

**UN VITRUVIO
ECOLÓGICO
PRINCIPIOS
Y PRÁCTICA
DEL PROYECTO
ARQUITECTÓNICO
SOSTENIBLE**

UN VITRUVIO ECOLÓGICO PRINCIPIOS Y PRÁCTICA DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO SOSTENIBLE



The European Commission
Directorate General XVII for Energy



Architects' Council of Europe



University College Exeter
Energy Research Group



SOFTECH
ENERGIA
TECNOLOGIA
AMBIENTE



Suomen Arkkitehtiiliitto

Índice

Prólogo a la edición española, Carlos Hernández Pezzi	6
Prólogo	9
El edificio ecológico	11
El imperativo del diseño ecológico	11
El diseño solar pasivo	13
El diseño ecológico	14
1. Proceso	19
Introducción	19
Inicios	21
Proyecto	26
Construcción	32
Rehabilitación	34
2. Temas	37
Introducción	37
Confort	38
Salud	48
Medio ambiente	51
3. Estrategias	59
Escala urbana y de barrio	59
Elección y análisis del emplazamiento	66
Planificación del solar	68
Forma del edificio	72
Envolvente	75
Acabados	88
Instalaciones, equipos y controles	93
Rehabilitación	101
4. Elementos	107
Componentes	107
Materiales	125
5. Evaluación	139
Introducción	139
Evaluación del impacto ambiental total	143
Rendimiento ambiental total del edificio	143
Coste del ciclo de vida	152
Bibliografía	155

Prólogo a la edición castellana

Puede que España sea uno de los países europeos en los que la denominación verde, ecológico o el término sostenible produzcan más reacciones polémicas entre los arquitectos, quizá porque los principios del movimiento moderno —que han inspirado y formado a tres generaciones de arquitectos españoles— no incluían una cláusula de revisión de los cánones, sino sólo su evolución más o menos previsible. Entre los factores de la evolución de la formación académica española no se encontraban muchas de las cosas que aparecían en las claves de la arquitectura mundial de la década de 1990, empeñada en la búsqueda de nuevas formulaciones teóricas y cada vez más abrumada por el peso de la cuestión medioambiental en el diseño.

El hito del congreso de la Unión Internacional de Arquitectos (UIA) de 1993, señaló la importancia del camino irreversible del diseño sostenible en la arquitectura en la Declaración de Chicago. Documentos posteriores del Consejo de Arquitectos de Europa, como *Europa y la arquitectura mañana*, y del Congreso de Arquitectos de España, celebrado en Barcelona en 1996, supusieron importantes avances en la conformación de una conciencia más extendida sobre la necesidad de una arquitectura preocupada y exigente con las consecuencias inmediatas de su impacto medioambiental. Sin embargo, no ha sido hasta el siglo XXI cuando puede hablarse de una revisión profunda de conceptos sobre la naturaleza y el artificio, sobre el lugar y el entorno, y sobre las adjetivaciones de la arquitectura (bioclimática, ecológica, sostenible, etc.) que anteriormente eran objeto de una diatriba general, desde las posiciones defensoras de principios abstractos, que suponían que la arquitectura heredada de la tradición del movimiento moderno habría de evolucionar indefinidamente.

Hasta hace bien poco, la arquitectura era considerada una disciplina de principios abstractos y universales, que mantenía una dirección lógica en el sentido señalado por un vago sentimiento de progreso que orientaba sus metas en la dirección de una modernidad puesta en crisis en las últimas décadas del siglo XX. Cuando los marcos vigentes de la cultura hasta entonces se vieron rotos por las guerras mundiales y sus epígonos locales, y cuando la posmodernidad se convirtió en un grotesco chiste arquitectónico, los arquitectos buscaron afanosamente modelos teóricos en los que basar sus nuevos ideales, separados de las visiones proféticas y los roles taumatúrgicos que la revolución social les había garantizado con augurios de permanente crecimiento. Para entonces, la abstracción del “espíritu del lugar” y del “espíritu de los tiempos”, las nociones de entorno, contexto y el crucial papel del urbanismo, habían sido transformados completamente por una preocupación creciente por la destrucción del patrimonio natural, del cuerpo edificado de las ciudades. La historia pasada, los paisajes y hasta el patrimonio reciente del movimiento moderno apenas se habían rescatado de la destrucción insensata e irreversible en todo el mundo, y estaban otra vez en peligro.

La preocupación por nuestra propia evolución espacial ha dado lugar a una serie de teorías sobre cuáles son los modelos teóricos que deben impregnar la ciudad y la arquitectura contemporánea. En todos esos análisis, el medio ambiente suele aparecer como el más importante o uno de los principales asuntos a tener en cuenta. Como en otros campos de la cultura y del pensamiento, frente a quienes opinan que la preocupación ambiental es consustancial a la arquitectura —como disciplina unitaria y totalizadora—, se encuentran quienes piensan que la disciplina ya no puede entenderse sin ese componente específico, irrenunciable y responsable del diseño sostenible. Conseguir la plena integración de la arquitectura con los elementos de sostenibilidad que provienen de nuestro lenguaje y nuestra técnica es un objetivo irrenunciable.

Separado pues de su carácter esencialista, y hasta de su componente ética, la arquitectura sostenible se ha convertido en una obligación impulsada por los foros de arquitectos más activos, con un nivel similar al que tuvo para la modernidad la consideración de las responsabilidades sociales, culturales y hasta de cambio humano que las vanguardias del movimiento moderno otorgaron en el pasado a la arquitectura. Convertido para muchos en principio fundacional del proceso de proyecto de la arquitectura contemporánea y, para la mayoría, en obligación sine qua non de la condición innovadora y experimental que como tecnología constructiva en cada tiempo se le supone a la arquitectura, el diseño ecológico alienta los prototipos más avanzados de nueva construcción a lo largo y ancho del mundo globalizado.

No se trata, pues, de rivalizar por conseguir una tríada convincente que sea coherente en nuestros días con lo que dijo Vitruvio o que compita en concisión con la síntesis de sus principios canónicos y técnicos. Probablemente no nos pondríamos de acuerdo —aunque parezcan evidentes las cuestiones trascendentales— sobre si en la obra de arquitectura pesan más la adecuación funcional, la necesidad y la responsabilidad social, el impacto cultural, la coherencia, la autenticidad, el placer estético, la vena artística o la correspondencia entre naturaleza y artificio, si no asumimos como reglas previas aquellas que, sin más, nos impone la obligación de ser coherentes, a la vez, con los paradigmas contemporáneos de elaboración del proyecto y con los principios del diseño sostenible.

Un Vitruvio ecológico no es un libro teórico, de principios abstractos, ni un tratado de composición sobre armonía o teoría arquitectónica; es un libro de arquitectura que trata de cómo debe enfocarse el proyecto hoy. El libro sobreentiende que los elementos del proyecto y su estructura han cambiado sustancialmente; esos elementos ya no pueden ser, ni serán, los mismos que sirvieron de modelo en el siglo xx, sino que conformarán un conjunto de referencias plurales y cambiantes que tendrán una repercusión sobre el proyecto contemporáneo de arquitectura, entendido como elemento de mediación técnica entre el arquitecto, la sociedad y la obra. En este sentido, con mucha probabilidad este libro sea un "libro principio", en línea con Josep Quetglas, en el sentido de que pensar el proyecto desde el diseño sostenible es anticipar doblemente su contenido como construcción del espacio futuro, sopesar límites y actuar —como ha planteado Manuel Gausa— de forma que la acción de proyectar sea un elemento determinante de la voluntad de cambiar el medio; a esto se llama un buen principio. Que esas anticipaciones y acciones produzcan el menor impacto en el medio ambiente es el objetivo del proyecto contemporáneo de arquitectura, desde casi todas las ópticas sociales, incluidas las lógicas del mercado.

Lo que el proyecto aporta hoy —de forma documental y técnica completamente distinta a como se hizo en el siglo xx, y más allá de los elementos simbólicos y culturales— es el documento central de interdependencia entre la normativa técnica, la tecnología constructiva y las capacidades industriales de producción en nuestro tiempo, aplicados a una idea evolutiva compleja y sofisticada. La aportación tecnológica del diseño sostenible interesa a todos porque la lógica del despilfarro no tiene justificación alguna en un mundo completamente interconectado, donde los materiales y los recursos son insuficientes, y las demandas deslocalizadas y muy desequilibradas. Esta aportación de valor del proyecto en este marco es una necesidad que no puede darse por supuesta; hace falta calificarla, evaluarla y verificar su alcance; constituye un punto de partida a asumir, pues la influencia de nuestro trabajo se hace patente en el balance de energía, recursos, residuos, contaminación y ocupación del planeta, en un porcentaje hasta ahora no conocido que pone en peligro todos los nutrientes ambientales vitales para la humanidad. La relación entre energía y arquitectura constituye un doble paradigma que contrae una relación dialéctica con otra serie de fuentes de repercusión tangible en los graves problemas de fragilidad de nuestro ecosistema planetario.

Por estos motivos y algunos más que no sería operativo citar aquí, lo que sin duda constituye este libro es un manual de referencia que abarca las principales recomendaciones sobre el proceso de proyecto, los puntos de partida, las inquietudes y estrategias que se deben adoptar, los elementos que permiten evaluar la sostenibilidad del proyecto y los métodos y herramientas para la evolución de su impacto ambiental futuro. El proyecto contemporáneo de arquitectura se entiende como un documento que anticipa el certificado de nacimiento, de construcción, más tarde de la vida útil y, por último, del reciclaje como algo inherente a la misión específica del arquitecto, entrando de lleno, y por derecho propio, en las tareas primigenias de la arquitectura. Queda para cada arquitecto valorar el aspecto ecológico de la construcción en el peso específico de la conformación de su universo

formal y de los entresijos de su relación tecnológica con el entorno exterior, en un constante proceso interactivo de dependencia. Quedan para los poderes públicos y los responsables de supervisión de proyectos los elementos básicos de una nueva concepción en la que está claro que hay cosas que ya es imposible hacer. Queda para la sociedad la idea de que los edificios forman parte de un metabolismo urbano que hay que preservar y mantener de forma saludable.

