

## LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA EXPERIMENTAL: CASA EN EL MONTE

Rafael de Lacour Jiménez

*Profesor del Área de Proyectos Arquitectónicos. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada. Universidad de Granada*

### **Resumen**

*La vivienda sigue constituyendo hoy un excelente laboratorio en el que experimentar estrategias bioclimáticas, criterios de sostenibilidad y mecanismos ecológicos que podrían trasladarse a otros usos y tipologías arquitectónicas.*

*Partiendo de estas consideraciones, se expone un caso de estudio de vivienda unifamiliar en el que se han tratado todas estas cuestiones como planteamiento de partida, y en el que se han aplicado, tanto en el proyecto como en la construcción, todas aquellas pautas en consonancia con las condiciones particulares climáticas, geográficas, tecnológicas y de paisaje.*

*Con la aportación mostrada se pretende contribuir al conocimiento de la arquitectura bioclimática desde el propio proyecto arquitectónico, relacionando el paisaje con las consideraciones medioambientales, y las buenas prácticas sobre sostenibilidad con las innovaciones surgidas durante el proceso que el proyecto contemporáneo demanda.*

**Palabras clave:** vivienda; paisaje; proyecto; bioclimática; eficiencia; sostenibilidad

**Área temática:** edificación.

### **1.1 Introducción**

El replanteamiento de las condiciones actuales de hábitat y desarrollo urbano han llevado en las últimas décadas a cuestionar la deseable y más idónea relación entre arquitectura y medio natural. El reto a escala global por conseguir que las ciudades del planeta sean más sostenibles precisa de una adecuada integración medioambiental en los modos de vivir. En este marco general, el alojamiento como célula mínima de habitabilidad se convierte en un elemento primordial, como objeto de experimentación. La tipología de vivienda unifamiliar ofrece unas posibilidades experimentales que difícilmente podrían alcanzarse en las viviendas colectivas o en otros usos. Las consideraciones formales, materiales, y especialmente de disposición y orientación en el contexto en el que se inserta, permiten realizar unos planteamientos de investigación, que finalmente resultan factibles trasladar a otras tipologías arquitectónicas.

La vivienda supuso desde los inicios del siglo XX un campo de trabajo empírico tremendamente útil para la implantación de nuevas tecnologías aplicadas a la arquitectura, además de para la difusión de las nuevas ideas estéticas, como pudo ser la modernidad (Zabalbeascoa, 1998). Baste recordar para ello los experimentos urbanos de la Deutscher Werkbund, como la Weissenhofsiedlung de Stuttgart de 1927, encargada a Mies van der Rohe, o el carácter paradigmático de las casas de Le Corbusier, Frank Lloyd Wright o Alvar Aalto; al margen de los debates surgidos en torno al *existenzminimum* en los correspondientes congresos internacionales de arquitectura moderna (CIAM).

Incluso, muchas de esas casas de la modernidad actuaron como transmisión de un pensamiento filosófico asociado sobre el modo de habitar (Ábalos, 2003).

Sin embargo, es a partir de la primera crisis del petróleo, en los años setenta y ochenta, cuando surge una primera generación de casas bioclimáticas, en las que el empleo de ciertos materiales, como la madera, acentuaba su carácter ecológico, a la vez que se alejaban de algunos parámetros tecnológicos que hasta ese momento habían caracterizado a la arquitectura reconocible de calidad (Gauzin-Müller, 2002). Surgen, en muchos casos, como reacción a una modernidad a la que se acusaba de despilfarro en los recursos. Además, tendrán un tono estilístico pretendidamente de vuelta a la tradición, descuidando esos mismos valores tecnológicos antes ensalzados. Ciertamente, la revisión sobre la presencia de los valores que hoy llamamos ecológicos en la vivienda moderna es una de las tareas pendientes para recuperar el eslabón que vincula lo bioclimático con la arquitectura de calidad.

En cualquier caso, la revisión de los modelos establecidos resulta pertinente en momentos de crisis como el actual, después de una producción inmobiliaria desproporcionada que ha tenido lugar durante la última década, especialmente en los ámbitos litorales como el mediterráneo, y en un momento en el que se ha introducido en España un marco normativo nuevo, como es el Código Técnico de la Edificación.

Sin embargo, cuando la investigación pretende convertir al prototipo en una respuesta generalizable se corre el riesgo de desatender la especificidad que la atención al medio ambiente merece en función de los distintos casos de estudio. Por ello, el ejemplo que aquí se muestra pretende contribuir como tal, esto es como caso de estudio, al debate de la sostenibilidad, enriqueciéndolo a modo de buena práctica, en el sentido de construcción de un edificio que busca mejorar los modos habituales del proceso de diseño, ejecución, consumo de energía doméstica, mantenimiento y gestión.

Igualmente, se presenta como una respuesta particularizada a unas condiciones de contexto geográfico, climatológico, cultural y tecnológico. Por tanto, se atiende a la especificidad medioambiental contextualizada, actuando desde un procedimiento metodológico sistematizado, bajo unas pautas conocidas dentro del bioclimatismo.

Se parte de la consideración de arquitectura sostenible o bioclimática, no tanto como resultado de una aplicación de tecnologías especiales como de la puesta en práctica de un planteamiento orientado hacia la buena práctica, es decir, la utilización de las condiciones medioambientales durante el proceso de proyecto, la obra y la vida del edificio, y la utilización por sus habitantes, sin renunciar al resto de las implicaciones constructivas, funcionales y estéticas presentes en la buena arquitectura (De Luxán, 2000).

Así, al ser de un tamaño reducido, la actuación puede ser controlada en todo su proceso, llegando a un grado de autonomía medioambiental considerable, y facilitando la participación de todos los agentes implicados, resultando un objeto idóneo para actuar en él a modo de laboratorio (Latour, 1983).

Su contribución estriba en la aportación energéticamente consciente de soluciones integradas, pasivas y activas de alta eficiencia en el uso de energías renovables y convencionales. Concretamente, aporta datos para mejorar el desarrollo de herramientas de valoración y proyecto para soluciones pasivas desarrolladas específicamente para unas condiciones climáticas localizadas.

Todo ello como caso particularizado adaptado a un lugar, a unas técnicas que le son propias, y adecuadas a un clima suave. Los principios de adecuación climática parten de la integración de la edificación en las condiciones naturales específicas del lugar, especialmente mediante los sistemas pasivos.

En todas ellas se parte de un aprendizaje que ofrece la casa moderna en el paisaje mediterráneo, tratado en distintos ejemplos, simultáneamente como hogar y experimento. En concreto, se parte de ejemplos particulares estudiados de viviendas realizados entre 1959 y 1972 en Málaga por arquitectos de la talla de Harnden, Rudofsky, Mosher e Higuera que ilustran perfectamente la relación de la arquitectura con el paisaje en Alhaurín, Frigiliana, Málaga y Marbella, respectivamente (Gavilanes y De Lacour, 2012).

Entre esas condiciones particularizadas estarían fundamentalmente la radiación solar y las condiciones de ventilación. La contribución solar en un edificio de esta latitud, con 3.000 horas anuales de sol, asociado con el control de la inercia térmica, podría representar un porcentaje muy alto, por encima del 80% o 90% respecto a la capacidad calorífica necesaria. Por otro lado, las posibilidades de ventilación natural como mecanismo de enfriamiento podrían alcanzar un porcentaje similar, dadas las condiciones de clima húmedo en el que se localiza.

Al diseñar estrategias y pautas bioclimáticas, fundamentalmente mediante la energía solar y la climatización pasivas (calentamiento y refrigeración naturales o de bajo consumo), se pretende obtener un ahorro energético entre un 50% y un 80% sobre un edificio convencional.

## 1.2 Objetivos

Desde un punto de vista general se pretendía alcanzar la calidad del ambiente interior como situación ideal de confort, obteniendo unas condiciones higrotérmicas adecuadas, es decir, unas condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire (Neila 2002).

Este objetivo se pretendía lograr cuidando especialmente los aspectos energéticos, en lo referente a consumos por su repercusión con el ambiente exterior.

También en relación con el exterior, se deseaban considerar todos aquellos aspectos relacionados con el medio ambiente, especialmente los que tenían que ver con la contaminación.

Todas estas medidas generales expuestas se procurarían introducir manteniendo un ajustado equilibrio entre la calidad arquitectónica y la eficiencia energética, siendo consciente de que la sostenibilidad en arquitectura es algo más que eficiencia energética (Schittich, 2011).

