una serie de requisitos relacionados con el gasto de energía, el nivel de emisiones peligrosas y el consumo de recursos, y a la vez considerar el edificio como una célula que forma parte de un sistema ecológico y cultural mucho más amplio, capaz de desarrollar modelos y estructuras para vivir y trabajar que sean sostenibles.

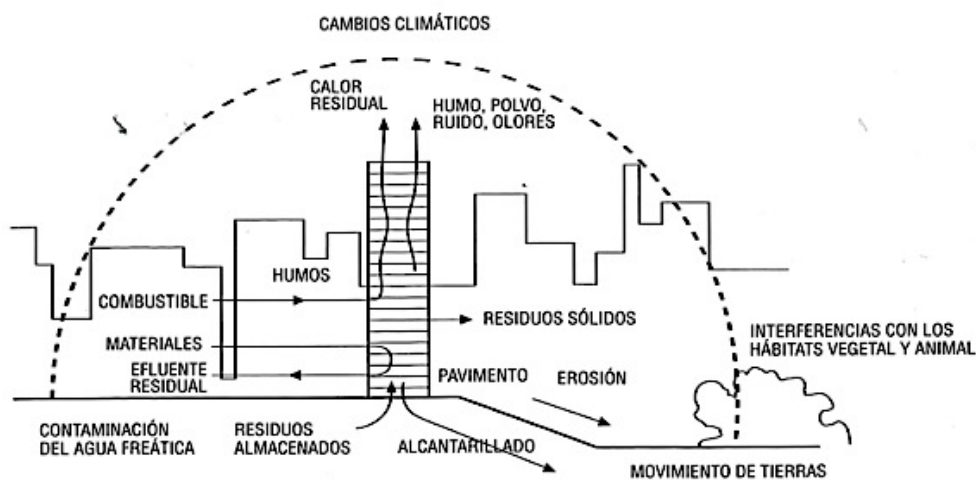


Figura 3. Impacto ambiental de los edificios en su entorno. (Yeang, K. 1995)

Desafortunadamente, en el panorama arquitectónico actual nos encontramos con una práctica profesional basada mayoritariamente en el principio erróneo de la existencia de una abundante e invisible fuente de energía, que desarrolla proyectos en los que los arquitectos no asumen ninguna responsabilidad sobre los sistemas de control ambiental, diseñan edificios sin tener en cuenta su contexto climático, e ignoran las posibilidades derivadas de la utilización de las energías naturales y del aprovechamiento activo de las energías renovables, alimentando una insostenible manera de trabajar que tiene como resultado edificios que consumen grandes cantidades de energía.

Pero hay esperanza. En los últimos años hemos comenzado a ver un número cada vez mayor de proyectos arquitectónicos en los que la sensibilidad ambiental se valora como una oportunidad para la creatividad y la expresión formal.

## 1.2. La tradición ambiental en la arquitectura

### 1.2.1. Los tratadistas y la arquitectura de estilo

La arquitectura y su necesidad de adecuación al clima nacieron a la vez y la esencia de la arquitectura está ligada a su condición de abrigo, reflejado en el mito de la cabaña primitiva como origen de toda la arquitectura. Las formas de la naturaleza como referencia tipológica, los materiales básicos (madera, piedra, tierra) como base de sus atributos tectónicos y su evolución íntimamente relacionada con la historia de la consecución del confort.

Vitrubio, el primer tratadista de la historia, nos advierte de que el propio edificio, a través de su diseño pasivo, es el primer agente mediador entre el hombre y el clima para conseguir el confort. Así, en el libro primero se refiere a la elección del lugar para edificar una casa y para erigir una ciudad; en el libro sexto, hay un capítulo dedicado a la distribución más adecuada de las dependencias de las casas en las ciudades y en el campo para aprovechar los beneficios de la buena

orientación solar. Al mundo clásico pertenece también el primer prototipo documentado de diseño solar: el Megarón, con su planta trapezoidal abierta a sur y cerrada a norte y rematada con un porche frontal para la regulación pasiva de la radiación solar (Sócrates, siglo IV aC).

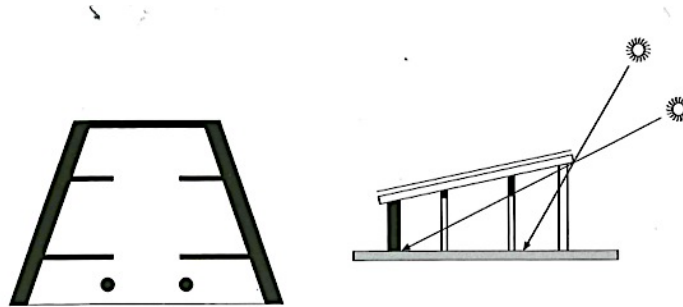


Figura 4. Megarón (Sócrates, siglo IV aC)

Leon Battista Alberti, en su tratado sobre el arte de construir *De re aedificatoria* y, concretamente, en sus libros IV. *Universorum opus* y V. *Singulorum opus*, aborda la vertiente utilitaria de los edificios y señala las ventajas de la adaptación a su entorno climático, haciendo especial hincapié en la importancia del aprovechamiento de la iluminación natural.

Andrea Palladio, cuando publica *I quattro libri dell'architettura* (1570), ha desarrollado una larga trayectoria profesional y muestra la aplicación práctica de estrategias bioclimáticas para conseguir el confort aprovechando las energías naturales (v. Libro II).

Esas hermosas residencias tendrán una gran repercusión y ayudarán a difundir el palladianismo, que tanta influencia tuvo posteriormente en la arquitectura del mundo anglosajón, no sólo como lenguaje compositivo, sino también como concepción pragmática del aprovechamiento de las condiciones climáticas del lugar. En su arquitectura civil es evidente también su preocupación por la adecuación al clima.

Palladio incorpora estrategias para refrigerar por termoventilación en la mayoría de sus palacios urbanos y villas, especialmente en la villa Americo Capra (llamada "la Rotonda") y en el Palazzo delle Raggioni. La nueva fachada resultante de revestir el antiguo núcleo medieval con una doble loggia, además de incorporar un nuevo orden compositivo clásico, le permite regular adecuadamente la radiación solar y los flujos de ventilación sobre la fábrica del edificio antiguo en el caluroso clima estival del Véneto.

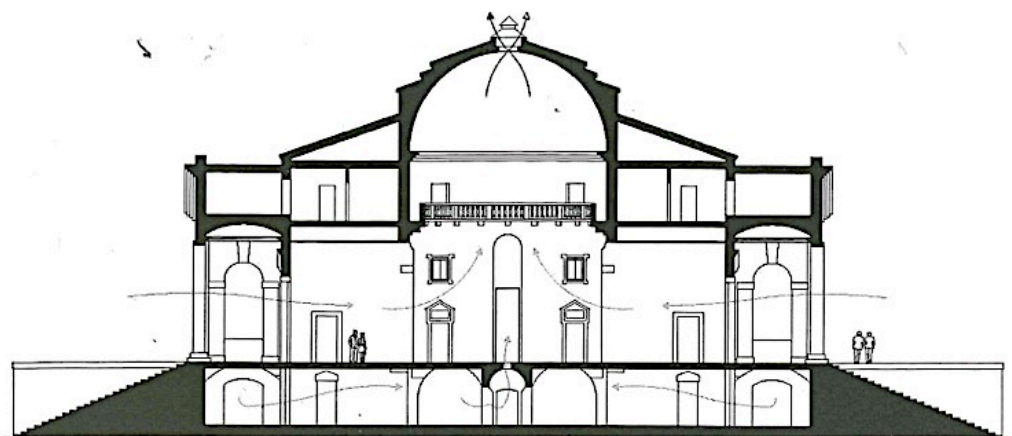


Figura 5. Estrategias bioclimáticas villa Rotonda

Marc-Antoine Laugier, en su *Essai sur l'Architecture* (1753), nos propone la evocación de una estética natural para el arte de construir cuando analiza la evolución de la arquitectura clásica a partir de la cabaña primitiva.



John Ruskin, en su libro *The Seven Lamps of Architecture* (1849), fue uno de los primeros en anunciar los peligros inherentes al desarrollo industrial incontrolado que tiene lugar en Europa en el siglo XIX, de una manera que hoy podríamos considerar insertada en la teoría de la sostenibilidad.

William Morris, miembro del movimiento Arts and Crafts, fue el primer arquitecto en aplicar en su práctica profesional la teoría de Ruskin. Su obra, a partir de una nostálgica visión de la naturaleza, evoluciona desde posiciones del historicismo ecléctico hacia una arquitectura orgánica, basada en la “influencia regional”, en la que el emplazamiento y las condiciones climáticas del lugar, los materiales y la tradición constructiva local serán determinantes en la concepción del proyecto.

La influencia del movimiento Arts and Crafts es cada vez más importante y cristaliza en la aparición de nuevos estilos arquitectónicos como el Art Nouveau, cuya inspiración formal proviene de la naturaleza.

En nuestro país, Antoni Gaudí (1859-1926), el arquitecto más importante del modernismo catalán, destaca por su habilidad para la utilización de estrategias pasivas, aprovechando las energías libres, en su intento de alcanzar el confort en el clima mediterráneo. Gaudí se preocupa por la orientación adecuada de sus edificios para el aprovechamiento de la radiación solar y en su obra siempre hay una refinada regulación de los sistemas de iluminación y ventilación natural. En la mayoría de sus proyectos podemos percibir la importancia de la sección no sólo para crear espacio, sino también porque es el lugar donde se concentran las tensiones ambientales.

En la casa Batlló, organizada alrededor del patio central siguiendo la tipología de manzanas cerradas con la gran profundidad edificable del ensanche Cerdà (28 m) en el patio intermedio, la luz penetra en todas las dependencias interiores, iluminándolas adecuadamente, y el aire circula a través de sofisticados itinerarios refrescando por termoventilación las habitaciones que rodean el área central. La fachada se transforma en una sofisticada piel que envuelve el edificio con una ornamentación exuberante, permeable a las brisas y capaz de regular la entrada de la radiación solar en todas las dependencias.

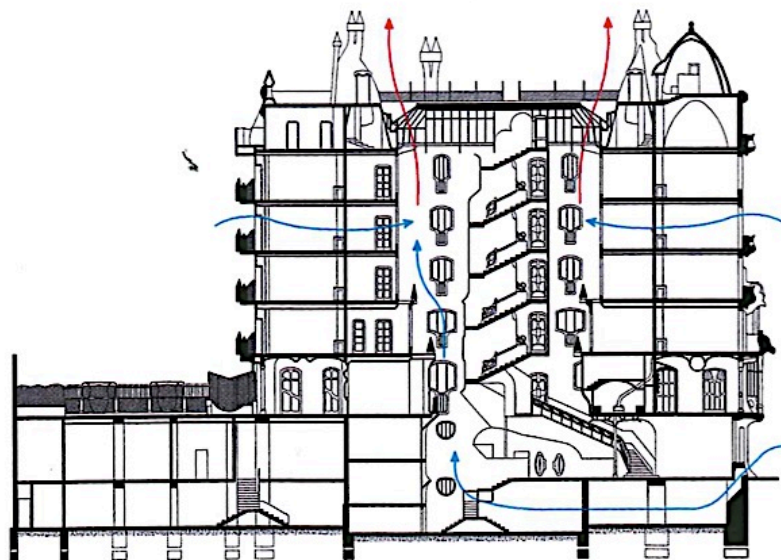


Figura 6. Regulación de los sistemas de iluminación y ventilación natural en la casa Batlló

Todos estos principios son incorporados por primera vez a la planificación urbana por Ebenezer Howard, *To-Morrow: A Peaceful Path to Real Reform* (1898). Con su propuesta urbana de “ciudad-jardín”, Howard intenta corregir los excesos del crecimiento masivo de la ciudad industrial, superando al mismo tiempo la contraposición entre la ciudad y el campo. A través de la Garden City Association, su pensamiento tendrá una gran influencia posterior en el urbanismo europeo, inspirando desde la primera ciudad-jardín construida en Letchworth por Barry Parker y Raymon Unwin, hasta las ciudades satélites del gran Londres, las New Towns planificadas en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial.

### 1.2.2. Arquitectura sin arquitectos

*“En el pasado la relación entre arquitectura y lugar, forma y condiciones climáticas, materiales del entorno y sistemas constructivos (...) formaba parte de sus atributos reconocibles en los modelos vernáculos.” (Víctor Olgyay)*

La arquitectura vernácula es la suma de conocimientos constructivos, experiencias y modelos que constituyen la base de la sabiduría popular, un arquitectura que no puede desligarse de la adaptación a su entorno ambiental. Una arquitectura anónima, espontánea, indígena y rural que ha constituido el lenguaje del pueblo. El título de este apartado tiene su origen en la influyente exposición realizada en el año 1964 en el MOMA de Nueva York bajo el título de *Architecture without Architects* y la gran difusión posterior del catálogo elaborado por Bernard Rudofsky, que no sólo da pie al concepto de diseño orgánico, sino que reivindica por primera vez la adaptación de la arquitectura a las realidades regionales. Rudofsky, al dirigir la atención hacia esas construcciones, contribuyó a que muchos arquitectos afirmasen el haber sido influenciados de alguna manera por esa arquitectura que no está sometida a los ciclos de la moda, que es casi inmutable y que sirve al propósito de la perfección.

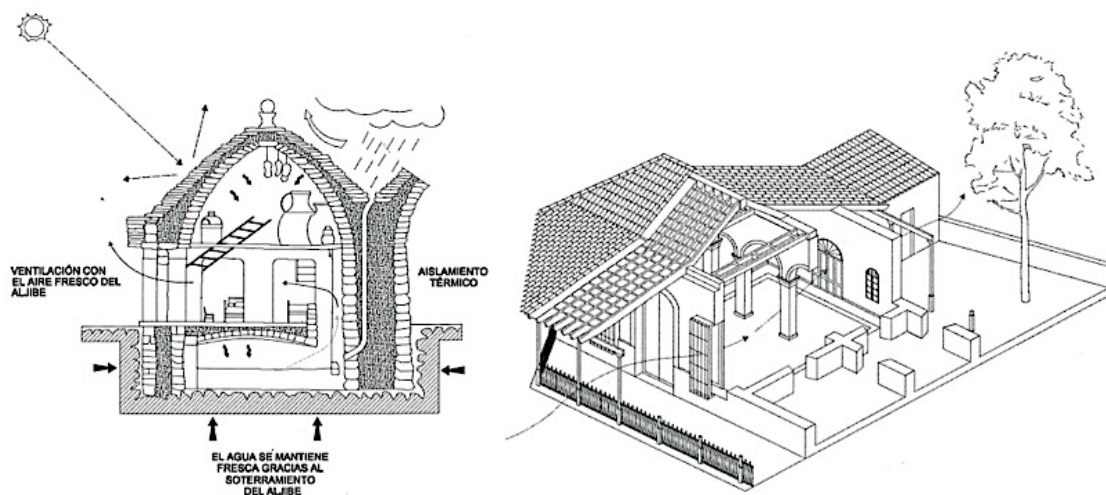


Figura 7. Arquitecturas vernáculos. A la izqda. la tipología de Trulli del sur de Italia adaptada al clima mediterráneo. A la dcha. casa de la época colonia en Trinidad, Cuba (s. XVIII) del clima del trópico

La percepción de la arquitectura tradicional que han tenido los arquitectos en el pasado va desde lo pintoresco y lo paradisíaco al reconocimiento de las virtudes de lo primitivo. Algunos de los más importantes arquitectos del movimiento moderno se declaran deudores de la arquitectura tradicional: Loos, Wright y Le Corbusier, en sus años de formación, nos describen su fascinación por lo vernáculo. El descubrimiento de las tradiciones constructivas basadas en la verdad de los materiales, la economía en la forma y el diseño, la claridad y simplicidad y la contención en la utilización de los elementos decorativos, seguramente están en la base de algunos de los axiomas fundamentales del movimiento moderno.

### 1.2.3. El movimiento moderno: Le Corbusier

Aunque la estética del movimiento moderno constituya aparentemente la antítesis del mundo natural por su afán de dar una respuesta universal mediante la tecnología, algunos de sus principios dan origen a las posteriores arquitecturas sostenibles.

Le Corbusier es el arquitecto más prolífico del movimiento moderno, y su obra se manifiesta por su sensibilidad hacia la naturaleza y las referencias hacia lo vernáculo. En sus escritos hay una referencia constante a la naturaleza y a la relación entre el hombre. Su creatividad y evolución a lo largo de su carrera contrasta con la homogeneidad de la última fase racionalista.

Ningún otro arquitecto del movimiento moderno integra en su teoría de la arquitectura, y lo convierte después en obra arquitectónica, la cuestión ambiental, la liberación de la transparencia, el goce de la luz natural y la regulación de la radiación solar en el grado en que lo hace Le Corbusier.

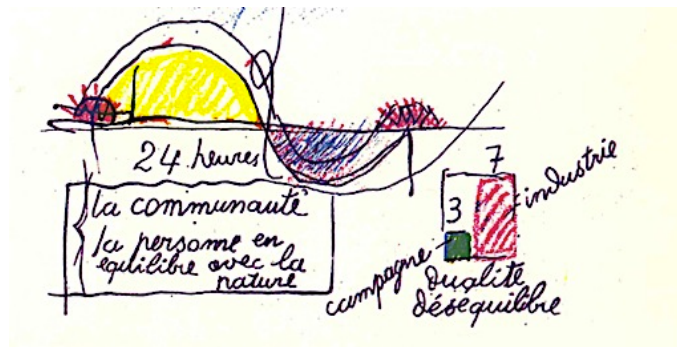


Figura 8. "La jornada solar es la medida de todas las empresas urbanísticas" (LC)

En su famoso libro "Hacia una arquitectura" (1923), la define como "juego sabio, correcto y magnífico de volúmenes reunidos bajo la luz". En sus escritos recopilados en el libro "La casa del hombre", anuncia la necesidad de sellar un pacto con la naturaleza: "Los hombres están mal alojados... y para mejorar la situación, el sol, espacio y vegetación han de entrar en la casa".

En sus cinco puntos de la arquitectura, formulados en 1926, la liberación de la transparencia, posibilitada por la estructura "Dom-ino" de hormigón armado, se convierte en su máxima prioridad: tres de ellos (planta libre, ventana alargada y fachada libre) están relacionados con la transparencia de la fachada.

Otro punto, la cubierta-jardín, responde a la necesidad expresada por Le Corbusier de sellar un nuevo pacto con la naturaleza, restituyendo una parte de lo que el proceso de urbanización destruye.

La casa unifamiliar construida según el modelo Citrohan, en la Weissenhofsiedlung de Stuttgart en 1926-27, con motivo de la exposición organizada por el Deutscher Werkbund, no sólo es la expresión más acabada del modelo formulado en los cinco puntos, sino que es también un ejemplo pionero de diseño solar, por la solución que adopta en su fachada sur: por primera vez aparece una cámara ventilada con su doble cerramiento de cristal y la posibilidad de operar en invierno como captadora de calor y en verano como generadora de termoventilación.



Figura 9. Casa Citrohan, ejemplo pionero de diseño solar construido en Stuttgart.

El tema de la luz se amplía al incorporar también el soleamiento y la ventilación. En su descripción de la Villa Savoye (1931), Le Corbusier declaró: “Es en el jardín de la cubierta al que las grandes superficies de cristal del salón y otras habitaciones de la casa se abren libremente, entonces el sol está en todas partes, en el verdadero corazón de la casa... Para terminar, vean la sección: el aire circula por todas partes”.



Figura 10. “El Sol está en todas partes, en el verdadero corazón de la casa” (Villa Savoye, LC, 1931)

La regulación de la radiación solar mediante el *brise-soleil* y el *baldaquin* se convierte en una marca personal de la arquitectura de Le Corbusier. Desde las primeras propuestas para un rascacielos en Argel hasta su formalización a gran escala en la Unité d’Habitation de Marsella, el *brise-soleil* construirá un éxito inmediato como consecuencia de su potencia formal y de la dialéctica que establece con la superficie vidriada que se encuentra detrás, y por su aptitud para ser utilizado en grandes edificios (Ministerio de Educación y Salud Pública en Río de Janeiro en 1936, con Lucio Costa), en la arquitectura doméstica como la casa Curutchet en La Plata en 1949, de Le Corbusier. El baldaquín como elemento generador de sombra y ventilación en la cubierta del edificio aparece por primera vez en el ángulo sudoeste de la Villa Stein en Garches, en 1927, aunque ya había formado parte de su repertorio en la etapa propositiva anterior y en el prototipo presentado el Pabellón de L’Esprit Nouveau en París en 1925.

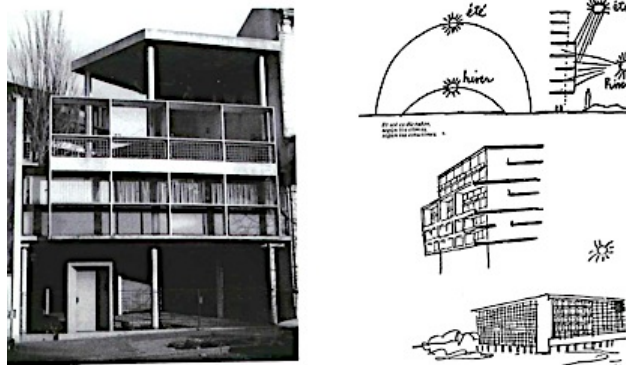


Figura 11. Regulación de la radiación solar mediante el *brise-soleil*.

En el proyecto para la Villa Baizeau en Cartago (1928), la terraza de la cubierta se protege con un *baldaquin* generando en una parte de la planta espacios a doble altura. El volumen de aire cubierto genera rutas para la termoventilación natural y permite generosas aberturas de *pan de verre* sombreado en verano y una profunda penetración de la luz en invierno.

Será en la casa para el doctor Curutchet en la ciudad de La Plata (1949) y, posteriormente, en la casa Shodhan en Ahmadabad (1959) donde Le Corbusier utilizará simultáneamente los dos mecanismo arquitectónicos de regulación solar. En la casa Curutchet hay además un claro diseño bioclimático. El patio central (que constituye una reinterpretación del patio de la tipología “casa-chorizo” de la ciudad de la Plata), además de contribuir a la *promenade architecturale*, ayuda al control microclimático al crear una verdadera esponja de aire o, como él lo define, convertirse en “el sistema respiratorio” del edificio.

### 1.2.4. *El regionalismo crítico español*

El desarrollo económico de los sesenta, tras el fracaso del modelo autárquico de la posguerra, impulsó la obra pública y privada y constituyó un campo abonado para la práctica de una arquitectura moderna con un léxico que se aproxima a un cierto regionalismo crítico nacional toda una generación de arquitectos se inició en esta misma línea: destaca la obra de Alejandro de la Sota, Luis Fernández del Amo y José Antonio Coderch. Estos arquitectos serán protagonistas destacados de la recuperación crítica de la arquitectura moderna en España, que lentamente iba superando el clasicismo y algunos falsos pintoresquismos de los primeros años de la dictadura franquista. Su obra, basada en las fórmulas mediterráneas vernáculas, pronto se situará al nivel de la de los otros protagonistas de la arquitectura moderna europea.

El gimnasio del colegio Maravillas en Madrid (1960-62), de Alejandro de la Sota, es un edificio que carece de toda retórica y que refleja una clara sensibilidad ambiental: detrás de una fachada simple y utilitaria se esconde un volumen espacial único salvado por cerchas de acero curvas e invertidas. Tal como puede apreciarse en el croquis que el propio de la Sota hizo de la sección, abre un volumen espacial nítido y diáfano para la cancha de juego, en el que penetra la luz natural difusa resbalando por el techo convexo sin deslumbrar a los espectadores sentados en el graderío. El aire se canaliza atravesando la cancha para refrigerarla por termoventilación de una manera natural, en un ejercicio de diseño bioclimático remarcable.

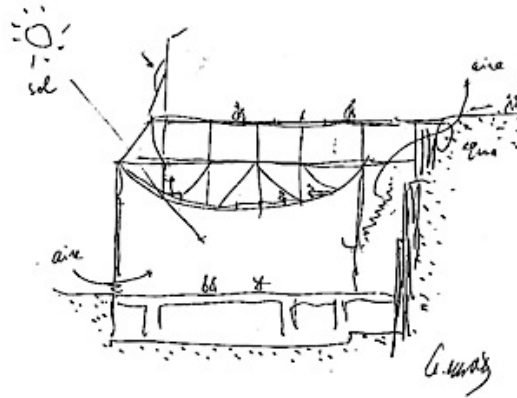


Figura 12. Croquis sección del colegio Maravillas. (de la Sota, A. 1962)

El edificio de viviendas del barrio de la Barceloneta (1951) de José Antonio Coderch es una de las obras más importantes del movimiento moderno español. Además de conseguir dependencias interiores de gran riqueza espacial en una planta de superficie mínima, Coderch, en este edificio utiliza soluciones constructivas de gran eficacia para conseguir el control térmico y lumínico: una doble piel en fachada que genera espacios intermedios, galerías de transición protegidas por celosías regulables que se convierten en umbráculos en los que se regula la radiación solar y por los que fluyen las brisas marinas atemperando y refrescando el clima caluroso y húmedo de Barcelona.

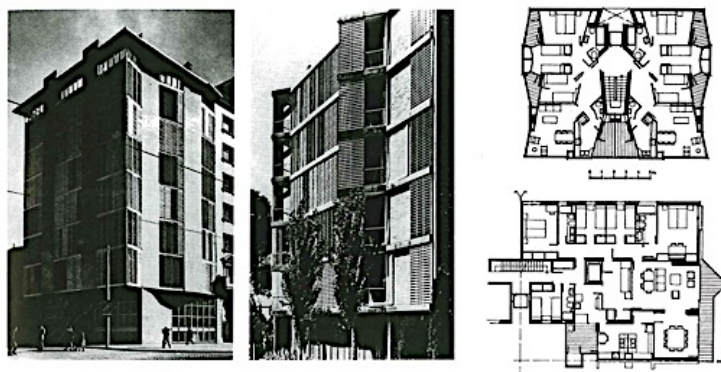


Figura 13. Viviendas de la Barceloneta y C/ Compositor Bach. (Coderch, J.A., 1951-58)

La casa Ugalde (1951-52) es una vivienda con una forma orgánica, abriendo vistas al mar, que se sitúa cuidadosamente en el lugar, respetando los árboles existentes, adaptándose a la topografía inclinada y relacionándose con el paisaje circundante.

Orientada para regular la radiación solar y protegida con porches y perforaciones que permiten canalizar y dirigir las brisas refrescantes en los calurosos meses estivales, constituye un ejemplo magistral de adaptación al clima y las condiciones del lugar.

### 1.2.5. La nueva sensibilidad ambiental en la arquitectura española

En estos momentos en los que ni siquiera se ha llegado a un acuerdo entre todos los países ni existe voluntad política para la aplicación masiva de unas tecnologías que en muchos casos no pasan de ser propuestas de laboratorio (la fusión nuclear, la economía del hidrógeno, los paneles fotovoltaicos de alto rendimiento, etc.), únicamente en los edificios pueden disminuirse las emisiones de CO2 de una manera rápida y cuantitativamente significativa aplicando adecuadamente las tecnologías actuales.

En nuestro país el medio ambiente ya es incuestionablemente uno de los temas clave de nuestro días y es posible que transforme radicalmente nuestra arquitectura. Aunque en la mayoría de los edificios construidos hasta ahora no apreciamos transformaciones profundas, nos sorprenden las ideas que subyacen detrás de algunos proyectos que hay que considerar como visionarios y que posiblemente pasarán a ser fuentes de inspiración en el inmediato futuro.

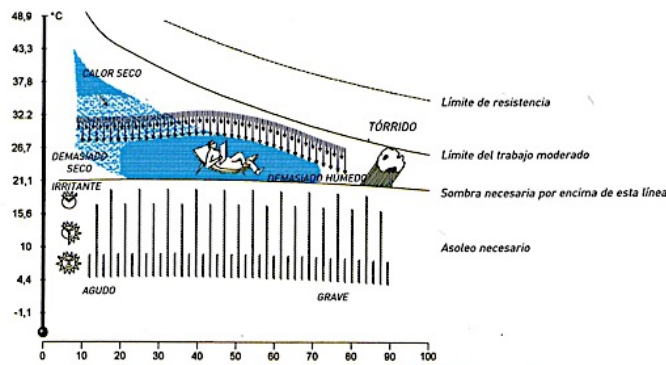
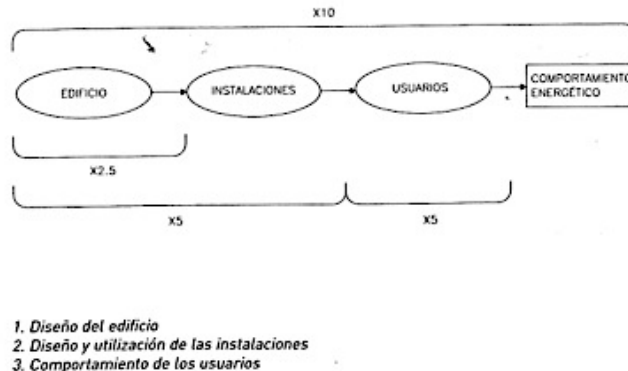


Figura 14. Diagrama bioclimático (Ogyay, V. 1963)

En estos últimos años, coincidiendo con el creciente movimiento social que persigue el introducir la conciencia ambiental en la sociedad europea, ha aparecido en la escena de la arquitectura española una nueva generación de arquitectos que proyectan y construyen edificios incorporando estrategias de diseño pasivo, utilizan técnicas que reducen el consumo de agua y la producción de residuos e incluso generan energía a partir del aprovechamiento activo de las energías renovables.