A pesar de lo dicho anteriormente, la mera enunciación del título —que en el mundo anglosajón se lee de otra manera: *A green Vitruvius [Un Vitruvio verde]*—, en un tiempo en que se manipula y engulle todo, incluso la historia griega y romana, sus hallazgos e invariantes, es una postura atrevida. Los principios que nos atañen a todos los que trabajamos en el sector de la construcción pasan por disminuir en nuestro campo el porcentaje del 52 % más de emisiones que lanza España en relación con el año de referencia 1990, de las cuales una parte importante son debidas a la construcción y los transportes. Un sector en constante proceso de investigación, desarrollo e innovación verá en este manual un refuerzo de las posiciones más imaginativas en el sector público y privado para difundir técnicas, materiales y elementos que acentúen su perfil ecológico, algo que ya han comprendido los empresarios y profesionales más lúcidos, los fabricantes y las exposiciones internacionales de nuestra industria.

La aparición de este libro, que ha sufrido diversos avatares en su publicación, se debe al empeño particularmente riguroso de la Editorial Gustavo Gili, que, al saber del esfuerzo del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE) y de su Comisión de Medio Ambiente por divulgarlo desde hace tiempo, ha aceptado nuestro apoyo en el momento crucial de la aparición del Código Técnico de la Edificación (CTE), una herramienta del sector de la construcción dispuesta a actualizar el discurso tecnológico de nuestro país.

La promulgación de la normativa del CTE en todo lo referente a materias hasta ahora postergadas o tecnologías que no se habían tenido suficientemente en cuenta, como el ahorro y la eficiencia energética de los edificios, pone por fin al sector al servicio de la innovación y nos incorpora de verdad a los procesos globales de limitación de los efectos ambientales de la construcción. Cuando, en 1996, el lema del Congreso de Arquitectos de España celebrado en Barcelona proponía "Proyectar el futuro sostenible: arquitectura y sociedad", estábamos lejos de sospechar los retos de formación, ejercicio y servicios profesionales a los que nos llevaría esa declaración de objetivos y horizontes futuros. En el escenario actual, los retos ya no se fundamentan en declaraciones retóricas, sino en elementos cuantificables, evaluables con indicadores y, por tanto, sujetos a la crítica social, un elemento de verificación para establecer cuáles son los desafíos ambientales a los que hemos de responder desde la arquitectura española.

Si esta colaboración entra la institución representativa de los arquitectos (el CSCAE) y la Editorial Gustavo Gili, comprometida desde siempre con la arquitectura, responde a los deseos y expectativas con los que ha sido formulada, nos encontraremos pronto con un ingente capital documental sobre medio ambiente y arquitectura que servirá de forma inestimable para mejorar el capital humano de los arquitectos españoles en las técnicas de sostenibilidad más avanzadas y en los principios más exigentes.

Carlos Hernández Pezzi
Presidente del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España

Prólogo

Este libro pretende ser una obra de referencia general para aquellos arquitectos que deseen proyectar y construir una arquitectura sostenible. Los arquitectos tienen grados de competencia muy diversos en lo que se refiere al proyecto ecológico ya que, en algunos estados miembros de la Unión Europea, la preocupación por el medio ambiente se ha ido desarrollando a lo largo del tiempo, y la profesión de la arquitectura tiene una amplia competencia en materia de sostenibilidad. Para estos arquitectos, gran parte de lo que apuntamos aquí les será conocido. Sin embargo, no ocurre así en todo el colectivo. Este libro está dirigido al profesional con experiencia preocupado por la sostenibilidad medioambiental que quiere aprender a crear arquitectura más sostenible, pero que, aparte de las cuestiones normativas, todavía no ha adquirido conocimientos específicos sobre la materia.

¿Arquitectura inocua medioambientalmente, respetuosa con el medio ambiente y por la energía, sostenible, más ecológica, o simplemente ecológica? No fue nada fácil definir el tema, pues no existe una definición internacionalmente aceptada para la arquitectura ecológica. Este libro ofrece recomendaciones en temas de consumo de agua y energía, materiales, calidad del aire interior y residuos. El uso racional de la energía en los edificios implica potenciar al máximo el consumo de energías renovables, reducir al mínimo el consumo de combustibles fósiles y, en general, ahorrar energía. Los materiales se consideran desde el punto de vista de la energía incorporada, la toxicidad en su aplicación y la optimización de recursos renovables; sin embargo, todavía queda mucho por investigar sobre los aspectos medioambientales de los materiales constructivos, por lo que este libro data de una época concreta.

El arquitecto profesional tiene competencias en multitud de áreas: urbanismo, estética, construcción, programación, normativa, etc. No resulta fácil conciliar las exigencias opuestas de presupuesto, programa, emplazamiento y previsión de tiempos y, al mismo tiempo, optimizar el respeto por el contexto, la organización espacial, la funcionalidad de la distribución, la solidez de la construcción, las cualidades espaciales y proporcionales y el proyecto en su totalidad. Ningún aspecto de la solución arquitectónica puede mejorarse a expensas del resto. El proyecto ecológico es una de las numerosas cuestiones que es preciso abordar. Nos damos cuenta del exceso de información y, por ello, no nos hemos concentrado en el "porqué", sino en el "cómo" del proyecto ecológico.

El proyecto ecológico es sensible a su entorno. En un mundo globalizado, uno de sus atractivos es su potencial para producir arquitectura específica de un lugar, respondiendo a condiciones concretas del clima y del emplazamiento y, siempre que sea posible, utilizando materiales locales sostenibles. Gran parte de las recomendaciones del libro, aunque no todas, serán útiles para la mayoría. Hemos intentado equilibrar nuestras sugerencias para que resulten relevantes a los profesionales de toda la Unión Europea.

La información se organiza en cuatro capítulos independientes. En un momento dado, el lector puede requerir una consulta de aspectos concretos en lugar de leer el libro de principio a fin. Los capítulos ofrecen recomendaciones sobre el **proceso** de proyecto y de la construcción, los **temas** que se deben tener en cuenta en el proyecto ecológico, las **estrategias** que deben adoptarse y los **elementos**. Un quinto y breve capítulo adicional aconseja sobre la **evaluación** del proyecto. Hemos intentado reducir al mínimo las repeticiones e introducir un mayor número de referencias cruzadas.

Hace 2000 años, el arquitecto romano Marcus Vitruvius Pollio escribió *Los diez libros de arquitectura*, todavía citados en la etapa de formación de cualquier arquitecto europeo. Su obra ha sido traducida a muchos idiomas y se la ha imitado muchas veces, algunas en el título, como *Vitruvius Britannicus* o *An American*

Vitruvius, y otras en el contenido, como *Los diez libros de arquitectura* de Leon Battista Alberti y *Los cuatro libros de arquitectura* de Andrea Palladio. Es conocida universalmente la idea de un libro con modelos que presenta tanto problemas de proyecto como soluciones, y este libro pretende ser un libro de modelos ecológicos para la época actual.

La referencia a lo ecológico no está exenta de su propia resonancia. Nosotros proponemos añadir un cuarto ideal a la triada vitruviana de *firmitas, utilitas* y *vetustas: restituitas*, o renovación, mediante la cual el acto de construir realza el entorno inmediato y global en un sentido tanto ecológico como visual.

Este libro no habría sido posible sin la generosa ayuda de la Comisión Europea a través del proyecto THERMIE, dirigido por Ángel Landabaso de la DG XVII de la Energía. Nuestras organizaciones y la profesión de la arquitectura europea en general están en deuda con la Comisión por su generoso apoyo financiero y moral a este proyecto.

Eoin O. Cofaigh, Consejo de Arquitectos de Europa (CAE), Bruselas (Bélgica)
Eileen Fitzgerald, Ann McNicholl, Robert Alcock, J. Owen Lewis, Energy Research Group (ERG), University College Dublin (Irlanda)
Vesa Peltonen, Suomen Arkkitehtiliitto (SAFA), Helsinki (Finlandia)
Antonella Marucco, Softech, Turín (Italia)

El edificio ecológico

El imperativo del diseño ecológico

En siglos pasados, la relativa falta de recursos para construir y mantener los edificios significaba que los materiales debían ser producidos localmente y tener un bajo consumo energético. Desde los romanos hasta el siglo XIX, sólo las clases pudientes podían permitirse termas u *orangeries*. A partir de la revolución industrial, y en especial desde el siglo XX, dos fenómenos paralelos —la mayor distribución de la riqueza y el relativo abaratamiento de la energía— han producido un aumento generalizado del consumo energético. El coste del mantenimiento de una fuente de luz artificial de alta eficiencia es una milésima parte de lo que suponía una vela de sebo hace un siglo. La disminución del coste proporcional y la mayor asequibilidad afectan no sólo a la energía, sino también a los materiales que se producen o se transportan utilizando energía (incluyendo todos los materiales de construcción). Por tanto, el coste de construcción y mantenimiento de los edificios ha disminuido mucho y, durante algunas décadas, era innecesario considerar el proyecto desde el punto de vista energético.

La primera crisis del petróleo de 1973 impulsó a los gobiernos a buscar fuentes de energía seguras y a reducir la dependencia de combustibles importados. Sin embargo, a medida que avanzaba la década, esas medidas se hicieron menos urgentes. Al producirse la segunda crisis en 1979, la sociedad ya había olvidado una vez más la necesidad de ahorrar energía. A pesar de todo, reducir la dependencia del petróleo no es el imperativo principal del diseño ecológico.

En la actualidad, resulta imposible dejar de prestar atención a la crisis medioambiental, tanto en lo que respecta a la destrucción de la capa de ozono a causa de los clorofluorocarbonos, como a la pérdida de hábitats naturales y diversidad debido a la contaminación, la desertificación y la deforestación, o a los crecientes niveles de dióxido de carbono generados por los sistemas de calefacción de los edificios y por otras fuentes. La Unión Europea, los gobiernos nacionales y los ciudadanos exigen estándares más exigentes de la construcción debido principalmente a razones medioambientales. Esta demanda se extiende más allá de los propios edificios a poblaciones y ciudades, y el trabajo Ciudades Europeas Sostenibles, llevado a cabo por el Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano, es merecedor de estudio por parte de los arquitectos. La propia profesión es consciente de este imperativo desde hace varios años. La Declaración de Chicago de la Unión Internacional de Arquitectos (UIA) en 1993 fue una contundente declaración de intenciones en esta dirección, como lo es también gran parte del contenido de *Europa y la arquitectura mañana*, publicado por el Consejo de Arquitectos de Europa.