Entre los objetivos concretos relativos a la construcción, pero tenidos en cuenta desde el proyecto, se pretendía cuidar al máximo la envolvente y el aislamiento térmico de los cerramientos y de la cubierta, para reducir las transferencias de calor. En ese sentido se procuraría la eliminación de puentes térmicos y la eliminación de riesgo de condensaciones intersticiales. De gran importancia resultaba obtener una ventilación higiénica permanente y controlada, como condición imprescindible y regulada técnicamente mediante aireadores según CTE, además de una ventilación adicional suficiente. Todo ello haciéndolo compatible con la instalación de unos vidrios aislantes y carpinterías de aluminio herméticas con ruptura de puente térmico.

Por tanto, en consonancia con las condiciones particulares, la adecuación solar y de refrigeración mediante el aprovechamiento de las condiciones naturales, según el clima, estaban presentes entre los objetivos centrales, ya que la consideración de la energía solar pasiva y la ventilación natural aumentan la autonomía del edificio al disminuir los consumos de energía.

El objetivo cuantificable propuesto para las condiciones de invierno, para una situación extrema durante el mes de enero, consistía en que se pudiese obtener durante el día calefacción natural mediante energía solar pasiva en un 80% y que se completase en un

20% con un sistema de apoyo de alta eficiencia, considerado como energía renovable. Se estimaba, de igual manera, que se podrían cubrir esas necesidades con porcentajes de reparto entre 90% y 10%, respectivamente en meses de diciembre y febrero; llegando a porcentajes de 95% y 5% en los meses de noviembre y marzo.

El objetivo propuesto para el verano era lograr las condiciones de confort en los meses más calientes de julio y agosto, en porcentajes casi idénticos a los de invierno entre energía pasiva y activa, en este caso mediante ventilación natural.

Pero, su condición como casa sostenible (Naredo, 1996) no se enfocaba únicamente hacia el consumo energético durante la vida útil del edificio, sino que atendía a otras cuestiones presentes de una u otra manera durante su concepción, ejecución y utilización. Entre ellas se consideraban los mecanismos previstos y los consumos de energía asociados con la prefabricación de los materiales y la puesta en práctica de los sistemas constructivos y de instalaciones, con su correspondiente transporte, montaje, mantenimiento y posible desmantelamiento de lo edificado.

Y como idea global estaba la consideración del paisaje en un ejercicio de hibridación de arquitectura y naturaleza, que reconociese en esta última el cambio de paradigma con el que acometer el complejo mundo de relaciones que se dan en los ecosistemas, situando al hombre y su arquitectura como uno de esos aspectos (Rueda, 2002).

### **1.3 Caso de estudio**

Situada en una parcela con fuerte topografía entre dos calles, la casa se oculta entre los pinos predominantes, manteniendo el terreno circundante en su estado natural. Se plantea un cajeado con un muro de contención perimetral para disponer exento el volumen de la edificación, compuesta por dos plantas y un casetón de cubierta. De esta manera, la separación física y estructural de la casa respecto del muro permite iluminación y ventilación naturales para el nivel inferior, concebido como una caja acristalada en todo su contorno.

Los accesos se disponen ajustándose al desnivel en cada punto de contacto con el terreno: la planta de cubierta con la calle superior, la entrada principal a la casa en su planta alta por el lateral norte, y la planta inferior por el lateral sur. Unas escaleras exteriores, acompasadas con la topografía, permiten los puntos de llegada y la comunicación entre terrazas, continuando hacia la calle inferior por el interior de la parcela.

El programa se desarrolla con las estancias diurnas (estar comedor y cocina) en la planta alta, volando hacia el oeste, y con el dormitorio principal y baño hacia el este, mientras que el resto de dormitorios y baños se sitúa en la planta baja. Ambas plantas se abren hacia el sur con la mejor orientación, conectadas con una terraza lineal y buscando las vistas hacia la Bahía de Málaga. En la cubierta se sitúa otra caja acristalada y una terraza, abierta de nuevo a las vistas. Interiormente, la comunicación entre las distintas plantas se produce a través de un núcleo central de escaleras, dispuesto dentro de un gran volumen espacial, y concebido como patio estructurante de la casa.