Así, con este último párrafo de la introducción del TFG -obtenida de los escritos de Ezequiel Usón-, se abre el camino al desarrollo de un trabajo de investigación, que honestamente al final no tendrá otro objetivo que educar mi mirada, orientándola hacia una metodología de proyecto acorde a las exigencias y necesidades del momento que espero empezar a construir.



1. Diseño del edificio
2. Diseño y utilización de las instalaciones
3. Comportamiento de los usuarios

Figura 15. Factores que influyen en el comportamiento energético de los edificios (Baker, N. 2000)

*¿Cuál es la orientación idónea?*

*Víctor Moreno (V.M.): Seré categórico, no hay una orientación ideal, pero sí una realidad objetiva: la única fachada que recibe menos potencia calorífica en verano que en invierno es la Sur. Nuestro territorio no puede ser gestionado de espaldas a esta realidad, pero claro, es más fácil omitir esta realidad y construir de manera seriada que de manera seria.*

## *2. Lugar: aspectos relacionados con el clima y la orientación*

En este segundo capítulo se afronta el grueso del Trabajo Fin de Grado, en primer lugar porque de las enseñanzas lecorbuserianas hemos advertido que el Sol debe ser el motor de nuestro cuerpo y de nuestra arquitectura.

En el primer apartado se explica cómo orientar el edificio, así como sus diferentes estancias para obtener un mayor beneficio respecto al clima y posición solar, además se exponen casos históricos y civilizaciones que tuvieron éxito y obtuvieron un notable rendimiento estudiando el recorrido del astro rey. Estas observaciones se extenderán también al ámbito de la urbanística y ordenación del territorio, de manera que se puede generar una visión mas global de la escala de la ciudad como organismo complejo.

El segundo apartado, aunque seguirá en la línea de mostrar estrategias e instrumentos para obtener un mayor rendimiento energético en nuestra vivienda, se centrará más en el objeto. En la vivienda como elemento a tratar, definir y manipular para alcanzar un buen confort térmico. Teniendo siempre el sol y el clima como protagonistas principales, el objetivo es explicar estrategias que se pueden usar en la vivienda para disfrutar y aprovechar mejor las condiciones del contexto que le rodean, abarcando un amplio abanico de posibilidades desde la ventilación hasta la iluminación, pasando por la protección y regulación de los rayos solares.

### *2.1. Incidencia de la orientación de la vivienda en el balance energético en función del clima*

El término orientación, en el ámbito arquitectónico, se refiere a cuál es la disposición de la planta del edificio bajo unos determinados criterios astronómicos como el soleamiento. La ubicación del proyecto respecto a los puntos cardinales resultará fundamental para su propio funcionamiento y uso específico, así como para el confort y bienestar de todos aquellos que lo habiten. Siendo, además, uno de los razonamientos que más alimentarán la génesis proyectual en los primeros episodios de la misma.

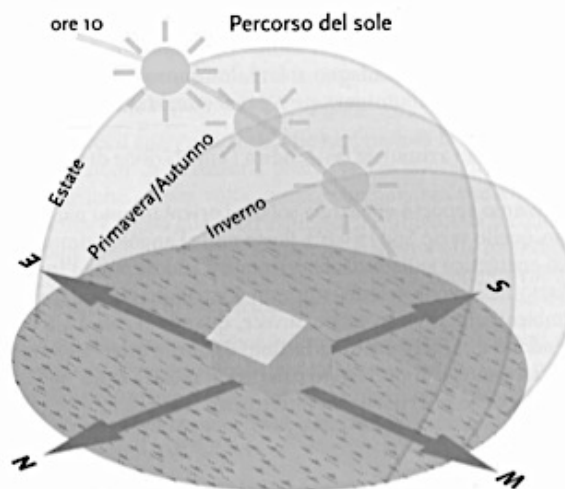


Figura 16. Recorrido del Sol según las estaciones

Esta afirmación queda justificada desde el momento en que se decide estudiar y analizar el valor de la orientación desde las primeras construcciones y planeamientos urbanos. Así, bastará enunciar asentamientos tan primitivos como Stonehenge, donde más allá de la función y la habitabilidad, la disposición de los elementos arquitectónicos deviene de la observación de un emplazamiento y de la predicción del movimiento de los astros para provocar sobre el usuario una serie de experiencias de carácter espiritual.

En esta misma línea de observación aparecen todas aquellas construcciones religiosas de las antiguas civilizaciones como los templos egipcios. Este es un perfecto ejemplo donde se pone de manifiesto una intensa relación entre la función del templo como tumba y el ciclo del sol, estrechamente vinculado al de la vida. Así, estas construcciones se orientarían en un eje Este-Oeste, haciendo que el sol saliera por el lugar más sagrado y se pusiera en la ultratumba, allá donde muere el día. La orientación de la arquitectura religiosa es un buen ejemplo de aquellas construcciones donde la funcionalidad y uso del proyecto resulta indispensable, ya que las cabeceras de las iglesias se orientan hacia el Este para iluminar con la luz del amanecer el lugar de culto.

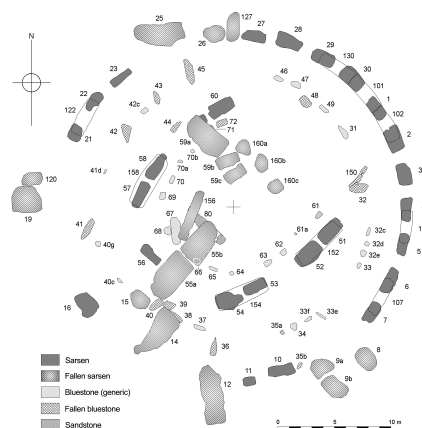


Figura 17. Stonehenge. Monumento megalítico finales Neolítico. Inglaterra.

Resulta que las culturas vernáculas eran expertas en la observación del entorno natural que les rodeaba, y una de las primeras tomas de decisión era la ubicación de la vivienda allí donde consiguieran las máximas ganancias energéticas del lugar, integrando las construcciones con la naturaleza. Llegando en algunos casos a considerarse un derecho legal el disfrute de la luz solar, como en la civilización griega. Sirviendo estas pautas como base para el trazado urbanístico y la planificación de ciudades, caso de Olinto en el siglo V a.C. o Priene, donde todas las casas gozan de la misma radiación solar.

Huelga mencionar como la orientación será obviamente uno de los primeros criterios que se definirá en los antiguos tratados arquitectónicos. Así, Vitrubio ofrece distintas soluciones de orientación para los templos romanos en su escrito De Architectura. Además aquí ya empiezan aparecer otras condiciones en el diseño como serán los límites del terreno o vientos dominantes, y a primar el entorno urbano y la percepción exterior del proyecto sobre otras virtudes arquitectónicas como la intensidad del espacio interior.

“Si el lugar presentara un serio obstáculo, debe entonces cambiarse la orientación siempre que desde el templo pueda contemplarse la mayor parte de la ciudad.” (Vitrubio, De Architectura, Libro IV, Capítulo V).

Actualmente todavía se considera la energía solar en algunos círculos y gremios como una desconocida, virgen y hasta extraña fuente de energía, a la que le falta bastante análisis, estudio y experiencia para tornarse tan práctica como eficiente. El uso del Sol y su orientación como herramienta proyectual en la historia de la arquitectura ha ido evolucionado, e incluso sigue en proceso. Sin embargo, “si como medida de la eficacia de una técnica adoptamos su generalización cultural, su uso frecuente, en el que se aúnen sencillez y fiabilidad, encontraremos que muchas de las técnicas antiguas (inseparables de las comunidades que las dieron vida) exhibieron una eficacia no superada en nuestros días”. Bajo esta afirmación, resulta útil echar la vista atrás para estudiar un poco más en profundidad el caso concreto de las civilizaciones griega y romana, ambas consideradas la cuna de la Arquitectura.



### 2.1.1. Grecia. La matemática del Sol.

*“La casa ideal debe ser fresca en verano y cálida en invierno”. (Sócrates).*

La cita de Sócrates puede parecer hoy demasiado evidente y nada concluyente, pero no lo es tanto en el momento que se realizó. Hace más de dos siglos la civilización griega carecía de medios e instalaciones activas para refrigerar y calentar su vivienda durante el año hasta una temperatura adecuada y confortable para el ser humano.

El calentamiento de las estancias en invierno provenía del uso de unos sencillos braseros que funcionaban con carbón como elemento combustible, un material nada eficiente que terminó con la devastación de las superficies arbóreas y su posterior importación y regulación de la madera. Hasta que en el siglo IV a.C. los atenienses prohibieron el empleo de madera de olivo para hacer carbón. Hecho que bien se puede comparar con la situación de las últimas décadas en Europa.

El discurso ahora ya es conocido, ante una sucesión de crisis en la obtención de materiales que generen energía, se comienzan a plantear soluciones y alternativas gratuitas o abundantes en la naturaleza. Por fortuna se disponía de un Sol que pocas latitudes gozan en el hemisferio norte (España entre otras). Así, el objetivo de encontrar el confort térmico por medios y estrategias proyectuales como la orientación cayó en manos de los proyectistas griegos, quienes aprendieron a construir sus casas para beneficiarse de los rayos solares en los moderadamente fríos inviernos y evitar el calor del Sol en los cálidos verano. Dando así génesis a una nueva arquitectura, donde el diseño de los edificios responde a un mejor aprovechamiento solar.

La clave de la técnica griega consistía en aprovechar que los rayos solares incidían sobre la Tierra con una inclinación variable según el ciclo de las estaciones del año. Gracias a este hallazgo decidieron construir delante de las fachadas unos pórticos donde la profundidad y la altura formarán un triángulo cuya hipotenusa tuviera la inclinación justa (aproximadamente 80 grados) para impedir la incidencia de los rayos solares durante los meses de verano. Y además, si el espacio libre delante del pórtico era tal que su anchura y la altura del edificio de enfrente formaban un triángulo cuya hipotenusa tenía una inclinación no mayor que 26 grados, la fachada estaría convenientemente soleada en invierno.

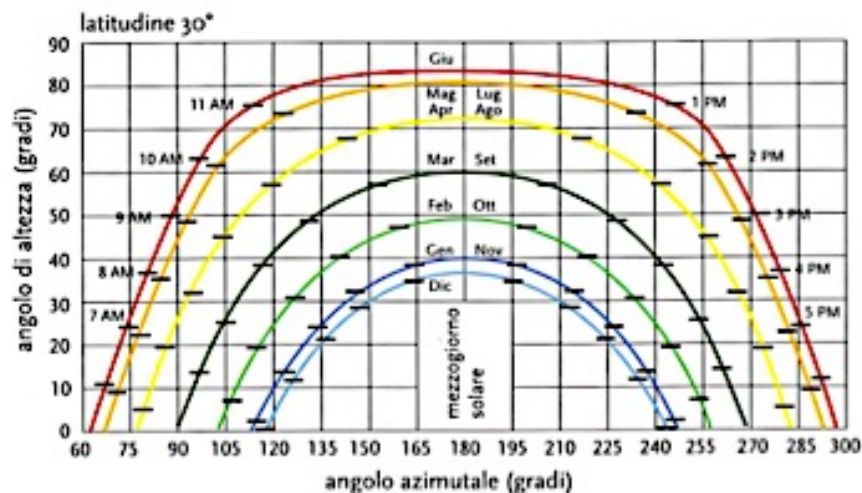


Figura 18. Ángulo inclinación solar durante el recorrido del año.

Los griegos muestran en este punto una madurez e intención arquitectónica difícil de alcanzar, usando como instrumento proyectual la relación entre la proporción del propio edificio y el contiguo ya existente. Y este fundamento, cuyo alma nace de la geometría del ciclo solar, genera la tipología arquitectónica griega de la casa con patio central, capaz de resolver al mismo tiempo ambas relaciones, pues en este caso el edificio contiguo será la propia entrada a la vivienda.

Las estancias principales de la casa no sólo eran calentadas por los rayos del Sol procedentes del pórtico sino que, además, estaban resguardadas del norte para evitar los vientos fríos.

Si bien es cierto que la casa con patio central permitía la total autonomía de cada vivienda, era también necesario que el planeamiento y la ordenación urbana permitiera y facilitara esta inteligente disposición. De ahí que la trama de las ciudades griegas estuviera orientada de Este a Oeste.

El ejemplo más paradigmático del diseño solar griego a escala urbana es la planificación de la ciudad de Priene, donde a pesar de su pronunciada topografía se decidió aterrizar los viales principales en la dirección Este-Oeste, mientras que en la dirección perpendicular al terreno ascendían las calles de menor importancia. Así, todas las viviendas, hasta las de los ciudadanos de clase más bajas, estaban proyectadas bajo los criterios ya enunciados.

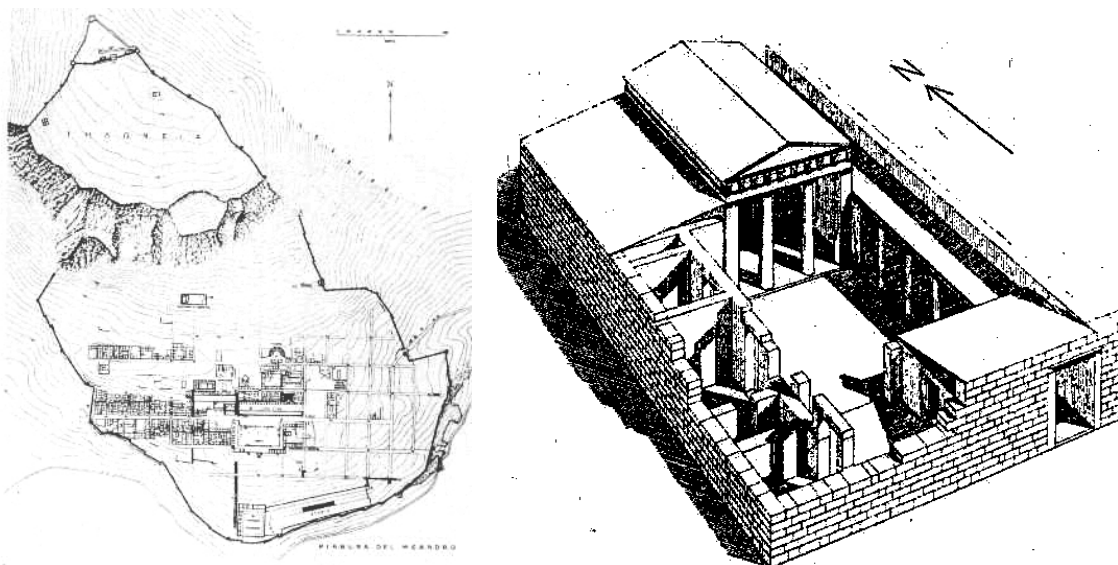


Figura 19. A la izqda. La antigua ciudad de Priene. Pese a su dificultad del terreno, casi todas las viviendas podían beneficiarse del sol de invierno. A la dcha. Modelo de pórtico griego.

Es concluyente como del estudio empírico de un lugar y del rigor, se produce una ley que satisfará las nuevas necesidades mediante la creación de una tipología arquitectónica.

### 2.1.2. Roma. *Function follows the Sun.*

*“Si deseamos que nuestros diseños de casas sean correctos debemos comenzar por tomar buena nota de los países y climas en que estas van a construirse. Un tipo de casa parece apropiado para Egipto, otro para España... otro aún diferente para Roma, y así sucesivamente [...]. Es evidente que los diseños de casas deberían conformarse a las diversidades del clima.” (Vitruvio).*

Como no podía ser de otra manera ya en el primer tratado de arquitectura de la historia Vitruvio constata la importancia de la orientación de la vivienda a la hora de afrontar un proyecto de construcción. Aporta una visión más general que la del caso griego, evidenciando como cada lugar por el simple hecho de pertenecer a un tiempo y a un espacio concreto tendrá unas características climáticas propias que deberían ser altamente determinantes en la ejecución de un buen proyecto.

El consumo de madera de la antigua Roma fue incluso más pródigo que el de Grecia. Existía una enorme demanda de madera como combustible para la industria, para la construcción de barcos y casas, y para calentar baños públicos y villas particulares. Los hipocaustos quemaban más de 15 metros cúbicos diarios de madera o carbón en hornos e impulsaban luego el aire caliente a través de ladrillos huecos situados en los pisos y paredes. La consecuencia directa fue que en apenas dos siglos los romanos tenían que importar madera de regiones tan orientales como el Cáucaso debido al agotamiento de sus recursos locales. La estratigrafía social romana era ya más compleja que la griega y este déficit también tuvo sus repercusiones adversas en otros sectores como la industria local del metal.

Al igual que ocurrió con la civilización griega, la romana necesita de una crisis de recursos naturales para adoptar en la proyección de edificios técnicas y estrategias solares que se adaptaran a los climas del gran imperio. Sin embargo existen dos diferencias bastante importantes entre ambas, por un lado los romanos emplearon el vidrio en el cerramiento de las aperturas a fin de evitar las pérdidas térmicas (el vidrio coloreado había sido empleado durante miles de años, pero no fue hasta el siglo I que se introdujo el transparente en las ventanas). Además, los romanos orientaron las estancias de la vivienda según su uso para lograr mayor confort según las enseñanzas del tratadista Vitrubio.

Como ejemplo arquitectónico que aún estas dos características del diseño romano cabe destacar el denominado Heliocaminus romano (literalmente "horno solar"). Este término fue concebido por el escritor Plinio el joven, quien dio forma a su casa de verano bajo estas afirmaciones. Así su estancia de lectura y trabajo era semicircular y estaba dotada de un gran ventanal por donde penetraba la luz solar. Además probablemente las aperturas de otras orientaciones estarían protegidas con vidrio o mica permitiendo el paso de la luz pero no la pérdida del calor generado en el interior.

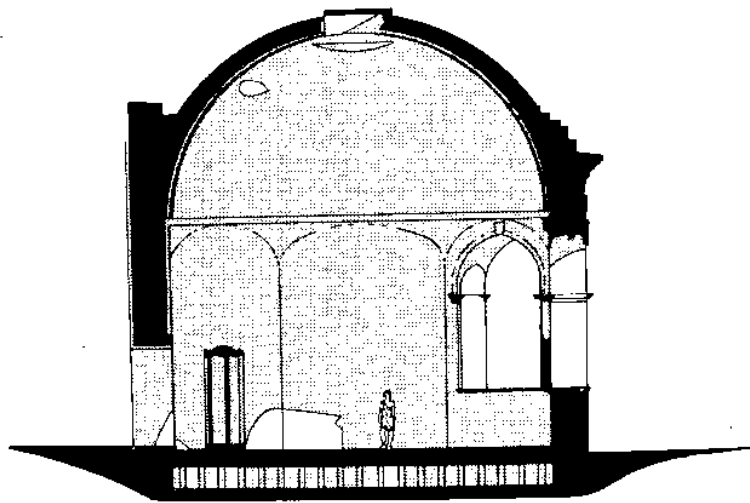


Figura 20. Heliocaminus romano.

A lo largo de las décadas estas nuevas técnicas de aprovechamiento de la energía solar fueron aplicadas en otros ámbitos como la arquitectura pública o el planeamiento urbano, así como otras interesantes y novedosas estrategias basadas en la eficiencia y el ahorro. Así el uso del vidrio como cerramiento y colector solar se lleva a la construcción de invernaderos, incrementando la producción de las cosechas. Los baños públicos fueron también orientados hacia el sol de manera específica según el tratado de Vitrubio: *"El lugar para los baños debe ser tan templado como resultara posible y estar alejado del norte... Deberían mirar hacia la puesta del Sol invernal, pues cuando el Sol poniente nos alumbra con su resplandor irradia calor, volviendo esta orientación más cálida a última hora de la tarde"*. Con esta cita vitrubiana se pone de manifiesto un claro ejemplo donde la orientación de la estancia se sirve de su propio uso y función, adaptándose al ritmo y al tiempo de quien la habita, siendo al finalizar el día cuando los romanos tenían la costumbre de tomar el baño, de ahí la conclusión de situarlos a poniente.

El imperio romano terminó sumido en una profunda crisis de recursos que obligó a las clases más altas y ricas de la sociedad a abandonar la residencia de la capital y empezar una nueva vida en el medio rural. En este nuevo contexto se escribieron nuevos manuales de arquitectura fundamentados en la autosuficiencia, donde además de las técnicas solares ya enunciadas se explicaban otras técnicas de eficiencia como el reciclaje del agua o la disposición de las estancias de invierno sobre los baños calientes para beneficiarlas tanto del calor solar como del sobrante que ascendía de los mismos. Otra novedad incluida en estos tratados fue el uso de colores claros u oscuros según se quisiera reflejar o retener la radiación solar.

En el ámbito del planeamiento y la ordenación urbana, al contrario que lo visto en Grecia, la trama de las ciudades romanas no tenía como principal objetivo que todas las viviendas recibieran un correcto soleamiento. Esta diferencia deviene del complejo hecho de cómo estaban estructuradas las clases sociales de ambas civilizaciones, mientras que los griegos vivían en un ámbito de democracia e igualdad social, los romanos se caracterizan por la división de clases y los privilegios sociales. Un importante contraste que llevaría a la civilización romana a proyectar viviendas humildes sin un correcto asoleamiento y una orientación que no respondía a las bases del registro jurídico romano, al cual tuvieron acceso solo las clases más enriquecidas.

### 2.1.3. La orientación como elemento generador del programa

*"Satisfacer la ley para alcanzar la libertad." (Mies van der Rohe).*

Existen muchos pueblos y civilizaciones que se desarrollaron a lo largo de la historia bajo estos principios o de similar índole, pero este conocimiento y *savere faire* de la arquitectura fue perdiendo su relevancia con el transcurso del tiempo, llegando en muchos casos a suponer un verdadero problema, sobretodo en el desarrollo del crecimiento de las ciudades. La falta de argumentos en la planificación y de instrumentos precisos de ordenamiento convirtieron a mediados del siglo XIX muchas ciudades europeas en espacios insalubres y con serios problemas de habitabilidad, donde la escasez de luz y radiación solar se consagró como uno de los principales generadores de esta situación.

Es interesante en este punto mencionar figuras como Patrick Geddes, autor del libro "Cities in Evolution" y conocido por su metáfora de la sección del valle para entender la génesis de la ciudad. Geddes es un biólogo escocés nacido en este caos urbanístico del siglo XIX en el que está sumida Europa, y es considerado por algunos expertos como el padre del urbanismo paisajista y ecológico, además fue el autor de varias intervenciones urbanas en ciudades indias a través del método *conservative surgery*, mediante el cual se intervenía en el centro de las urbes de manera respetuosa. Geddes analiza el estado insalubre de la ciudad de su momento desde la comprensión de la totalidad del territorio, ejemplificada con la ya enunciada sección del valle:

*"Esto sirve como introducción a la geografía racional de las ciudades, en términos de sus orígenes regionales. Para empezar, a estos se los estudia y comprende mejor si se parte de la sección del valle y sus ocupaciones resultantes y correspondientes tipos de establecimiento humano. Obsérvese al minero, el leñador y el cazador en las alturas; el pastor en las hondonadas con pasto; el campesino pobre (con avena o centeno) en las inclinaciones más bajas; y el campesino rico (con trigo y en el sur posiblemente con vino y aceite) en la llanura; por último, el pescador (marino de guerra, mercante, etc.) al nivel del mar. Pues así han surgido y surgen todavía las ciudades".*

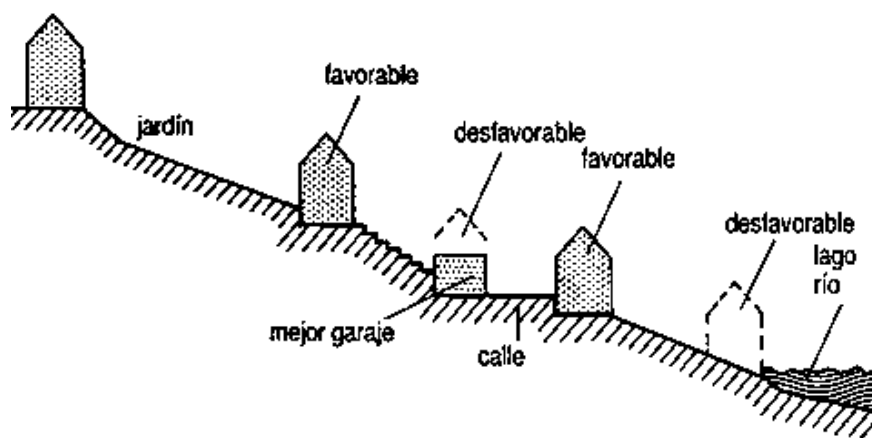


Figura 21. Sección del Valle. (Geddes, P.)

Geddes exponía que la inspección y observación del territorio era siempre el primer paso método de proyecto. También en el siglo XX Le Corbusier toma conciencia de la importancia del ciclo solar en la arquitectura, como manifestó en el Congreso Internacional de Estudio sobre el problema de las zonas subdesarrolladas celebrado en Milán en 1954. “Un sol se eleva... un sol se eleva de nuevo. Si la totalidad de las condiciones necesarias y suficientes no se consiguen, hay desequilibrio, insuficiencia –desdicha cada día... y toda la vida.”. Y, sobretudo, arquitectos como Frank Lloyd Wright y Alvar Aalto quienes fueron verdaderos maestros de la integración de la arquitectura en el entorno. Proyectos como la Casa Jacobs del primero (1943, Middleton) o el bloque de viviendas de Lucerna y el Wremen de Aalto (1958-62) suponen magníficos ejemplos de cómo la arquitectura se sirve de la orientación solar como elemento generador del proyecto.

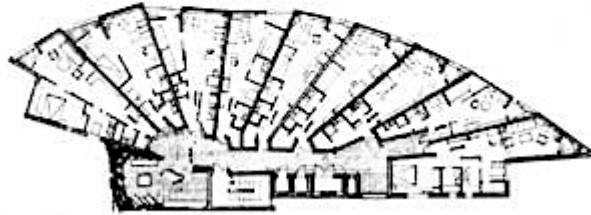


Figura 22. Apartamentos Wremen, (A.Aalto, 1958)

Wright representa mejor que nadie la tradición regional del movimiento moderno. La fluidez espacial, la búsqueda de la verdad de los materiales y su potencialidad expresiva, así como la atracción por lo antropomórfico, son atributos que provienen de su admiración por la arquitectura tradicional japonesa y que incorpora a su obra.

En la ya mencionada segunda residencia para Herbert Jacobs (1943-48), Wright regula al máximo la radiación solar y aprovecha la inercia térmica del edificio. Esta vivienda, concebida como una planta convexa de fachada totalmente acristalada y rematada con un generoso alero, y con el espacio interior a doble altura orientado estrictamente al sur y su fachada norte de mampostería de piedra enterrada en el terreno, es un verdadero colector solar pasivo, que Wright denomina explícitamente Hemiciclo Solar. La curvatura de la planta permite que todas las partes de la casa disfruten de la misma radiación solar en la misma hora del día durante la mayor parte del año. El mismo propietario, Herbert Jacobs, elogió su comportamiento solar: “Normalmente a las nueve horas de una mañana soleada, incluso con temperaturas exteriores bajo cero, la calefacción se cierra y no vuelve a ponerse en funcionamiento hasta la media tarde... El sol en invierno alcanza incluso la parte del muro más profunda situada debajo de la entreplanta”. (Porteus, C. *The New Eco-Architecture*).

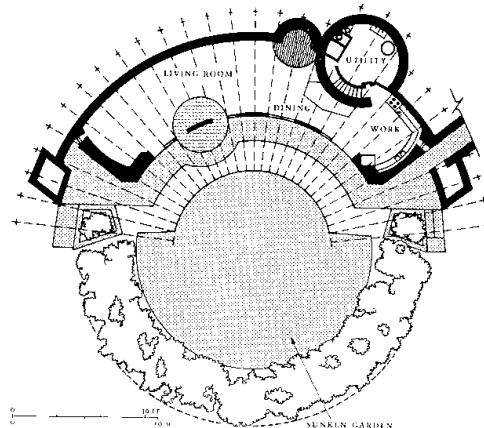


Figura 23. Casa Hemiciclo Solar (Wright, F.W. 1943-48)

En estos edificios ya se definen cuales son hoy los criterios básicos más eficientes para el correcto funcionamiento y aprovechamiento de la energía solar, sobretodo en cuanto a definición de huecos y programa se refiere.

A la hora de proyectar una vivienda de eficiencia energética, se debe ser riguroso con la distribución del programa respecto a la orientación. En el hemisferio norte se siguen unas pautas generales muy básicas para conseguir un buen ahorro energético mediante la distribución de las estancias:

- **Orientación Sur:** permite aprovechar al máximo la radiación solar, como consecuencia los espacios a Sur estarán mejor iluminados y durante más tiempo sin ningún coste, todo ello gracias a la luz natural. En una vivienda interesará disponer a Sur las estancias más nobles como el estar y las habitaciones más grandes. Además conviene que todas las habitaciones tengan una ventana a Sur, así como una terraza, pues es la mejor orientación para relacionarse con el exterior.