El diseño ecológico también tiene otras ventajas. El ahorro logrado mediante diseños energéticamente eficientes puede ser muy importante en la vida diaria. Los costes de calefacción en invierno pueden llegar a consumir una parte considerable de los ingresos familiares, y los metros adicionales que proporciona un invernadero son bienvenidos en la mayoría de los hogares, no sólo por motivos económicos, sino también por motivos de espacio.

La otra razón por la que los arquitectos promueven el diseño ecológico es la calidad de la arquitectura. Los edificios con más elementos naturales y menos artificiales son mejores. En general, los espacios con luz natural son más agradables que los que disponen de luz artificial; la ventilación natural, cuando se dispone de aire puro y un entorno exterior sin ruidos, es más recomendable que la mecánica; cuantas menos fuentes de calor, mejor, etc. Mies van der Rohe dijo: "Menos es más"; en la actualidad, una forma de expresarlo de mejor manera podría ser como lo ha hecho Alexandros Tombazis: "Menos es bello". La elegancia de los proyectos clásicos se encuentra en soluciones sencillas y completas.

El imperativo del diseño ecológico

El diseño solar pasivo

El diseño ecológico

Calidad de la arquitectura, calidad del servicio

La calidad de la arquitectura tiene muchas facetas. La profesión de la arquitectura en Europa incita a la competencia basándose en la calidad del proyecto y del servicio proporcionado al cliente. Estos dos temas, construcción y servicio, forman parte de un único proceso.

“La calidad de la arquitectura por lo que a instalaciones y accesorios se refiere concierne a la adecuación a su uso, a la durabilidad en su funcionamiento y al deleite visual que proporcionan. La adecuación a su uso implica consideraciones ergonómicas, especialmente para las personas discapacitadas o dependientes, y una correcta selección de materiales en relación con las funciones que deban desempeñar. Durabilidad en el funcionamiento significa ciclo de vida útil adecuado teniendo en cuenta todos los costes, incluso los medioambientales. El deleite se obtiene como resultado de la elegancia, el estilo y la contribución, incluso en los más pequeños detalles, a la arquitectura del edificio [...]”.

A la escala del edificio, la calidad arquitectónica comprende también la adecuación a su uso, la estabilidad, la durabilidad y el deleite. Adecuación a su uso: habitaciones que tengan el tamaño y la escala apropiados para uso individual o en grupo, un lugar para dormir que sea tranquilo, cálido o fresco dependiendo de lo que convenga a la época del año, con aire puro y donde se pueda descansar con seguridad; una oficina que sea luminosa, práctica y apta para trabajar bien; un lugar adecuado para la interacción ritual o social, un lugar que se pueda adaptar con el paso del tiempo al cambio de funciones o necesidades; y un lugar que sea ecológicamente respetuoso con un entorno edificado saludable. Durabilidad en sus prestaciones técnicas: los edificios no deben tener humedades, han de resultar económicos en su consumo de energía y en su mantenimiento, durar un período de tiempo satisfactorio y funcionar sin defectos. Debe preservarse el deleite: elegancia en las proporciones, satisfacción que produce la utilización de las cosas bien hechas, conciencia de las posibilidades del color, luz y sombra, forma y perfil; y significado y adecuación culturales expresados mediante el respeto al pasado y a la identidad regional, y a través de la confianza en la legitimidad cultural del presente”.¹

El libro *Europa y la arquitectura mañana* se centra en un aspecto de la calidad de la arquitectura: el diseño ecológico.

Por encima de las cuestiones de proyecto se encuentra la calidad de servicio al cliente. En un proyecto de construcción, una buena gestión de la calidad, el coste y el tiempo es indispensable:

“El interés del promotor consiste en la consecución del edificio deseado con niveles adecuados de calidad —no siempre los máximos que se pudieran alcanzar— dentro de un plazo acordado y tan rápidamente como sea posible, ajustado a un presupuesto previo y tan económico como sea posible, y para quienes han invertido dinero en la promoción, la más elevada tasa de rentabilidad. El interés del promotor demanda un proceso de proyecto y construcción libre de problemas, y cuyo resultado sea acorde con los requerimientos y las predicciones”.²

No todos los clientes solicitan todavía servicios para conseguir una arquitectura respetuosa con el medio ambiente. Normalmente, los propietarios que son a la vez ocupantes están dispuestos a considerar el coste del ciclo de vida y son conscientes de los beneficios que supone el diseño ecológico. Sin embargo, el aspecto clave para los clientes que construyen promociones suele ser un coste inicial mínimo y limitarse sólo a cumplir la normativa. Resulta difícil crear arquitectura ecológica ante la indiferencia de los clientes; por ello, una parte del libro trata temas de gestión que afectan a este tema: el contrato entre arquitecto y cliente, el coste inicial y el del ciclo de vida, la colaboración con asesores y la gestión del contrato de construcción.

Los métodos del proyecto sostenible ofrecen al arquitecto la oportunidad de reintegrar aspectos del diseño utilizados en el siglo xx con consecuencias perjudiciales. En este sentido, es de un gran valor la síntesis que el arquitecto realiza de las diferentes colaboraciones de otros arquitectos, asesores y clientes; todo un reto y una oportunidad para la profesión.

El diseño solar pasivo

El diseño solar pasivo puede mejorar el rendimiento energético del edificio en tres aspectos: calefacción, refrigeración e iluminación. La importancia relativa de este ahorro energético varía según la situación y la función del edificio.

Calefacción

Comparadas con las superficies orientadas hacia el este o el oeste, las orientadas al sur reciben más radiación solar en invierno que en verano, una cantidad que se corresponde aproximadamente con las necesidades de calefacción. Durante el año, la aportación de calor solar por las superficies acristaladas orientadas al oeste y suroeste es muy similar a la que se obtiene por las orientadas al este y sureste. En verano, las ventanas orientadas al oeste pueden sobrecalentarse si no se protegen de los rayos del sol, que en verano inciden con un ángulo más horizontal.

Cuando la radiación solar incide sobre un material, parte de ella se absorbe, se transforma en calor y se almacena en su masa; el material se calienta progresivamente por conducción a medida que el calor se difunde. Los materiales con una inercia térmica elevada, como el hormigón, el ladrillo o el agua, se calientan y se enfrían bastante lentamente. Los aislantes térmicos, como la fibra de vidrio o la espuma, debido normalmente a su estructura celular, no son buenos acumuladores del calor y lo difunden muy mal.

El concepto de almacenar calor a través de la masa térmica de los muros se aplica sobre todo en regiones cálidas, donde sólo se requiere calefacción durante la noche y el aislamiento térmico no es necesario. En el norte de Europa se perderá más calor interior a través de un muro sin aislar orientado al sur que el que pueda captar por la luz solar. Los muros exteriores deben estar aislados para prevenir la difusión del calor solar a través de ellos.

Iluminación

Un buen uso de la iluminación natural en el interior de los edificios reduce o elimina el uso de luz artificial durante el día, lo que supone un ahorro considerable de energía y, en consecuencia, un menor daño medioambiental; si está bien pensada, la iluminación natural puede crear condiciones de vida más agradables y saludables.

Actualmente existen varios mecanismos para captar la luz natural y redirigirla al interior de los edificios, así como para reducir niveles excesivos de claridad cerca de las ventanas y proporcionar una distribución más homogénea de la luz natural. Algunos de estos mecanismos —patios, repisas reflectantes, lucernarios y ventanas altas— pueden tener importantes consecuencias en el proyecto; otros, como el vidrio prismático, las persianas reflectantes o los dispositivos para proporcionar sombra pueden aplicarse más fácilmente a los edificios ya existentes. Además, existe una amplia gama de materiales para acristalamiento que, mediante tratamientos especiales, permiten controlar la intensidad y las propiedades de la luz natural y los flujos de calor a través de las ventanas.

Refrigeración

La forma más eficaz de proteger un edificio de la radiación solar directa no deseada es arrojar sombra sobre sus ventanas y demás huecos. El grado y tipo de sombra necesaria depende de la posición del sol y de la geometría del edificio. Contraventanas, persianas, lamas, toldos y cortinas son ejemplos de dispositivos ajustables para proporcionar sombra. Algunos de estos mecanismos también pueden utilizarse en invierno para aumentar el aislamiento térmico. Los dispositivos para proporcionar sombra deben colocarse preferiblemente en la cara exterior del cerramiento.

Incluso cuando se han adoptado medidas para sombrear un edificio, reducir la aportación de calor y minimizar el flujo de aire caliente exterior hacia el interior del edificio, en los climas cálidos las temperaturas interiores durante el verano pueden ser incluso más altas que en el exterior. La utilización de electrodomésticos y sistemas de iluminación eficaces puede reducir la aportación de calor en el interior, y el diseño adecuado de la ventilación puede disminuir sus efectos sobre el confort durante el verano. Cuando la temperatura del aire exterior es inferior al límite superior de confort, el aire fresco que circula por el edificio gracias a las diferencias naturales de presión puede ayudar a mitigar el problema. Además, cuando dos masas de aire tienen temperaturas diferentes, sus densidades y presiones también son diferentes, lo que origina movimientos de aire de la zona con mayor densidad (más fría) a la de menor densidad (más caliente). Al crear huecos en la parte superior y la inferior del edificio, por ejemplo, el aire caliente ascenderá de forma natural y escapará por el hueco superior, mientras que el aire fresco entrará por los huecos de la parte inferior.

El diseño ecológico

A pesar de que la reducción del consumo energético es el factor más importante para la sostenibilidad, también son necesarias las estrategias para reducir el impacto ambiental en otros ámbitos del diseño, de la construcción y del uso de los edificios, que incluyen la producción de residuos, los materiales y sistemas constructivos, y el consumo de recursos naturales, como el agua, la vegetación y el suelo.

Residuos

Los residuos del sector de la construcción constituyen un problema cada vez más urgente: una proporción considerable de los residuos que llegan a los vertederos son escombros procedentes de la construcción y de la demolición de edificios. Estos residuos pueden reducirse mediante una mejor gestión de las obras, la utilización de un mayor número de materiales reciclados, y la conservación y reutilización de edificios antiguos.

Una vez acabado un edificio, los residuos no los genera el edificio en sí, sino la gente que lo utiliza. En este caso, también son precisos la reducción de los desechos y su reciclado, y los ciudadanos de todos los países de la Unión Europea son cada vez más conscientes de ello. Los arquitectos pueden facilitar el reciclaje de los residuos domésticos mediante la provisión de instalaciones adecuadas para la producción de compost, y, en muchos edificios, para el almacenamiento y la recogida selectiva de residuos inorgánicos.