**Figura 1: Planta de situación**

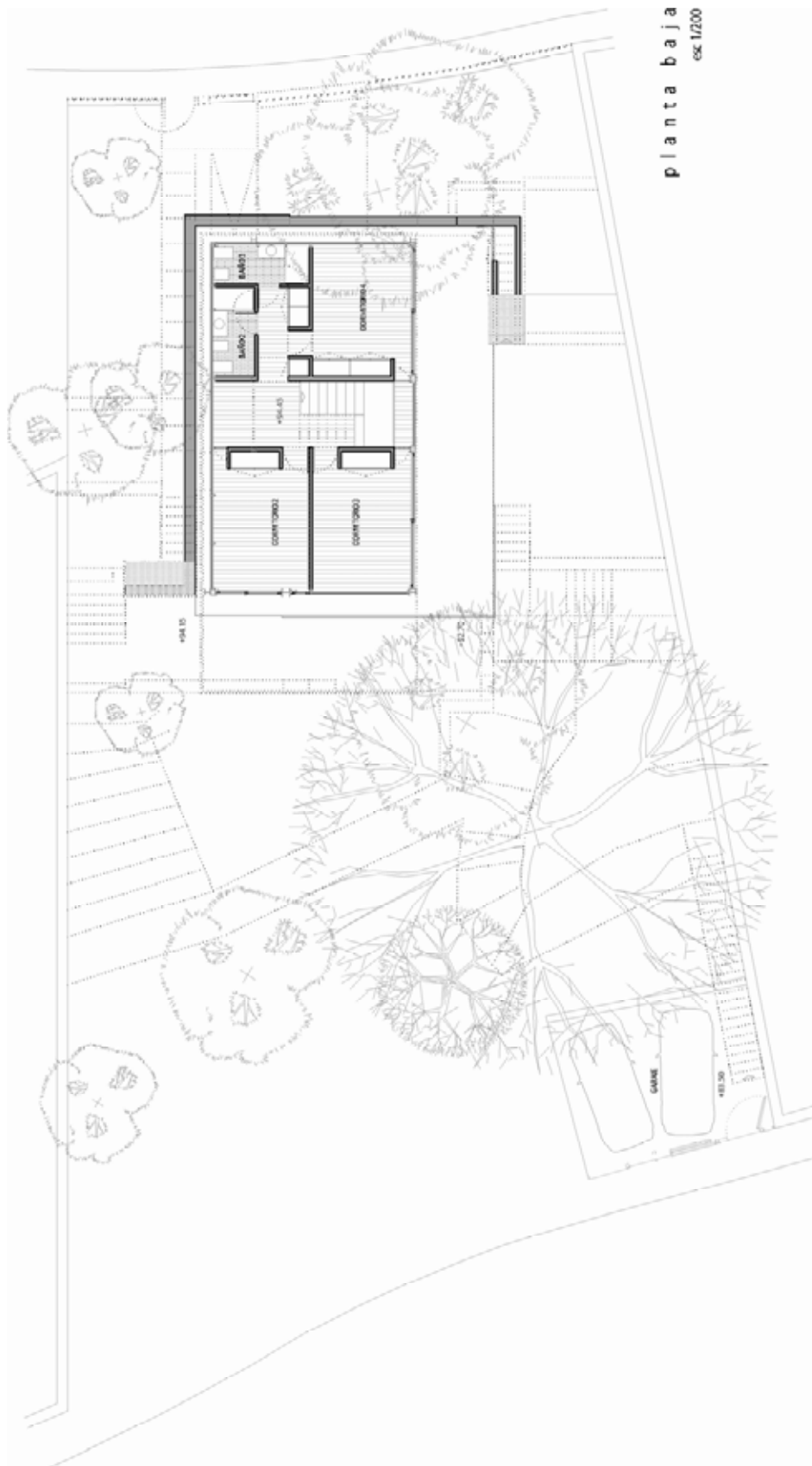


Figura 2: Planta baja

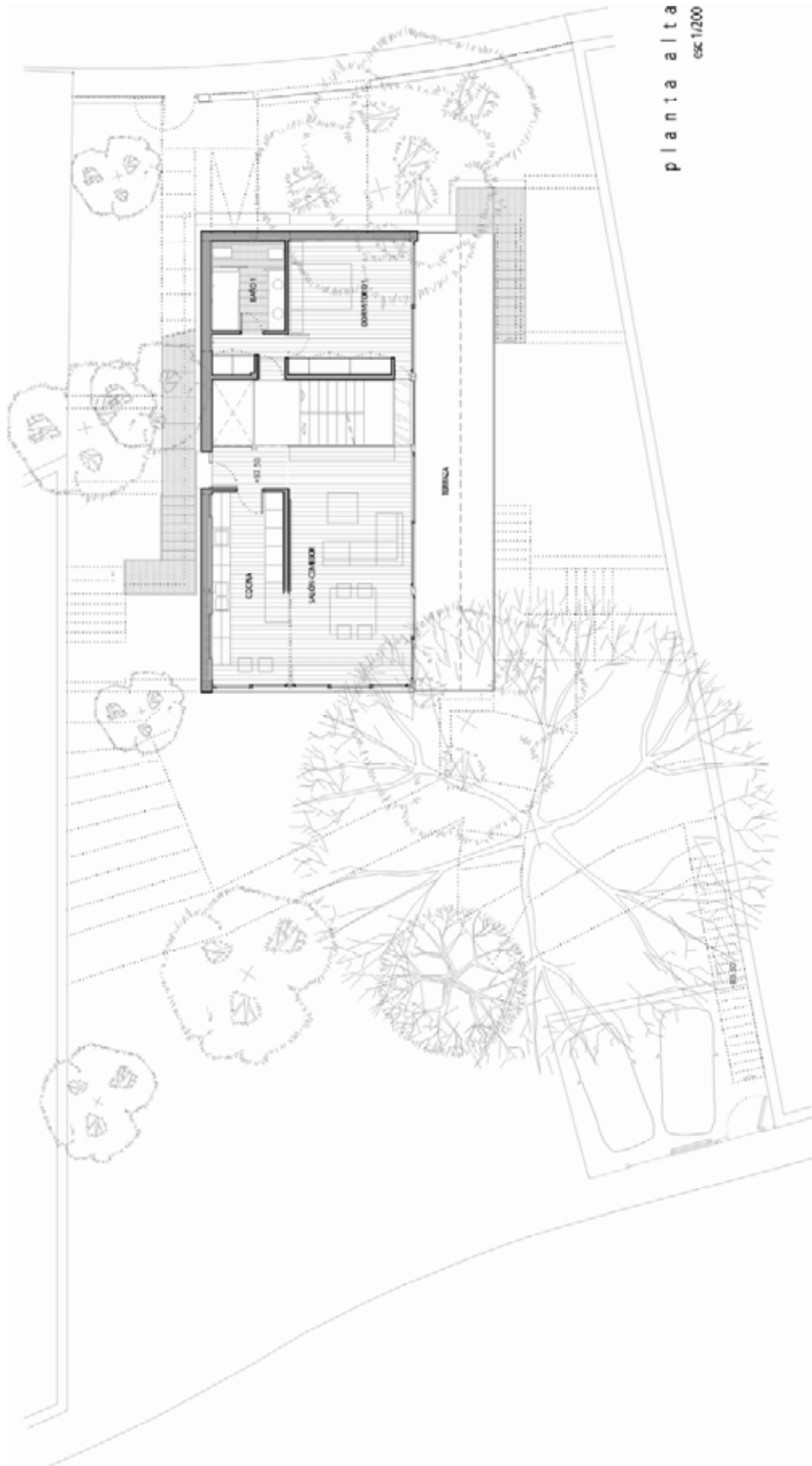


Figura 3: Planta alta

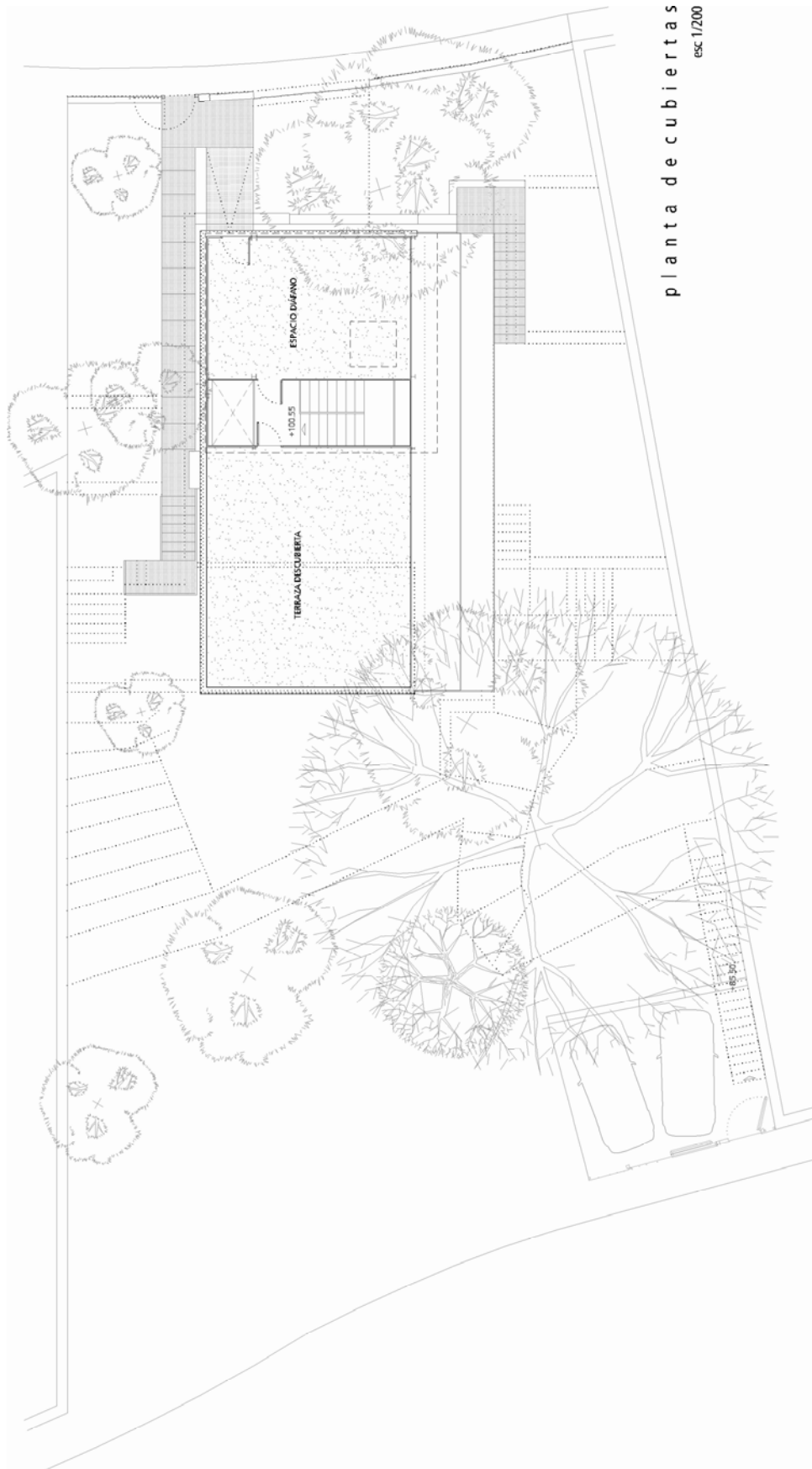