Cuando la vivienda se proyecta con orientación Sur, será deseable disponer de una pantalla de hojas caducas o edificaciones importantes hacia el poniente para controlar el exceso de radiación solar durante los meses más cálidos y de verano. Además, si el ancho de la parcela es suficientemente grande (alrededor de 15 metros) es interesante proyectar la vivienda recostada sobre la medianera Oeste u otras protecciones como viviendas adyacentes o límites geográficos. También se tendrá en cuenta que las ventanas que se abran sobre el Este recibirán sol hasta el mediodía durante el verano y que durante el invierno la inclinación del sol es muy baja, por lo que su ingreso en la vivienda puede ser altamente condicionado por la presencia de obstáculos en el terreno, que en ningún caso podrán ser modificados. La orientación Sur de la vivienda proporcionará un área de sombra permanente originada por la geometría de la misma, esta zona durante el verano resultará agradable al ser más húmeda, características óptimas para la creación de un espacio exterior o jardín de uso estivo.

- **Orientación Este:** permite aprovechar los primeros rayos del día, ya que el sol sale por esta orientación. Si bien es interesante diseñar una habitación para usuarios juveniles o para el lavado y planchado de ropa, el mejor aprovechamiento del Este es mediante la proyección de la cocina y zona de desayunar. Además se producirán molestias visuales al amanecer por el profundo sol y un sobrecalentamiento de la vivienda durante las mañanas de verano, que podrá ser controlado reduciendo el tamaño de las aberturas.

Una de las principales características es que esta orientación recibe la radiación solar de la mañana tanto en invierno como en verano, con lo cual no conviene proyectar un frente de vegetación con hoja perenne, ya que en los meses fríos será necesario este aporte energético matinal. La parte posterior de una vivienda orientada hacia el Este recibirá todo el aporte solar de poniente, especialmente agradable durante el invierno. En los meses cálidos bastará controlar esta incidencia por medio de vegetación caduca.

- **Orientación Oeste:** permite aprovechar las últimas horas de radiación solar del día, las más rojas y cálidas. En esta orientación conviene diseñar uno de los servicios de las habitaciones a sur u otros espacios sirvientes como el garaje o el comedor. Una zona de juegos y ocio o un pequeño salón también funcionan bien a Oeste. También se producirán molestias visuales al atardecer con el ocaso por el profundo sol y un sobrecalentamiento de la vivienda durante la tarde en verano, lo cual será negativo para un espacio de noche.

- **Orientación Norte:** el sol nunca incidirá directamente sobre la fachada norte de una vivienda, siendo ésta como consecuencia la zona más fría y con menos intensidad de luz natural. Sin embargo, se deben distribuir a Norte las estancias de estudio o lectura, como la biblioteca, ya que la luz difusa es la mejor para esta función. Interesa diseñar el menor número de aperturas posibles para evitar pérdidas energéticas, y disponer en esta orientación todos los espacios de servicio como baños, cuartos de instalaciones, pasillos, vestidores, escaleras o accesos. La agrupación de estos elementos generará el determinado espacio colchón, fundamental para conseguir un buen confort térmico en la vivienda.

Estas características llevan al arquitecto a distribuir los principales espacios en la parte posterior de una vivienda de orientación Norte, determinando un frente con pocas posibilidades estéticas que mostrará la habilidad del diseñador.

### 2.1.4. Parámetros relevantes según la orientación del edificio

La orientación es quizá el parámetro más condicionante sobre el aprovechamiento energético, sin embargo, existen también otros que en conjunto supondrán un peso importante en el balance final, proporcionando un mejor confort térmico y ahorro energético.

Así, cabe mencionar la importancia del viento como elemento condicionante de la orientación del edificio. En muchas localidades existen fuertes rachas de aire de diversas temperaturas, y es necesario tener clara su dirección y sus características para poder proteger el edificio y evitar excesivas pérdidas o ganancias térmicas. Además tomará un papel relevante en la correcta ventilación de la vivienda. Como posibles medidas contra el viento se diseñan pantallas vegetales u otro tipo de elementos más pesados como muros.

La vegetación, tanto la existente como la que se pueda añadir en el diseño de proyecto también es uno de los parámetros que como ya ha quedado demostrado tendrá repercusión directa sobre la disposición y orientación de la vivienda. La vegetación obstruye, filtra y refleja la radiación, modifica el movimiento del aire obstruyéndolo, filtrándole y guiándolo. Así mismo modifica el impacto de la lluvia, hielo y nieve y la evaporación de agua del suelo. Al controlar la radiación, viento y precipitación, controla las variaciones de temperatura anual, estacional y diariamente.

La efectividad de cada tipo de vegetación depende de la forma y carácter de las plantas y clima. Evaluarlo es complejo y existen pocos datos, su impacto debe tenerse en cuenta porque en algunos casos, absorbe el 90% de la radiación, reduce el viento a un 10% de su velocidad en terreno libre, reduce temperaturas hasta 7°C por debajo de la del aire y en algunas ocasiones incrementa las temperaturas por la noche. El agua tiene un profundo impacto en el clima y en el control climático. Su efecto moderador se debe a que el agua almacena la mayoría de la radiación incidente, radiando una cantidad muy pequeña, y gracias a su capacidad de almacenamiento la temperatura no varía en más de 9-19°C a lo largo del año.

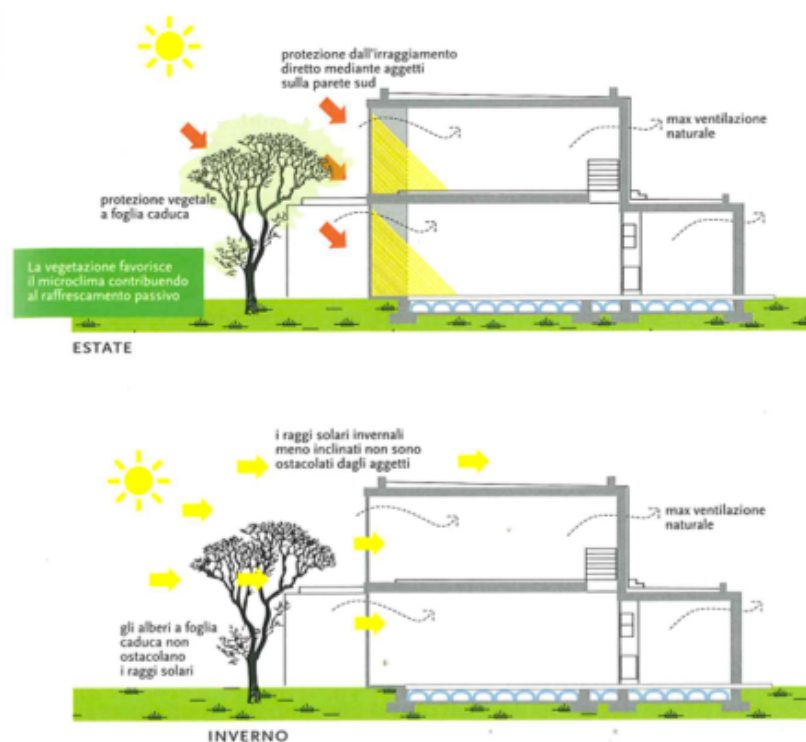


Figura 24. Aplicación de vegetación de hoja caduca: caso verano e invierno.

En lugares específicos de proyecto aparecerán elementos geográficos altamente condicionantes en la orientación de nuestra vivienda, no solo desde el lado de la térmica o el ahorro de energía sino como componentes de un alto atractivo visual y perceptivo como serán las montañas, valles o los mares. Desde el primer momento de la génesis proyectual el arquitecto se va a sentir atraído por

estos elementos paisajísticos que indudablemente se verán introducidos en el proceso de diseño, dotando de una mayor calidad al proyecto, tanto en el ámbito espacial como del propio disfrute de la vivienda. Sin embargo también merece la pena entender a rasgos generales que son elementos con potencia y repercusión sobre la orientación del edificio. Por ejemplo el mar, que al mantenerse a temperatura uniforme, sirve como un gran aparato de aire acondicionado. El aire al pasar por encima del agua se calienta desplazándose del mar a la tierra, en invierno y en verano, el aire más frío del mar modera las subidas de temperatura de las costas, creando un flujo diario de aire frío hacia la tierra durante el día y de la tierra al mar durante la noche, ya que la tierra se enfría y calienta más rápidamente respecto al mar. En este sentido, los árabes eran unos grandes expertos en el diseño de sus palacios, usando agua y vegetación en los patios no solo para embellecer y estar en proximidad con la naturaleza sino para incrementar notablemente el confort de quienes lo habitan. (IMÁGENES ALHAMBRA).

Para finalizar, también el sentido del oído tiene repercusión sobre la orientación de la vivienda, como una parte indispensable del confort del usuario en la casa habrá que evitar en la medida de lo posible los ruidos molestos que provengan del exterior, o por el contrario favorecernos de aquellos que le deleiten, incorporándolos con habilidad como uno de los input proyectuales. Así, resulta fundamental determinar en cada lugar si existen fuentes sonoras perturbadoras en las cercanías del lugar a edificar para evitarlas en su caso y bien utilizar y aprovechar sonidos agradables que se puedan producir en las cercanías (paso de arroyo, viento en árboles del bosque, ruido de un salto de agua al caer, tráfico, vías rápidas, edificios públicos cercanos, industriales...). (AÑADIR EL EJEMPLO DE LA CASA DE LA CASCADA Y LA CITA DEL SONIDO DE WRIGHT).

## 2.2. Estrategias bioclimáticas en el planeamiento urbano y proyecto arquitectónico

*“La forma como objetivo termina en formalismo. Ya que este esfuerzo no está dirigido a un interior, sino hacia un exterior. Pero solo una vida interior produce vida exterior. Solo la intensidad de vida produce intensidad de forma “ (Mies van der Rohe*

Se entienden como estrategias bioclimáticas todos aquellos sistemas y técnicas de las que el arquitecto se servirá para afrontar el proceso de génesis proyectual con la mirada puesta en la búsqueda de una arquitectura eficiente, cuyo objetivo final es mejorar la calidad y confort de vida del usuario.

En ningún caso se tratará de dar soluciones de carácter definitivo y permanente o de encontrar la fórmula rígida que salvaguarde el futuro del medio a través de una arquitectura mal llamada “sostenible”. El objetivo será entender que existen unos fundamentos, unas leyes bajo las cuales el proyecto arquitectónico será más amable y educada con el entorno que nos rodea, hablando en términos energéticos.

Del entendimiento de estas leyes y de su incorporación al proceso de diseño deviene el éxito de la construcción eficiente. Las decisiones proyectuales tienen consecuencias energéticas.

Porque se quiere proyectar desde la libertad absoluta y maravillosa, pero para ello se necesita del conocimiento. Y no de un conocimiento intuitivo sobre la arquitectura vernácula, se requieren certezas, precisión en los trazos del diseño. Oficio.

### 2.2.1. Clima y localización geográfica de la vivienda

A modo de resumen y con intención expositiva y clasificatoria, se relacionan los aspectos más importantes que deben considerarse en el diseño energéticamente eficiente de una vivienda, basándose en el clima genérico de su emplazamiento.

El clima mediterráneo es el más complejo de todos, ya que recoge aspectos matizados de todos ellos. Por ellos, aunque se dan algunas directrices generales, es necesario remitirse a los parámetros de los climas más definidos (cálido o frío), ponderando su aplicación.

Finalmente, se apuntan algunas primeras reflexiones en cuanto a la planificación urbanística, ya que de ella depende la posibilidad de aplicación de estos principios de diseño energético en las edificaciones urbanas.



- **Clima templado:** son climas complejos, ya que es una combinación de los expuestos a continuación en diferente grado. Uno de los más representativos es el clima mediterráneo (templado-cálido-húmedo, con verano seco) que presenta tres variantes: continental, marítimo y de montaña.
  - En climas **mediterráneos continentales** son aconsejables las aberturas a sur que permitan el aprovechamiento de la energía solar en invierno, siempre que dispongan de protección solar en verano y aislamiento (por ejemplo, contraventanas interiores) para las épocas frías. Debe facilitarse la ventilación selectiva (en las noches estivales), pero sin descuidar la incidencia de los vientos fríos invernales.  
La inclusión de masa térmica interior facilitará la absorción del exceso de calor diurno interior, por lo que es recomendable la colocación del aislamiento por la parte exterior de los cerramientos soleados. En cerramientos sin posibilidad de captación en invierno, el aislamiento interior facilitará su calefacción mediante energías añadidas.
  - En climas **mediterráneos marítimos** lo principal es protegerse del frío y la humedad en invierno y del calor en verano. Por lo tanto, debe facilitarse la entrada de sol en épocas frías y dificultarla en épocas calurosas (mediante aberturas protegidas a sur), evitando en lo posible las orientaciones este y, sobre todo oeste por el exceso de radiación que reciben en verano. La superficie y disposición de aberturas debe facilitar la ventilación continuada en esta época.  
Las cubiertas y fachadas sobrepuestas y ventiladas refrigeran el edificio en verano, pudiéndose crear cámaras estancas en invierno. La inclusión de inercia térmica interior no es tan importante como en los climas continentales, aunque sí recomendable en muchos casos, sobre todo en zonas con posibilidad de captación solar en invierno.
  - En climas **mediterráneos de montaña** lo principal es protegerse del frío. Por lo tanto, se recomiendan las edificaciones compactas, protegidas de los vientos dominantes y con un buen nivel de aislamiento. Es aconsejable el aprovechamiento de la energía solar mediante la incorporación de ventanales a sur que deben protegerse durante la noche mediante aislamiento interior.

En resumen, para el **clima mediterráneo** podemos extraer una serie de estrategias bioclimáticas comunes que deben ser utilizadas en los edificios:

- Utilización de inercia térmica en muros de fachada y cubiertas para retardar la entrada de calor en verano o pérdida del mismo en invierno.
  - Orientación preferentemente sur, permitiendo la ventilación cruzada de todos los espacios en la dirección predominante norte-sur.
  - Utilización de elementos de protección solar como toldos en patios, cornisas y aleros en fachadas y espacios adyacentes a la edificación.
  - Utilización de vegetación y/o elementos de agua para refrescar en verano y en general mantener las condiciones higrotérmicas estables durante todo el año.
- **Clima cálido seco:** se caracteriza por las altas temperaturas durante el día y confortables o frescas durante la noche en verano.
    - Son convenientes ubicaciones que protejan en verano de la radiación solar y de los vientos cálidos: en el interior de bosques (más frescos y húmedos), en áreas geográficas deprimidas (si son zonas muy secas y no tienen problemas de frío y humedad en invierno) y en zonas cercanas a masas de agua, ya que refrescan el ambiente al evaporarse.
    - Se intenta reducir la exposición a la radiación solar mediante asentamientos compactos e incluso semienterrados, generando sombras proyectadas de unas superficies sobre otras, pintadas de colores claros para reflejar los rayos solares.
    - Al producirse una gran oscilación de temperaturas día-noche, se utiliza materiales de gran inercia térmica para retrasar la entrada de calor diurno al interior. Los

aislamientos colocados en la cara exterior de la obra aseguran que sólo una pequeña parte del calor exterior atraviese la piel del edificio hasta su interior, mientras que la masa interior absorberá el calor generado en el interior del edificio para liberarlo por la noche, cuando la temperatura es más baja.

- La inclusión de patios, con presencia de agua y plantas para humidificar el ambiente, facilita el almacenamiento del aire fresco de las noches.
  - Es necesario evitar una excesiva permeabilidad al aire caliente diurno en verano. Las aberturas al exterior, pocas, pequeñas y protegidas mediante voladizos, persianas o vegetación, se cierran en las horas de más calor y se abren por la noche al aire fresco.
- **Clima cálido húmedo:** se caracteriza por las altas temperaturas diurnas y nocturnas en verano y por su elevada humedad ambiental.
- Es necesaria una fuerte protección frente a la radiación directa y difusa: persianas, celosías, voladizos..., pero más importante es garantizar una buena ventilación diurna y nocturna que aumente la sensación de bienestar.
  - Para aumentar el confort de verano en estos climas se ha de aumentar la velocidad del aire que incide sobre los ocupantes, por su efecto refrigerante directo y por el enfriamiento derivado de una evaporación más rápida del sudor. La disposición de los edificios, alargados y estrechos, con un factor de forma elevado y con aberturas importantes, no debe crear barreras al paso de los vientos suaves.
  - Las edificaciones poco asentadas en el terreno favorecen la circulación del aire y, en consecuencia, la disminución de la humedad. Por lo tanto, son aconsejables los emplazamientos elevados porque proporcionan mayor posibilidad de ventilación. En climas muy húmedos es recomendable la construcción separada del terreno (palafitos) para obtener una mayor exposición a las brisas.
  - En zonas muy húmedas no se recomienda ubicaciones cercanas a bosques, ya que aumentan la humedad ambiental y obstaculizan el paso del viento. Por el contrario, las ubicaciones próximas al mar son aconsejables, mientras que las cercanas a ríos o lagos deben garantizar las corrientes de aire que eviten el estancamiento de la humedad.
  - Las formas dispersas (poco compactas) facilitan las posibilidades de ventilación, al mismo tiempo que aumentan la refrigeración nocturna por la mayor superficie de radiación a la bóveda celeste durante la noche.
  - Los retranqueos en fachada pueden ser convenientes, pero si son excesivos y no están convenientemente diseñados, pueden provocar el estancamiento del aire en algunas áreas, impidiendo el control del calor y la humedad.
  - Las cubiertas y fachadas sobrepuestas y ventiladas ayudan a refrigerar el edificio.
  - La inercia térmica no supone siempre una ventaja, ya que son muy reducidas las variaciones de temperaturas día-noche y entre estaciones.
  - Es necesario favorecer la circulación del aire mediante huecos de ventilación. Para ello se colocarán las aberturas en fachadas opuestas (soleadas-en sombra), o en diferentes plantas para favorecer el tiraje térmico (sótano-bajo cubierta), siendo aconsejable la inclusión de corredores.
  - Las grandes alturas interiores permitirán la estratificación del aire caliente.
  - Es conveniente elegir colores claros y superficies rugosas en fachadas y cubiertas.
- **La Planificación y Ordenación urbanística**
- Una buena planificación urbanística debería asumir los parámetros climáticos de la zona (asoleo, temperatura, humedad relativa, vientos dominantes), beneficiándose o protegiéndose de ellos a través del diseño, tanto del trazado de calles como de la ordenación de la edificación o la disposición de zonas verdes. Los vientos fuertes y los portadores de lluvia deben evitarse, mientras que los suaves pueden contribuir a la ventilación durante el verano. En todo caso, la utilización adecuada de los vientos dominantes debe considerar la relación entre las zonas residenciales y las industriales.
  - En general, para climas **cálidos y húmedos**, se aconseja ordenaciones en

manzanas que permitan la edificación lineal en el eje este-oeste, con la mínima exposición de testeros a poniente y la máxima a sur, facilitando la ventilación cruzada a norte. La refrigeración, favorecida por las brisas en verano, será más acusada en los edificios de mayor altura convenientemente distanciados, ya que hay que considerar su efecto barrera a la ventilación y asoleo de otros edificios vecinos.

- En climas **cálidos y secos**, donde es aconsejable un factor de forma bajo, así como protegerse del aire caliente exterior, no se recomienda la edificación en altura, pero sí la vegetación adecuada (caduca o perenne) que hará aumentar la humedad ambiental y disminuir la temperatura. Se recomienda, pues, la manzana rectangular en el eje este-oeste y patio interior con abundante vegetación. La orientación a poniente puede destinarse a usos que no requieran un confort especial como el aparcamiento.

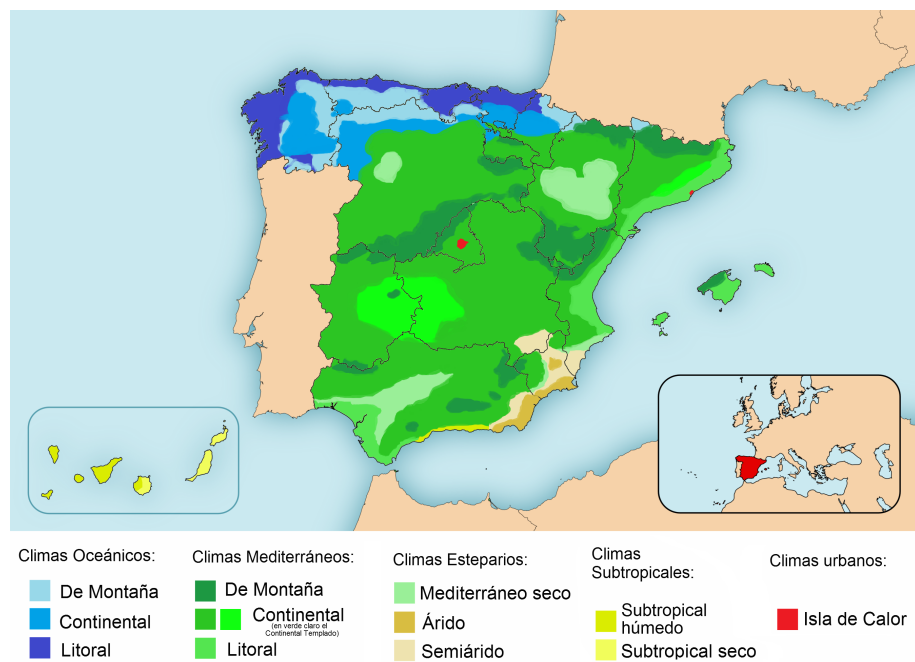


Figura 25. Mapa de las zonas climáticas españolas. ([www.wikimedia.org](http://www.wikimedia.org))

Tabla 1. Diseño urbano según el Clima (1)

DISEÑO URBANO			
	Selección del Sitio	Trazado	Estructura
<b>Clima Templado</b>	Pendiente hacia el Sureste.	Las calles deben estar orientadas hacia el Suroeste. El trazado puede ser libre y curvilíneo.	Una localización abierta y flexible en la que los edificios tiendan a mezclarse con la naturaleza. Las fachadas deben estar orientadas hacia Suroeste y protegidas por árboles caducos.
<b>Clima Caliente Seco</b>	Terrenos con pendiente hacia el Oeste y Suroeste en partes bajas donde el flujo de aire confortable. Evitar fondos de valles con poca circulación de aire.	La vialidad debe estar orientada sobre el eje Norponiente. Buscar la protección de asoleamiento intenso del Oeste y de los vientos fríos del Norte.	Propiciar la agrupación de viviendas para crear ambientes de patios internos con la protección de vallas y árboles. Las viviendas deben estar muy próximas entre si para evitar ganancias de calor reduciendo las superficies de exposición solar.
<b>Clima Caliente Semi-húmedo</b>	Terrenos con pendientes hacia el Norte o Este. Evitar pendientes al poniente Sur. Procurar las partes altas que son más frescas. Terrenos erosionables si están desprovistos de vegetación.	La vialidad debe estar orientada sobre los ejes Este-Oeste. El trazado debe procurar el fácil escurrimiento de agua y concentración o almacenamiento en zonas bajas.	Utilizar fachadas cerradas hacia el Oeste, buscando mucho contacto con exteriores favorables al Este.
<b>Clima Caliente Húmedo</b>	Terrenos en partes elevados expuestos hacia vientos dominantes. Se recomiendan las pendientes hacia el Norte y Este ya que reciben menos radiaciones.	El trazado de la vialidad debe hacerse sobre el eje Oeste, buscando que todos las distribuciones tengan franca exposición a los vientos del Norte. El trazado debe propiciar el escurrimiento de las aguas hacia las partes bajas	Énfasis en que las viviendas estén separadas o dispersas, por lo que se recomienda muy baja densidad.

Tabla 2. Diseño urbano según el Clima (2)

DISEÑO URBANO			
	Espacios Exteriores	Paisaje	Vegetación
<b>Clima Templado</b>	Áreas con jardines provistas de grupos de árboles. Las distancias a los servicios pueden ser variables ya que el clima permite trayectorias peatonales confortables.	Se debe procurar una relación entre exteriores e interiores. Los espacios exteriores pueden servir como extensión de los espacios interiores durante buena parte del año.	Los árboles de follaje tupido y perenne pueden colocarse sobre el lado Oeste a las viviendas. Las plazas y las calles, con orientación Norte, hay que protegerlas con este tipo de árboles.
<b>Clima Caliente Seco</b>	Deben existir cercanías entre viviendas y equipamiento, propiciando recorridos sombreados. Evitar extensas superficies pavimentadas que transmiten y acumulan calor. Diseñar zonas de agua.	Procurar que las vistas hacia montañas estén incorporadas al paisaje urbano. En las planicies buscar vistas interiores.	Cuando la vegetación es escasa, buscar reforestar con especies adecuadas al clima. Los pastos y arbustos deben tener propiedades de absorber radiaciones y retener la evaporación, al mismo tiempo que procurar sombras.
<b>Clima Caliente Semi-húmedo</b>	Procurar que la distancia de las residencias a los servicios públicos no sea lejana. Diseñar trayectorias sombreadas con pavimento que no retenga el calor.	El mar representa un atractivo para ser incorporado en recorridos escénicos y vistas. Cuando el sitio es montañoso, las montañas se deben aprovechar en el paisaje urbano.	Cuando la vegetación es escasa o con árboles bajos y arbustos, es deseable la plantación de especies resistentes al calor y vientos, con propiedades para retener la humedad y un follaje denso de sombras. Reforestar si esta erosionado el terreno.
<b>Clima Caliente Húmedo</b>	Deben estar muy ventilados y sombreados. Distancias mínimas entre las viviendas, equipamiento y servicios. Se deben procurar recorridos urbanos con sombras.	Es conveniente propiciar recorridos con vistas al mar. En sitios sin vistas al mar o montañas, es recomendable incorporar la vegetación al paisaje urbano.	Los árboles de sombra deben tener follaje alto para no obstaculizar las brisas. No colocar arbustos cerca de las viviendas para impedir que desvíen o maten el viento.

Tabla 3. Diseño arquitectónico según el Clima (1)

DISEÑO ARQUITECTÓNICO			
	Tipo de Vivienda	Planta	Orientación
<b>Clima Templado</b>	El clima permite disposiciones muy flexibles. Es deseable propiciar una relación cercana entre la vivienda y la naturaleza. El diseño puede adoptar cualquier forma.	Hay libertad de diseño. Es conveniente buscar conexión espacial entre exteriores e interiores. Las estancias pueden localizarse sobre el Este y las terrazas sobre el Sur y Sureste. Las viviendas pueden tener varios niveles. Altura interior promedio de 2.30m.	La vivienda debe estar preferentemente orientada hacia el Suroriente. La orientación de edificios altos debe ser correlacionada con la exposición de los vientos.
<b>Clima Caliente Seco</b>	Son deseables viviendas muy compactas, de dos pisos, con misma área de exposición solar. Los edificios altos deben ser masivos.	El objetivo es la pérdida de calor en verano, más que su ganancia para invierno. Las viviendas deben ser cerradas, próximas entre sí y rodeadas de áreas verdes. Los espacios que producen calor (cocina, servicios) deben estar separados de otras áreas de la vivienda.	La orientación debe ser hacia el Este y Sureste para proporcionar buen balance en el asoleamiento. Procurar ventilación cruzada para verano.
<b>Clima Caliente Semi-húmedo</b>	Construcciones semicompactas: cerradas hacia orientación desfavorable y abierta hacia los exteriores favorables. Son deseables pequeños grupos de viviendas.	Viviendas parcialmente cerradas. Abiertas hacia vistas y vientos deseables. Conviene construcción de un sólo nivel para evitar ganancia de calor. La altura de algunos espacios puede ser mayor de 2.30 m.	Exposición hacia orientaciones Norte y Este, cerrando el lado Oeste y protegiendo el lado Sur.
<b>Clima Caliente Húmedo</b>	Se recomiendan viviendas abiertas y aisladas expuestas a orientaciones y vientos favorables. Por la humedad es preferible levantarla un poco del terreno. De ser posible construir en varios niveles.	La vivienda puede organizarse por elementos separados ya que la mayor parte del tiempo las condiciones del exterior son confortables si están sombreadas. Las actividades de estar y comer deben estar relacionadas estrechamente con el exterior así como cocinar y lavar.	Las viviendas deben tener una orientación predominante al Norte o al Nororiente. Protección del lado poniente que en verano es de intenso asoleamiento. Indispensable la ventilación cruzada.