Materiales

Los materiales producen impactos ambientales muy diferentes. Algunos de ellos, como el petróleo, la madera dura procedente de bosques sin gestión sostenible o el cobre proceden de reservas limitadas de recursos no renovables. Otros, como la piedra caliza o la arena, son más abundantes, pero su extracción, procesado y transporte pueden causar una considerable degradación medioambiental. Aún hay otros, como el aluminio, que están ampliamente disponibles pero cuyos procesos de elaboración consumen mucha energía. Por último, algunos materiales, como la madera blanda procedente de bosques sostenibles, son relativamente abundantes y permiten un uso amplio y continuado.

Cada material ejerce un impacto diferente sobre la calidad del entorno interior. Una ventilación insuficiente provoca que prestemos más atención a la calidad del aire interior. La prohibición de fumar es un aspecto clave para mejorar la ventilación, pero también influye la selección y el mantenimiento de los acabados. Los acabados que desprenden compuestos orgánicos volátiles —los plásticos— o que retienen el polvo y la suciedad, empeoran la calidad del aire y pueden afectar a la salud de los usuarios.

Todavía queda mucho por investigar en lo que se refiere a la sostenibilidad relativa de los distintos materiales. Compuestos superficialmente similares pueden tener impactos ambientales completamente diferentes durante su fabricación y transporte hasta la obra. Por ejemplo, un ladrillo puede haber sido producido a 10 km o a 1.000 km del emplazamiento del edificio, y el impacto ambiental del transporte en cada caso es muy diferente. Por otra parte, el ladrillo local puede haber sido producido de forma menos eficiente y, por tanto, el impacto ambiental de la energía utilizada durante su producción puede variar. Además, esa misma energía puede haber sido producida por una fuente de energía renovable, como la hidroeléctrica, o por una no renovable, como la nuclear.

Es posible que algún día lleguen a combinarse los materiales producidos localmente con respuestas regionales al clima, y que se produzca un nuevo paradigma de la arquitectura regional que tanto se valora en los entornos históricos europeos.

Sistemas

Los sistemas de ventilación, y en particular de aire acondicionado, consumen mucha energía y requieren un mantenimiento periódico y concienzudo para prevenir el crecimiento de microorganismos dañinos para la salud. Las estrategias de diseño deberían tratar de eliminar, en primer lugar, la necesidad de aire acondicionado, y las estrategias de gestión deberían garantizar que los sistemas instalados reciban la atención adecuada.

Recursos naturales

En la Unión Europea, la disponibilidad de agua para uso sanitario y doméstico varía considerablemente de unos lugares a otros. En muchos hogares existen aparatos, que consumen grandes cantidades de agua y que, normalmente, no han sido especificados por los arquitectos. Sin embargo, éstos pueden especificar inodoros de doble descarga y accesorios sanitarios controlados por células fotoeléctricas para todo el edificio, y reducir así el consumo de agua. Un menor consumo también supone una menor demanda de sistemas de tratamiento de agua.

La recogida y utilización de las aguas pluviales in situ y el tratamiento local de residuos pueden mitigar el descenso del nivel freático, reducir la demanda de alcantarillado y tratamiento de residuos por parte del municipio, y disminuir el impacto de las plantas de tratamiento. Los sistemas para la utilización de las aguas pluviales in situ implican que se deben separar las aguas de escorrentía contaminadas de carreteras y aparcamientos. Los sistemas de tratamiento de aguas grises in situ requieren plantas de tratamiento o depuración mediante sistemas vegetales.

La conservación de la vegetación autóctona y de la capa superficial del suelo puede promover la diversidad medioambiental y proporcionar abrigo externo. Si fuera necesario retirar esta capa superficial de suelo para una construcción, debería reutilizarse en el mismo lugar o recogerse para ser reutilizada en otro lugar. El emplazamiento puede planificarse de manera que conserve la vegetación preexistente, y los setos y bosquesillos pueden reforzarse con plantaciones nuevas de plantas de la zona.

Planificación urbana

La energía utilizada en el transporte es equivalente a la que utilizan los edificios. En la actualidad se están realizando muchos estudios sobre la relación entre la densidad de urbanización, el uso mixto del suelo y la sostenibilidad medioambiental, incluyendo el consumo de terreno y el transporte, donde se favorece el transporte no motorizado y el público. Aunque el papel del arquitecto como planificador urbano se menciona en esta publicación, en general este cometido se encuentra más allá de su alcance.

Notas

¹ *Europa y la arquitectura mañana. Libro blanco: propuestas para el entorno edificado de Europa*, Consejo de Arquitectos de Europa, Bruselas, 1995, págs. 26-27.