Figura 4: Planta de cubiertas



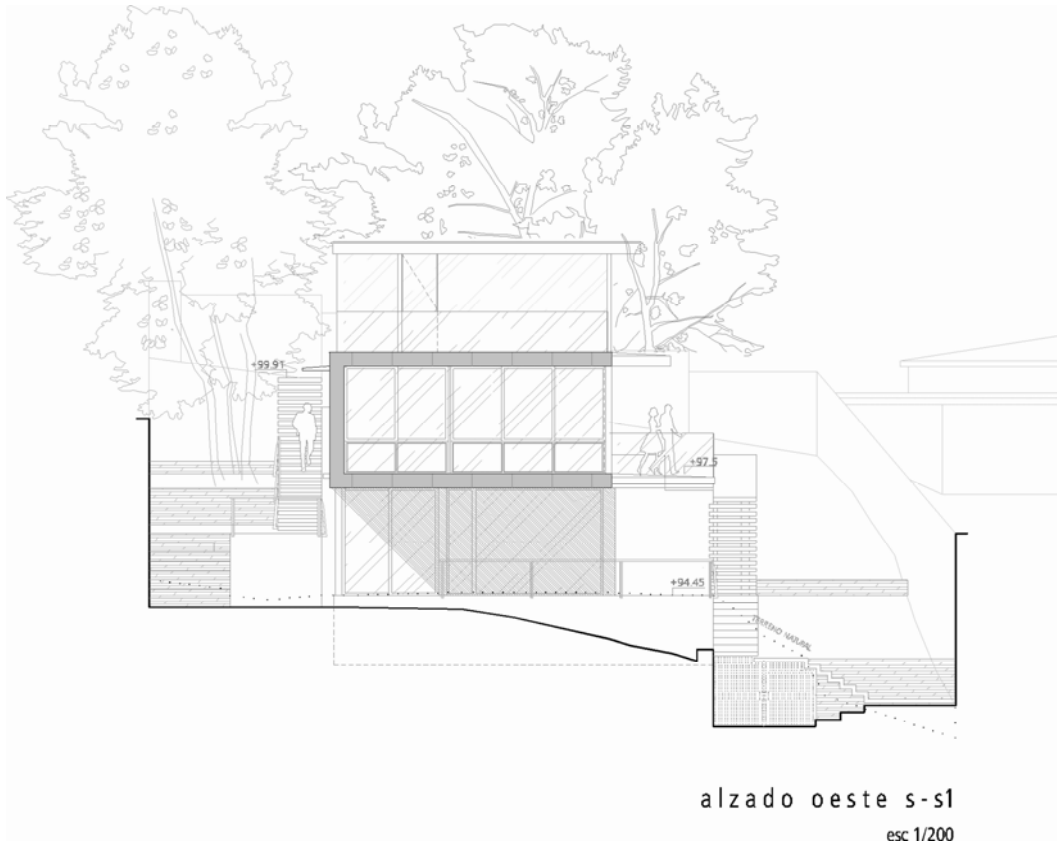


Figura 5: Alzado oeste

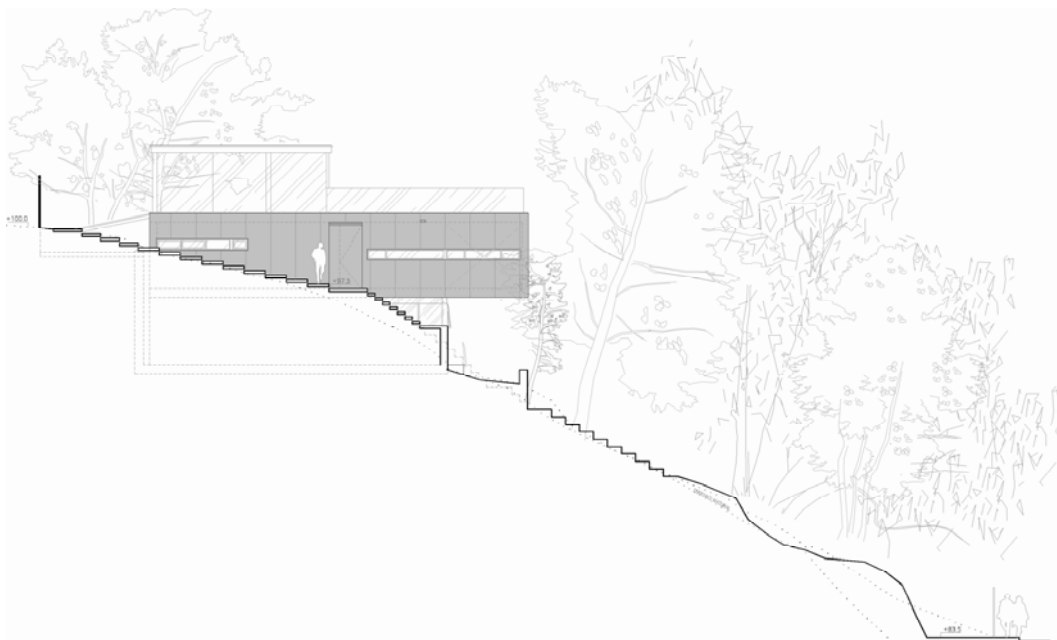
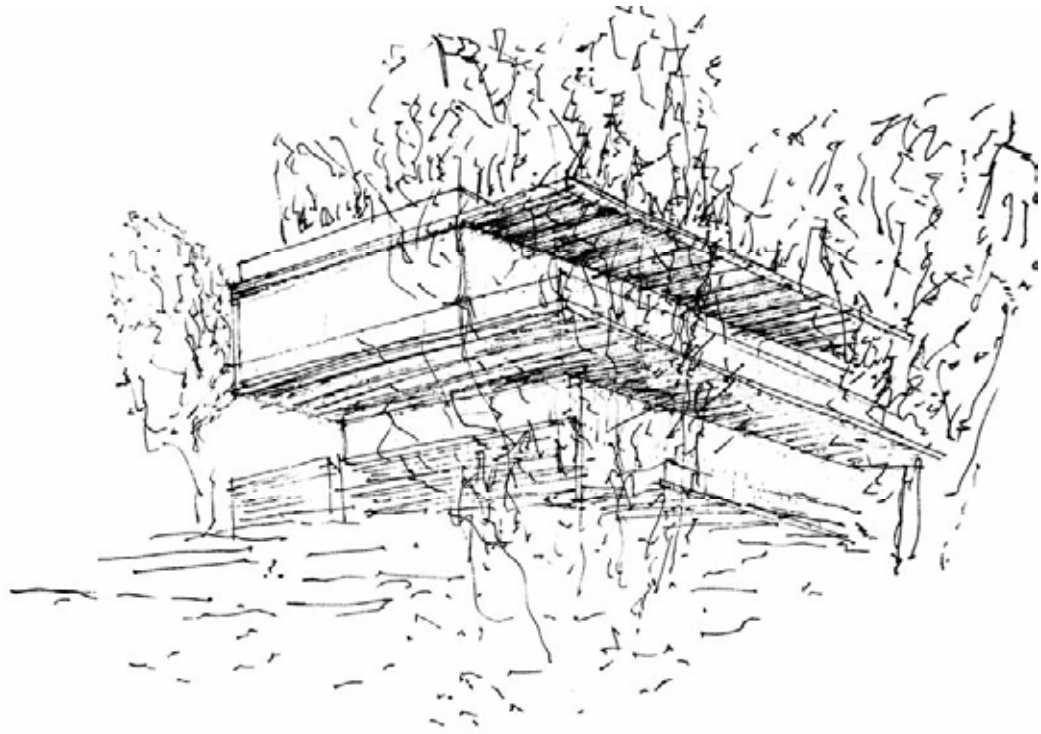
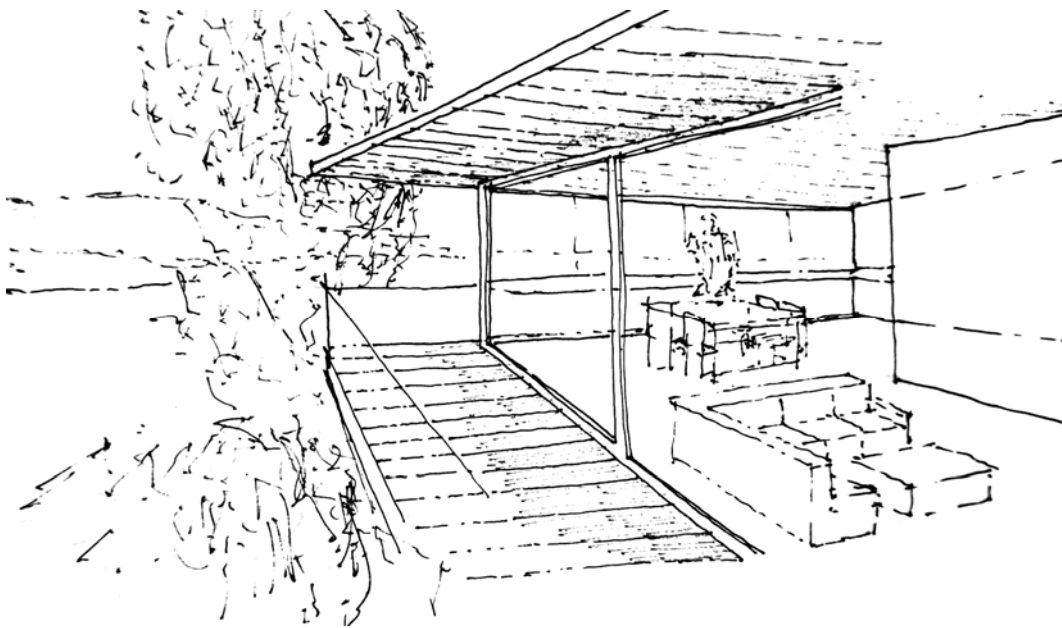