Tabla 4. Diseño arquitectónico según el Clima (2)

DISEÑO ARQUITECTÓNICO			
	Forma	Interiores	Color
<b>Clima Templado</b>	Una forma alargada sobre el eje Norte-Sur recibe menos castigo de asoleamiento que otros climas.	Se requiere de un mínimo de ventilación cruzada, la penetración del sol es deseable por lo que los espacios no deben ser profundos.	Se pueden usar colores medianos indistintamente, pero es recomendable emplear los colores oscuros en lugares sombreados o protegidos del sol de verano y colores claros sobre los techos.
<b>Clima Caliente Seco</b>	Se recomiendan formas compactas. La forma de la vivienda debe propiciar el mínimo de proyección solar.	El diseño de espacios interiores debe procurar efectos de amplitud y frescura. Los espacios deben ser profundos para refrescar y contrarrestar el intenso calor exterior. Conectar interiores con el patio o jardines protegidos es recomendable.	Los colores claros tienen un alto índice de reflexión solar y deben usarse extensamente. Los colores oscuros deben usarse para la absorción de calor durante el invierno.
<b>Clima Caliente Semi-húmedo</b>	La forma de la vivienda puede ser rectangular, cuyo lado corto debe ser cerrado sobre el Oeste o Suroeste, y el lado largo sobre Este o Noreste.	Los espacios con buena orientación pueden ser poco profundos, los espacios con orientación menos adecuada requieren de mayor profundidad para evitar asoleamiento. Es indispensable la ventilación cruzada.	Preferencia por colores claros que son más reflejantes, sobre todo en fachadas de fuerte exposición solar. Colores medianos y oscuros que son absorbentes pueden ser utilizados en fachadas con menor exposición solar.
<b>Clima Caliente Húmedo</b>	La vivienda debe ser alargada sobre la orientación favorable.	Los espacios interiores deben ser sombreados y bien ventilados. Los materiales deben ser resistentes a la humedad y la intemperie. Procurar un lugar seguro para resguardarse de los temporales.	Los colores claros tipo pastel son los mejores por sus cualidades reflejantes y para evitar el deslumbramiento.

### 2.2.2. Medidas para exprimir el Sol

¿Cuál es la orientación idónea?

*G. V.: Para todo el año la orientación óptima para una casa es la Sur y la Este, y la combinación de ambas (la luz de la mañana y la de mediodía) pero tanto o más importante es la protección de las fachadas. En aquéllas que dan al Sur la protección ha de ser horizontal para permitir el paso del aire caliente sin que éste se embolse en la parte superior de la ventana y entre al edificio. En cambio, las fachadas que dan al Este, Oeste y norte han de ser protegidas verticalmente ya que el sol en estas orientaciones tiene muy poca altura.*

Se define como pasivo un sistema que aprovecha los componentes del propio edificio para captar, acumular y distribuir el calor solar y la luz natural, sin la necesidad de implementar instalaciones auxiliares. Esta práctica toma el nombre de *aprovechamiento solar* y puede ser tanto directo como indirecto.

Una amplia superficie vidriada cara al sur es un simple ejemplo de aprovechamiento pasivo directo de la energía solar. Cuanto más grande es la capacidad térmica específica y la conductividad de los materiales, más oscuras sean las superficies en contacto con el sol, mayor será el calor acumulado. El almacenamiento del calor depende de los materiales usados: para una mayor inercia térmica, hay que elegir materiales más pesados.

Huelga decir que los sistemas para el aprovechamiento directo proporcionan un beneficio no solo en términos de calefacción, también de iluminación.

Una pared solar constituida de vidrio y (detrás de ella) una masiva pared para acumulación (10-20 cm de espesor), es sin embargo, un ejemplo de sistema pasivo indirecto en particular este sistema se conoce como "muro Trombe".

El calor recogido de la pared, que de normal se construye en un color oscuro para facilitar la acumulación de calor, viene distribuido a los ambientes internos por convección y radiación. Esto sucede en el momento en el que la temperatura de la pared supera la temperatura del ambiente, sea por la tarde o por la noche, así como en los días de mal tiempo. El calor sobrante, cuando el aire externo no es demasiado caliente puede ser expulsado por ventilación.

Se ve así como el concepto de aprovechamiento solar se aplica a la iluminación y a la climatización. Para facilitar la explicación, se analizarán separadamente a continuación, el aprovechamiento directo, luminoso y térmico, dedicando un amplio espacio a los cerramientos y a los sistemas de control de luminosidad, y el aprovechamiento indirecto, simplemente para el aprovechamiento térmico.

El aprovechamiento solar obtenido aplicando estos sistemas solares pasivos es la diferencia entre la cantidad de energía solar útil que entre en el edificio y la dispersión de calor del mismo.

#### - **Aprovechamiento del Sol directo**

Es obvio que el diseño de la vivienda debe partir del presupuesto de optimizar los aportes solares, con una maximización de la energía incidente en invierno y al contrario en verano. La posición de los cerramientos y de los espacios internos también deberá corresponder a este resultado.

Así se puede decir que el edificio se comporta como un colector solar que dará mejores prestaciones cuanto mejor este dispuesto en el lugar.

La maximización de la energía solar útil puede ser obtenida mediante:

- a) La instalación de reflectores solares.
- b) El uso de vidrios con elevada transmitancia térmica de la radiación.
- c) La elección de un sistema de elevado absorbimiento de la radiación solar.

Por otro lado, para reducir la dispersión, se pueden elegir:

- a) Vidrios de baja conductancia térmica.
- b) Pantallas aislantes móviles



○ Los cerramientos.

En el diseño del edificio, las aperturas para la percepción y la entrada de luz son considerados como puntos débiles desde la perspectiva térmica. A pesar de la evolución en la producción de los vidrios, este problema permanece: las radiaciones de onda corta que atraviesan el cerramiento no son siempre agradables.

La transmitancia U de un elemento depende fuertemente del valor de resistencia térmica del material en el cual está compuesto, en el caso del vidrio este valor es muy bajo, lo que significa que tiene una buena actitud al paso del calor. Esto explica todos los esfuerzos dedicados para conseguir vidrios de altas prestaciones avanzadas, que puedan cambiar sus propiedades ópticas para impedir el paso de la radiación solar.

Existen otros dos parámetros interesantes que definen un cerramiento:

- Transmitancia solar global (g): porcentaje de energía luminosa que el vidrio deja pasar.
- Transmitancia luminosa (t): porcentaje de luz natural incidente sobre el cerramiento que penetra al interno del ambiente.

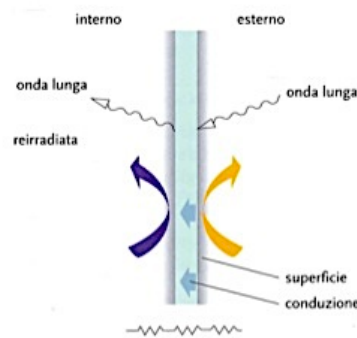


Figura 26. La transmisión de energía a través del vidrio

Tabla 5. Valores típicos de vidrios comunes y avanzados

VALORES TÍPICOS DE VIDRIOS COMUNES Y AVANZADOS			
Tipo de vidrio (vidrio ext, gas, vidrio int)	U(W/m <sup>2</sup> K)	g	t
Simple claro (vidrio float 3 mm)	5,9	89%	90%
Vidrio doble claro (6 mm + 12 mm aire + 6mm)	2,6	75%	81%
Vidrio doble espejo (6 mm + 12 mm aire + 6 mm vidrio bajo emisivo)	1,5	58%	71%
Vidrio doble espejo (6 mm + 16 mm argón + 6 mm vidrio bajo emisivo)	1,1	56%	54%
Doble vidrio de control solar soft coating (6 mm espectro selectivo + 16 mm argón + 6 mm)	1,1	31%	48%
Doble vidrio de control solar hard coating (6 mm espectro selectivo + 12 mm aire + 6 mm)	2,6	46%	48%
Triple vidrio (6 mm vidrio bajo emisivo + 16 mm argón + 6 mm float + 16 mm argón + 6 mm vidrio bajo emisivo)	0,6	36%	62%

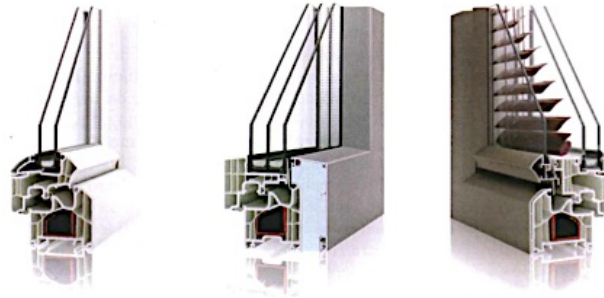


Figura 27. a) Sistema doble estrato. b) Sistema triple estrato. c) Sistema triple estrato + persiana

El alto valor de transmitancia U y la baja inercia térmica por un lado son sinónimos de una baja actitud a conservar energía, del otro permiten al vidrio de proporcionar una válida contribución en el aprovechamiento solar, que puede equilibrar la pérdida térmica a bajas temperaturas externas.

Para aprovechar al máximo la iluminación natural han sido desarrollados vidrios de elevada transparencia adaptados para aumentar el factor solar en los climas fríos, gracias a la radiación térmica directa, y a la vez aislar de las temperaturas externas: se trata de dobles vidrios con revestimientos selectivos caracterizados de un valor U que oscila entre 1,5 y 2,3 W/m<sup>2</sup>K, a los cuales les corresponde un factor de transmisión luminosa comprendido entre el 70-90%.

Se producen también materiales aislantes transparentes como el aerogel o el TIM (Transparent Insulating Materials), que pueden garantizar un valor de transmitancia U cercano al de una pared tradicional opaca (0,8 W/m<sup>2</sup>K), y al mismo tiempo, un buen nivel de transmisión lumínica.

A estos elementos se añaden después las diversas soluciones de protecciones solares.

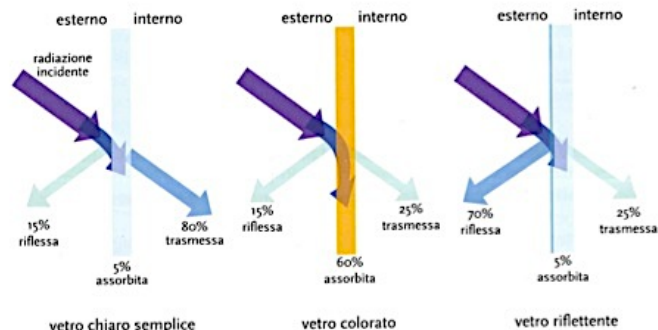


Figura 28. Subdivisión de la radiación según el vidrio usado.

o Los reflectores solares.

La radiación captada por una apertura solar puede ser aumentada colocando un reflector de cara a la pared vidriada. Los reflectores pueden ser superficies metálicas, posiblemente protegidas con un material transparente, o, como alternativa, capas de agua o superficies de colores claros. La reflexión puede ser especular o difusa: en particular, la superficie metálica pulida dan una reflexión principalmente especular, mientras para la mayor parte de las otras superficies la componente principal es la difusa.

El ángulo del reflector metálico puede ser regulado en función de la maximización del aprovechamiento solar en la estación fría, pero prestando especial atención a los problemas de deslumbramiento. Puede ser útil la instalación de un reflector de difusión, que tiene generalmente una menor reflectancia (p). (La reflectancia (p) es la relación entre flujo radiante reflejado y flujo radiante incidente sobre una superficie dada. Es decir expresa el porcentaje de luz incidente que una superficie dada puede reflejar).

Tabla 6. Reflectancia especular para algunos materiales o tipos de superficie

REFLECTANCIA ESPECULAR	
Material	p
Aluminio pulido	0,95
Pintura blanca	0,87
Pintura amarilla	0,75

○ Protecciones solares como mobiliario interno.

En lo que se refiere a la función de barrera térmica, pueden ser utilizadas las protecciones diversas desde cualquier material transparente. La función de estas protecciones es evitar el calor, en la estación cálida, y su acumulación durante el invierno, cuando la radiación solar es menor o nula.

La protección más simple es la persiana, en la cual se puede mejorar su resistencia térmica añadiendo estratos de baja emisividad usando materiales aislantes especiales o cuidando el detalle de los bordes.

Otros sistemas de aislamiento interno son los las persianas aislantes, sobre todo durante la noche.



Figura 29. Tipos de protecciones solares internas

Estos elementos pueden causar la formación de condensación en los vidrios y, en algunos casos, la propia rotura, siempre que la protección de detrás del vidrio no sea eliminada o retirada en el período de máximo soleamiento (es posible que el vidrio sea expuesto a excesivo estrés térmico). Esto depende también de cómo esté fijado el borde que permite más o menos la dilatación del vidrio.

Para sistemas vidriados de varios estratos, pueden ser colocados protecciones solares internas como cortinas, laminas de material de baja emisividad, persianas...

La eficacia de estos sistemas es reducida al período de actividad, por tanto no pueden reducir la dispersión de calor durante el día. Además, las protecciones internas consiguen evitar la iluminación molesta para la vista pero no son eficaces contra el sobrecalentamiento: una vez que la luz ha atravesado el vidrio y por tanto alcanza el ambiente interno, se convierte en calor. Esto supone una ventaja en invierno, al contrario que durante el verano, cuando se necesitará una extracción del calor.

El discurso cambia para los paneles protectores que se colocan en el exterior, que deben necesariamente resistir a los varios agentes atmosféricos como la lluvia, el viento, hielo y los rayos ultravioletas. La ventaja de este sistema reside en la completa ausencia de problemas de condensación; para obtener una protección eficaz es necesario que la cámara de aire tenga el perímetro bien sellado.

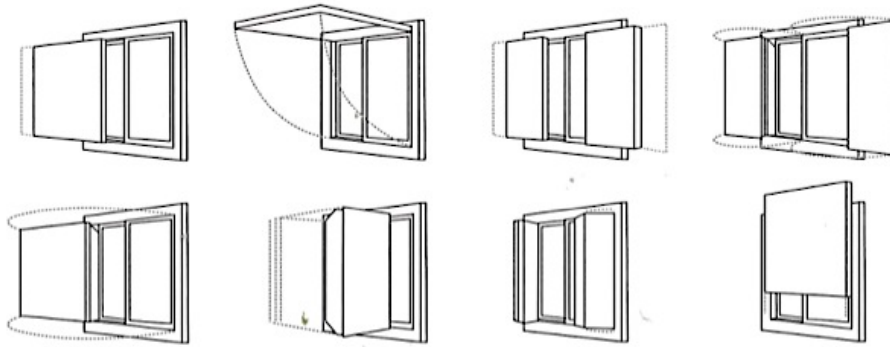


Figura 30. Tipologías de paneles protectores externos

El tiempo requerido al usuario para abrir y cerrar la mayor parte de estos sistemas es considerable: por tanto es aconsejable la instalación de sistemas de control mecánico. Aún mas útil es disponer en tu edificio protecciones solares externas como voladizos o brise-soleils.

○ Protecciones solares externas.

Otra medida destinada al control de la emisión de radiación solar en el ambiente son las protecciones solares externas, que pueden ser fijas o móviles, horizontales o verticales.

Es importante tener en cuenta que, cuando se usa de una protección horizontal, el edificio deber estar orientado a sur: basta una pequeña desviación de 8 grados para reducir su eficacia.

▪ Protecciones fijas

La protección más eficaz para una ventana orientada a sur es la horizontal, mientras que para las ventanas de Este u Oeste conviene elegir protecciones verticales. Los dispositivos más simples son los voladizos y la sombra que proyectan. El defecto principal de las protecciones fijas es que la entidad de la protección está determinada de la existencia de sol, en todos los casos, más que de un sobre calentamiento o condiciones climáticas, así se produce un efecto de protección en aquellos períodos también donde sería necesario un calentamiento pasivo de la vivienda. Además, estos cerramientos fijos siempre reducen una parte de la radiación difusa, reduciendo la iluminación natural.

En la siguiente Figura se ejemplifica una protección de alero horizontal fija: en invierno, los rayos solares penetran al interno de la vivienda, en primavera se pierde buena parte del calentamiento pasivo, aunque si la exigencia de calor, en general disminuye, puede estar presente en algunos días más fríos. En verano los rayos son completamente evadidos.

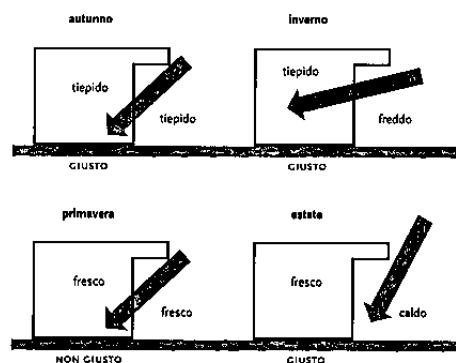


Figura 31. Ejemplo de protección solar voladizo horizontal fijo.

- Protecciones móviles

En la siguiente figura se muestra una selección de todos aquellos elementos de protección móviles: desde persianas venecianas, a brise-soleils, toldos.... Estos elementos tienen que tener también el objetivo de aislar de noche, y proteger durante la estación de calor. La eficiencia de los elementos de protección solar externos, que disipan al aire la energía solar absorbida, es del 30% superior a la de las protecciones solares internas, aunque estas últimas son más económicas y fáciles de utilizar manualmente.

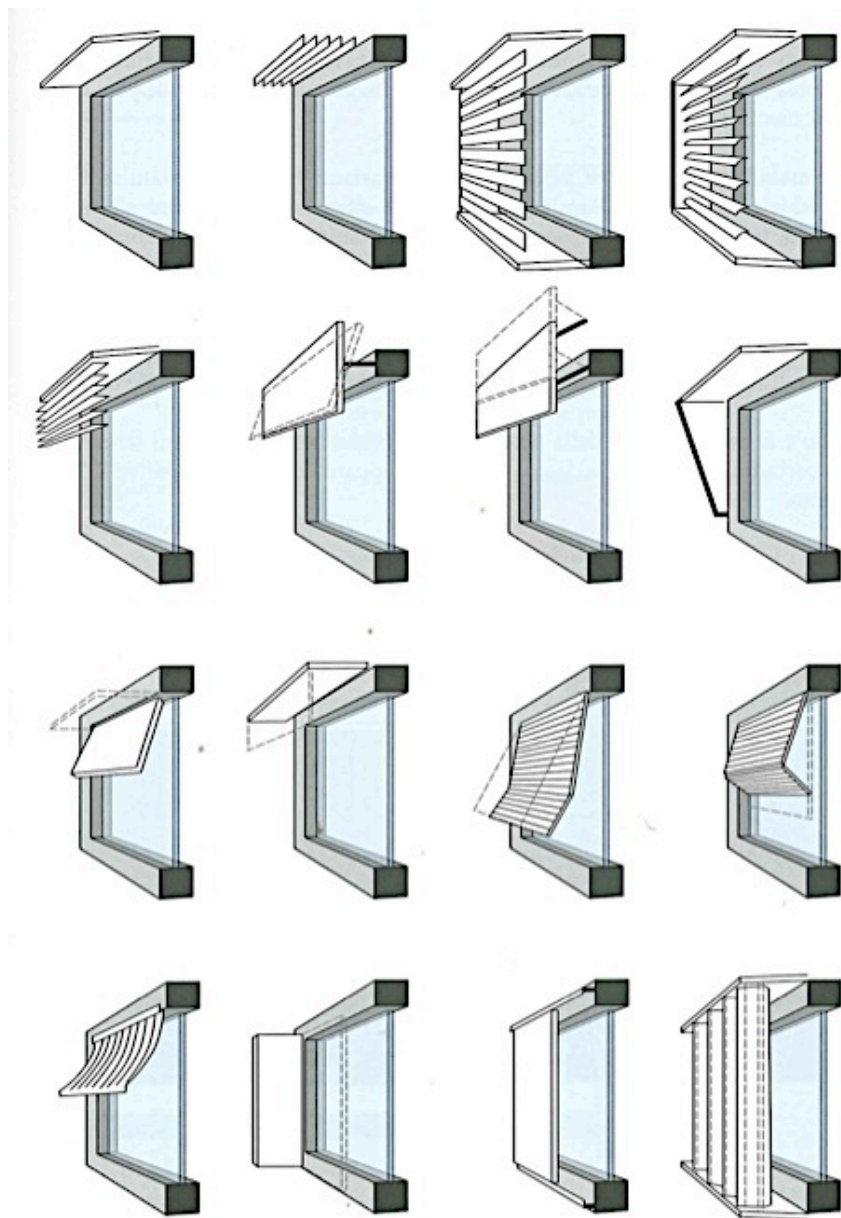


Figura 32. Protecciones solares externas móviles

El control de las protecciones puede ser tanto manual como mecánico: los controles manuales son realizados gracias a elementos como cuerdas, cadenas, cintas, mientras que los controles mecánicos hacen uso de la energía eléctrica y pueden ser manejados manualmente o vía sensores fotoeléctricos.

Los sistemas móviles tipo brise-soleils, en sus infinitas variantes, llegan a garantizar el control gradual del nivel de iluminación natural, refracción y difusión al interior del edificio; mediante las persianas, sea cual sea su tipología, se puede alcanzar una reducción de la luz de hasta el 90% según la disposición, el material y el color.

El cerramiento vertical, a listones o en pared, son eficaces cuando la dirección de los rayos solares no está contenida en un plano paralelo al del cerramiento y forma con éste un ángulo de incidencia suficientemente amplio para impedir la penetración de dichos rayos.

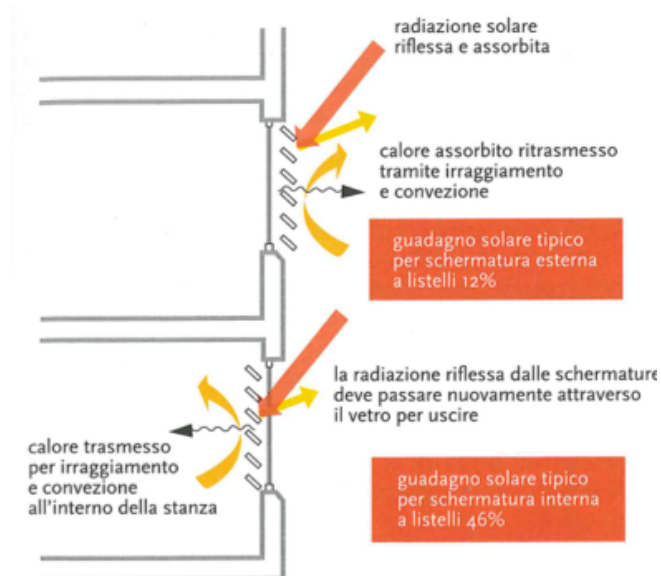


Figura 33. Comparación entre la protección solar de lamas externa e interna

- **Sistemas ópacos de aprovechamiento indirecto: muro solar y muro Trombe**

El sistema de muro solar representa una de las tecnologías mayormente difundidas y utilizadas en el método de proyecto Green.

Se entiende como muro solar una pared externa compuesta de una superficie de vidrio de captación antepuesta a una pared de carácter acumulador.

Entre la superficie de vidrio captadora y el muro solar se forma un espacio intersticial, en el cual se genera un efecto invernadero que permite el incremento de la temperatura de la pared de bloques pétreos, que de este modo absorberá la radiación solar captada de la superficie de vidrio. Una vez acumulado, el calor viene distribuido por radiación al espacio interno.

La distribución de los flujos térmicos puede ser facilitada e incrementada por movimientos convectivos desencadenados por las aberturas, colocadas en la zona inferior y superior del muro, que unen el espacio intersticial comprendido entre el vidrio y el muro con el espacio interno (principio de la termocirculación).

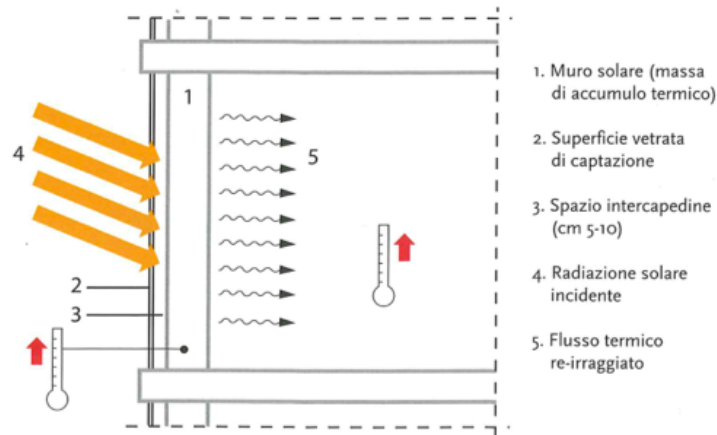


Figura 34. Esquema del principio de funcionamiento natural del "muro solar".

Es posible individualar dos subsistemas fundamentales del muro solar, en función de la configuración de la pared de acumulación:

- Sistema de muro solar completo.  
 La transmisión del calor al espacio habitable se produce por radiación de la superficie interna del muro, más un pequeño porcentaje transmitido por convección de los flujos de aire que circulan por la pared.  
 La eficiencia del sistema depende del espesor del muro acumulador, del material que lo constituye y del color de la superficie. En particular, aumenta en función del material constitutivo del muro mayor es su conductividad, mayor resultara la cantidad de calor transmitida a través de la pared.

- Sistema de muro "Trombe".

Son previstas aperturas en la parte superior e inferior del muro, que unen y relacionan el espacio habitado con el espacio intersticial colocado entre la superficie de captación y el muro.

Estas aperturas, pueden ser controladas manualmente o automáticamente, permiten el inicio de corriente de convección: éstos, en la configuración "invierno-día", son caracterizadas por ser flujos de aire que asciende, entrando al interior del espacio desde lo alto, mientras el aire más frío presente en el espacio habitable se reintroduce a través del espacio intersticial por debajo, produciendo un ciclo.

Durante el período nocturno pueden colocarse elementos que bloqueen el sistema para evitar la termocirculación inversa, debido a las dispersiones térmicas, y optimizar así la eficacia del sistema.

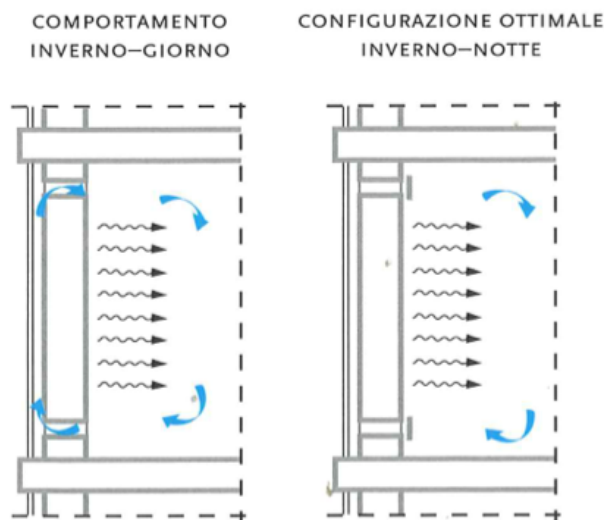


Figura 35. Esquema del principio de funcionamiento natural del “muro Trombe” en invierno

Durante el verano es necesario impedir una excesiva captación de la energía solar por parte de la superficie vidriada; es necesario por ello, prever los pertinentes sistemas de protección solar y cerramiento para producir sombra en la superficie de vidrio durante los meses más cálidos. Además se pueden disponer aperturas en la superficie de vidrio con el fin de permitir la dispersión convectiva de la energía térmica, desde el muro hacia el exterior.

En la configuración de “verano-noche” es útil, al contrario que en el caso invernal, consentir la termocirculación inversa: el aire en el espacio entre el vidrio y el muro se enfría y, se convierte más pesado, así tiende a descender y entrar en el espacio a través de las aberturas bajas; al mismo tiempo, el aire caliente del interior del espacio es expulsado al exterior gracias a las aberturas superiores.

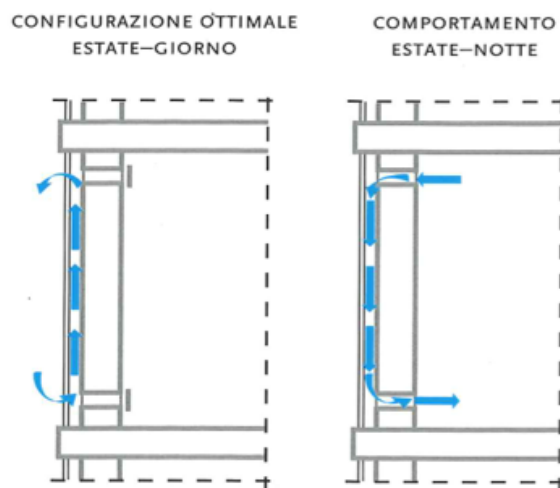


Figura 36. Esquema del principio de funcionamiento natural del “muro Trombe” en verano

### 2.2.3. La Iluminación natural

Las ventanas y aperturas son huecos, en la envolvente del edificio más o menos aislada, que permiten la salida del calor, pero al mismo tiempo el ingreso de la luz natural. Cualitativamente, un buen uso de la luz influye notablemente sobre la experiencia del ambiente como usuarios. El objetivo del arquitecto debe ser optimizar la contribución en términos de iluminación, en función del contenido del gasto relativo a la calefacción. Una correcta distribución de la superficie vidriada es importante con el fin de obtener los resultados ideales: la presencia de esquinas oscuras o zonas



de sombra al interno de una habitación es motivo de un juicio negativo. Por el contrario, hay que considerar que hasta las ventanas de alta calidad tienen una pérdida de calor cinco veces mayor respecto a una pared con un alto valor de aislamiento.

Así, no conviene aumentar excesivamente la superficie vidriada de una vivienda, pero se puede intervenir sobre otros factores que contribuyen a una buena calidad luminosa del ambiente, como son: la proporción y posición de la ventana, la sección transversal de la apertura de la ventana, el tratamiento de la superficie, y las protecciones ante deslumbramientos.