² *ibid.*

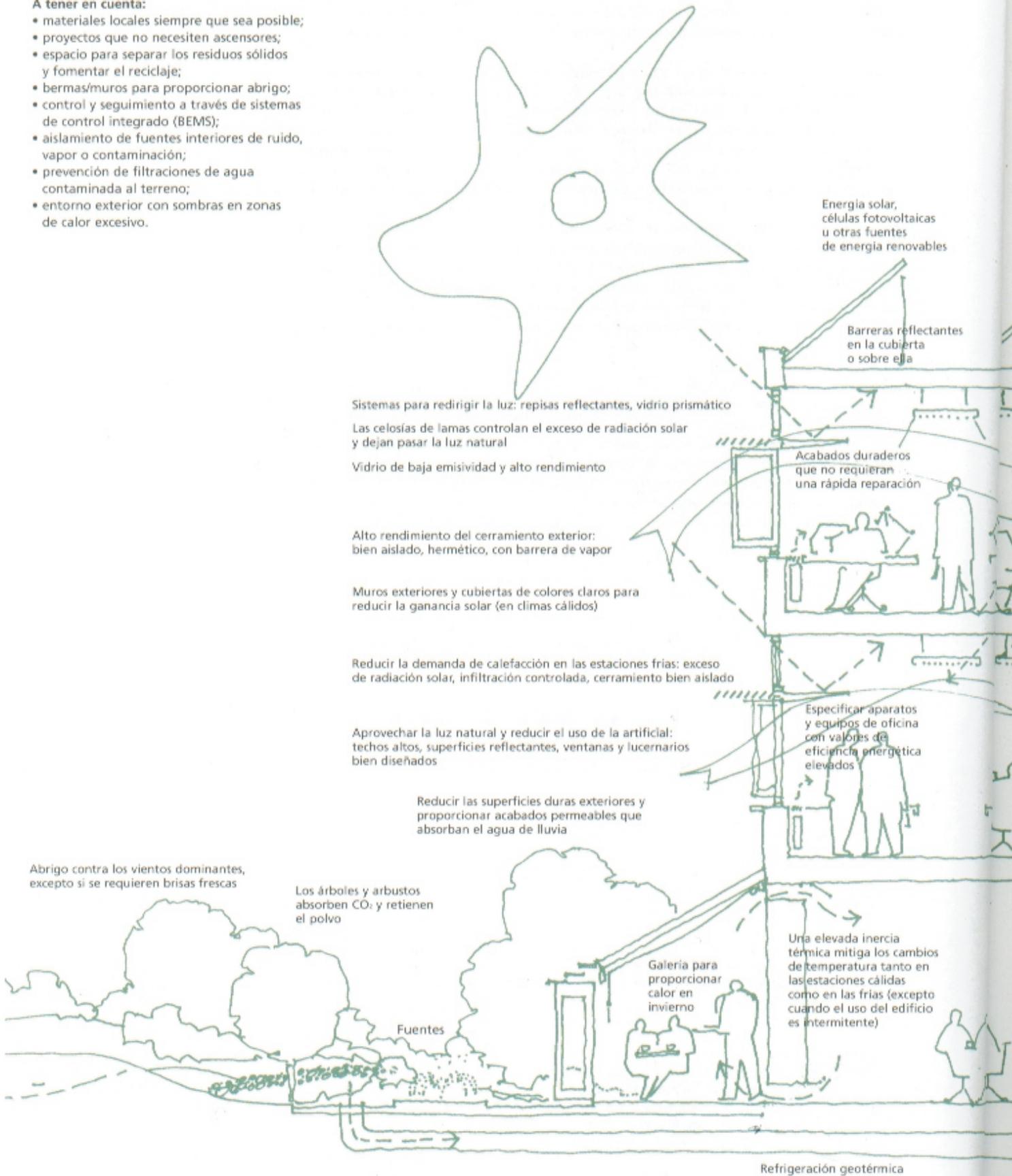
Bibliografía complementaria

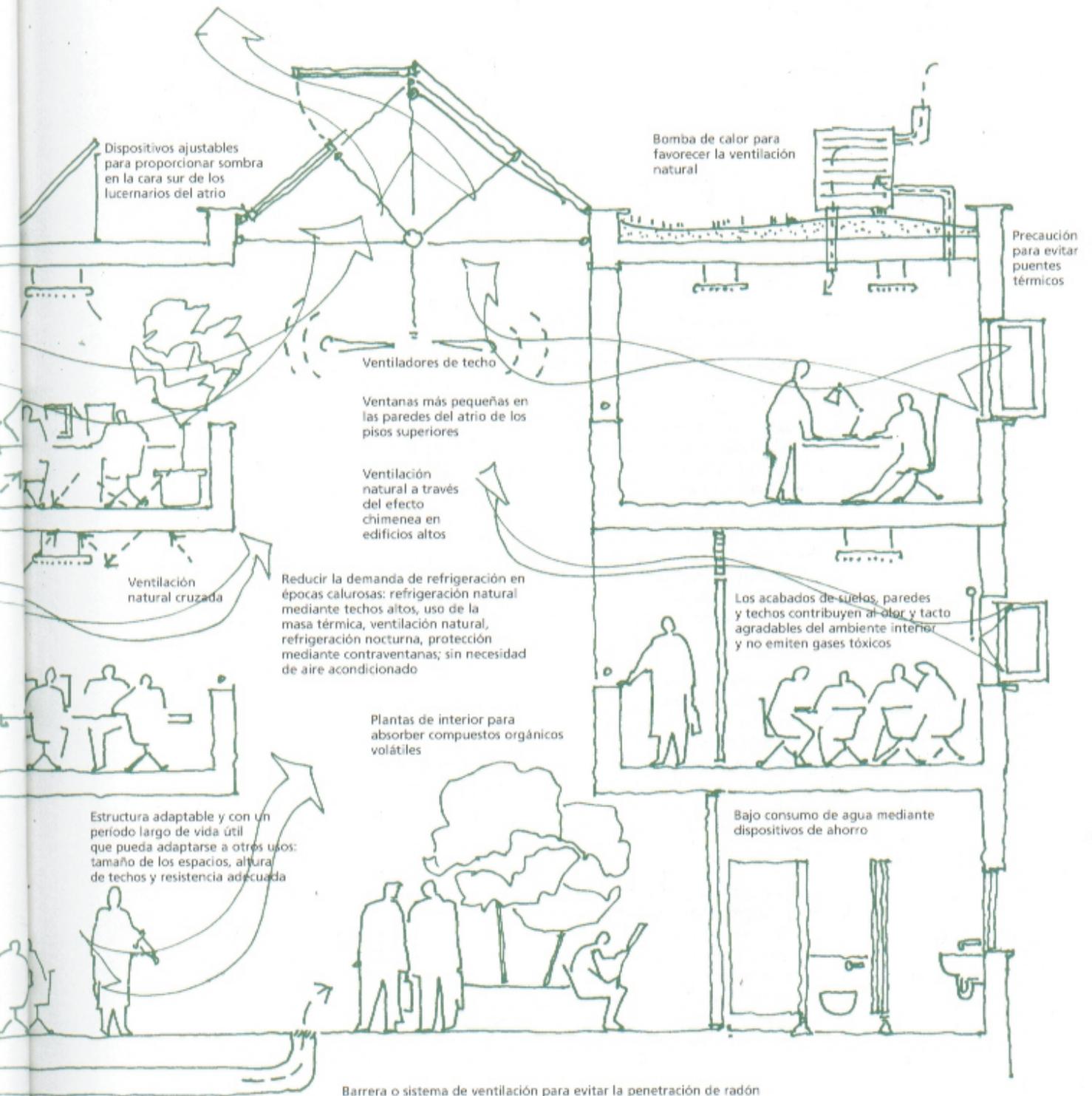
- *Declaration of interdependence for a sustainable future*, UIA/AIA Congreso Mundial de Arquitectos, Chicago, 18-21 de junio de 1993.
- *Carta de las ciudades europeas hacia sostenibilidad: la carta de Aalborg*, Campaña de ciudades europeas sostenibles, Bruselas, 1994.
- *SECTEUR: estudio estratégico sobre el sector de la construcción*, Comisión Europea, DG II, Bruselas, 1995.
- *Medio ambiente en Europa, el informe Dobbris*, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas/Ministerio de Medio Ambiente, Luxemburgo/Madrid, 1998.
- Cofaigh, Eoin O.; Olley, John A.; Lewis, J. Owen, "Sustainable architecture of the past", en *The climatic dwelling*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.

El edificio ecológico

A tener en cuenta:

- materiales locales siempre que sea posible;
- proyectos que no necesiten ascensores;
- espacio para separar los residuos sólidos y fomentar el reciclaje;
- bermas/muros para proporcionar abrigo;
- control y seguimiento a través de sistemas de control integrado (BEMS);
- aislamiento de fuentes interiores de ruido, vapor o contaminación;
- prevención de filtraciones de agua contaminada al terreno;
- entorno exterior con sombras en zonas de calor excesivo.





1. Proceso

Introducción

Cualquier arquitecto con experiencia conoce bien las distintas fases del proyecto y de la construcción. En 1999, los aproximadamente veinte grupos de arquitectos que componen el Consejo de Arquitectos de Europa (CAE) poseían, al menos, una docena de documentos para describir la estructura del proceso en sus respectivos países. Para esta obra utilizaremos la clasificación de 1994 del CAE, consensuada por todas las organizaciones implicadas:

- Proyecto:
 - Estudios preliminares
 - Bocetos
 - Anteproyecto
 - Proyecto básico
 - Proyecto de ejecución
- Construcción:
 - Proceso de licitación
 - Supervisión
 - Entrega del edificio
 - Periodo de garantía

Hemos decidido añadir una sección inicial sobre el concepto o idea del proyecto y abarcar el periodo posterior a la entrega en una sección sobre rehabilitación. El lector será capaz de identificar las fases descritas en este libro con las de su trabajo diario.

La gestión de este proceso no es responsabilidad exclusiva del arquitecto. En todas sus fases, desde el anteproyecto hasta la construcción, pasando por el proyecto de ejecución y la definición de los detalles, el arquitecto puede tener distintos grados de responsabilidad, desde ser el único responsable hasta compartir la responsabilidad o desempeñar un papel meramente auxiliar. Sin embargo, siempre existe un contrato entre el arquitecto y el cliente, unas instrucciones del proyecto y el arquitecto tiene que trabajar con asesores especializados, que pueden ser ingenieros profesionales o contratistas con responsabilidad en el proyecto. La normativa nacional sobre edificación es ineludible en todos los casos. Sea cual sea el grado de responsabilidad del arquitecto sobre el cálculo del presupuesto, la definición de las calidades incluye una relación razonable entre calidad y precio.

Las aportaciones del arquitecto y del resto de los actores —cliente, ingenieros, especialistas en presupuestos y otros especialistas técnicos, contratistas y subcontratistas— varían considerablemente de unas fases a otras. El grado en que el arquitecto puede influir en el impacto ambiental del edificio acabado también varía, pero el rendimiento medioambiental puede mejorarse en cada fase. A medida que se avanza en los pasos del proyecto, como el permiso de obras y otras autorizaciones reglamentarias, se reducen las posibilidades de modificar el proyecto, de tal manera que el potencial de mejora siempre es mayor en las fases iniciales del proceso.

Cualquier listado de temas clave es arbitrario: podíamos haber escogido tres, seis o veinte. Los aspectos más importantes varían según el clima y, por tanto, según la ubicación del proyecto. Además, muchos factores dependen del tamaño, la complejidad y el uso del edificio, lo que determina la demanda de calefacción, refrigeración, ventilación o luz natural. Todo inventario descriptivo debería adoptarse con precaución. Sin embargo, el proceso de proyecto supone contemplar muchos aspectos diferentes y, de algún modo, el arquitecto debe poder manejarlos intuitivamente, sobre todo en las fases iniciales. Por ese motivo, a continuación proponemos una tabla de estrategias clave para cada fase (Tabla 1.1).

Introducción

Inicios

La relación entre cliente y arquitecto
Los asesores
La descripción del proyecto

Proyecto

Estudios preliminares
Bocetos
Anteproyecto
Proyecto básico
Proyecto de ejecución
Proceso de licitación

Construcción

Control de obra
Entrega del edificio

Rehabilitación

Tabla 1.1 Estrategias ecológicas para las distintas fases

Fase	Temas
CONCEPTO	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del proyecto: identificación de proyecto ecológico como un aspecto a tener en cuenta • Acordar objetivos de rendimiento medioambiental para el edificio • Dar preferencia a antiguos solares industriales sobre zonas rurales
PROYECTO Estudios preliminares	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el emplazamiento desde los parámetros de luz solar, resguardo y sombras • Estudiar el tipo de edificio y analizar ejemplos de buenas prácticas • Valorar lo que puede conseguirse teniendo en cuenta las restricciones presupuestarias
Bocetos	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución del emplazamiento: utilizar estrategias de diseño solar pasivo que incluyan la luz natural • Proporcionar luz solar a los espacios habitables • Utilizar la inercia térmica para moderar las fluctuaciones de temperatura • Potenciar al máximo la entrada de luz natural mediante la configuración en planta y en sección • Considerar sistemas de abastecimiento de agua y gestión de residuos • Utilizar materiales locales • Realizar varios estudios de las ideas de proyecto para evaluar el rendimiento
Anteproyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Tener en cuenta la altura de los techos para calefacción, refrigeración e iluminación • Tener en cuenta la inercia térmica según el uso intermitente o continuo del edificio • Optimizar la proporción y distribución de los huecos exteriores del cerramiento respecto a la calefacción e iluminación • Especificar los criterios de proyecto para las instalaciones de servicios • Calcular el rendimiento previsto del edificio y compararlo con los objetivos
Proyecto básico	<ul style="list-style-type: none"> • Definir el trazado (plantas, secciones y alzados) para obtener las autorizaciones reglamentarias: consecuencias sobre luz natural, ventilación, sistemas activos y pasivos • Escoger los materiales y sistemas constructivos teniendo en cuenta la inercia térmica, los huecos y la sombra, así como el lugar de producción de los materiales
Proyecto de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar las especificaciones sobre la calidad del trabajo y la gestión de la obra • Detallar el rendimiento térmico, la luz natural y la ventilación controlada • Especificar los marcos de los huecos exteriores para mejorar el rendimiento medioambiental • Seleccionar acabados interiores y exteriores respetuosos con el medio ambiente • Considerar el rendimiento ambiental al seleccionar los sistemas de calefacción y refrigeración, radiadores y controles • Especificar los equipos y controles de la iluminación eléctrica para reducir al mínimo el consumo • Especificar sanitarios de bajo consumo de agua
CONSTRUCCIÓN Proceso de licitación	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar los requisitos del diseño ecológico a los contratistas participantes • Especificar las prácticas de construcción y niveles de tolerancia más exigentes
Supervisión	<ul style="list-style-type: none"> • Proteger lo máximo posible el paisaje natural del emplazamiento • Asegurar la correcta aplicación del aislamiento y evitar los puentes térmicos en los huecos • El contratista no debería cambiar ningún material o componente sin autorización del arquitecto • Garantizar que existan sistemas aceptables de eliminación de residuos
Entrega del edificio	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurarse de que el cliente y los usuarios comprendan las ideas y sistemas de construcción (proporcionarles manuales de mantenimiento) • Enseñarles a obtener el mayor rendimiento de los sistemas activos de control
Período de garantía	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer un seguimiento de los sistemas activos y compararlo con el rendimiento real proyectado
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar acabados ecológicos donde hubieran sido utilizados originalmente • Utilizar materiales de limpieza y saneamiento respetuosos con el medio ambiente • Realizar una auditoría energética antes de emprender el proyecto • Evaluar la posibilidad de actualizar los sistemas activos • Evaluar la posibilidad de actualizar el cerramiento • Considerar la calidad del aire interior y la salubridad del edificio

Inicios

La relación entre cliente y arquitecto

El alcance de los servicios prestados

En algunos estados miembros de la Unión Europea, el contenido del contrato entre cliente y arquitecto está regulado por ley, y el Estado prescribe el alcance y las condiciones del nombramiento del arquitecto, así como las tarifas. En otros lugares, estos aspectos se negocian individualmente.