Figura 6: Alzado norte



**Figura 7: Vista exterior**



**Figura 8: Vista interior**



**Figura 9: Imagen exterior, fachada oeste**



**Figura 10: Imagen exterior, fachada norte**



**Figura 11:** Imagen exterior, fachada sur



**Figura 12: Imagen interior, planta de cubierta**



**Figura 13: Imagen interior, casetón de cubierta**



**Figura 14** Imagen interior, estar comedor



**Figura 15:** Imagen exterior, terraza hacia el sur

La localización de la casa ha permitido salvar la inmensa mayoría de los pinos existentes, reforestando dentro de la parcela con otros nuevos y completando con vegetación y otras especies propias de monte mediterráneo (alcornoque, palmitos, etc). Al contar con una gran superficie acristalada, la vegetación frondosa de pinos se convierte en la protección natural de la casa, en su verdadera piel.

#### **1.4 Metodología**

Los criterios bioclimáticos utilizados durante el proceso de diseño han sido, en un sentido general, los siguientes:

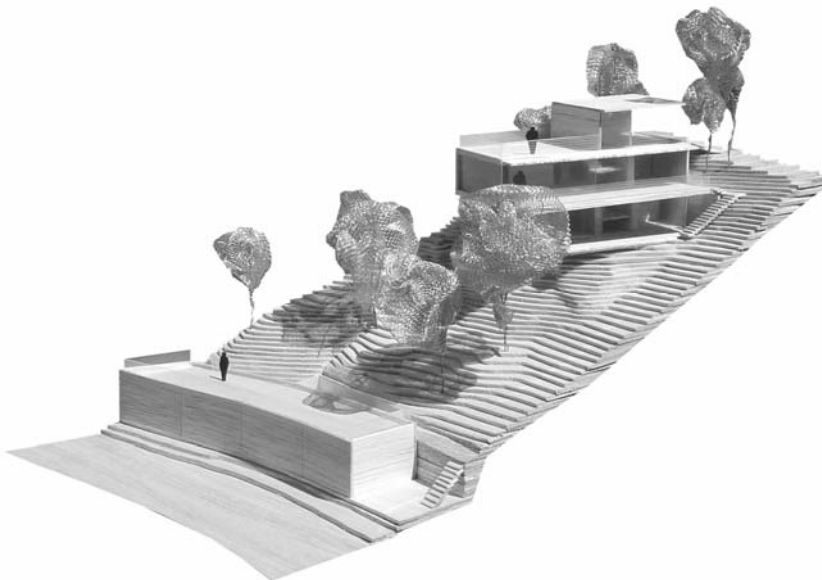
1. La elección de la forma del edificio como volumen compacto responde a la voluntad de agrupar y organizar las estancias por niveles, según los requerimientos del programa funcional, para evitar pérdidas de calor y ahorrar en calefacción e iluminación.
2. La implantación de la edificación en la parcela, situada entre dos calles a distinta cota, con una topografía muy acusada, se realiza disponiendo un volumen alargado en la dirección este-oeste.
3. De este modo la vivienda ofrece, en cuanto a la disposición de los espacios, una clara diferenciación entre la fachada norte, opaca, y la fachada sur, permeable. En la cara

norte, con una mayor opacidad, se localiza el acceso y los locales de servicio o cuartos húmedos. Mientras, en la cara sur se sitúan los espacios que admiten un mayor gradiente de relaciones visuales y de usos híbridos entre el interior y el exterior.

4. Se produce así un aprovechamiento de la aportación solar gratuita, fundamentalmente en la cara sur, gracias a la ganancia térmica de radiación solar, mediante superficies vidriadas de altas prestaciones y diseñadas en función de la orientación y las sombras de elementos naturales como la vegetación de los árboles existentes.

En síntesis, el conjunto de estrategias pasivas y activas implementadas en la vivienda abarca:

1. Diseño y tratamiento de las envolventes. Mejora del aislamiento en fachadas y cubiertas. Incremento de inercia térmica en cerramientos no expuestos a la radiación solar, y consideración de la incidencia de la vegetación sobre la cubierta.
2. Diseño de dispositivos de captación solar en fachadas según la orientación. Estudio de los huecos acristalados en tamaño, disposición y composición material (coeficientes de transmisión, puentes térmicos y estanqueidad). Diseño de elementos de protección solar y consideración de sombras de vegetación.
3. Diseño de sistemas de ventilación natural. Doble puerta interior en estancias, disposición de huecos en fachada, chimeneas de ventilación a través de hueco de escalera y galerías ventiladas, para favorecer ventilaciones cruzadas, recirculaciones y renovaciones.
4. Diseño de dispositivos específicos de ventilación natural. Dimensionamiento y puesta en práctica de sistema conocido como 'pozo canadiense'.
5. Estudio de la mejora de iluminación natural por radiación solar directa y sus correspondientes dispositivos de regulación.
6. Introducción de sistema de apoyo de alta eficiencia, con rango de energía renovable. Suelo radiante con dispositivo de control y equipo de generación de alto rendimiento.
7. Sistemas de bajo consumo en iluminación, electrodomésticos, consumo de agua, etc.