Tomada una habitación de referencia, se pueden analizar todos estos parámetros y ver cómo influyen sobre la calidad de la luz.

#### - Habitación "tipo" y sus condiciones

El espacio analizado como "tipo" tiene las medidas de 3 x 5 x 2,7 m, con una superficie de vidrio de 3 m<sup>2</sup>. Se trata de una situación bastante común, en la cual la relación entre la ventana/pavimento es de cerca del 20% mientras la superficie de la ventana es cerca del 40% respecto a la de la fachada externa. La transmitancia (t) del vidrio es del 62%.

La apertura para la ventana tiene una profundidad de 40 cm, un espesor común para construcciones de alto aislamiento (10-12 cm).

Las consideraciones vienen hechas al medio día, horario en el cual se obtienen mayores variaciones de penetración luminosa en la estancia, en un típico día de cada estación. El cielo viene supuesto cubierto.

#### - Elección de las dimensiones de la ventana

Aparte de las consideraciones ya hechas, es fundamental entender como la dimensión de la ventana es muy significativa del punto de vista estético, pero no significa un aumento proporcional de la luminosidad necesariamente. De hecho, ésta varía dependiendo de la latitud a la que se refiere; en el caso de una latitud mediana, se tiene un aumento progresivo de luminosidad hasta la relación ventana/fachada del 50%, porcentaje desde el cual la curva asumirá una pendiente menor, con un aporte luminoso mucho menos significativo. El aumento de la relación ventana/fachada por encima del 50% no solo determina un aumento absoluto de la cantidad de luz que entra, sino que reduce el contraste y el consiguiente deslumbramiento.

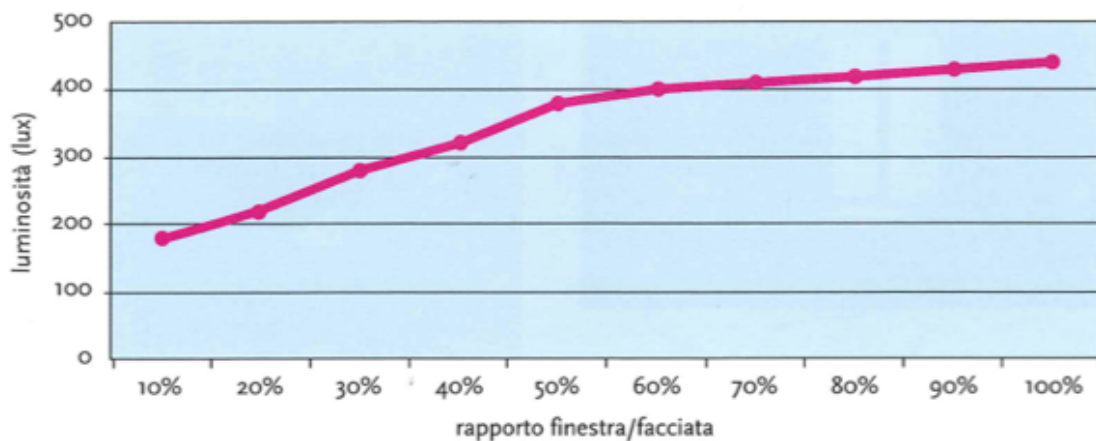


Figura 37. Crecimiento de la luminosidad en función de la relación ventana/fachada

#### o Proporción y posición.

Manteniendo la superficie total de la ventana en torno a los 3 m<sup>2</sup>, se puede visualizar el crecimiento de la luminosidad en varios casos, considerando diferentes formas y proporciones.

**Portafinestra**

Este tipo de ventana ofrece un óptimo ángulo visual desde el interior al exterior. En particular es una solución perfecta para aquellas zonas climáticas con alta frecuencia de cielo cubierto: la luminosidad en el zénit es claramente mayor respecto al horizonte, de este modo se logra captar una mayor cantidad de radiación luminosa, que consigue penetrar mayormente en la habitación.

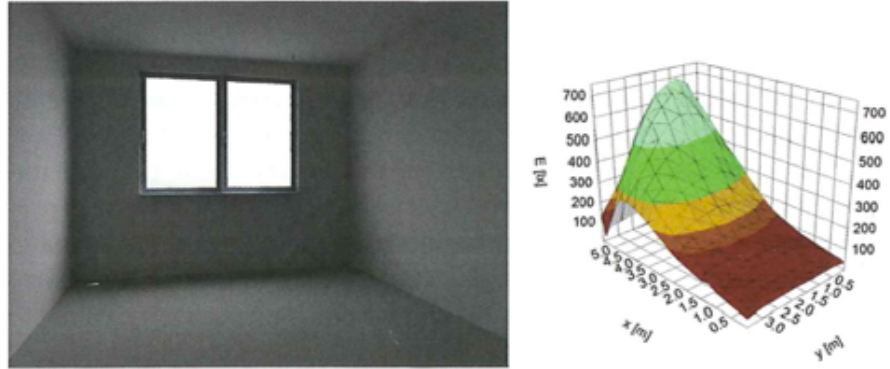


Figura 38. Ventana clásica.

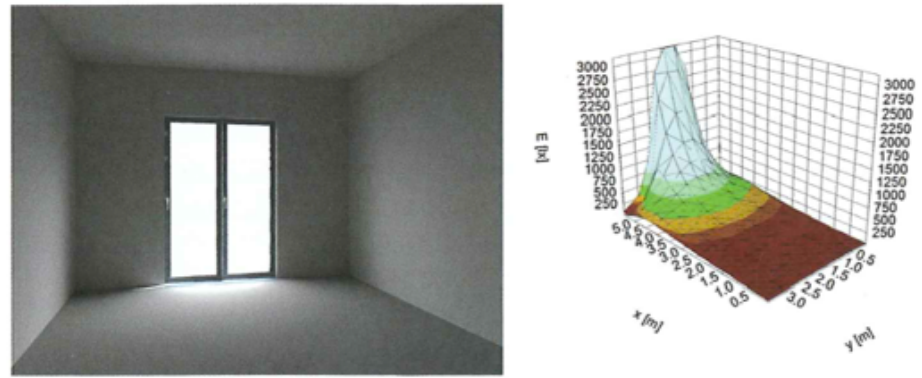


Figura 39. Puerta clásica.

**Ventana horizontal**

Esta configuración permite una buena penetración de la luz en el caso en el que la ventana se encuentra sobre la fachada expuesta a este u oeste, dirección en la cual el sol alcanza ángulos no demasiado grandes. Se trata de una solución válida para ambientes de trabajo, con la astucia de mantener baja la ventana para permitir una buena visibilidad hacia el exterior a quien está sentado frente al escritorio.

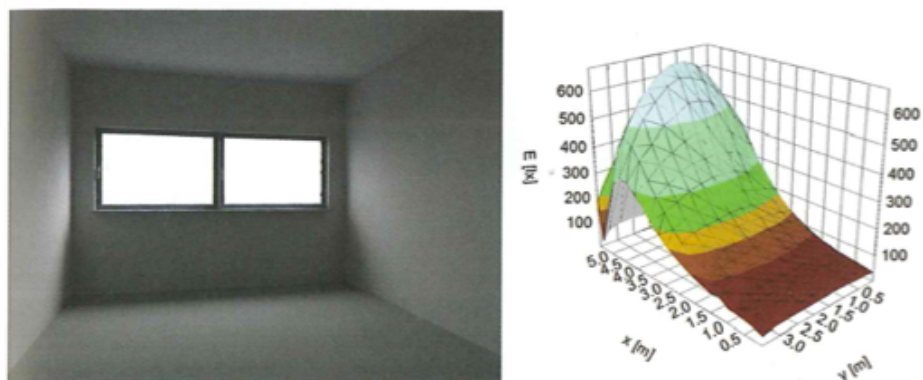


Figura 40. Ventana horizontal alargada.

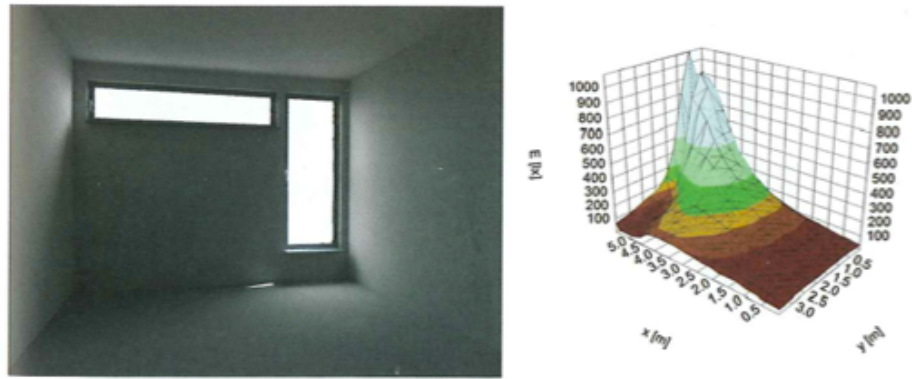


Figura 41. Combinación de ventana alta horizontal y ventana vertical.

### **Ventana de esquina**

La posición de la ventana produce una óptima iluminación en el área inmediatamente circundante, pero dejando bastante oscuro la esquina opuesta.

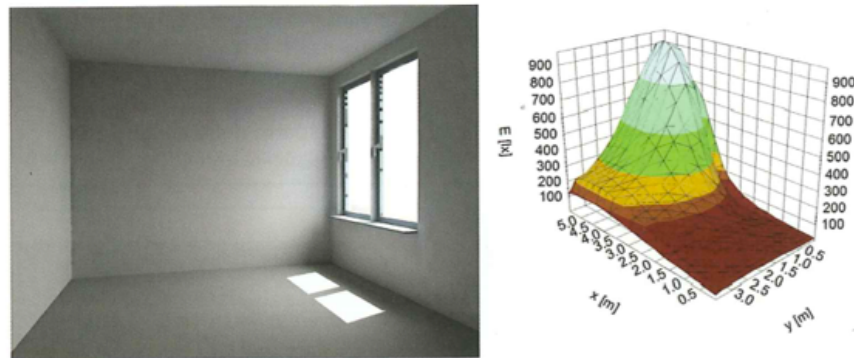


Figura 42. Ventana de esquina.

### **Ventana sobre dos paredes**

La combinación de dos ventanas permite obtener una mejor difusión de la luz en el espacio interior de la habitación.

La habilidad proyectual consiste en la adopción de ventanas con carpinterías finas, para limitar al máximo la pérdida de calor a causa del valor más bajo de U respecto al vidrio.

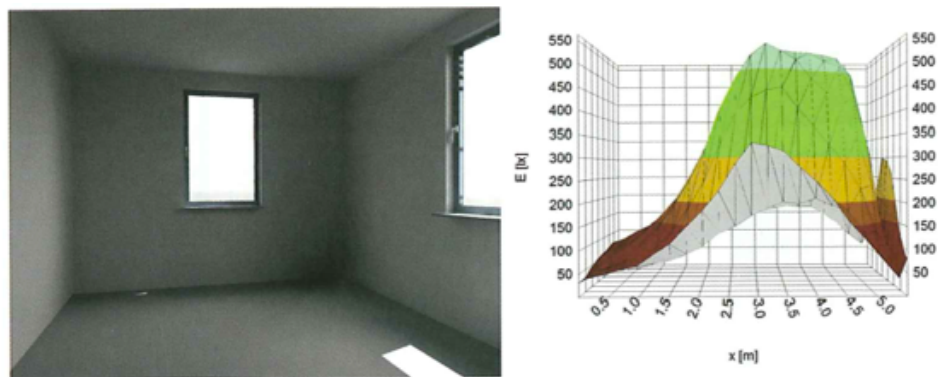


Figura 43. Ventana sobre dos paredes.

### **Carpinterías**

Las carpinterías también tienen una notable importancia, que influye bastante sobre la radiación transmitida al interior de los ambientes.

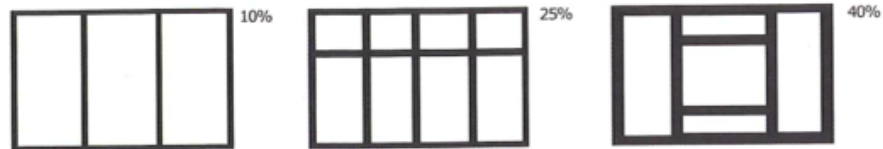


Figura 44. Pérdida de luminosidad en base al tipo de marco de la ventana.

#### 2.2.4. La Ventilación natural

Los desplazamientos de aire entre dos zonas se producen, por principio físico, por diferencia de presión. Este principio ha sido aprovechado desde la antigüedad para garantizar el confort ambiental al interior del edificio.

Como a mediados del siglo XX se abandonó cualquier tipo de iniciativa sostenible en la construcción de viviendas, para corregir el microclima interior y adaptarlo a las necesidades de confort del hombre se añadieron dispositivos mecánicos.

Actualmente, la ventilación natural vuelve a ser considerada una válida aportación a la construcción de una vivienda eficiente.

Renovar el aire influye además sobre la concentración de gases contaminantes presentes en el interior de la vivienda, contribuyendo a generar un aire más salubre.

##### - Ventilación cruzada

Se obtiene con el posicionamiento de dos aperturas sobre dos paredes contrapuestas. Gracias a la exposición opuesta respecto a sol y viento, se consigue una diferencia de temperatura entre las dos fachadas, que pueden generar una correcta ventilación si las dimensiones de las aperturas están bien realizadas.

##### o Configuración A.

La presencia de una sola apertura, sin una segunda en contraposición, no permite obtener ventilación al interior del espacio.

##### o Configuración B.

Aperturas de dimensiones iguales garantizan una ventilación óptima.

##### o Configuración C.

Si la apertura de ingreso es más pequeña que la de salida, no se crea ventilación, incluso pueden generarse corrientes de aire que pueden resultar molestas.

##### o Configuración D.

Con una apertura grande en el ingreso y una de dimensiones menores en la salida se obtiene una buena circulación y renovación de aire.

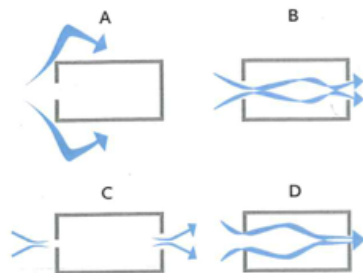


Figura 45. Ventilación cruzada.

### - Chimenea Solar

Como ha sido explicado, la estratificación del aire al interior de las estancias se produce según su temperatura: el aire caliente, por tener menor densidad, tiene a subir. Aprovechando este fenómeno, son creadas aperturas en la parte superior de las paredes, frente a un conducto vertical tipo chimenea, a modo de permitir la salida del aire caliente y el ingreso al mismo tiempo del aire fresco del exterior, gracias a las aperturas posicionadas sobre la pared opuesta. La disposición de estas últimas no debe ser muy elevada, a modo de garantizar la entrada de aire lo más fresca posible. La apertura superior del conducto vertical podrá disponer de una cúpula metálica que se pueda abrir y cerrar. De manera que en verano, al calentarse, facilitará el inicio del movimiento del aire, y en invierno se cierra para no permitir el ingreso de aire frío al interior del edificio.

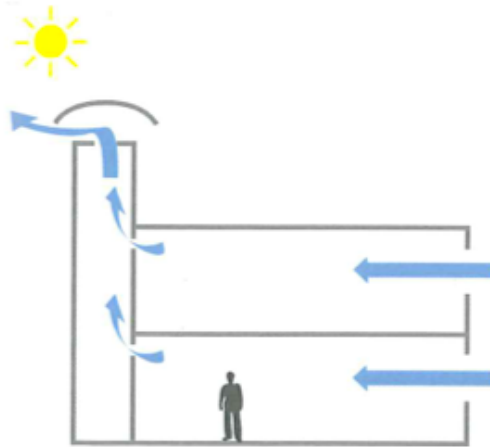


Figura 46. Chimenea solar.

### - Atrio Aspirante

Otra de las soluciones es la de la configuración con atrio central entre los edificios, que se consagra como muy útil por el enfriamiento. La predisposición de las aperturas sobre el atrio crea un fenómeno de succión, que mueve el aire caliente hacia lo alto, es decir al interno del atrio. Esta solución puede ser vista como la extensión natural de la chimenea solar, que en este caso viene sustituida por el espacio que se crea entre los propios edificios. Para garantizar la circulación del aire pueden estar predisuestas aperturas sobre las paredes opuestas a las fachadas sobre el atrio, generalmente de dimensiones pequeñas.

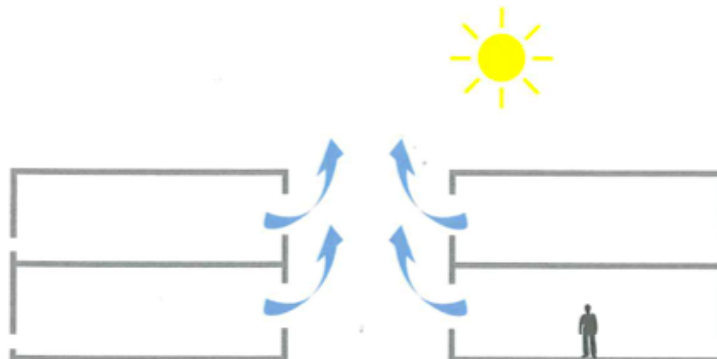


Figura 47. Atrio Aspirante

### - Torre de Ventilación

El funcionamiento es muy similar al del atrio aspirante. El sistema está formado por una torre central, sobre la que dan las fachadas de las habitaciones y una pequeña torre externa unida con la torre central mediante un conducto subterráneo.

Esto último representa el corazón del sistema: el aire succionado por la pequeña torre exterior se hace pasar por el conducto subterráneo y de este modo se refresca, aprovechando la temperatura del terreno, que durante el año permanece constante en torno a los 18 grados C. Después, el aire sale al interior de la torre de ventilación y de aquí se distribuye a las habitaciones mediante una doble apertura que regenera el aire interior de la estancia. La posibilidad de aprovechar la temperatura del terreno hace que este sistema sea también muy útil en invierno, donde este sistema puede contribuir a calentar el ambiente.

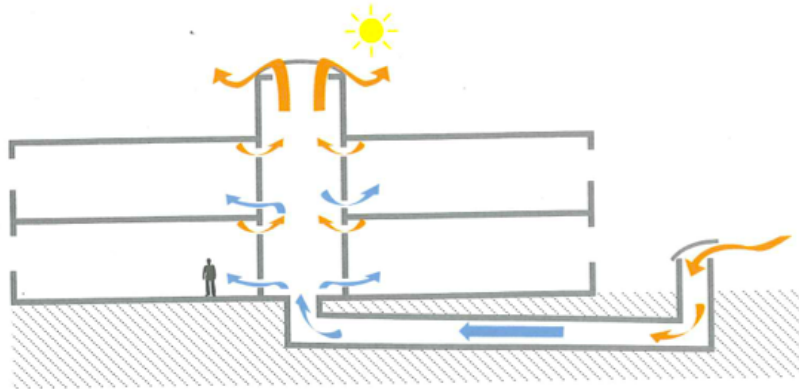


Figura 48. Torre de ventilación.

#### - Torre de Viento

Antigua solución constructiva, adoptada en la zona mediorienta, la torre de viento es optima en zonas con fuertes presencias de vientos y brisas estivas, y en las cuales no se pueden diseñar aperturas muy grandes por las fuertes temperaturas del exterior.

La configuración del sistema es la siguiente: la torre, con una altura superior a la del edificio, viene posicionada en dirección de los vientos estivos dominantes, que de este modo vienen dirigidos al interior. La corriente que se genera viene a la vez conducida a las estancias del interior a través de aperturas realizadas en la parte inferior de las paredes que dan la fachada al interior de la torre. Sobre la pared opuesta, están posicionadas pequeñas aperturas en la zona superior, a modo de hacer salir el aire caliente.

Estos captadores, realizan en bloques de piedra, por tanto con gran masa térmica, tienen un óptimo funcionamiento aunque en ausencia de viento. La torre, puede estar alejada del edificio y unirse mediante canales subterráneos que aumentan la eficiencia del proceso. Otros elementos que consiguen mayor rendimiento para esta estrategia sería la disposición de laminas de agua o fuentes que pre enfríen el viento antes de entrar a la torre.

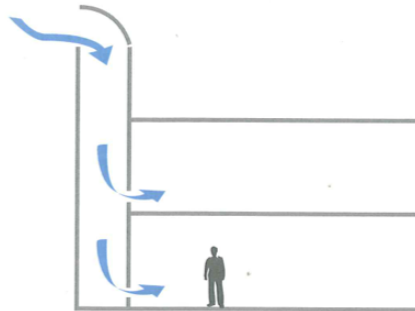


Figura 49. Torre del viento

- **Chimenea eólica**

Tienen un funcionamiento similar al de la chimenea solar, pero aprovechan la presencia de viento en la zona de alrededor. En este caso la cúpula viene realizada también en material metálico, porque calentándose aumenta la cantidad de aire en la parte superior del conducto y por tanto el efecto de extracción del aire.

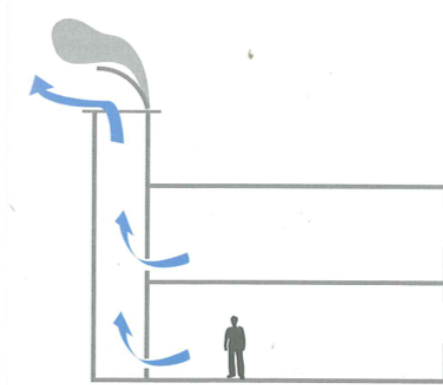


Figura 50. Chimenea eólica.

### 3. Condiciones de las instalaciones: Eficiencia y rentabilidad económica.

#### 3.1. Utilización de los intercambiadores de calor del aire de ventilación como principio de ahorro energético en vivienda unifamiliar.

Los intercambiadores de calor tienen, como concepto básico, la misión de extraer calor de un fluido caloportador a “alta temperatura” a la salida de un sistema o subsistema y cedérsela a otro fluido caloportador a “baja temperatura” a la entrada del mismo sistema o subsistema (Figura 51).

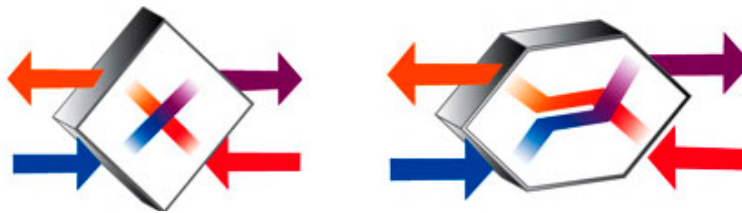


Figura 51. Intercambiadores de calor de flujo cruzado

Estos dos fluidos de trabajo pueden ser diferentes (agua-aire) o iguales (aire-aire; agua-agua) pero esta cesión de energía pretende, en ambos casos, conseguir una elevación moderada de la temperatura del fluido de entrada con el objetivo de disminuir el aporte de energía calorífica necesaria para conseguir las condiciones de trabajo requeridas.

Por ejemplo, en una vivienda, se querrá mantener la temperatura del ambiente a 23°C; por tanto el aire del interior se encontrará a 23 °C y el del exterior, con el que se pretende realizar las renovaciones de aire, se encuentra, por ejemplo, a 5°C. El intercambiador de calor tendrá un fluido caloportador de salida a 23°C que cederá calor al fluido caloportador de entrada a 5°C. Cuanta más energía sea capaz de ceder un fluido sobre el otro, menor será el aporte energético necesario para lograr las condiciones de confort en la vivienda y, asimismo, más “eficaz” resultará.

Los intercambiadores de calor pueden tener los flujos en paralelo o cruzados, sin embargo, se ha demostrado extensamente que son los de flujo cruzado los que obtienen mejores intercambios de energía (Moran & Shapiro, 2004) y (Marín, Monné, & Uche, 2007). Además, como se observa en la Figura 52, a mayor superficie de contacto entre las corrientes (por ejemplo aumentado el número de tubos calientes y fríos en contacto) se obtiene una mayor eficiencia en el intercambio de energía.

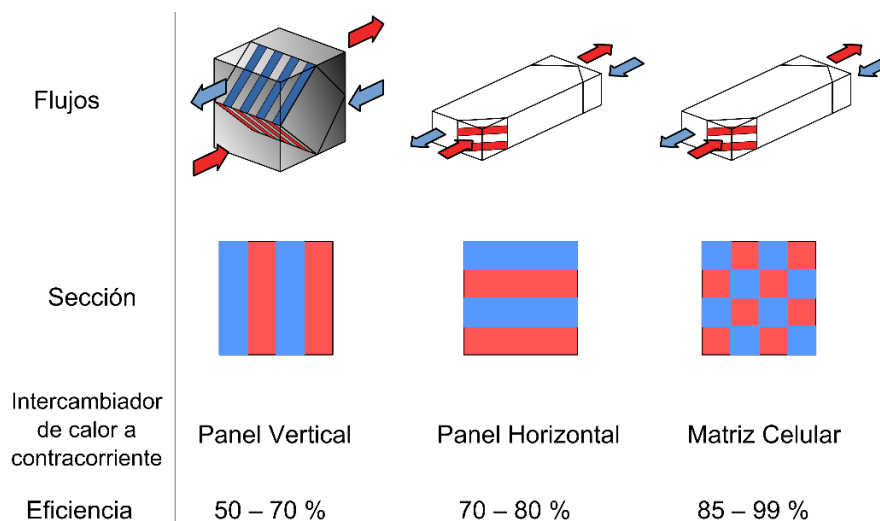


Figura 52. Tipos de intercambiadores de flujo cruzado

Para los últimos sistemas en unidades de ventilación a contracorriente la recuperación del calor puede situarse hasta en un 95% resultando en un ahorro de hasta el 50%.



La ventilación con recuperación de calor (Heat Recovery Ventilation; HRV) aplica el concepto de intercambiador de calor descrito anteriormente a una vivienda, con el objetivo de realizar un intercambio de calor entre el aire que abandona la vivienda y el que se introduce en las renovaciones de aire manteniendo separadas, a su vez, las corrientes de aire mediante conductos por lo que no existe mezcla o contaminación de la corriente de admisión.

Si la admisión de aire se produce a una temperatura inferior a 0 °C se precisa de un precalentamiento de la entrada mediante recirculación de parte del aire de salida (pérdida de calidad del aire de entrada), usando una pequeña bomba de calor (1 kW) o cualquier otro método alternativo, por ejemplo pasándolo por la tierra (Figura 53), para evitar congelaciones del agua contenida en el aire y, por tanto, posibles bloqueos del intercambiador de calor.

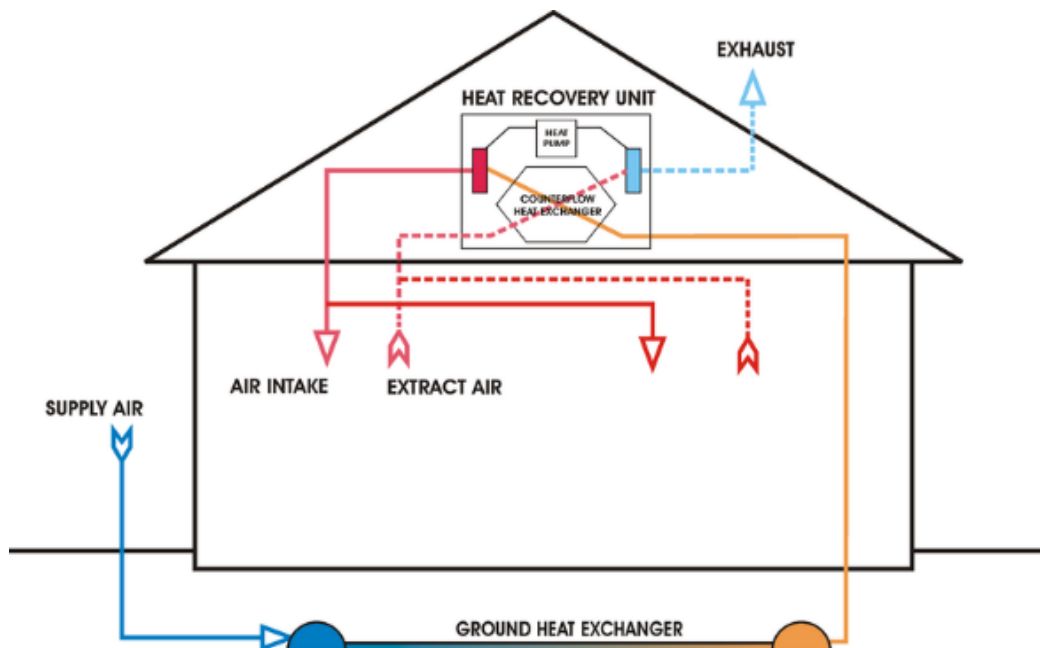


Figura 53. Precalentamiento de aire de admisión mediante intercambiador de calor en tierra

Según las empresas especializadas (recair, 2013), los criterios para un aprovechamiento máximo deberían ser:

- Los dos flujos de aire deberían realizar el intercambio de energía a contracorriente puramente (moviéndose en direcciones opuestas)
- Los flujos máxicos deberían estar en perfecto balance. Esto es, los caudales de entrada y salida de aire deben ser los mismos.
- No debería haber pérdida ni mezcla entre ambos flujos o entre alguno de los flujos de aire y el exterior del intercambiador.
- Para asegurarse de que los flujos están en contacto tanto como sea posible (a través de los conductos), la superficie de intercambio debe ser lo más grande posible (longitud del intercambiador y área de contacto de tubos).
- Para una transferencia de calor máxima la distribución de flujos debe de ser uniforme
- Todo el calor debería ser conducido a través de las conducciones y no a lo largo de ellas (pérdidas por conducción en los tubos)
- El intercambiador debe ser lo más compacto posible
- Para evitar la sequedad del aire la temperatura entre el aire de entrada y el aire de la habitación no debería exceder 1.5°C. En caso contrario sería preciso realizar un análisis psicrométrico del aire y humedecer el aire de entrada a la habitación hasta los niveles de confort requeridos (Humedad Relativa 40%-60%) mediante humidificadores.