Las tarifas del proyecto ecológico

Ofrecer lo que habitualmente se consideran "servicios especiales" del proyecto ecológico sin coste adicional para el cliente puede constituir una buena estrategia comercial. Dejando de lado este asunto, existen puntos de vista opuestos en cuanto a si es ético o no cobrar tarifas especiales por este tipo de servicios.

Muchos arquitectos creen que llevar a cabo proyectos sostenibles dentro de su práctica habitual es una obligación profesional; para ellos, no puede considerarse arquitectura de calidad un edificio proyectado hoy en día que haga caso omiso de los problemas medioambientales.

Por otra parte, un servicio con resultados de un mejor rendimiento medioambiental, un menor consumo energético y un coste del ciclo de vida más bajo supone, inevitablemente, un trabajo adicional (véase Tabla 1.2). Muchos arquitectos creen que ese trabajo merece una compensación, es decir, una tarifa especial. Hasta que, como norma, los proveedores de materiales y componentes proporcionen información sobre la sostenibilidad de sus productos, es necesario dedicar un tiempo considerable a evaluar el rendimiento ambiental de dichos materiales. Además, puede ser necesario mucho tiempo y paciencia para convencer a los contratistas sobre los aspectos más innovadores del trabajo, y también puede requerirse tiempo para realizar inspecciones especialmente rigurosas de la obra.

Tabla 1.2 Tareas ecológicas que pueden identificarse en el contrato entre arquitecto y cliente

Fase	Tareas
Estudios preliminares	<ul style="list-style-type: none">• Asesorar sobre aspectos relacionados con la sostenibilidad (costes medioambientales y ciclo de vida, definición de objetivos para el proyecto)• Consulta a especialistas para determinar su competencia en materia de sostenibilidad• Realizar maquetas topográficas para estudiar el resguardo y el asoleo• Analizar el microclima del emplazamiento• Niveles de trabajo interdisciplinario superiores a la media
Boceto y anteproyecto	<ul style="list-style-type: none">• Cálculos de objetivos de rendimiento medioambiental para los sistemas de calefacción y refrigeración• Realizar estudios especiales sobre sistemas, materiales y componentes sostenibles• Informar a los asesores inexpertos sobre aspectos medioambientales y proyectos holísticos• Estudiar métodos alternativos para cumplir las normativas sobre construcción, en especial en lo que se refiere a aislamiento térmico, estándares de calefacción, refrigeración y ventilación, suministro y consumo de agua, y eliminación y tratamiento de residuos
Proyecto básico	<ul style="list-style-type: none">• Estudiar los espacios interiores para optimizar la iluminación natural con una mínima incidencia de deslumbramiento• Volver a proyectar y estudiar los detalles de las fachadas para optimizar el rendimiento energético
Proceso de licitación	<ul style="list-style-type: none">• Preseleccionar los contratistas según requisitos especiales• Examinar las ofertas para evitar excesos en los presupuestos poco competitivos• Preparar el asesoramiento para los contratistas sobre la protección del emplazamiento
Entrega del edificio, período de garantía y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">• Preparar manuales especiales con información sobre el coste del ciclo de vida• Asesorar a los clientes sobre cómo aprovechar las características medioambientales activas y pasivas del edificio
Restauración	<ul style="list-style-type: none">• Realizar análisis comparativos entre el coste del ciclo de vida de un nuevo edificio y de una rehabilitación• Realizar una auditoría medioambiental de los edificios existentes

Finalmente, se considera correcto que se recompensen los conocimientos específicos en cualquier ámbito profesional, ya sea el proyecto ecológico u otros campos.

Cada arquitecto deberá decidirlo personalmente, teniendo en cuenta las circunstancias concretas de la negociación de tarifas, el compromiso personal y con el cliente, el nivel de conocimientos de que dispone, etc. Al mismo tiempo, nunca será posible aislar del todo el tiempo dedicado a la investigación y estudio del proyecto sostenible, y recuperar todos los costes adicionales que suponga. Las organizaciones profesionales nacionales que no lo hayan hecho ya, deberían considerar la introducción de "cláusulas para el proyecto ecológico" en sus contratos tipo entre clientes y arquitectos.

Los asesores

Alcance de su aportación

La elección de asesores es importante, sobre todo al iniciar el proyecto. En primer lugar, los asesores especializados deberían tener la competencia necesaria para comprender todos los temas implicados y, en segundo, para ofrecer el mejor asesoramiento posible al arquitecto. En un proyecto ecológico, los asesores especializados normalmente se centrarán en diferentes aspectos (véase la Tabla 1.3). Intentarán sacar el máximo partido del uso de medidas de control medioambiental pasivo, teniendo en cuenta tanto el ciclo de vida como el coste inicial, incorporando los sistemas activos sólo cuando ya se hayan evaluados los primeros. Si se aumenta la aportación pasiva, la necesidad de sistemas activos puede ser mucho menor y radicalmente diferente a los de los edificios convencionales.

Otro aspecto que distingue la aportación de los especialistas en proyecto ecológico es la precisión en los cálculos de los costes. La ingeniería convencional —en especial la que se dedica a sistemas de calefacción, refrigeración o iluminación artificial— intenta alcanzar unos estándares de diseño predeterminados y constantes. La primacía de las medidas pasivas significa que se hace necesario aceptar cierto grado de variación o ausencia de condiciones fijas. Los estudios demuestran, además, que los usuarios de los edificios toleran mayor variación medioambiental cuando tienen la capacidad de modificar la situación por sí mismos —como, por ejemplo, al abrir una ventana o encender una luz—, y que es posible conseguir un ahorro considerable en coste y energía mediante cambios incluso muy pequeños en las temperaturas.

La selección de los asesores

Para seleccionar a los asesores, el arquitecto debería especificar desde el principio que la sostenibilidad es un aspecto fundamental del proyecto e identificar el grado de conocimientos del consultor en este sentido. El objetivo del proceso de proyecto es integrar las distintas áreas de especialización para alcanzar el rendimiento óptimo de todo el edificio y no sólo de partes concretas. Además, es necesario considerar el rendimiento a lo largo del ciclo de vida del proyecto, incluyendo su uso y desmantelamiento.

Las tarifas de los asesores especializados suelen calcularse como un porcentaje del coste del trabajo especializado. En lo que se refiere a las instalaciones de ingeniería mecánica y eléctrica, esto puede dar lugar a que se aumente la envergadura de los sistemas de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación por motivos comerciales. El coste de este tipo de instalaciones supone habitualmente un 30-35 % del presupuesto total del proyecto, y podría resultar útil llegar a un acuerdo para cambiar la base de las tarifas y calcularlas como un porcentaje del coste total, lo que supondría la ventaja de que permitiría el asesoramiento incluso en el caso de que no haya instalaciones convencionales de este tipo. Los estudios de luz natural, el cálculo de aportaciones y pérdidas alternativas de calor y de tasas de ventilación, y la creación de modelos del rendimiento total del edificio son indispensables en un proyecto preocupado por el medio ambiente. Los ingenieros acostumbran a estar mejor preparados que los arquitectos para realizar estos cálculos numéricos, no intuitivos, que son necesarios en cualquier edificio de cierta complejidad. Otra forma más refinada de calcular las tarifas sería el pago de una prima inversamente proporcional a los costes de energía durante los 12 meses posteriores a la entrega, medidos según un índice de consumo expresado en kWh/m²/año. Como alternativa, la tarifa podría calcularse por horas o fijarse un tanto alzado. Una tarifa fija puede convertirse en un incentivo para minimizar la envergadura y la complejidad de las instalaciones.

Las visitas de los asesores al emplazamiento desde el inicio del proyecto y las reuniones interdisciplinarias pueden contribuir considerablemente al éxito del proyecto.

Tabla 1.3 Aspectos clave del asesoramiento de especialistas en proyectos ecológicos

Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilización de escombros de la demolición y uso de materiales tal como se encuentran • Energía incorporada: utilización de estructuras compuestas para potenciar el uso de materiales y sistemas con baja energía incorporada • Estructurales que utilicen materiales sostenibles (madera, tierra, paja) • Facilidad en la demolición y el reciclaje • Diseño adaptable y de amplio ciclo de vida útil (buena capacidad de carga, techos de altura generosa) • Relación entre inercia y rendimiento térmicos
Cerramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Relación entre la superficie practicable, la iluminación y el rendimiento térmico • Materiales sostenibles (acabados: pinturas, revestimientos del suelo; huecos en los muros exteriores: marcos, tipos de vidrio, aislamiento)
Iluminación	<ul style="list-style-type: none"> • Sacar el máximo partido a la luz natural disponible mediante estudios que incluyan el factor de luz natural y simulaciones • Selección y ubicación de los componentes del sistema de iluminación: iluminación dirigida, accesorios de alta eficacia, etc. • Gestión de la iluminación: controles para la integración de la luz natural y la artificial
Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo mínimo de electricidad: aislamiento de los circuitos eléctricos por la noche, optimización de la sección del cableado, ascensores de bajo consumo • Sistemas combinados de generación de calor y electricidad para optimizar la eficiencia energética total
Calefacción	<ul style="list-style-type: none"> • Sacar el máximo partido de las técnicas de calefacción pasivas: asesoramiento sobre la planificación del edificio y el diseño de la fachada para sacar el máximo provecho de las ganancias solares útiles; cálculos comparativos del coeficiente K para garantizar una contribución pasiva eficaz; realización de modelos del flujo del calor a través del edificio a distintas temperaturas y en distintas épocas del año • Medidas de calefacción activas eficaces al máximo: selección del sistema de calefacción y combustible; sistemas combinados de calor y electricidad; calefactores de alto rendimiento para las pequeñas cantidades de calor; optimización de las instalaciones de aire y agua y de los controles, incluyendo sistemas de control integrado; sistemas de volumen de aire variable (VAV); sistemas por conductos (con la posibilidad de refrigeración nocturna gratuita) • Aportación a los cálculos del coste del ciclo de vida • Consideración de las ganancias pasivas en los cálculos energéticos • Combinación de calor y electricidad en grandes proyectos
Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> • Sacar el máximo partido a las técnicas de refrigeración pasiva: uso de la masa térmica y la ventilación para fomentar medidas de refrigeración pasiva; construcción de modelos de cambios de temperatura para predecir la temperatura interior en función de la temperatura ambiental; asesoramiento sobre el diseño de la fachada, y construcción de modelos de estudio del sombreado y las aportaciones solares • Sistemas activos que minimicen el consumo de energía, incluyendo la posibilidad de refrigeración nocturna gratuita en los sistemas de ventilación
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo consumo de agua mediante la selección de componentes que la ahorren y la reutilización de aguas grises • Sistemas autónomos de tratamiento de residuos a pequeña escala
Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de modelos para sacar el máximo partido de la ventilación cruzada y el efecto chimenea
Cálculo de costes	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios comparativos del ciclo de vida de los componentes individuales y de los sistemas alternativos, que incluyan el coste inicial, el coste de uso y el coste de demolición y reutilización, incluido el reciclaje • Contabilidad medioambiental
Control de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de la calidad de la construcción, en particular de la estanquidad del cerramiento y la eficacia de los sistemas activos, especialmente la calefacción
Paisajismo	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración del emplazamiento, incluidos la contaminación del suelo (metano, radón, gases de vertedero) y la hidrología • Valoración medioambiental, incluidos los aspectos ecológicos • Jardinería que permita la incidencia del sol en invierno (altura de la vegetación, sombra, reflexión y penetración de la luz) y abrigo (dirección e intensidad de los vientos predominantes, diseño de bermas) • Refrigeración pasiva y diseño urbano • Vegetación autóctona: conservación y propagación • Plantas para el tratamiento de residuos (lagunas artificiales de filtración)