**Figura 16: Vista maqueta**

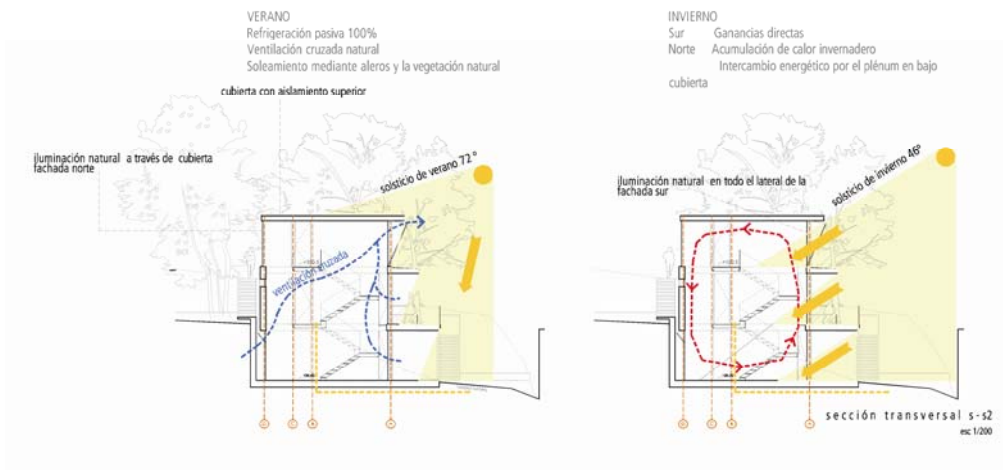


Figura 17: Esquemas soleamiento

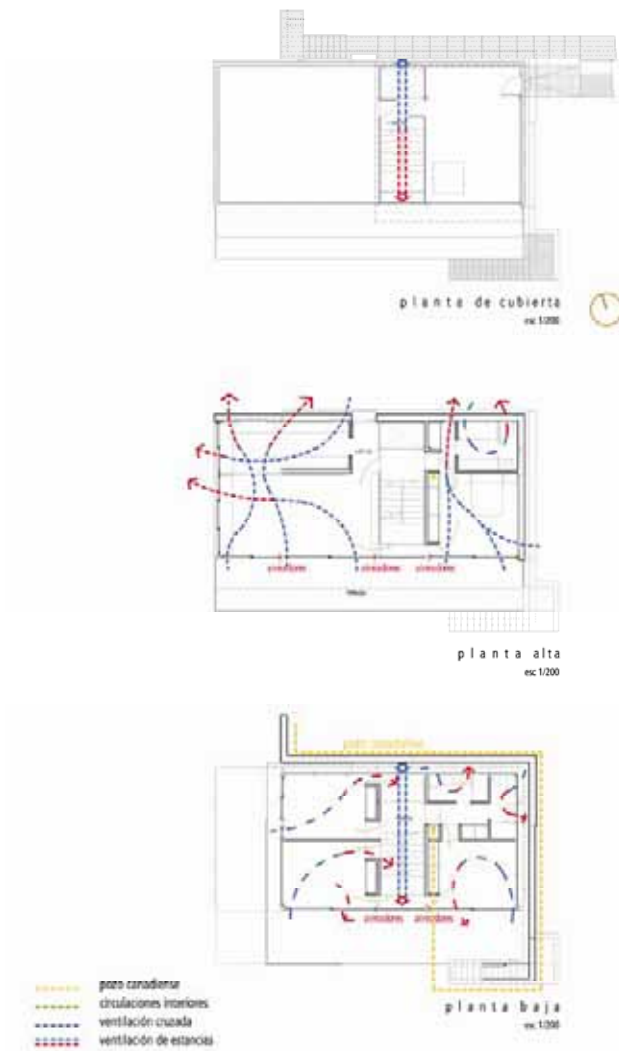


Figura 18: Esquemas ventilación



### 1.5 Justificación de las soluciones empleadas

La utilización de grandes superficies acristaladas se ha previsto asociada con un incremento de los aislamientos en fachadas y cubiertas. La elevada inercia térmica en el cerramiento norte combinada con la elevada capacidad de captación en la fachada sur, favorecen en invierno el mantenimiento del calor natural acumulado durante el día por la radiación solar (Neila, 2000).

El cerramiento norte posee triple hoja y doble cámara aislada. A la fachada comúnmente utilizada, del tipo capuchina o de doble hoja, con su correspondiente cámara con aislamiento, se le añade por su cara exterior un panel sándwich aislado, separado del anterior, y convenientemente ventilado, que incrementa considerablemente su inercia térmica. Se aporta un cuadro en el que se resumen las transmitancias de los diferentes cerramientos que conforman la envolvente del edificio, así como los materiales que lo componen.

Al otorgar gran importancia a la orientación sur por su radiación solar, y al tratarse de energía natural cíclica, para su correcto aprovechamiento se han considerado las propiedades de los materiales, relativas a su captación de energía y tanto por su efusividad (capacidad de acumulación) como por su difusividad térmica (velocidad de calentamiento).

En verano la posibilidad de una fachada sur totalmente abierta, a la vez que la disposición estratégica de huecos reducidos en la fachada norte, permite una ventilación interna que mejora la sensación de confort, muy adecuado para un ambiente húmedo caracterizado por la proximidad al mar, suavizado por la brisa marina, manteniendo así un ambiente fresco, ayudado además por el microclima que genera la vegetación arbórea.

Respecto de la utilización de la energía solar pasiva se consideró que en invierno el sol, con una mayor incidencia por la menor inclinación, se introduce por la cara sur hasta calentar prácticamente toda la vivienda. En verano, los elementos horizontales de protección del propio forjado, a modo de aleros o parasoles (*brise-soleil*), impiden la entrada de los rayos que en esta estación son más verticales, además de la protección natural ofrecida por las ramas de los árboles de gran porte existente, fundamentalmente pino mediterráneo (*Pinus halapensis*) de hasta 20 metros de altura. Al estar situados los pinos de mayor porte próximos a la casa, estos aportan sombra fundamentalmente sobre la cubierta. Así, las fachadas este y oeste apenas se ven perjudicadas energéticamente por la sombra de los pinos en invierno. Sin embargo, en verano se obtiene una cierta protección solar contra el sobrecalentamiento en esas fachadas, mayoritariamente en buena parte de la orientación oeste, que al igual que para la cubierta fue determinado según el estudio de soleamiento realizado mediante consulta con cartas solares. De este modo, los pinos contribuyen de forma natural y notoria al control sobre el aprovechamiento pasivo de la energía solar.

Respecto del acristalamiento, este es completo en el total del perímetro de fachada, en sus cuatro orientaciones, en los niveles inferior y superior. En el nivel intermedio, la superficie acristalada es total en las fachadas sur y oeste, mientras que en las fachadas este y norte los huecos representan un 15%. Para ello se han utilizado composiciones de doble acristalamiento con cámara en las que el vidrio cuenta con un coeficiente de transmisión energética suficiente para limitar las pérdidas de calor en invierno. Se ha mejorado la estanqueidad de las carpinterías, y se ha dotado del conveniente aislamiento a todas las envolventes del edificio y se ha dado un tratamiento pormenorizado a los distintos puentes térmicos. Todo ello entendido en un sistema combinado con la disipación de calor mediante ventilación natural, tratado también como sistema de acondicionamiento pasivo.

Basada en la utilización de masa térmica de la tierra para enfriar el aire nuevo introducido se ha empleado la técnica conocida como pozo canadiense. Para ello se aspira aire exterior en la cara norte en su extremo con la esquina oeste para captar los vientos predominantes en la zona, procedentes del noroeste. El aire se hace pasar por un conducto de PVC de escaso espesor (3 mm.), dispuesto en el trasdós del muro de contención hasta recorrer todo su perímetro, superando los 30 metros de longitud necesarios para disponer un conducto de 30 cm. de diámetro, situado a una profundidad superior a 3 metros bajo el nivel del suelo terminado o terreno natural. Se considera que el terreno a esa profundidad definida mantiene de modo constante la temperatura media anual del lugar, que es de 18º en el caso de Málaga (Fuente Agencia Estatal de Meteorología, AEMet: Datos climáticos; valores climatológicos normales). Por tanto el intercambio de temperatura del aire, ya canalizado con una ligera impulsión por el conducto, y que discurre a una velocidad reducida, puede llegar a enfriar en verano el aire del interior de la habitación acondicionada, hasta reducir en 7º la temperatura interior, mediante la utilización del aire exterior refrescado de modo natural. Se he previsto el dimensionamiento con un caudal máximo de 280 l/s para una velocidad de 4 m/s. El sistema se controla con un regulador de velocidad, a modo de interruptor con potenciómetro, situado en la propia estancia, que a su vez activa un motor de extracción con reactancia incorporada para operar sobre el caudal de entrada de aire, dispuesto en el punto más exterior del tubo.

En cuanto a otros sistemas proyectados relacionados con la ventilación, todas las estancias poseen, además de las aperturas de las carpinterías con el exterior, un sistema de doble puerta. Esto supone la recirculación del aire de modo natural. Todos los dormitorios disponen de la zona de almacenamiento o armario situada entre esas dos puertas, y todos con orientación norte-sur. De esta forma el movimiento constante del aire, que circula en dirección este-oeste, favorece la renovación en invierno, con el consecuente ahorro de energía gracias también a la estanqueidad de las carpinterías, que disponen de aireadores incorporados para permitir en invierno la renovación de aire sin ocasionar pérdidas de calor, además de la solución dada durante la ejecución a los puentes térmicos.

En verano la aportación exterior de aire por cualquiera de las aperturas de las carpinterías permite una recirculación intensa y una reducción de la sensación térmica. Así, la ventilación natural se convierte en la época estival en el verdadero sistema de acondicionamiento y enfriamiento pasivo de la vivienda.

Las posibilidades de ventilación natural de cada una de las estancias, combinadas entre sí, permiten, a su vez, la ventilación cruzada de toda la vivienda. Por otro lado, dado que la escalera se sitúa en la posición central de la vivienda, su función como chimenea en el sistema de ventilación diseñado resulta clave. Para ello, en su dimensión vertical el cuerpo de escalera, de estructura de zancas metálicas y abierta con peldaños de madera, sin tabicas, es la encargada de extraer el aire caliente desde el hueco dispuesto en la parte superior, creándose subpresiones que favorecen la entrada de aire fresco a través de la cámara creada en la planta inferior, en la cara norte, entre el muro de contención y el acristalamiento. El aire fresco recircula en sentido ascendente, refrescando toda la vivienda en verano y favoreciendo la salida de aire caliente por la fachada sur de la caja acristalada de la escalera.

La cubierta, como elemento crucial de la envolvente del edificio, además de poseer unas condiciones óptimas de aislamiento, se comporta como una cubierta vegetal ventilada, en un mecanismo combinado con sombra gracias a la presencia de la vegetación existente de pinos. De este modo se evita el sobrecalentamiento sobre la cubierta propio de un clima con alta radiación solar.