### 3.1.1. Infiltración en carpinterías e instalaciones

Una infiltración es un movimiento de aire no controlado a través de encuentros entre paramentos, carpinterías, elementos defectuosos, pasos de instalaciones, ... Se producen rendijas que dejan pasar el aire a través de las mismas en función de la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la vivienda (controlado por condiciones como la temperatura y el viento). Como consecuencia de la

presión del viento ejercida sobre una de las caras del edificio, una cantidad de aire exterior entra al mismo por las hendiduras existentes y una cantidad igual sale por el lado opuesto.

En edificación, una correcta estanqueidad en la envolvente del edificio se traduce en una mayor eficiencia energética de todo el conjunto puesto que no existirán pérdidas que hagan sobredimensionar las instalaciones térmicas traduciéndose, a su vez, en menos inversión económica inicial y menos pérdidas en la explotación de la instalación.

Según un Análisis del Consumo Energético del Sector Residencial en España realizado por el IDEA, en viviendas unifamiliares el 63% de la energía se emplea en calefacción (Bolwer Door Test, 2013), y la mayoría de pérdidas se produce a través de la envolvente del edificio.

Las pérdidas habituales se localizan en:

- Paredes

Entre el 18% y el 50% del total de las fugas de aire se producen a través de las uniones de los cerramientos, enchufes eléctricos y paso de tuberías.

- Techos

Entre el 3% y el 30% del total de las fugas de aire debido a los dispositivos de iluminación, cableado y tuberías.

- Sistemas de ventilación

Entre el 3% y el 28% de las fugas de aire se producen a través de los sistemas de conducción del aire, rejillas de ventilación, tomas de aire para combustión de calderas...

- Puertas y ventanas

Entre el 6% y el 25% del total de las fugas de aire dependiendo del tipo de ventana. Las ventanas con burletes tienen mayor capacidad de impedir el paso de aire.

*(Burlete: Tira impermeabilizante que, colocada en el canto de puertas y ventanas, impide las filtraciones de aire en las habitaciones)*

- Chimeneas

Si existen pueden llegar a suponer el 30% de las pérdidas por infiltración.

- Difusión de aire a través de paredes

Se pueden reducir mediante colocación de burletes o sellado con masillas o siliconas, pudiendo conseguir ahorros energéticos en su consumo de calefacción y refrigeración de entre el 5% y el 15% por hogar al año, dependiendo del material, tipo de apertura, ajuste, calidad... Sin embargo, son inevitables y una fuente de pérdidas energéticas.

### 3.2. Utilización de placas solares térmicas

La energía solar puede utilizarse en dos vertientes: térmica y eléctrica. En la vertiente térmica se aprovechará la radiación solar para calentar un fluido caloportador gracias a unos colectores solares.

Se puede utilizar para cocinar alimentos, para agua caliente sanitaria, calefacción o producción de energía mecánica. Además, gracias a las máquinas de refrigeración por absorción, se puede producir frío mediante aporte de calor al utilizar una bomba de calor en vez de un motor para su funcionamiento.

Es muy importante tener en cuenta que estos sistemas dependen de la cobertura solar que se reciba, horas de exposición a la luz solar, radiación incidente, rendimiento del panel solar... por lo que será muy importante realizar un buen diseño de su colocación y, además, proyectar sistemas auxiliares de apoyo (calderas) que permitan cubrir la demanda en caso de que el sistema, por sí sólo, no pueda. Aunque los rendimientos de estos sistemas son bajos, no hay que olvidar que la fuente de la que se proveen, el sol, es gratuita y, por tanto, es menos importante que cuando se trata de un sistema alimentado por combustión o electricidad en los que, rendimiento bajos, implican pérdidas. Aquí toda la energía que se gana implica un ahorro respecto a los sistemas convencionales siempre y cuando la inversión inicial, más elevada en la mayoría de los casos, lo justifique.

#### 3.2.1. Para la producción de ACS

Se estima que, por término medio, el agua caliente de uso sanitario supone cerca del 25% del consumo energético de una vivienda.

Las instalaciones de ACS, si no son convenientemente diseñadas y mantenidas, pueden convertirse en focos amplificadores de la bacteria Legionella. Las instalaciones más sencillas han sido clasificadas como "instalaciones con menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella"; las instalaciones con acumulador y circuito de retorno están clasificadas como "instalaciones con mayor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella".

La presencia de un circuito de retorno presenta ventajas e inconvenientes:

- Ventajas
  - o Ayuda a mantener la temperatura del agua circulante más caliente al volver al depósito en cada ciclo
  - o Mejora el confort de los usuarios porque disponen más rápidamente del agua
  - o Supone un ahorro energético y de consumo de agua importante ya que evita desechar agua previamente calentada
- Inconvenientes
  - o Es más cara y compleja de diseñar
  - o Puede favorecer los procesos de corrosión
  - o Puede aumentar las incrustaciones generando agua estancada a baja temperatura con su consecuente riesgo.

Las condiciones de funcionamiento para prevenir la legionelosis son:

- El agua se debe acumular a una temperatura de al menos 60 °C
- Se deben asegurar los 50 °C en los puntos más alejados
- La instalación permitirá que al agua alcance los 70 °C
- Cuando se disponga de un acumulador en el que no se asegure de forma continua una temperatura de 60 °C, se garantizará posteriormente que se alcance una temperatura de 60°C en otro acumulador final antes de la distribución al consumo.

Los captadores recogen la energía calorífica de los rayos del sol y, para que lleven a cabo un eficiente funcionamiento, deben estar orientados al sur (en el Hemisferio Norte) o al norte (en el Hemisferio Sur).

El ángulo de inclinación de los colectores dependerá del uso del equipo solar pero, como aproximación:

- Utilización a lo largo de todo el año: ángulo de inclinación igual a la latitud geográfica.
- Empleo preferente durante el invierno: ángulo de inclinación igual a la latitud geográfica + 10°
- Empleo preferente durante el verano: ángulo de inclinación igual a la latitud geográfica - 10°

Los tipos de colectores que no requieren de una bomba para circular se denominan termosifónicos y se utilizan para instalaciones muy pequeñas. Los colectores que utilizan una bomba para la impulsión del fluido caloportador se denominan forzados y son los más extendidos. Principalmente existen dos tipos:

- Captador solar plano

Su funcionamiento se basa en el principio del efecto invernadero, captando la radiación solar en su interior y evitando su pérdida al exterior. Se consigue gracias a materiales como el cristal con alta reflectancia infrarroja y por las propiedades aislantes de las capas inferiores.

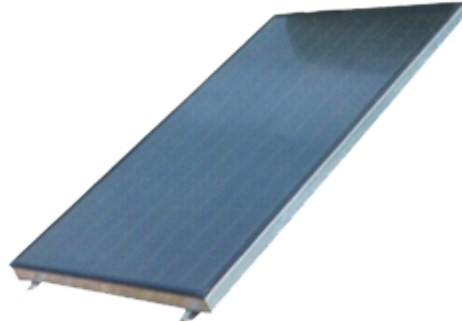


Figura 54. Colector solar plano (SUELO SOLAR, 2013)

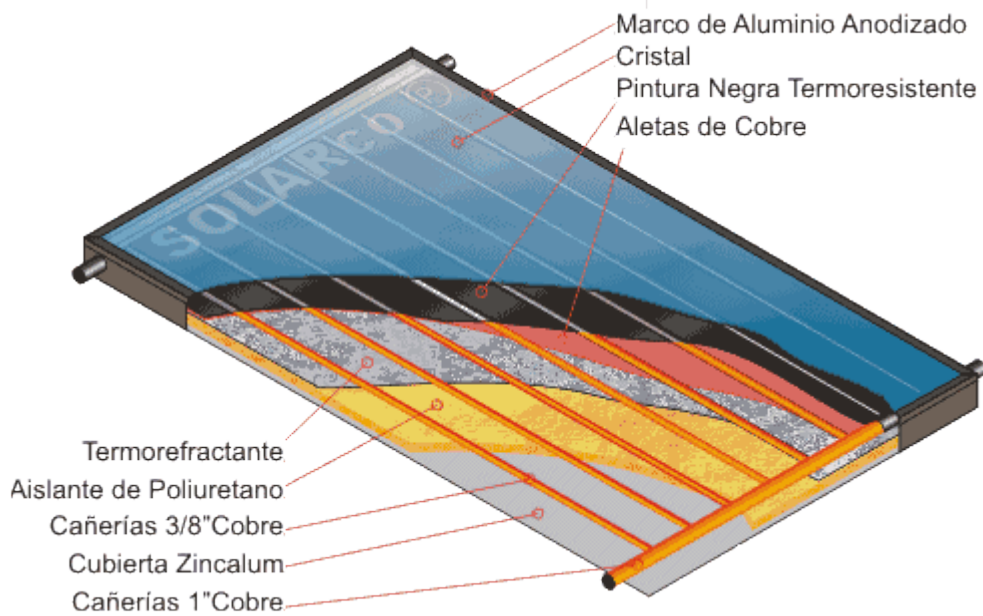


Figura 55. Composición típica de colectores solares (SUELO SOLAR, 2013)

- Captador solar de tubos de vacío

La radiación solar penetra a través del tubo exterior de vidrio, incidiendo en el tubo de absorción, minimizando pérdidas gracias a que los tubos no tienen aire, transfiriéndose la energía calorífica al fluido de trabajo. Permiten calentar el agua hasta 110 °C.

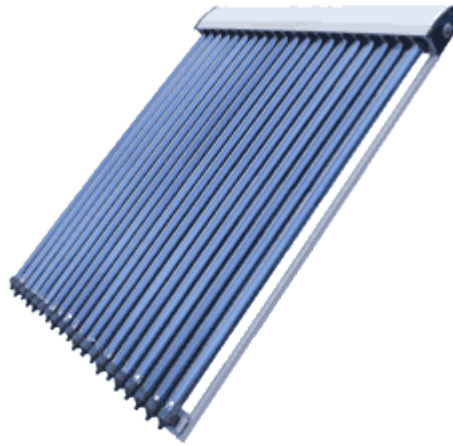
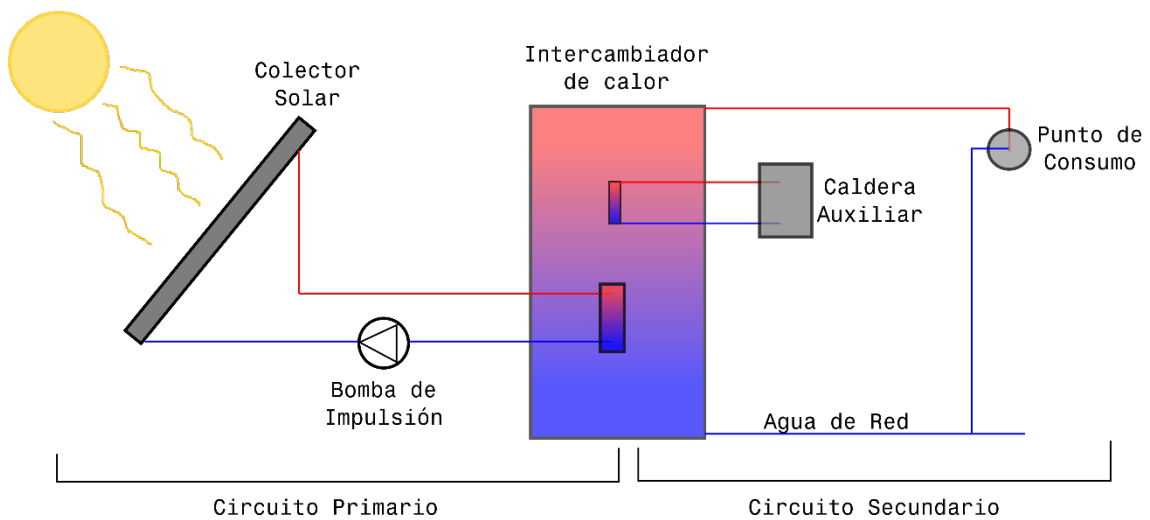


Figura 56. Colector solar de tubos de vacío (SUELO SOLAR, 2013)

Hay varios tipos de instalaciones de ACS:

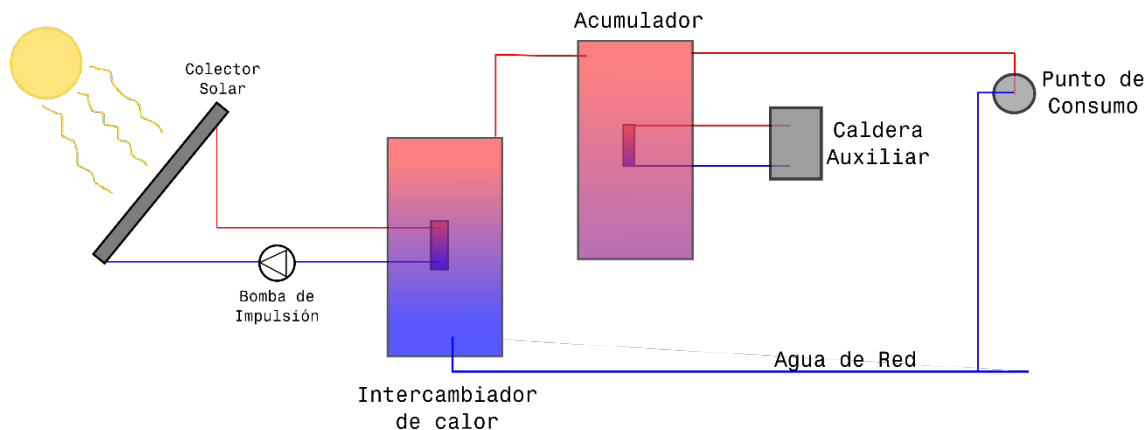
- Instalaciones de ACS pequeñas de circulación forzada

Sistemas solares térmicos para casas de una o dos viviendas con un área de captación de hasta 10 metros cuadrados y un acumulador de unos 500 litros. La circulación del fluido se realiza mediante una bomba. Constan de un captador (básicamente colectores), un sistema de acumulación con intercambiador de calor y bombas de recirculación.



- Instalaciones de ACS con acumuladores de agua sanitaria

Las instalaciones compuestas de un campo de colectores de entre 10 y 50 metros cuadrados se definen como instalaciones medianas. Suelen montarse en edificios residenciales plurifamiliares, polideportivos, campings... con consumos superiores a los 500 litros diarios.



Gracias a los aportes energéticos solares para la calefacción, una de las demandas más grandes en una vivienda, se puede dimensionar únicamente una caldera (de gas, gas-oil, biomasa...) como sistema de apoyo. Se estima que una instalación bien diseñada puede ahorrar en torno a un 60-70% de las necesidades de energía al año. Esto se traduce en una rápida amortización de los equipos, 8 a 12 años, que tienen una vida media de 20 a 25 años y, a la vez, en una disminución sustancial de la emisión de gases procedentes de la combustión.

### 3.2.2. Para su utilización en calefacciones con suelo radiante.

Es un sistema de calefacción que emite calor a través de la superficie del suelo, lo que calienta el aire inferior de toda la estancia. Debido a las diferencias de densidad entre aire caliente y frío, este ascenderá calentando todo el recinto. Aprovecha el alto factor de absorción de calor del cuerpo humano, al desprenderse calor justo debajo de una persona, se absorberá directamente proveyendo de una mayor sensación de confort al haber mayor temperatura en la zona inferior del cuerpo y menor en la cabeza. También puede ser utilizado como sistema de refrigeración al hacer circular agua fría por los conductos.

La principal ventaja es que realiza la emisión por radiación resultando en una menor pérdida energética a través de muros, techos o suelos. Además, para obtener las mismas condiciones ambientales en un recinto, supone un 20%-30% de ahorro en consumo energético respecto a los sistemas tradicionales de climatización (radiadores).

El calor que se necesita conseguir en el ambiente oscilará entre 22-23°C, más bajo que en otros sistemas de calefacción, la temperatura media de trabajo se sitúa entre los 25°C y 35°C aproximadamente y la mayor temperatura usada por el sistema será de 50 °C.

Esto es muy importante puesto que, las temperaturas de trabajo de los sistemas solares térmicos se encuentran en el mismo rango: 45-55 °C, siendo compatibles 100% para combinar con las calefacciones por suelo radiante.

El sistema de calefacción consta de las tuberías de agua, cables eléctricos o fibra de carbono, según el tipo de instalación que se quiera realizar, un aislamiento térmico en su cara inferior para evitar pérdidas al terreno y un recubrimiento de mortero sobre el que se realizará el remate. El pavimento no suele presentar problemas puesto que hay multitud de materiales que son afines a este tipo de instalaciones: cerámica, mármol, terrazo y similares son idóneos; la madera también se puede usar pero es menos idónea. Habrá que tener especial cuidado al instalar tarimas puesto que se podría crear una capa aislante debida al aire.

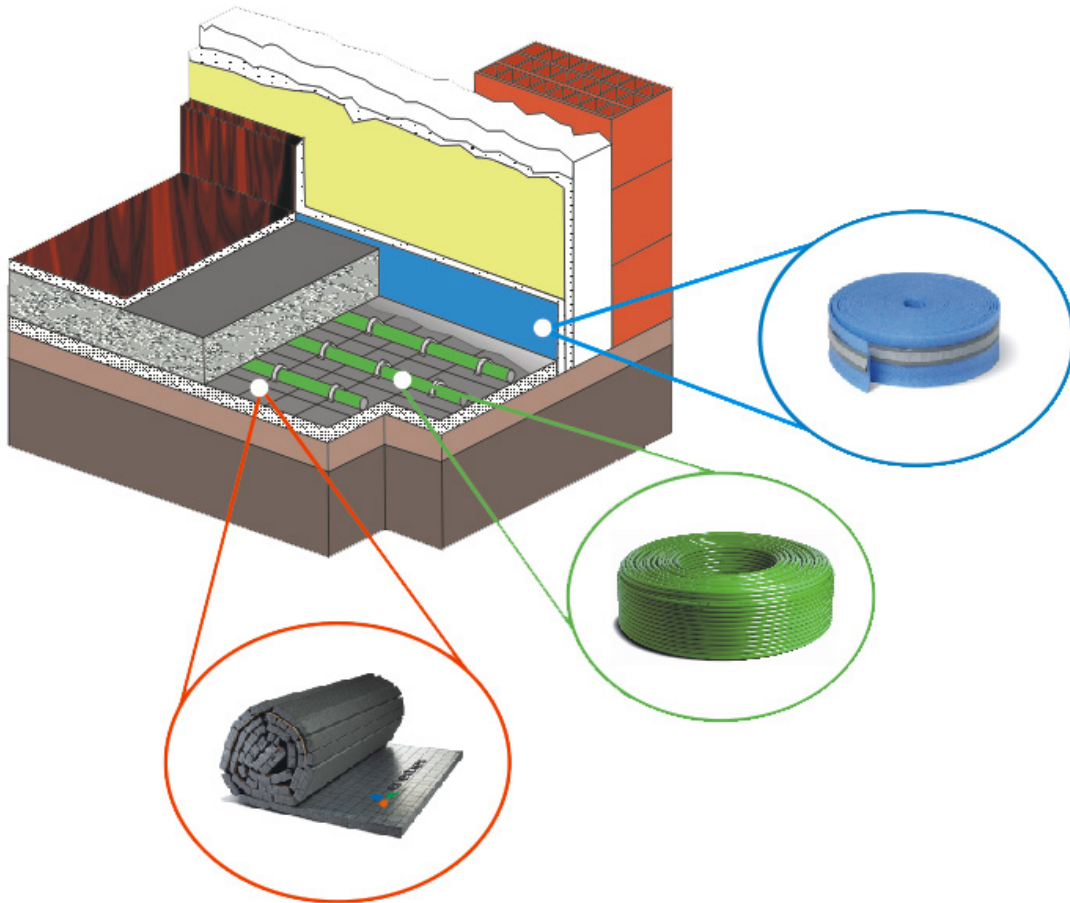


Figura 57. Partes de la instalación de un suelo radiante (enertres)

Cuanto mejor sea el aislamiento del edificio, menor entidad tendrá la instalación puesto que las pérdidas serán menores y el aporte de calor necesario será menor al diseñarla.

Ventajas

- Es la calefacción más saludable según la Organización Mundial de la Salud. No existe convección del aire por lo que no se mueve polvo e impurezas, por lo que el aire es de mayor calidad.
- Se puede usar en grandes superficies, muy útil en aquellas que no disponen de paredes para colocar calefactores, como en naves industriales o campos de fútbol.
- Calor uniforme sin reseca el ambiente y sin modificar la humedad relativa. No provoca sequedad en la piel y en las mucosas.
- El calor se expande rápida y uniformemente por toda la casa, alcanzando una distribución homogénea. Con los sistemas tradicionales (radiadores) se crean las denominadas "zonas frías".

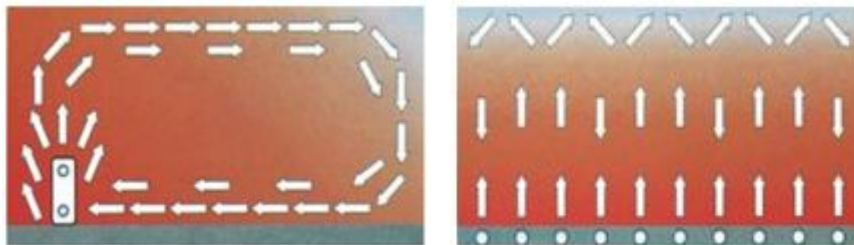


Figura 558. Movimiento de aire caliente en sistemas de calefacción (radiadores vs suelo radiante) (econinnova group. Suelo Radiante)

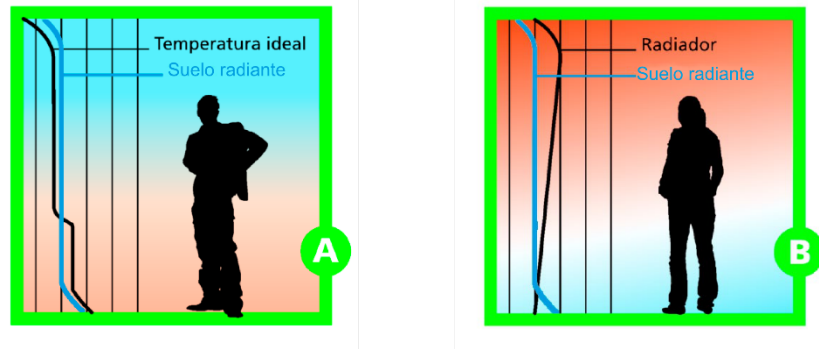


Figura 59. Perfil de temperaturas de sistemas de calefacción: A) Suelo Radiante; B) Radiadores (enertres)

- Una vez instalado no es perceptible por el usuario
- Precisa bajo mantenimiento
- En combinación con otras energías renovables (solar térmica y geotérmica) se puede amortizar en torno a 4 – 6 años.

#### Desventajas

- Si no se dispone de instalación previa, precisa de una mayor inversión económica que los sistemas convencionales.
- Si el edificio no está aislado, el rendimiento es menor, puesto que se producen pérdidas por conducción en sus cerramientos.

### 3.2.3. Para acumulación e intercambio en ventilación

La energía solar térmica no solo se utiliza para ACS, también se puede aprovechar para fines de calefacción y ventilación de edificios. Debido a que los sistemas de ventilación trabajan a temperaturas relativamente bajas, se pueden utilizar niveles de radiación solar reducidos para efectuar el calentamiento del aire. Estas técnicas permiten ahorrar hasta un 50% de la energía utilizada para la calefacción de la vivienda y, aunque esté cubierto, los paneles desarrollan un alto rendimiento consiguiendo un transporte de aire puro y cálido.

Se pueden tener dos tipos de paneles:

- Fotovoltaico + Calor

Incorpora los módulos fotovoltaicos necesarios para generar la electricidad que mueve el ventilador necesario para la impulsión de aire caliente (Figura 60).

- Eléctrico + Calor

Al no incorporar módulos fotovoltaicos es necesario conectarlo a la red eléctrica para alimentar el ventilador encargado de la impulsión de aire.

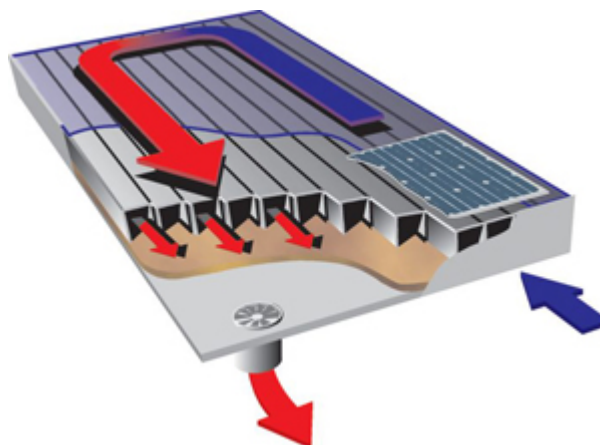


Figura 60. Colector Solar de aire TWINSOLAR (Almunia Solar)



Generalmente la elección del lugar de instalación sólo tiene en cuenta el tipo de orientación (sur, sureste, suroeste) y que no existan sombras que se proyecten sobre los colectores (restando eficiencia en la captación de radiación). En estas condiciones sería posible ventilar de 10-15 metros cuadrados de vivienda con la instalación de 1 metro cuadrado de colector. Además en verano, gracias a su control electrónico, cuando se alcanza un valor de temperatura interior óptimo, el sistema deja de ventilar y, con un simple acoplamiento de un intercambiador de calor aire-agua, se podría generar agua caliente sanitaria.

No sólo se pueden utilizar colectores solares para introducir aire caliente en la vivienda, existe una tecnología de calefacción por muros (SolarWall, 2013) que precalienta con energía solar el aire de ventilación de los edificios, entre 16 °C y 38°C en los días soleados, reduciendo de manera significativa el gasto en combustible para calefacción, con unos requisitos de mantenimiento muy bajos y una larga vida útil. Los datos de vigilancia independientes indican que estos sistemas pueden disminuir entre un 20% y un 50% los consumos de combustible de calefacción en función de sus dimensiones y aplicación.

Su elevado grado de versatilidad arquitectónica, combinado con un importante ahorro energético han hecho de ella una tecnología muy popular en el ámbito de las renovables.

Éste sistema de calefacción solar por aire utiliza energía solar para calentar y ventilar espacios interiores. Sus principales componentes son:

- Revestimiento exterior metálico

Se instala un recubrimiento metálico microperforado en la fachada sur (también se pueden añadir en sureste, suroeste, este y oeste) a unos centímetros del muro (generando una cámara). La radiación solar calienta el metal y el aire que lo atraviesa.

- Unidad de ventilación

Genera el vacío necesario para que haya mayor caudal de aire a través del revestimiento metálico manteniendo una aspiración constante.

- Unidad HVAC (Heating, Ventilation y Air-Conditioning)

Se conduce el aire a través de conductos hasta la unidad de calefacción, ventilación y aire acondicionado que, a su vez, lo distribuirá por el edificio.

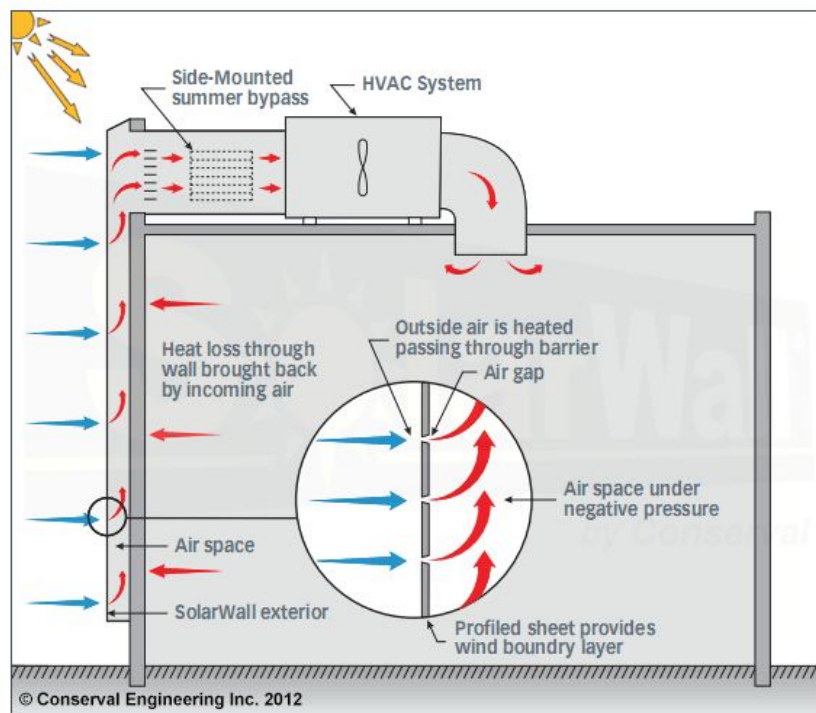


Figura 61. Sistema de calefacción por ventilación (Solar Wall)

Así mismo, ésta tecnología puede suponer una excelente mejora para los sistemas de ventilador de recuperación de calor (HRV) puesto que precalienta el aire de ventilación de entrada e incrementa su eficiencia.