La descripción del proyecto: alcance de los servicios del arquitecto

- Elaboración de la descripción del proyecto con el cliente y en su nombre y con la colaboración de consultores especializados. Esta tarea supone informarse sobre los requisitos del cliente: calidad del proyecto, plazos previstos y presupuesto.
- La descripción incluye toda la información y los requisitos recopilados mediante el diálogo entre el cliente y el equipo de proyecto en el propio emplazamiento: relación de espacios; rendimiento funcional, ambiental y espacial de los espacios y del edificio; coste del proyecto y tiempo previsto; mantenimiento después de la entrega; y presupuesto.

La descripción del proyecto

La fase de descripción del proyecto es muy importante para hacer tomar conciencia al cliente y a los consultores de la importancia del proyecto ecológico.

La recopilación conjuntamente con el cliente del material para la descripción del proyecto resulta muy instructivo para ambas partes. Estas descripciones van cambiando a medida que el cliente va expresando sus intenciones respecto al tamaño del edificio, la función, el presupuesto y los tiempos previstos. En cuestiones de diseño sostenible, a no ser que el cliente esté mejor informado que el arquitecto, el arquitecto debe asesorarle acerca del potencial de un proyecto de calidad para mejorar el rendimiento medioambiental, lo que significa que este proceso de elaboración de la descripción del proyecto se convierte en un intercambio de información con el fin de crear un edificio sostenible. En esta fase, la explicación de lo que significa un proyecto adaptable, de larga vida útil y bajo consumo energético ayudará a que el cliente comprenda gran parte de lo que ello supone.

Cabe la posibilidad de que se pueda elegir el emplazamiento. En este caso, es determinante tener en cuenta los aspectos relacionados con la sostenibilidad. Véanse las recomendaciones sobre la recuperación de antiguas zonas industriales (comparadas con zonas rurales), acceso a medios de transporte público, asoleo y control solar, abrigo y calidad del suelo.

Cuando el cliente no es un experto en temas ecológicos, es necesario comentarle la posibilidad de contratar consultores especializados y recabar si estaría dispuesto a aceptar criterios alternativos de rendimiento para conseguir un edificio mejor. Estos criterios incluirían, por ejemplo, un ambiente interior variable y unos costes iniciales más elevados.

Coste inicial y coste del ciclo de vida

Un aspecto muy importante al que uno debe enfrentarse en el proyecto ecológico es la relación entre el coste inicial y el coste del ciclo de vida del edificio. A menudo, el coste de construcción de un buen proyecto no es superior al de uno peor. Por otra parte, es cierto que gastar más en componentes de mayor calidad suele merecer la pena. Aislamientos de mayor espesor, vidrios de baja emisión, interruptores de luz con detectores de infrarrojos pasivos, controladores de compensación climática, iluminación artificial controlada por células fotoeléctricas, etc., resultan más caros que los componentes convencionales. Sin embargo, en muchos casos las diferencias de precio son cada vez menores, y los costes iniciales pueden amortizarse rápidamente gracias a la reducción de los gastos de funcionamiento.

Para el propietario promotor, la decisión es más fácil que, por ejemplo, para un inquilino que necesita sólo una reparación. Con todo, hasta que los costes medioambientales externos se contabilicen de algún modo en el coste directo, la decisión seguirá siendo difícil. Muchos promotores que construyen para vender o alquilar considerarán aceptable un plazo de amortización de la inversión de cuatro años, pues puede contabilizarse en el precio de venta o alquiler sin pérdidas totales. Dependiendo de la duración del alquiler, el inquilino puede considerar aceptable un plazo de amortización de hasta 10 años. Los propietarios con visión de futuro podrían plantearse plazos de amortización de hasta 25 años. Los beneficios públicos del proyecto de calidad pueden durar siglos, como demuestran los centros históricos de muchas ciudades europeas.

Tabla 1.4 Consideraciones durante la fase de descripción del proyecto

Generales

- ¿Gestionará el cliente de forma activa y diaria los sistemas de control medioambiental? Esto es importante, por ejemplo, para la manipulación de las contraventanas, a no ser que todo esté automatizado
- Si cabe la posibilidad de escoger entre una reforma y un edificio nuevo, explore los prejuicios del cliente y determine si se aceptarían estándares más bajos de capacidad estructural y control medioambiental para mantener el edificio existente
- Revise y acuerde estándares de confort con el objetivo de reducir la demanda energética
- Explique la necesidad de obtener información climatológica sobre el emplazamiento: macroclima, material procedente de las estaciones meteorológicas, microclima; pueden necesitarse estudios topográficos

Uso del edificio

- Los ciclos de uso (diurno, semanal y estacional) afectan a los requisitos medioambientales y a la selección de estructuras y sistemas. ¿Se utiliza el edificio de forma habitual, o sólo intermitente? ¿En períodos largos de vacaciones? Construya un perfil de uso del edificio: ocupantes y actividades en distintos momentos del día y de la semana

Arquitecto	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué tipo de experiencia ecológica tiene el arquitecto? No se haga pasar por un experto sin una formación específica y/o abundante experiencia • Explique que esta materia todavía no ha sido estudiada de forma exhaustiva, y que todavía queda mucho por hacer, por ejemplo, en la investigación sobre planificación urbana y materiales ecológicos.
Consultores	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Recomienda la contratación de consultores en temas medioambientales, iluminación natural o energía? • ¿Quién pagará sus servicios? • ¿Puede deducirse ese coste de la tarifa de los consultores "habituales"? ¿Tiene el cliente la intención de proponer consultores? Si es así, ¿tienen experiencia "ecológica" o necesitan la colaboración de especialistas? • Asegúrese de que los consultores contratados reúnan los conocimientos medioambientales necesarios.
Calefacción	<ul style="list-style-type: none"> • Explique la posibilidad de utilizar medidas pasivas y su contribución al rendimiento • Si se utilizan galerías, ¿son utilizables? • ¿Qué opinión tiene el cliente sobre los sistemas de puertas dobles y sobre la sectorización de la planta? • ¿Está justificado el uso de controles de compensación climática? • ¿Utilizará el cliente controles programables los siete días de la semana? • ¿Consideraría el cliente la instalación de un sistema combinado de calor y electricidad?
Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Aceptará el cliente medidas pasivas de refrigeración si se consideraran útiles? • ¿Qué grado de precisión se requiere en el control ambiental? (¿Podrían las temperaturas sobrepasar la zona de confort, por ejemplo, cinco días al año, o nunca?).
Iluminación	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se considera deseable sacar el máximo partido de la luz natural? • ¿Pagaría el cliente interruptores con detectores de infrarrojos pasivos?, ¿e interruptores individuales o sistemas fotoeléctricos que anulen los sistemas activos?
Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Utilizará manualmente el usuario las aberturas de ventilación de las ventanas? • ¿Es posible utilizar el efecto chimenea? (podría existir en edificios de apartamentos) • ¿En qué zonas se requiere ventilación mecánica? • Considere la posibilidad de utilizar intercambiadores de calor; compare el coste de la inversión y el del ciclo de vida.
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Pagará el cliente cisternas de bajo consumo, sensores, grifos con aireador, etc.? (su coste depende de las tarifas del agua: explique que éstas aumentarán progresivamente). Cuestiones similares pueden aplicarse a los electrodomésticos (lavavajillas, lavadora, etc.).
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Consulte el método de evacuación de aguas superficiales de escorrentía en el emplazamiento y subraye la importancia de tratar las aguas de escorrentía de los aparcamientos. • ¿Se considera aceptable hacer compost in situ con los residuos domésticos? • ¿Qué medidas pueden tomarse para promover el reciclaje de papel y envases? ¿Se necesita espacio adicional de almacenamiento?
Acondicionamiento del emplazamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Identifique la vegetación existente que debería conservarse y analice sus efectos en el proyecto. • Creación de un lugar seguro y protegido para guardar bicicletas.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Explore la posibilidad de utilizar sistemas alternativos de estructuras y materiales que afecten la capacidad de carga. • Debata el rendimiento de los acabados, especialmente de paredes y suelos interiores, y de los materiales de ventanas y puertas exteriores, para mejorar la calidad del aire interior y en relación con las necesidades de mantenimiento futuro.
Coste	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Hasta qué punto interesan al cliente los asuntos relacionados con el ciclo de vida? Explique el análisis de los costes del ciclo de vida; averigüe la intención del cliente: ¿es una inversión a corto o a largo plazo? Todavía no es fácil demostrar que el proyecto ecológico aumenta el valor de la inversión. Puede ser necesario comparar el coste de construcción con el de edificios similares no sostenibles. • Intente llegar a un acuerdo sobre la inclusión de un cierto grado de análisis del coste del ciclo de vida en todas las decisiones sobre el proyecto y especificaciones
Tiempos previstos	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Necesita el despacho más tiempo en alguna fase del proyecto para explorar ciertas cuestiones? Por ejemplo: solares alternativos, estudios de luz natural, cálculos de calefacción y refrigeración en la fase del anteproyecto, sobre todo si el despacho dispone de pocos especialistas.
Contratista	<ul style="list-style-type: none"> • Debata los pasos necesarios para seleccionar al contratista y definir cómo influirá el proyecto ecológico en el proceso de construcción.