El sistema de acondicionamiento de apoyo respecto de las estrategias pasivas dispuestas, para calefacción y también para enfriamiento, ha sido el de suelo radiante. Este sistema se considera que reproduce el perfil perfecto de gradiente térmico adecuado, asociado con un sistema de regulación modular (Neila, 2002). Para las condiciones climáticas de Málaga, caracterizadas por inviernos suaves aunque con la sensación de frío húmedo, esta afirmación se corrobora en la regulación de estabilidad térmica que se produce, al corregir igualmente los niveles de humedad en los meses más fríos.

La instalación de suelo radiante ha contado en su diseño con un sistema de control de los circuitos y de los propios dispositivos de la instalación, para optimizar las estrategias pasivas de acondicionamiento. Así, el sistema de regulación y control acciona los sistemas convencionales solo en los momentos en los que sean necesarios. Se encuentra asociado con un sistema de diferenciación zonal, para combinar los sistemas pasivos en un área de la casa y el activo en otras; y posee un sistema automático que se regula en función de las condiciones exteriores e interiores. Todos estos funcionamientos integrados responden a un sistema domótico que optimiza el consumo energético global.

El equipo de generación de frío calor, de alto rendimiento, ha sido ajustado en su dimensionamiento y concebido como apoyo a los sistemas estudiados de acondicionamiento pasivo. Consiste en un generador de calor por efecto termodinámico, como bomba de calor que mejora su comportamiento frente a las habituales calderas. Dado que las temperaturas del ambiente exterior no son muy bajas, la bomba de calor permite obtener un rendimiento (COP) de valor 4, esto es, produce 4 kWh térmico consumiendo 1 kWh eléctrico, lo que hace de él el aparato de calefacción más interesante, con los costes de explotación energética y con un gasto de implantación no muy elevado. (Neila, 2002). La previsión de amortización del equipo, según consumos de energía primaria de electricidad obtenida del cuadro de calificación energética, se ha estimado en 4,92 años. El consumo obtenido del edificio objeto es de 2.900 € (16.113,3 kWh/año · 0,18 €/kWh) y el del edificio de referencia es de 4.162 € (23.123,1 kWh/año · 0,18 €/kWh). El ahorro anual es de 1.262 €/año (4.162 € - 2.900 €) y por tanto la amortización (inversión / ahorro anual) es de 4.92 años (6.210 € / 1.262 €). La bomba de calor utiliza el aire como energía existente en el ambiente exterior, y su tecnología, reconocida como energía renovable por la Directiva Europea 2009/28/CE se incentiva para reducir la emisión de CO<sub>2</sub>. La bomba de calor aire-agua utilizada (modelo Aquarea de Panasonic) de alta capacidad de ahorro energético, está considerado el sistema de climatización y producción de agua caliente sanitaria, combinado, más eficiente del mercado. Capta la energía del aire exterior y la transmite al agua del acumulador y de aquí a los circuitos del suelo radiante para poder calentar la casa en invierno, enfriarla en verano y producir ACS todo el año. Así, con un COP de 4,74, es posible ahorrar hasta un 78% de energía frente a los calentadores eléctricos convencionales. Incluso permite salvar la obligatoriedad de disponer paneles solares para producción de ACS.

En la utilización de radiación solar como estrategia pasiva también se ha estudiado la correcta distribución de energía para propiciar un gradiente térmico óptimo, eliminando la asimetría radiante excesiva y obteniendo un ritmo de variación de temperatura discreta.

La iluminación natural se ve favorecida por la gran superficie acristalada, con la consecuente reducción de consumo eléctrico, con independencia de otros beneficios relacionados con el confort y el bienestar. Esta reducción se ha estimado en un 35% del consumo por iluminación artificial. Para ello se contempló la calidad ambiental,

orientando huecos hacia el norte con captación de radiación difusa y hacia el sur con captación de radiación directa, utilizando parteluces verticales en el sistema de oscurecimiento gradual, que ayuda a la distribución uniforme de luz.

Para iluminación artificial se han dispuesto lámparas de bajo consumo y luminarias de alta eficiencia, al igual que electrodomésticos, llamados inteligentes, que reducen el consumo eléctrico.

Se ha previsto una red separativa de evacuación de aguas y aprovechamiento del agua de lluvia para riego, mediante conducción directa a alcorques de los árboles y a la vegetación de sustentación de taludes, estimándose la recuperación de aguas pluviales en un 50%, con un ahorro estimado del consumo del 25%. Se han empleado atomizadores para la reducción del consumo de agua en grifos, cisternas de doble descarga y electrodomésticos que reducen los consumos de agua.

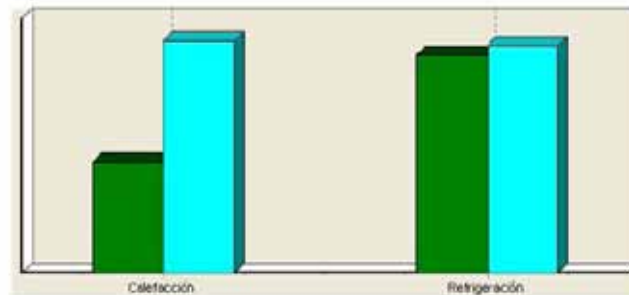
Entre la utilización de materiales naturales destaca el empleo de cáñamo como material de aislamiento natural, de 38 Kg/m<sup>3</sup>, conductividad térmica 0,049 W/Km, capacidad térmica específica 1600 KJ/Kg y resistencia a la difusión vapor de agua 1-2.



**Figura 19: Pozo canadiense en construcción**

**Tabla 1: Demanda energética. Esquema comparativo. Programa LIDER.**

	Calefacción	Refrigeración
% de la demanda de Referencia	48,2	95,5
Proporción relativa calefacción refrigeración	34,0	66,0



**Tabla 2: Demanda energética. Cuadro de consumos, emisiones de CO2 y calificación energética. Programa CALENER VYP.**

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO2/m²	Edificio Objeto		Edificio Referencia			
	Clase	kWh/m²	kWh/año	Clase	kWh/m²	kWh/año
<4.6 A						
4.6-8.9 B						
8.9-14.9 C			12.9 C			
14.9-24.0 D				17.4 D		
>24.0 E						

Datos para la etiqueta de eficiencia energética

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
	por metro cuadrado	anual	por metro cuadrado	anual
Consumo energía final (kWh)	21,6	6747,8	53,5	16705,6
Consumo energía primaria (kWh)	51,6	16113,3	74,0	23123,1
Emisiones CO2 (kgCO2)	12,9	4028,3	17,4	5433,5

**Tabla 3: Cuadro resumen de transmitancias de los diferentes cerramientos que conforman la envolvente del edificio y materiales que lo componen.**

Nombre	U (W/m²K)	Material	Espesor (m)
Fachada	0,68	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,015
		1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm	0,115
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,015
		MW Lana mineral [0.05 W/[mK]]	0,050
		Tabicón de LH doble [80 mm < E < 90 mm]	0,070
		Enlucido de yeso d < 1000	0,015
Cerramiento	0,75	Hormigón armado 2300 < d < 2500	0,250
		MW Lana mineral [0.05 W/[mK]]	0,050
		Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,015
Forjado intermedio	0,75	Mármol [2800 < d < 2800]	0,030
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,050
		EPS Poliestireno Expandido [ 0.037 W/[mK]]	0,033

Nombre	U (W/m²K)	Material	Espesor (m)
Forjado intermedio	0,75	FR Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 25	0,250
		Enlucido de yeso d < 1000	0,017
Cubierta	0,52	Plaqueta o baldosa de gres	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,050
		EPS Poliestireno Expandido [ 0.037 W/[mK]]	0,050
		Betún fieltro o lámina	0,010
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Hormigón con áridos ligeros 1800 < d < 1800	0,100
		FR Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 25	0,250
		Enlucido de yeso d < 1000	0,020
Losa	0,65	Mármol [2800 < d < 2800]	0,030
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,050
		EPS Poliestireno Expandido [ 0.037 W/[mK]]	0,033
		Betún fieltro o lámina	0,001
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Hormigón armado 2300 < d < 2500	0,400
		Hormigón con áridos ligeros 1800 < d < 1800	0,100
		Betún fieltro o lámina	0,001
		Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,200
Forjado en vuelo	0,42	Mármol [2800 < d < 2800]	0,030
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,050
		Betún fieltro o lámina	0,001

## 1.6 Resultados

Entre las estrategias bioclimáticas, la casa se ajusta a la parcela con escaso movimiento de tierras y ocupando un volumen alargado abierto al sur a la vez que las plantas alta y baja quedan hundidas en el terreno por el norte. Predomina la orientación sur para la mayoría de las estancias, mientras que los cuartos húmedos se sitúan hacia el norte. El soleamiento estudiado, con el acristalamiento dispuesto, permite calentar las estancias (+6º en el solsticio de invierno) mientras que los voladizos horizontales las protegen (activos entre los equinoccios de primavera y otoño). La vegetación de pinos produce un microclima que suaviza las temperaturas (+2º en invierno y -3º en verano) y ofrece protección vertical por el oeste.