Según pruebas y controles realizados por el Laboratorio de Energías Renovables (NREL) del Departamento de Energía estadounidense y Recursos Naturales de Canadá se ha demostrado, en cuanto a rendimiento y rentabilidad, que:

- Reduce el gasto anual en calefacción entre 3 y 10 dólares por cada 0'1 metro cuadrado de colector (en función del tipo y coste de combustible sustituido).
- Suministra suficiente aire de ventilación como para cubrir el 50% de las necesidades de calefacción del edificio aportando entre 1'5-3'5 GJ/m<sup>2</sup> de energía al año.
- Presenta una eficiencia operativa de hasta el 75%
- En los días soleados puede incrementar la temperatura del aire entre 16°C y 40°C. Incluso en los días nublados garantiza un ahorro energético como sistema de precalentamiento del aire de ventilación.
- Se traduce en un ahorro anual de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> por cada 5 m<sup>2</sup> de colector
- El coste del revestimiento solar se puede comparar al de un muro de ladrillo

Además, en verano, se produce una refrigeración puesto que evita que la radiación solar llegue al muro con orientación sur y permite que el aire caliente escape por la parte superior mediante sistemas de by-pass.

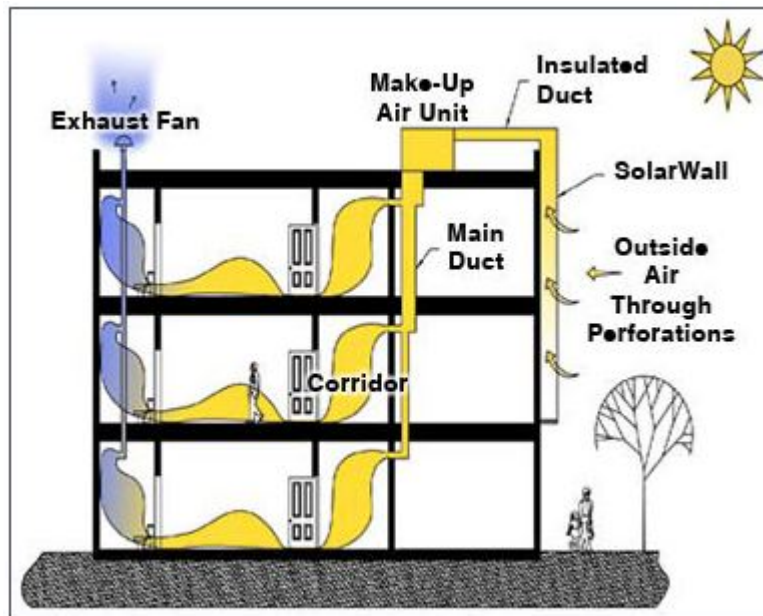


Figura 62. Sistemas de calefacción por ventilación en edificios (SolarWall, 2013)

### 3.3. Utilización de placas fotovoltaicas.

#### 3.3.1. Eficiencia y rendimiento de la instalación

Los principales elementos de una instalación solar fotovoltaica de conexión aislada son los que se observan en la Figura 63. Se genera corriente eléctrica en los “Paneles Fotovoltaicos” en forma continua que es regulada para estabilizar la tensión. A partir del “Regulador” podemos obtener una corriente eléctrica continua de 12 V (interesante para alimentar sistemas de iluminación LED) o bien, a través de un “Inversor de Potencia”, obtener corriente alterna a 220 V / 50 Hz.

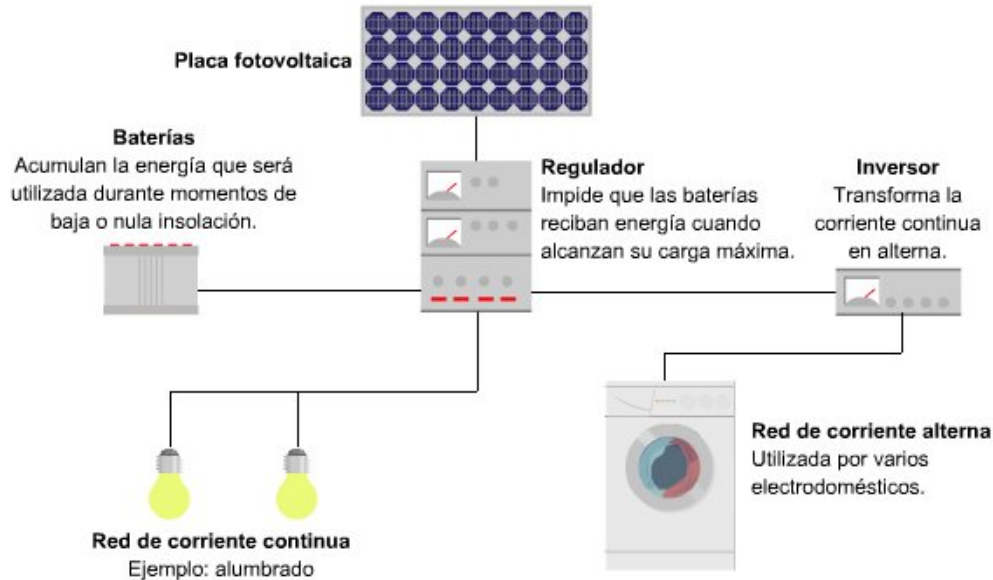


Figura 63: Instalación fotovoltaica en viviendas ([www.solarweb.net](http://www.solarweb.net))

Actualmente, gracias a los nuevos marcos de regulación energética, es posible realizar una instalación denominada de “autoconsumo” en una vivienda particular. La red está formada por los mismos componentes que una red aislada pero, además, debe incluir dos contadores que contabilicen la electricidad que el usuario toma de la red y la que cede a la red y, asimismo, los elementos de protección y corte necesarios para un seguro funcionamiento de la instalación.

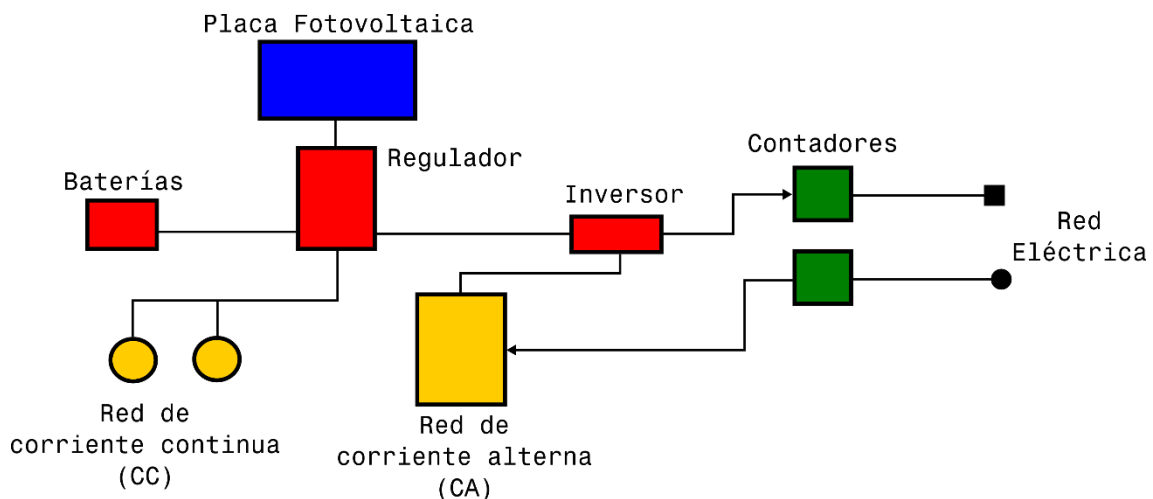


Figura 64: Instalación fotovoltaica en viviendas para autoconsumo

El autoconsumo puede proveer de tres regímenes de trabajo:

- Autoconsumo: hay un equilibrio entre el consumo eléctrico de la vivienda y la producción eléctrica fotovoltaica.
- Producción: hay un menor consumo eléctrico por parte de la vivienda y ése sobrante se vierte a la red. Este vertido de electricidad revertirá en el usuario en descuentos en facturas eléctricas futuras y, por tanto, en un ahorro económico.

- Consumo: hay un mayor consumo eléctrico por parte de la vivienda de lo que se puede cubrir con los paneles fotovoltaicos por lo que se tiene que consumir de la red eléctrica.

Las aplicaciones de los generadores fotovoltaicos son muy variadas y, actualmente, puede decirse, que pueden solucionar cualquier necesidad de energía eléctrica de media potencia en entornos en los que no hay acceso a la red eléctrica como viviendas rurales, estaciones de bombeo, apoyo a medios de transporte, señalización terrestre y marítima, equipos de telecomunicaciones remotos, plantas desaladoras, etc. Aunque también hay que considerar los proyectos en los que la energía solar se toma como fuente de referencia independientemente de que se tenga acceso a la red o no. En estos casos, normalmente, se diseñan equipos híbridos en los que interviene otro tipo de fuente de energía como la eólica con aerogeneradores de media potencia.

Uno de los inconvenientes que presentan actualmente las plantas de generación de energía eléctrica fotovoltaica aisladas, es su limitada capacidad de almacenamiento de energía eléctrica cuando no se dispone de radiación solar que, normalmente, se lleva a cabo en bancos de baterías. Éstos, además de almacenar energía, cumplen la función de estabilizar la tensión de operación. Hay que tener en cuenta que su capacidad de carga es limitada, su vida útil está acotada, son voluminosas, pesadas y su precio es relativamente elevado.

Otra opción de futuro para almacenar la energía, consiste en utilizar la energía eléctrica sobrante para realizar la hidrólisis del agua obteniendo, como resultado, hidrógeno. Éste puede ser almacenado y empleado para alimentar una célula de combustible de emisiones cero (el principal producto de la combustión es agua) para generación eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos se dividen en:

- Cristalinos: tienen un mayor rendimiento que los paneles amorfos debido a su estructura cristalina ordenada. Son los más caros y precisan de una buena orientación para su trabajo óptimo. Hay de dos clases:
  - o Monocristalinos
  - o Policristalinas

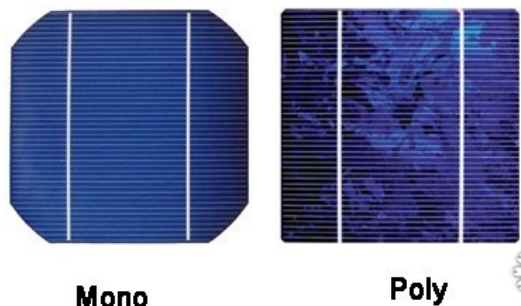


Figura 65. Células fotovoltaicas monocristalinas y policristalinas ([www.sunflower-solar.com](http://www.sunflower-solar.com))

- Amorfas: producen electricidad aún con sombras, orientaciones desfavorables y días nublados, aunque su rendimiento es inferior al de los paneles cristalinos, a lo largo del año puede llegar a resultar más productivo. Son, además, más baratos.



Figura 66. Células fotovoltaicas amorfas ([www.sunflower-solar.com](http://www.sunflower-solar.com))

El sistema de generación está compuesto de tres subsistemas: el de generación, el de almacenamiento y el de acondicionamiento de potencia

#### Subsistema de generación

Está compuesto por módulos fotovoltaicos, que a su vez, están formados por células fotovoltaicas, formado por material semiconductor de silicio, que aprovechan la energía de la luz solar (fotones)

para generar una corriente eléctrica continua por excitación de los electrones del material (efecto fotoeléctrico).

La conexión de estos paneles fotovoltaicos puede hacerse en serie o en paralelo. Además, su organización en "strings" (filas) paralelos, hace que el sistema pueda seguir produciendo, a menor potencia, aunque falle una de las células o incida sombra en parte del panel.

Cuanta mayor superficie tienen los paneles, más efectivos son. El rendimiento de los paneles cristalinos se sitúa en torno al 20% y el de los paneles amorfos en torno al 10%.

#### **Subsistema de almacenamiento**

Está constituido por el grupo de baterías. La función principal del sistema de acumulación es suministrar energía en horas de baja o nula radiación, abastecer picos de demanda, garantizar la estabilidad de la tensión y suministro de energía en invierno.

La eficiencia energética del inversor se estima en el 85 %, y la del regulador + acumulador en el 81%.

#### **Subsistema de acondicionamiento de potencia**

La función de los inversores de potencia es conseguir que, los distintos componentes del sistema, sean eléctricamente compatibles mediante un tratamiento electrónico de la electricidad, siendo capaces de convertir una corriente continua de 12 V en una corriente "alterna" de 220 V y 50 Hz de frecuencia. No se consigue una senoide pura puesto que se realiza una aproximación mediante pulsos rectangulares de la señal; cuanto mejor es el inversor, y más elevado su precio, la aproximación a la senoide continua es mejor.

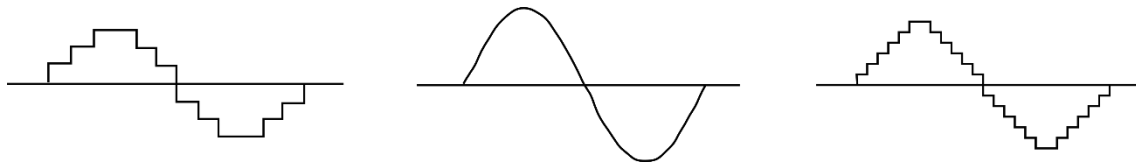


Figura 67. Transformación de señal del inversor

En conjunto, todo el sistema, presenta eficiencias de producción eléctrica en torno al 15% y 17%. Es de interés saber que, cuanto más caliente esté el sistema más decrece su producción eléctrica, por lo que, las horas de mayor producción serán aquellas en las que haya baja temperatura y máxima radiación solar (hacia el amanecer o días de invierno soleados).

En una instalación doméstica nos puede permitir ahorrar en torno a un 30% de la factura eléctrica, fundamentalmente abasteciendo iluminación y pequeños electrodomésticos. Desde el punto de vista medioambiental puede llegar a evitar la emisión de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> al año, se pueden amortizar entre los 12 y 16 años (dependiendo en gran medida de la necesidad eléctrica) y tener una vida útil de, al menos, 25 años.

### ***3.3.2. Aprovechamiento del calor residual de los inversores y del calentamiento de las placas***

El calor producido en los equipos que tienen una alta importancia para el buen funcionamiento del sistema fotovoltaico de producción eléctrica para el interior de la vivienda. Para poder aprovechar ese calor se hace circular un circuito de un fluido caloportador capaz de absorber este calor producido por el simple hecho de estar funcionando. Gracias a este intercambio de calor, los equipos se refrigeran, ya que transmiten el calor al fluido mientras este es calentado. Después, este circuito puede ir al acumulador cerrado de agua caliente sanitaria para ayudar al sistema principal de producción de ACS en la vivienda formado por colectores solares o un sistema de generación de calor (biomasa). Este calor generado, también se puede aprovechar para calentar el agua de calefacción, siempre y cuando, el sistema de emisión sea de baja temperatura (50°C).

### 3.4. Utilización de energía geotérmica.

La energía geotérmica es el calor interno de la Tierra. En el subsuelo, la temperatura aumenta con la profundidad, es decir, existe un gradiente térmico y, por tanto, un flujo de calor proveniente del interior de la Tierra hacia el exterior.

La tierra está constituida básicamente por tres capas concéntricas:

- Núcleo: con una temperatura de 4000 °C
- Manto: con una temperatura desde 4000 °C hasta 800-1000 °C
- Corteza: desde 800-1000 °C hasta 15-20°C

Aunque el flujo de calor es bajo, existen zonas en las que es anormalmente elevado por lo que, en profundidades de 1'5 – 2 km podrían existir temperaturas de 200-300°C.

Es necesario diferenciar los diferentes rangos de temperatura de los diferentes yacimientos, que van desde las aplicaciones de muy alta temperatura, pasando por las de alta y media temperatura (asociadas al termalismo y los sistemas de calefacción de distrito) y, finalmente, el aprovechamiento de la geotermia de muy baja temperatura que requiere la intervención de bombas de calor y es, en éstas últimas, en las que no se requiere de condiciones extraordinarias del terreno, siendo amplia su disponibilidad como fuente de energía renovable y sostenible.

- Energía geotérmica de alta temperatura (150-400 °C)
- Energía geotérmica de media temperatura (70-150 °C) generalmente utilizada para pequeñas centrales eléctricas o sistemas urbanos de reparto para calefacción y refrigeración
- Energía geotérmica de baja temperatura (50-70 °C)
- Energía geotérmica de muy baja temperatura (20-50 °C) generalmente utilizada para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas.

#### 3.4.1. Sistemas de alto intercambio de energía.

Es aquella que se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura (150 °C). Se realizan explotaciones para suministros de energía a gran escala a través de centrales geotérmicas que transforman el calor en energía mecánica y, a su vez, se transforma en energía eléctrica.

Una central geotérmica funciona igual que una térmica, sólo varía la forma de calentar el agua. Consta de una perforación a gran profundidad (5 km) con objeto de obtener una temperatura mínima (150 °C). Se introducen dos tubos en circuito cerrado en contacto con el foco caliente: un tubo para el agua en fase líquida y el tubo por el que sale el vapor. Desde la superficie se inyecta agua fría a través del extremo del tubo para agua líquida, la cual se calienta al llegar al fondo (foco caliente) formando vapor de agua que regresa a chorro a la superficie a través del otro tubo. En el extremo del tubo para el vapor de agua se acopla una turbina-generator que suministra energía eléctrica para su distribución. El agua enfriada es devuelta de nuevo al interior para repetir el ciclo.

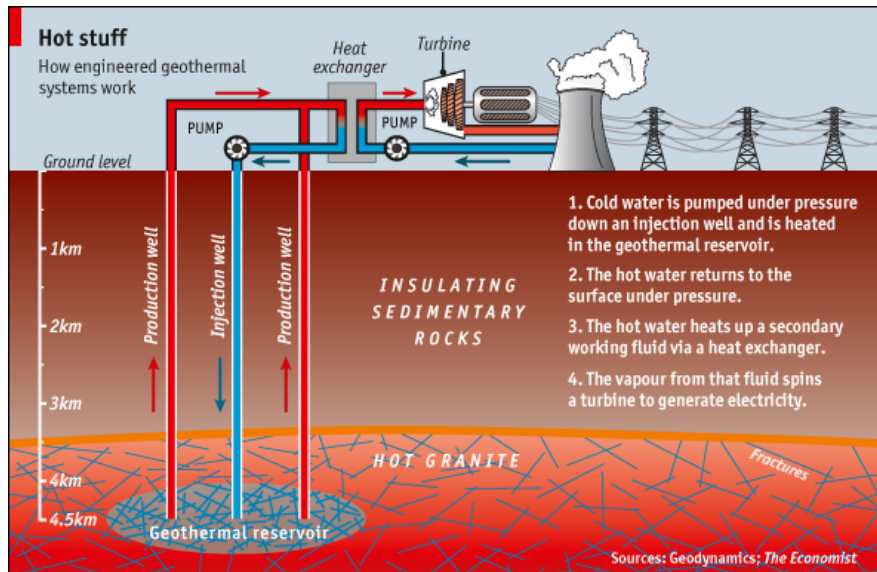


Figura 68. Esquema de funcionamiento de central geotérmica (Geodynamics; The Economist)

Los principales usos para alta temperatura son:

- Sistemas de Refrigeración por Absorción
- Producción de electricidad

Como se observa, su aplicación es meramente industrial y no urbana. Sin embargo, para un rango de temperatura media (70 °C – 150 °C) se podría utilizar la energía geotérmica como fuente de energía en redes de calefacción de barrios (district-heating).

### 3.4.2. Sistemas de bajo intercambio de energía (Bomba de Calor - Pozo canadiense/Pozo provenzal)

Las ventajas de las bombas de calor son múltiples, ya que compatibilizan el concepto de ahorro y eficiencia suponiendo un ahorro de entre el 40% y 60% de la energía necesaria para climatización (según el sistema tradicional con el que se compare). Tiene amplias ventajas de integración arquitectónica, sigilo y accesibilidad puesto que es una tecnología que es ampliamente conocida y utilizada. Por último, es una tecnología altamente flexible y compatible con otros tipos de energías renovables como los paneles solares térmicos; no debe olvidarse, no obstante, que debido a la existencia de demandas térmicas “pico” será siempre necesario disponer de un equipo auxiliar que aporte la diferencia de demanda necesaria.

El principio de funcionamiento es el de una bomba de calor que transfiere calor hacia el edificio desde el terreno y viceversa, por lo que es a la vez un sistema de calefacción y de refrigeración.

### VERANO (REFRIGERACIÓN)

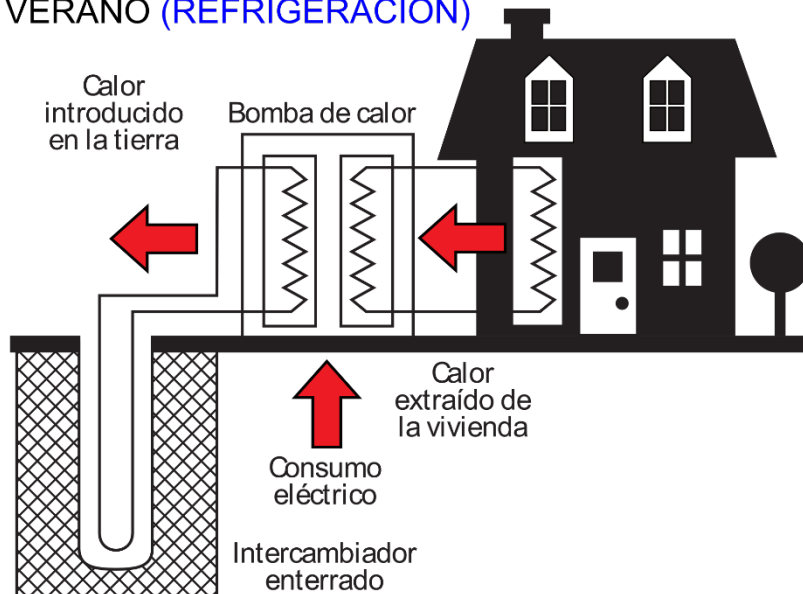


Figura 69. Esquema de trabajo de una bomba de calor. Refrigeración (IDAE, 2012)

### INVIERNO (CALEFACCIÓN)

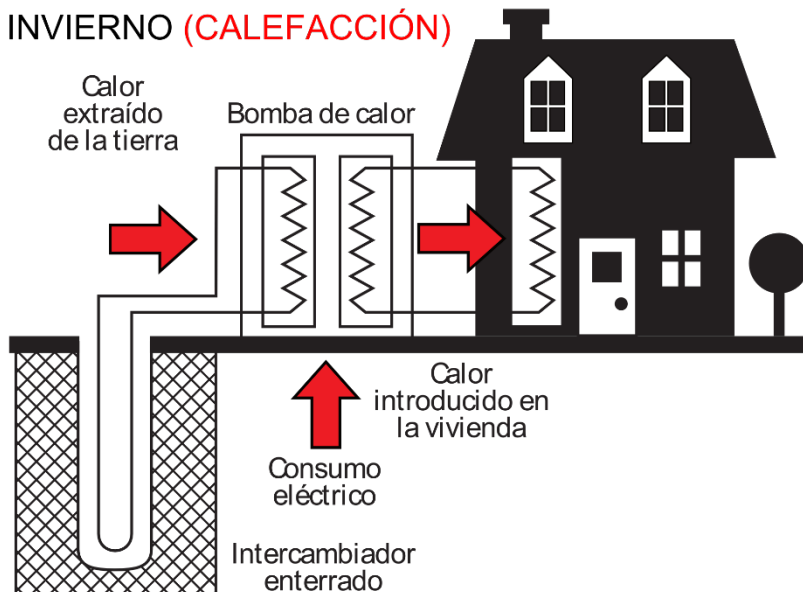


Figura 70. Esquema de trabajo de una bomba de calor. Calefacción (IDAE, 2012)

La bomba de calor es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña (el consumo eléctrico de la bomba que mueve los fluidos de trabajo). En verano el foco caliente es la casa de la que se extrae calor para llevarlo al terreno que actuará de foco frío. En invierno ocurre al contrario, se extrae calor del terreno (foco caliente) para entregárselo al edificio (foco frío).

El rendimiento de la bomba de calor o COP (Coefficient of Performance) mide la relación entre la energía calorífica que se produce y la energía eléctrica invertida para ello.

$$COP = \frac{Q_{\text{Calefacción/Refrigeración}}}{W_{\text{eléctrico}}}$$

Una instalación bien diseñada tendrá unos valores de COP altos de entre 4 y 6, superiores a los habituales para aire acondicionado y climatización eléctricos (2-3). Esto quiere decir que se obtiene un rendimiento del 400%-600% o que se produce de 4 a 6 veces más energía que electricidad se consume. Valores inferiores a la unidad implicarían que se está gastando más electricidad en el funcionamiento del sistema que calor se aporta o se retira del mismo y, por tanto, es ineficiente.



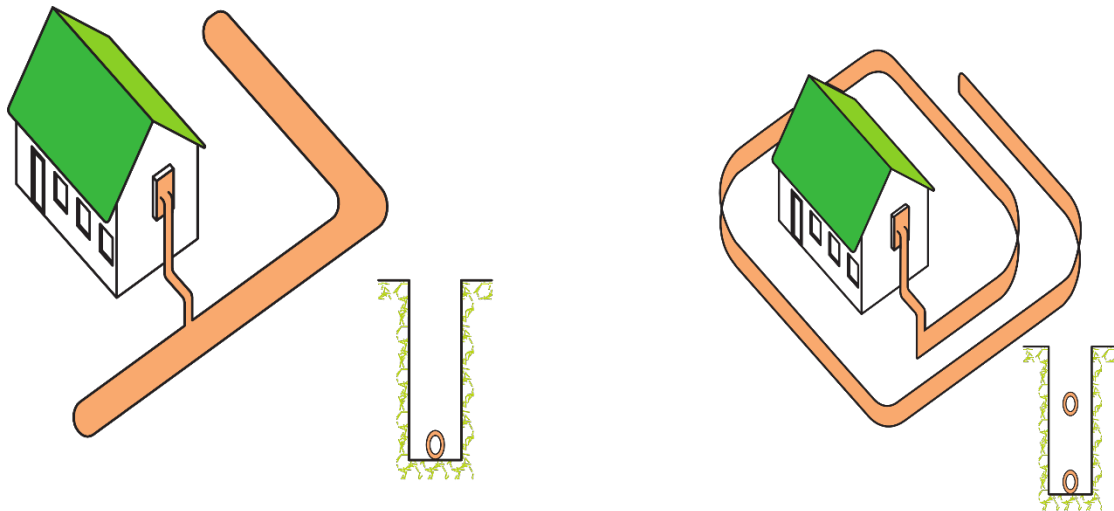


Figura 71. Sistemas de instalación de bomba de calor horizontales (tubo simple/doble tubo) (IDAE, 2012)

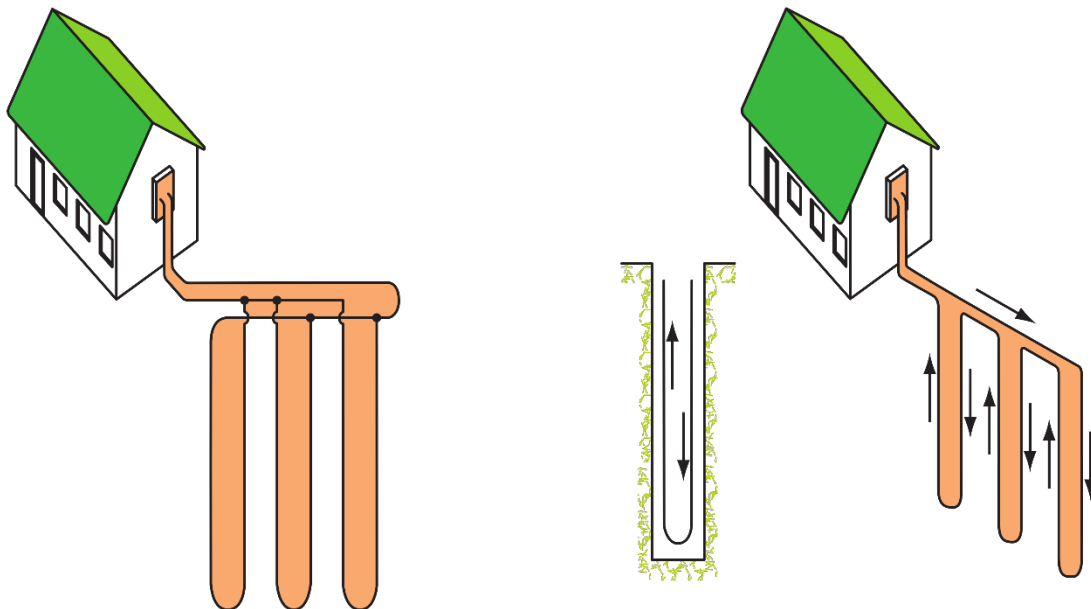


Figura 72. Sistemas de instalación de bomba de calor en vertical (paralelo vertical/ serie vertical) (IDAE, 2012)

Las inversiones son más elevadas que las de los equipos convencionales de calderas pero podrían llegar a amortizarse en un periodo de 8-10 años en una vivienda unifamiliar, dependiendo de las condiciones de uso.

El pozo canadiense o provenzal es un sencillo sistema de climatización geotérmica por el que se precaliente el aire de renovación de la casa a través de unos conductos enterrados en torno a 1-5 metros de profundidad y que discurren paralelos al terreno durante una distancia mayor de 20 metros (de lo contrario no se producirá un calentamiento/enfriamiento óptimo).

Las principales partes de un pozo canadiense son:

- Punto de captación del aire

El sistema toma el aire del exterior. Se sitúa ligeramente en alto (1 m – 1'5 m) y en zonas en las que el aire se mantenga en movimiento para evitar captación de aire contaminado. Debe incorporar una rejilla que evite la entrada de animales al interior.

- Intercambiador de calor

Es el elemento que transfiere el calor del suelo al aire. Se trata de la tubería enterrada que debe ser impermeable, estanca, lisa y resistente a la presión y deformación del terreno. Deberá poseer una ligera inclinación (1-3%) para aliviar hacia el punto de drenaje la posible condensación que se produzca en el interior. Su longitud y diámetro variarán según la profundidad a la que esté, naturaleza del terreno, necesidades térmicas... Es muy importante la transmitividad del terreno y su humedad ya que afectan a la capacidad de transmitir calor a la tubería y, en definitiva, al aire.

Cuanto mayor sea la longitud del tubo, mayor será la transferencia de calor al mismo. Los valores genéricos de longitud están entre 10 y 100 metros y los de diámetro oscilan entre 20 y 40 centímetros.

Pueden adoptar diversas tipologías con tubos paralelos en forma de rejilla, varias tomas, tubo "serpenteante"...

- Elemento de circulación del aire

Se precisa de un elemento de impulsión para el aire y se pueden optar por impulsión activa (ventiladores) o impulsión pasiva (chimenea solar). La impulsión mecánica precisa de un aporte de potencia a un ventilador para generar el movimiento del aire y la impulsión pasiva aprovecha las diferencias de densidades del aire caliente y frío para establecerlo (presenta un inconveniente claro de uso en invierno por estar abierta al ambiente).

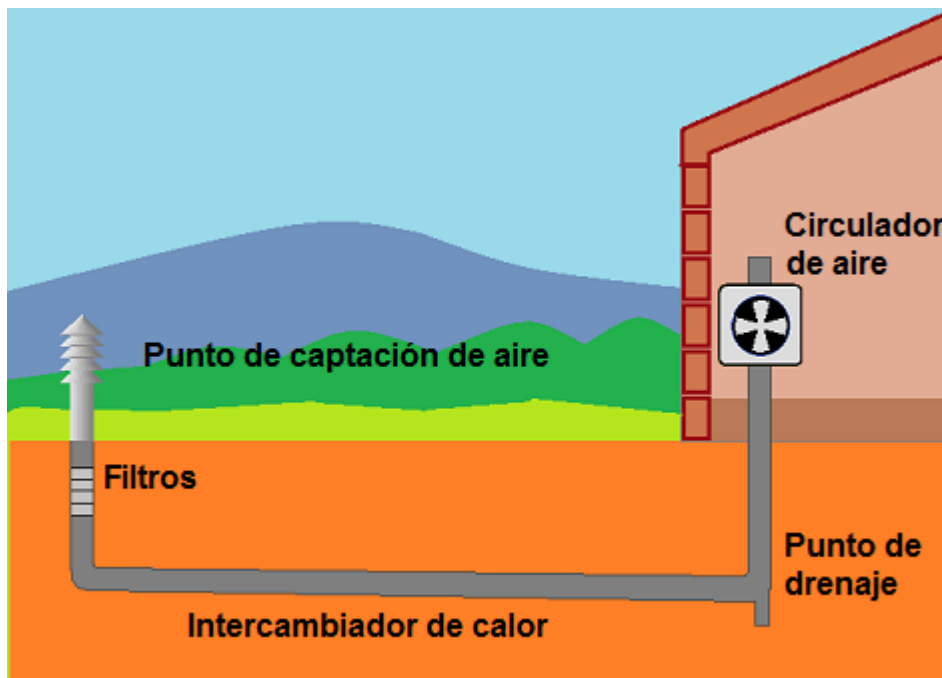


Figura 73. Partes básicas de un pozo canadiense o pozo provenzal (sitiosolar.com. Portal de las energías renovables)

De esta forma, el aire que se aspira para la renovación no se obtendrá directamente del exterior, sino que en verano obtendrá un enfriamiento y en invierno se obtendrá un calentamiento, lo que se traduce en un menor aporte energético en los sistemas de calentamiento, o enfriamiento, de aire al reducirse el salto térmico entre las condiciones de entrada del aire y las necesarias en el interior de la vivienda.

Las ventajas del pozo canadiense son:

- Económico (si se realiza en la fase de construcción de la vivienda)
- Silencioso
- Rendimiento aproximado
  - Invierno: incremento de 11 °C en la temperatura de entrada. Resultan insuficientes por si solos para aportar el calor necesario para la climatización del edificio. Sin embargo, pueden ofrecer un importante precalentamiento del aire que se traducirá en un gran ahorro económico, ya que el sistema auxiliar precisará menor aporte energético para lograr las condiciones de climatización (menor salto térmico).
  - Verano: decremento de 12 °C en la temperatura de entrada. Resultan muy eficientes en la refrigeración en verano, haciendo que puedan sustituir a los sistemas convencionales de aire acondicionado. El rendimiento de refrigeración (COP) puede situarse en torno a 25-30 con un coste de instalación muy bajo (3000 € en 2007) (Brunat & Escuer)
  - Puede permitir un ahorro energético de más del 45% (Brunat & Escuer)

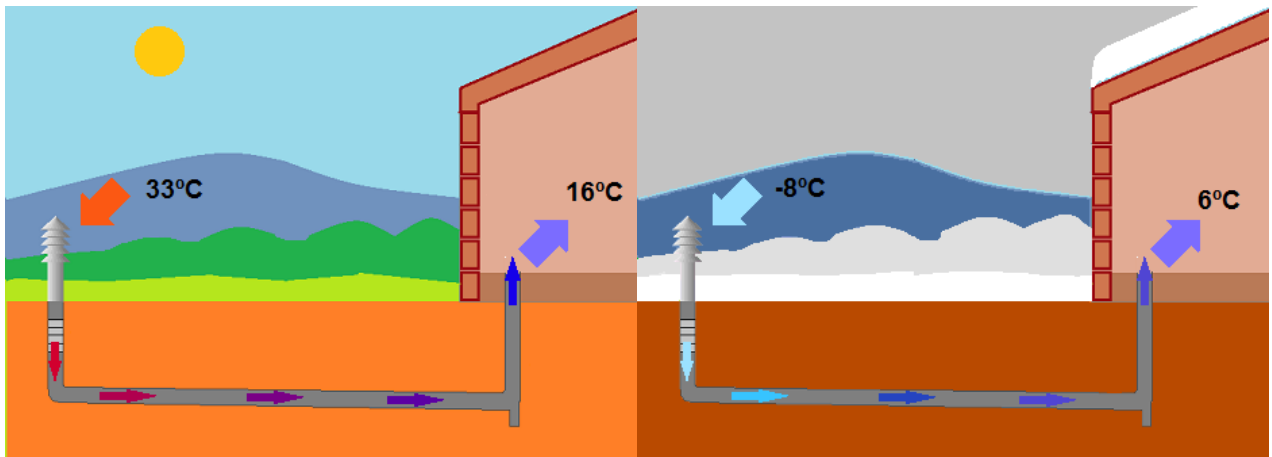


Figura 74. Rendimiento térmico del pozo canadiense o provenzal (sitosolar.com. Portal de las energías renovables)

### 3.5. Eficiencia en las instalaciones de iluminación

Ninguna tecnología en la actualidad: nuclear, hidráulica, térmica, solar, eólica... es capaz de aprovechar el 100% del potencial energético del suministro que emplea. Se estima que, en media, desde el origen de la producción de electricidad hasta que ésta llega a los puntos de consumo, se producen unas pérdidas de aproximadamente 2/3 del total de la invertida es decir, que de toda la energía invertida en el proceso sólo llega a los puntos de consumo en forma eléctrica el 33%. Por ejemplo, en una central térmica a partir de 10 unidades de combustible, sólo se producen 2 unidades de electricidad, mientras que, para una central hidráulica, de cada 10 unidades de energía potencial de agua 8 pasan a ser electricidad.

Se puede observar que el rendimiento es, por tanto, bajo y, además, no sólo se limita ahí, puesto que, también habrá pérdidas en los puntos de consumo.

Para hablar del rendimiento de las instalaciones eléctricas habrá que hablar, principalmente, del rendimiento luminoso de los puntos de luz. Éste se define como el flujo luminoso que emite el punto de luz y la potencia consumida para generarlo. Puede entenderse este valor en términos de porcentaje de eficiencia.

$$\eta = \frac{\text{Flujo Luminoso (lumens)}}{\text{Potencia suministrada (Wattios)}}$$

Así, unos valores típicos de rendimiento lumínico son:

- Lámpara incandescente: 10 – 15 lm/W
- Lámpara halógena: 15 – 25 lm/W
- Lámpara LED: 15 – 130 lm/W
- Lámpara de Mercurio de alta presión: 35 – 60 lm/W
- Lámpara fluorescente: 60 – 90 lm/W

Esto quiere decir que, para conseguir una misma cantidad de potencia luminosa (por ejemplo 750 lumens) será necesario aportar diferentes potencias según el tipo de lámpara:

- Lámpara incandescente: 75 W
- Lámpara halógena: 30 W
- Lámpara LED: 5.8 W
- Lámpara de Mercurio de alta presión: 12.5 W
- Lámpara fluorescente: 8.33 W

Para conseguir la misma luminosidad, las lámparas LED y las fluorescentes son las que menor aporte de potencia precisan puesto que se producen muy pocas pérdidas en forma de calor, no como las lámparas incandescentes en las que las pérdidas por calor conformarían el 85% de la potencia eléctrica aportada y solo el 15% se percibiría como luz.

Actualmente, las lámparas LED no emiten calor debido a que la mayor parte de la potencia se transforma en luz, no contienen elementos contaminantes (mercurio) como los fluorescentes o las bombillas compactas de bajo consumo por lo que se reciclan más fácilmente, permiten un ahorro de energía de en torno al 45% respecto las lámparas halógenas, y su duración y fiabilidad puede sobrepasar las 50.000 horas de vida. Es tajante que sería una estrategia adecuada, de ahorro energético y de reciclaje, el sustituir los puntos de luz de la vivienda por esta tipología. Además, son muy versátiles, pudiendo utilizarse tanto para iluminación interior como exterior, proporcionando una gran gama de tonalidades (frías y cálidas) y colores, que pueden ser utilizadas para incrementar el valor arquitectónico del edificio o para crear ambientes adecuados de trabajo o relax.

Para completar los ahorros relacionados con las lámparas, se estudia el balastro de la lámpara (lámparas LED, lámparas de descarga, lámparas fluorescentes...) como equipo auxiliar, es un transformador o reactancia necesario para el correcto funcionamiento del sistema. Generalmente, son electromagnéticos o electrónicos pero el empleo de éstos últimos es más eficiente puesto que los electromagnéticos presentan pérdidas de entre el 7% y el 20% y los electrónicos puros de aproximadamente el 0%. Además, hay mayor confort en la iluminación al no existir parpadeos y proporciona mayor vida media a la lámpara, gracias a los sistemas de desconexión automático y protección frente a sobrecargas.

Además del conjunto formado por lámpara, balastro y luminaria, que debe ser lo más eficiente posible, hay una serie de elementos de regulación y control que tratan de automatizar la gestión de las instalaciones de alumbrado. Existen diferentes tipologías:

- Sistemas automáticos de encendido y apagado
- Sistemas de regulación y control bajo demanda del usuario por interruptor, pulsador, mando a distancia...
- Sistemas de regulación de la iluminación artificial de acuerdo con la aportación de luz natural a través de acristalamientos de diversa índole.
- Sistemas de detección de presencia o ausencia para encender o apagar la luz, o incluso regular el flujo luminoso.
- Sistemas de gestión centralizada, automatizada o no.

Las ventajas de estos sistemas detectores de presencia son:

- Ahorro de energía: con detectores de presencia o fotocélulas se puede asegurar una correcta gestión de la iluminación.
- Fácil instalación
- Control automático o manual

El consumo de energía supone entre el 50% y el 80% del coste total de un sistema de alumbrado, con los sistemas de detección de luz natural se puede ahorrar hasta un 45% de la energía y con una combinación de detección de luz natural y personas hasta un 75% de ahorro en energía.



## Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo carbono en la naturaleza	1
Figura 2. Relación entre incremento de temperaturas y concentración CO <sub>2</sub> (Smith, P. 2005)	2
Figura 3. Impacto ambiental de los edificios en su entorno. (Yeang, K. 1995)	3
Figura 4. Megarón (Sócrates, siglo IV aC)	4
Figura 5. Estrategias bioclimáticas villa Rotonda	4
Figura 6. Regulación de los sistemas de iluminación y ventilación natural en la casa Batlló	5
Figura 7. Arquitecturas vernáculas. A la izqda. la tipología de Trulli del sur de Italia adaptada al clima mediterráneo. A la dcha. casa de la época colonia en Trinidad, Cuba (s. XVIII) del clima del trópico	6
Figura 8. "La jornada solar es la medida de todas las empresas urbanísticas" (LC)	7
Figura 9. Casa Citrohan, ejemplo pionero de diseño solar construido en Stuttgart.	7
Figura 10. "El Sol está en todas partes, en el verdadero corazón de la casa" (Villa Savoye, LC, 1931)	8
Figura 11. Regulación de la radiación solar mediante el brise-soleil.	8
Figura 12. Croquis sección del colegio Maravillas. (de la Sota, A. 1962)	9
Figura 13. Viviendas de la Barceloneta y C/ Compositor Bach. (Coderch, J.A., 1951-58)	9
Figura 14. Diagrama bioclimático (Ogyay, V. 1963)	10
Figura 15. Factores que influyen en el comportamiento energético de los edificios (Baker, N. 2000)	10
Figura 16. Recorrido del Sol según las estaciones	11
Figura 17. Stonehenge. Monumento megalítico finales Neolítico. Inglaterra.	12
Figura 18. Angulo inclinación solar durante el recorrido del año.	13
Figura 19. A la izqda. La antigua ciudad de Priene. Pese a su dificultad del terreno, casi todas la viviendas podían beneficiarse del sol de invierno. A la dcha. Modelo de pórtico griego.	14
Figura 20. Heliocaminus romano.	15
Figura 21. Sección del Valle. (Geddes, P.)	16
Figura 22. Apartamentos Wremen, (A.Aalto, 1958)	17
Figura 23. Casa Hemiciclo Solar (Wright, F.W. 1943-48)	17
Figura 24. Aplicación de vegetación de hoja caduca: caso verano e invierno.	19
Figura 25. Mapa de las zonas climáticas españolas. ( <a href="http://www.wikimedia.org">www.wikimedia.org</a> )	23
Figura 26. La transmisión de energía a través del vidrio	29
Figura 27. a) Sistema doble estrato. b) Sistema triple estrato. c) Sistema triple estrato + persiana	30
Figura 28. Subdivisión de la radiación según el vidrio usado.	30
Figura 29. Tipos de protecciones solares internas	31
Figura 30. Tipologías de paneles protectores externos	32
Figura 31. Ejemplo de protección solar voladizo horizontal fijo.	32
Figura 32. Protecciones solares externas móviles	33
Figura 33. Comparación entre la protección solar de lamas externa e interna	34
Figura 34. Esquema del principio de funcionamiento natural del "muro solar".	35
Figura 35. Esquema del principio de funcionamiento natural del "muro Trombe" en invierno	36
Figura 36. Esquema del principio de funcionamiento natural del "muro Trombe" en verano	36
Figura 37. Crecimiento de la luminosidad en función de la relación ventana/fachada	37
Figura 38. Ventana clásica.	38
Figura 39. Puerta clásica.	38
Figura 40. Ventana horizontal alargada.	38
Figura 41. Combinación de ventana alta horizontal y ventana vertical.	39
Figura 42. Ventana de esquina.	39
Figura 43. Ventana sobre dos paredes.	39
Figura 44. Pérdida de luminosidad en base al tipo de marco de la ventana.	40
Figura 45. Ventilación cruzada.	40
Figura 46. Chimenea solar.	41
Figura 47. Atrio Aspirante	41
Figura 48. Torre de ventilación.	42
Figura 49. Torre del viento	42
Figura 50. Chimenea eólica.	43
Figura 51. Intercambiadores de calor de flujo cruzado	44
Figura 52. Tipos de intercambiadores de flujo cruzado	44
Figura 53. Precalentamiento de aire de admisión mediante intercambiador de calor en tierra	45
Figura 54. Colector solar plano (SUELO SOLAR, 2013)	48
Figura 55. Composición típica de colectores solares (SUELO SOLAR, 2013)	48

Figura 56. Colector solar de tubos de vacío (SUELO SOLAR, 2013)	49
Figura 57. Partes de la instalación de un suelo radiante (enertres)	51
Figura 59. Perfil de temperaturas de sistemas de calefacción: A) Suelo Radiante; B) Radiadores (enertres)	52
Figura 60. Colector Solar de aire TWINSOLAR (Almunia Solar)	52
Figura 61. Sistema de calefacción por ventilación (Solar Wall)	53
Figura 62. Sistemas de calefacción por ventilación en edificios (SolarWall, 2013)	54
Figura 63: Instalación fotovoltaica en viviendas (www.solarweb.net)	55
Figura 64. Instalación fotovoltaica en viviendas para autoconsumo	55
Figura 65. Células fotovoltaicas monocristalinas y policristalinas (www.sunflower-solar.com)	56
Figura 66. Células fotovoltaicas amorfas (www.sunflower-solar.com)	56
Figura 67. Transformación de señal del inversor	57
Figura 68. Esquema de funcionamiento de central geotérmica (Geodynamics; The Economist)	59
Figura 69. Esquema de trabajo de una bomba de calor. Refrigeración (IDAE, 2012)	60
Figura 70. Esquema de trabajo de una bomba de calor. Calefacción (IDAE, 2012)	60
Figura 71. Sistemas de instalación de bomba de calor horizontales (tubo simple/doble tubo) (IDAE, 2012)	61
Figura 72. Sistemas de instalación de bomba de calor en vertical (paralelo vertical/ serie vertical) (IDAE, 2012)	61
Figura 73. Partes básicas de un pozo canadiense o pozo provenzal (sitiosolar.com. Portal de las energías renovables)	62



# Bibliografía

1. Usón, E. *"La nueva sensibilidad ambiental en la arquitectura española 2000-2006"*. Clipmèdia Edicions, Barcelona, 2007.
2. Rubini, L. Sangiorgio, S. y Le Noci, C. *"Il nuovo edificio green. Soluzione per il benessere abitativo e l'efficienza energetica"*. Green Tech, Hoepli, Milano 2011.
3. Capolla, M. *"La casa energetica. Indicazioni e idee per progettare la casa a consumo zero"*. Maggioli Editore, 2009.
4. Flannery, T. *"The weather makers. The history and future impact of climate change"*. Edición española: *"La amenaza del cambio climático, historia y futuro"*. Madrid: Taurus, 2006.
5. Al Gore, *"El profeta del cambio climático"*. Entrevista con Al Gore. El País semanal, nº 1552, 25 junio 2006.
6. Lawrence, G. *"Seattle sostenible"*. Londres: Academy Editions, 1999.
7. Scout, A. *"Dimensions of sustainability"*. Londres: F&N Spon, 1998.
8. Ruiz de la Elvira, A. *"Quemando el futuro"*. Madrid: Nivola, 2001.
9. Herzog, T. *"Architecture + technology"*. Munich: Prestel, 2001.
10. Vitrubio, M.L. *"De architectura libre decem"*. Año 40 aC.
11. Hawkes, D. *"The environmental tradition"*. Londres: F&N Spon, 1996.
12. Alberti, L.B. *"De re aedificatoria libri decem"*. Roma, 1442.
13. Palladio, A. *"I quattro libri dell'architettura"*. Venecia, 1570.
14. Laugier, M.A. *"Essai sur l'architecture"*. París, 1753.
15. Chambers, W. *"A treatise on civil architecture"*. Londres, 1759.
16. Ruskin, J. *"The seven lamps of architecture"*. Londres, 1849.
17. Howard, E. *"To-morrow: a peaceful path to real reform"*. Londres, 1898.
18. Rudofsky, B. *"Architecture without architects"*. Londres: Academy Editions, 1981.
19. Oliver, P. *"Dwellings the vernacular house world wide"*. Londres: Phaidon, 2003.
20. Olgyay, V. *"Design with climate"*. Princeton: Princeton University Press, 1963.
21. Flores, C. *"Arquitectura popular española"*. Madrid: Ed. Blume, 1973-79.
22. Le Corbusier. *"Hacia una arquitectura"*. Barcelona: Ed. Poseidón, 1978.
23. Pierrefeu, F. *"La casa del hombre"*. Barcelona: Ed. Poseidón, 1979.

24. Porteus, C. *"The new eco-architecture alternatives from the modern movement"*.
25. Frampton, K. *"Towards a critical regionalism"*. Port Townsend: anti-aesthetic, 1983.
26. Fernández Galiano, L. *"El fuego y la memoria. Sobre arquitectura y energía"*. Madrid: Alianza Editorial, 1991.
27. Banham, R. *"The architecture of the well-tempered environment"*. Londres: Architectural Press, 1969.
28. Flannery, T. *"La amenaza del cambio climático, historia y futuro"*.
29. Attmann, O. *"Green Architecture. Advanced Technologies and materials"*, MacGraw-Hill, 2010.
30. Hastings, R. y Wall, M. *"Sustainable Solar Housing. Exemplary Buildings and Technologies"*, Earthscan, 2009.
31. Baker, N. V., *"The Handbook of sustainable refurbishment. Non-domestic buildings"*, Earthscan, 2009.
32. Filippi, M. y Rizzo, G. *"Certificazione energetica e verifica ambientale degli edifici"*, Dario Flaccovio, 2007.
33. Weiss, W. *"Solar heating systems for houses"*, IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2003.
34. Gallo, C. *"Architettura bioclimática"*, ENEA, IN/ARCH, 1995.
35. Laforgia, D. y Perago, A. *"La progettazione bioarchitettura"*, Pensa Multimedia, 2002.
36. Butera, F. M. *"Dalla caverna alla casa ecológica. Storia del confort e dell'energia"*, Edizioni Ambiente, 2007.
37. Perlin, J. *"Dal Sole. L'energia solare dalla ricerca spaziale agli usi sulla Terra"*, Edizioni Ambiente, 2000.
38. Mammi, S. y Panzeri, A. *"I materiali isolanti. L'isolamento térmico ed acústico"*, Edizioni TEP srl, 2005.
39. Çengel, Y. A. *"Termodinamica e trasmissione del calore"*, McGraw-Hill, 1997.
40. Bartolazzi, A. *"Le Energie Rinnovabili"*, Hoepli, 2007.
41. Cappello, M. *"Efficienza energetica degli edifici"*, Grafill, 2008.
42. Tucci, F. *"Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecológica in architettura attraverso la pelle degli edifici"*, Alinea Editrice, 2006.
43. Szokolay, *"Introduzione alla progettazione sostenibile"*, Hoepli, 2006.
44. Cammarata, G. *"Fisica técnica ambientale"*, McGraw-Hill, 2007.
45. López de Asiain, M. *"Estrategias bioclimáticas en la arquitectura"*.
46. Olgay, V. *"Arquitectura y clima"*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 1998.

47. Serra, R. *"Arquitectura y Energía"*, Barcelona, Ediciones UPC, 1999.
48. Arelyá, A. *"Acondicionamiento ambiental: estudio urbano de orientación en Arquitectura y Urbanismo"*.
49. <http://abioclimatica.blogspot.com.es/>
50. <http://www.renov-arte.es/arquitectura-sostenible.html>
51. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>
52. <http://elblogdefarina.blogspot.com.es/2011/10/recuperando-patrick-geddes.html>
53. <http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>
54. <http://www.architetturabioclimatica.it>
55. <http://www.casapassiva.com>
56. <http://www.edificipassivi.com>
57. <http://www.escoenergy.eu>
58. <http://www.gcammarata.net>
59. <http://www.linealight.com>
60. <http://www.lofsolar.com>
61. <http://www.masterclima.it>
62. <http://www.pannelliradianti.it>
63. <http://www.knaufinsulation.com>
64. Almunia Solar. (s.f.). ALMUNIA SOLAR. Proyectos e Instalaciones de Energía Solar. Obtenido de <http://www.almuniasolar.com/aire-caliente-solar>
65. Bolwer Door Test. (2013). Test de estanqueidad e infiltraciones. Obtenido de <http://www.blower-test.com/infiltraciones.html>
66. Brunat, L., & Escuer, J. INTERCAMBIADORES TIERRA-AIRE Y TÉCNICAS EMPARENTADAS. EJEMPLOS Y EXPERIENCIAS. Lleida: II CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN Y LA INDUSTRIA.
67. Calefacción por Suelo Radiante. (2013). Obtenido de <http://www.calefaccionsueloradiante.es/>
68. econinnova group. Suelo Radiante. (2013). Obtenido de <http://www.calefaccionsostenible.es/index.php?cid=20051210094614&lang=es>
69. Almunia Solar. (s.f.). ALMUNIA SOLAR. Proyectos e Instalaciones de Energía Solar. Obtenido de <http://www.almuniasolar.com/aire-caliente-solar>

70. Bolwer Door Test. (2013). Test de estanqueidad e infiltraciones. Obtenido de <http://www.blower-test.com/infiltraciones.html>
71. Brunat, L., & Escuer, J. INTERCAMBIADORES TIERRA-AIRE Y TÉCNICAS EMPARENTADAS. EJEMPLOS Y EXPERIENCIAS. Lleida: II CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN Y LA INDUSTRIA.
72. Calefacción por Suelo Radiante. (2013). Obtenido de <http://www.calefaccionsueloradiante.es/>
73. econinnova group. Suelo Radiante. (2013). Obtenido de <http://www.calefaccionsostenible.es/index.php?cid=20051210094614&lang=es>
74. ECOZONE. ENERGÍAS RENOVABLES. (2013). ECOZONE: LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Obtenido de [http://www.ecozone-renovables.com/energia\\_solar\\_termica.html](http://www.ecozone-renovables.com/energia_solar_termica.html)
75. enertres. (s.f.). enertres. Suelo Radiante - Componentes. Obtenido de <http://www.enertres.com/es/suelo-radiante/3/componentes.html#.Ui8HTcZT6VA>
76. Generalitat Valenciana. Conselleria d'infraestructures, territori i medi ambient. (2013). Calidad en tu vivienda. Cómo elegir y mejorar tu hogar. Obtenido de <http://www.five.es/calidadentuvivienda/ahorrar-energia-en-tu-vivienda?id=109# - ¿cuál-es-el-problema>
77. IDAE. (2012). Guía Técnica: Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado. Madrid.
78. Instituto Geológico y Minero de España. (s.f.). La energía geotérmica. Obtenido de <http://www.igme.es/internet/Geotermia/La%20energ%EDa%20geot%E9rmica.htm>
79. Marín, J. M., Monné, C., & Uche, J. (2007). Transferencia de calor. Zaragoza: KRONOS.
80. Moran, M. J., & Shapiro, H. H. (2004). Fundamentos de Termodinámica Técnica. Editorial Reverté.
81. PHILIPS. (2013). PHILIPS. Productos. Alumbrado. Bombillas LED. Obtenido de <http://www.philips.es/c/-/30016/cat/>
82. recair. (2013). Recair. Saving Energy in comfort. Obtenido de [http://www.recair.es/en/recair\\_sensitive-how-it-works.php](http://www.recair.es/en/recair_sensitive-how-it-works.php)
83. sitiosolar.com. Portal de las energías renovables. (s.f.). Obtenido de Los pozos canadienses y provenzales, geotermia de baja potencia: <http://www.sitiosolar.com/Los%20pozos%20canadienses%20y%20provenzales.htm>
84. SolarWall. (2013). SolarWall.com by Conserval Engineering Inc. Obtenido de <http://solarwall.com/es/productos/calefaccion-por-aire-solarwall/funcionamiento.php>
85. SUELO SOLAR. (2013). Suelo Solar. Agua Caliente Sanitaria. Obtenido de <http://www.suelosolar.es/guiasolares/acs.asp>