Con los primeros resultados analizados, con el edificio ya en funcionamiento, se ha podido comprobar que los objetivos cuantificables propuestos sobre la contribución, en condiciones de invierno, de la energía solar pasiva a la calefacción diurna; y la contribución, en condiciones de verano, de la ventilación natural para lograr las condiciones de confort, se están cumpliendo de un modo muy satisfactorio, de acuerdo con las previsiones realizadas.

La ventilación natural constituye la estrategia fundamental en condiciones de verano. Su efectividad se logra con la presencia de ventanas dispuestas en fachadas opuestas y un sistema de chimenea vertical a través del hueco de escalera y del lucernario cenital en la planta superior. Las estancias poseen doble apertura de huecos hacia el exterior y doble puerta hacia el interior, favoreciendo las convecciones y la circulación del aire. Un 'pozo canadiense', construido mediante un tubo perimetral al muro de contención (de más de 30 metros de longitud y a más de 3 metros de profundidad), intercambia temperatura con el terreno, que se encuentra a 18º (temperatura media anual en Málaga), para acondicionar el interior.

La elección de materiales se ha cuidado para reducir los impactos de construcción y energéticos: los hormigones proceden de central próxima, se usan cales hidráulicas naturales transpirables en revestimientos y cámaras, y cáñamo como aislante natural; las fachadas ventiladas con panel sándwich de acero cor-ten (color de la corteza de los pinos) mejoran el aislamiento en las orientaciones norte y este; se utiliza un doble acristalamiento de alto espesor (4+4 -16- 4+4); la carpintería posee rotura de puente térmico y aireadores técnicos; y el suelo radiante, mediante sistema aire agua, es de alta eficacia (COP 4). Se alcanza así un nivel de acondicionamiento de alta eficiencia, energética y ambiental.

Con la vivienda se obtiene una calificación energética de valor 12,9 (C) en el edificio objeto, respecto del valor 17,4 (D) del edificio de referencia, según el programa Calener. Para el cálculo de la demanda energética general y la verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética establecida en el Documento Básico de la Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1), se utilizó la aplicación informática LIDER. Este programa muestra la comparación, según el esquema aportado, entre la demanda de calefacción y refrigeración del edificio objeto con el de referencia, en porcentaje y en un diagrama de barras. Se puede comprobar que para ambos casos los valores son menores que los del edificio de referencia, resultando significativa la baja demanda de calefacción.

Las demandas de energía se han calculado con la aplicación informática CALENER VYP, para la calificación energética de edificios de viviendas y pequeño terciario. En el cuadro

aportado se desglosan los consumos, emisiones de CO2 y la calificación energética obtenida.

### 1.7 Conclusiones

La tradición de la normativa española respecto de las condiciones térmicas en los edificios, vigente desde los años ochenta hasta la reciente entrada en vigor del actual Código Técnico de la Edificación, se orientaba casi exclusivamente a evitar las pérdidas de calefacción, contemplando prácticamente en exclusiva las situaciones de invierno, exigiendo determinados niveles de aislamiento térmico en función de las zonas climáticas establecidas. Esta reglamentación ha conducido a unos hábitos constructivos de mejora del aislamiento, enfocados hacia las condiciones de invierno, pero sin considerar las posibles ganancias térmicas por radiación solar o la mejora de la inercia térmica, incluso las situaciones de verano con enfriamientos por ventilación natural (De Luxán, 2000). La tendencia en las necesidades de confort, sin embargo, ha llegado a desplazar la máxima demanda de electricidad de invierno a verano, proliferando el uso de aparatos de aire acondicionado en consonancia con un hipotético adelanto del cambio climático.

La edificación de esta vivienda unifamiliar se ha convertido en un ejercicio de experimentación sobre la inserción de arquitectura contemporánea en un entorno consolidado y de difícil topografía. En ella se comprueban las cualidades de integración paisajística de la arquitectura con la vegetación, a la vez que se aplican criterios de sostenibilidad directamente relacionados con lo anterior, tanto en su proceso estructural y constructivo como en la investigación sobre la introducción de sistemas de acondicionamiento pasivo y técnicas bioclimáticas.

La obra realizada permite extraer como conclusión que aunque el uso de ciertos materiales *a priori* podrían resultar poco sostenibles, como puedan ser el vidrio, el hormigón o el acero, convenientemente empleados en relación con los condicionantes externos y proyectuales, permiten dotar al resultado de una alta eficiencia en su comportamiento energético y medioambiental.

Con todo ello se establece una correspondencia entre la sostenibilidad, en un sentido amplio, y el proyecto arquitectónico contemporáneo, experimentado en una pieza de tamaño de vivienda. La vinculación de estos valores se logra al situar en estrecha relación la consideración de aspectos paisajísticos, de planteamiento proyectual y programa funcional, climatológicos, energéticos, constructivos, estructurales, así como de acondicionamiento y de condiciones lumínicas, de radiación y de ventilación.

### Referencias

- Ábalos, Iñaki (2003). *La buena vida, visita guiada a las casas de la modernidad*, Barcelona, Gustavo Gili.
- De Luxán, Margarita (2000). "Arquitectura integrada en el medio ambiente", en Fernández Durán, *Globalización, territorio y población. El impacto de la europeización-mundialización sobre el espacio español*.
- Gavilanes, Juan y De Lacour, Rafael (2012), *Arquitectura y urbanismo del siglo XX 3. Nuevos trazos para el futuro*, Málaga, Prensa Malagueña.
- Gauzin-Müller, Dominique (2002). *Arquitectura ecológica*, Barcelona, Gustavo Gili.
- Latour, Bruno (1983), "Give Me a Laboratory and I will Raise the World", en: K. Knorr-Cetina y M. Mulkay (eds.), *Science Observed: Perspectives on the Social Study of Science*, Londres: Sage. Versión castellana de Marta I. González García Dadme un laboratorio y levantaré el mundo.



Naredo, José Manuel (1996). "Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible", en *Biblioteca Ciudades para un Futuro más Sostenible, Documentos: La construcción de la ciudad sostenible*, junio de 1997.

Neila, Javier (2000). El soleamiento del edificio I. El sol y la radiación solar. Madrid, Cuadernos del Instituto Juan de Herrera, ETSAM.

Neila, Javier (2002). "Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias, en Naredo, José Manuel y Parra, Fernando (Eds.) *Situación diferencial de los recursos naturales españoles*. Colección Economía vs Naturaleza de la Fundación Cesar Manrique, Ed. Visor – Antonio Machado.

Rueda, Salvador (2002). "Del urbanismo de Cerdá a la Ecología Urbana", en AA.VV. *Planeamiento y sostenibilidad*, Barcelona: Col.legi d'Arquitectes de Catalunya, Demarcación de Barcelona. Escola de Pràctica Professional Josep Lluís Sert. pp. 65-75.

Schittich, Christian (2011), Editorial en Detail Green 07/2011.

Zabalbeascoa, Anatxu (1998). *Las casas del siglo*, Barcelona, Gustavo Gili.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Rafael de Lacour Jiménez. Profesor del Área de Proyectos Arquitectónicos. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada. Universidad de Granada

Teléfono: +34952602452

Fax: + 34952121320

E-mail: [rdelacour@arquired.es](mailto:rdelacour@arquired.es); [rdlacour@ugr.es](mailto:rdlacour@ugr.es)

**Información adicional**

Casa en el monte. Obra premiada con el Premio Málaga de Arquitectura 2013 en la categoría de Vivienda Unifamiliar. Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga. Mayo 2013.

**Colaboradores**

María Martín Sánchez, arquitecta; Alberto Santoyo Arenas, arquitecto; Fernando Gómez Hermosa, ingeniero técnico industrial; Félix Esteve Polo, arquitecto técnico. Jorge Lopera Alcalá, empresa constructora Construcciones Tadeco, s.l. Fotografías Jesús Granada.