Estudios preliminares: alcance de los servicios del arquitecto

Análisis, estudios y consultas de carácter presupuestario, administrativo, urbanístico y técnico, con el fin de asimilar las restricciones legales, financieras y técnicas necesarias para elaborar el proyecto según la descripción del cliente.

Los documentos y servicios que se proporcionarán incluyen:

- investigación y análisis;
- estudios de ordenación urbanística;
- examen del emplazamiento teniendo en cuenta el enfoque escogido;
- análisis de las restricciones administrativas;
- viabilidad del proyecto en el emplazamiento.

Proyecto

Estudios preliminares

Los estudios preliminares exploran las amplias posibilidades alternativas del proyecto tras haber investigado la ordenación urbana y otras restricciones normativas (como normas sobre contaminación, construcción, ruido o residuos), y haber sopeado cuestiones relacionadas con los costes y tiempos. Las mediciones del solar deberían estar disponibles e incluir no sólo la información topográfica, sino también sobre la calidad y el potencial medioambiental del emplazamiento. Todo el equipo de proyecto debería participar en estas labores.

Si la ordenación urbana del solar establece restricciones sobre la densidad de construcción, el tratamiento de residuos o las zonas de aparcamiento que puedan afectar negativamente al proyecto, identifique esas áreas y consúltelo con las autoridades competentes.

Según la naturaleza del proyecto, los estudios preliminares pueden incluir estrategias alternativas para la distribución del solar donde puede ser necesario considerar aspectos como el asoleo, las sombras de edificios contiguos y el abrigo del edificio. En proyectos a gran escala, o que suponen la rehabilitación o ampliación de edificios existentes, una distribución alternativa puede permitir más o menos flexibilidad para conseguir un mejor proyecto desde el punto de vista energético: organizar la planta de manera que los espacios que requieren estar calefactados se orienten al sur y otro tipo de medidas similares. En cualquier caso, deberán examinarse con mayor detalle cuestiones que surjan en fases posteriores.

Los estudios previos irán normalmente acompañados de un informe, y sería adecuado añadir una sección que identificara concretamente los aspectos del proyecto ecológico (Tabla 1.5). Los encabezamientos que podrían resultar útiles incluirían: selección del solar (que incluya la calidad del suelo, acceso al edificio y a los servicios locales) y análisis del emplazamiento (que incluya estudio de las sombras, acceso al solar y abrigo).

Tabla 1.5 Consideraciones durante la fase del estudio preliminar

Emplazamiento

- Obtener información medioambiental sobre el emplazamiento.
- Examinar el impacto ambiental de estrategias alternativas.
- Si fuera posible, examinar solares alternativos.
- Introducir los aspectos del proyecto ecológico en los estudios de viabilidad.

Bocetos

Las decisiones que se toman en esta fase del proyecto resultan de suma importancia, pues dirigen provisionalmente el proyecto. Se exploran distintas disposiciones en planta; se plantea una estrategia de distribución del solar y/o de organización del edificio; y se dedica algún tiempo a pensar las secciones y los materiales (véase Tabla 1.6), aunque es probable que ninguno de estos aspectos sea definitivo. Se realiza una primera estimación del presupuesto.

A pesar de las exigencias técnicas, los cálculos numéricos aún pueden ser un impedimento en esta fase para llegar a la solución óptima. Para conseguir un proyecto global de calidad, el arquitecto adopta decisiones basadas en la intuición, que sintetizan la experiencia, la formación y la imaginación, y en las aportaciones interdisciplinarias de los consultores. Más tarde, por supuesto, estas aproximaciones intuitivas se examinan y se evalúan de forma rigurosa.

Tabla 1.6 Consideraciones durante la fase del boceto

Plano de emplazamiento	<ul style="list-style-type: none">• Protección y uso de las características preexistentes del emplazamiento: vegetación, valores paisajísticos, topografía, agua; disposición del solar respecto al asoleo, las sombras y el abrigo; proporción de superficies pavimentadas con relación a la escorrentía o conservación del agua; vegetación y abrigo; expulsión de aire frío.• Orientación, zonificación y disposición general, considerando su impacto sobre el consumo de energía.
Plantas y secciones del edificio	<ul style="list-style-type: none">• Altura y profundidad de la sección, número de plantas y orientación adecuada para sacar el máximo partido a la entrada de luz natural, permitir la ventilación pasiva mediante el efecto chimenea y reducir las pérdidas de calor. Factores que pueden optimizarse a través de plantas poco profundas, techos altos e iluminación cenital o la disposición de un patio.
Alzados	<ul style="list-style-type: none">• Proporciones aproximadas de los huecos y sus consecuencias sobre la iluminación natural, la ventilación y el sobrecalentamiento de las fachadas orientadas al sur, este y oeste, que puede controlarse de forma pasiva mediante el uso de dispositivos exteriores que proporcionen sombra.
Materiales	<ul style="list-style-type: none">• Sistema estructural (hormigón, acero o madera) y cerramiento exterior, que incluya su impacto ambiental

Bocetos: alcance de los servicios del arquitecto

Propuesta y presentación gráfica de soluciones alternativas que permitan al cliente comprender las posibilidades y tomar decisiones sobre su posterior desarrollo, incluyendo:

- Desarrollo de la idea inicial y propuesta de una o varias soluciones generales para las formas básicas, donde se traduzcan los elementos principales de la descripción del proyecto;
- definir las soluciones técnicas generales previstas;
- indicar el posible calendario de realización de las propuestas;
- examinar la compatibilidad de las propuestas con el presupuesto general provisional;
- proporcionar soluciones que permitan propuestas posteriores para adaptar el programa y preparar los estudios técnicos complementarios.

Los documentos y servicios que se proporcionarán incluyen:

- análisis de la descripción del proyecto;
- resumen de la idea que subyace en las soluciones propuestas;
- planos esquemáticos de la solución arquitectónica preliminar.

Anteproyecto: alcance de los servicios del arquitecto

Desarrollar la forma general del proyecto, en planta, secciones y alzados, basada en la solución escogida y derivada del enfoque de proyecto escogido, e incluyendo:

- definición de la composición general en planta;
- confirmación de la compatibilidad de la solución escogida con los requisitos de la descripción del proyecto y del emplazamiento, y con las distintas normativas aplicables;
- examen de las relaciones funcionales entre los distintos elementos de la descripción del proyecto y los espacios existentes;
- fijar el aspecto del edificio, sus dimensiones generales y los tipos de materiales; todo ello proporciona un cálculo detallado del presupuesto;
- consulta con las administraciones públicas;
- coordinación del trabajo de los especialistas técnicos.

Los documentos y servicios que se proporcionarán incluyen:

- informe donde se explica el concepto general;
- planos a escala 1:100 (1:200 para proyectos grandes) con detalles a 1:50;
- alzados y secciones a 1:100 (1:200 para proyectos grandes);
- planos de emplazamiento y paisajismo a 1:200 (1:500 para proyectos grandes);
- descripción de los tipos de materiales;
- calendario general para la ejecución del proyecto;
- cálculo descriptivo de los costes provisionales;
- explicación de los principios técnicos aplicados;
- consulta con las autoridades administrativas y los consultores técnicos.

Anteproyecto

En esta fase se confirman o rechazan los planteamientos esbozados en la fase anterior, y se desarrolla el definitivo mediante plantas, secciones y alzados. El edificio toma forma, se distribuye y se escoge el tipo de construcción, instalaciones y materiales. Los estudios iniciales sobre el confort y el medio ambiente deberían confirmarse en este momento mediante estudios numéricos, realizados normalmente por los consultores (véase Tabla 1.7). Una vez aprobado por parte de las autoridades administrativas, cada vez es más difícil realizar cambios importantes.

Tabla 1.7 Consideraciones durante la fase del anteproyecto

Plano de emplazamiento y de paisajismo exterior	<ul style="list-style-type: none"> • Tener en cuenta la distribución y orientación de los grupos de edificios respecto al asoleo y las sombras. • Tener en cuenta el tamaño y la situación de las superficies duras en relación con la luz natural y el abrigo deseados. • Utilice bermas y vegetación de abrigo para proteger ciertas zonas.
Plantas y secciones del edificio	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando sea necesario, colocar un cortavientos de doble puerta en las entradas. • Optimizar el uso de la luz natural en los espacios habitables. • En latitudes septentrionales, sitúe las zonas dedicadas a higiene, circulación y almacenamiento al norte. • Incluya en las plantas la circulación de flujos de aire para obtener ventilación natural (si el edificio es poco profundo), y en las secciones (utilizando, p. e., el efecto chimenea).
Alzados	<ul style="list-style-type: none"> • Tener en cuenta la proporción entre superficies acristaladas y opacas en relación con la distribución de luz natural y las medidas pasivas de calefacción y refrigeración. • Control del deslumbramiento y del sobrecalentamiento, sobre todo en las fachadas orientadas a este y oeste; considerar el uso de dispositivos para proporcionar sombra (lamas exteriores, retranqueos en fachada o persianas)
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar el aprovechamiento de la inercia térmica de la estructura para mitigar las fluctuaciones de temperatura en el interior. • Considere la sostenibilidad y el impacto ambiental de los materiales, la energía incorporada, el impacto sobre los hábitats, las emisiones tóxicas y la facilidad de reciclaje o reutilización.
Consultores especializados	<ul style="list-style-type: none"> • Las presentaciones deberían indicar cómo se desarrollarán los principios medioambientales en la fase de proyecto y cómo se evaluarán las propuestas, con el mayor uso posible de sistemas pasivos.
Principios técnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Considere sistemas combinados de calor y electricidad para reducir el uso de energía. • Proporcione ilustraciones del comportamiento medioambiental del edificio, especialmente en planta y en sección, con diagramas de los flujos pasivos y activos de energía: calefacción-día; calefacción-noche; refrigeración-día; refrigeración-noche, y diagramas del flujo de energía de Sankey.
Costes	<ul style="list-style-type: none"> • Tener en cuenta el coste medioambiental y del ciclo de vida en los cálculos iniciales. • Cuando se propone un presupuesto inicial elevado, puede deberse a un mayor rendimiento, a una mejor calidad medioambiental, y/o a un menor consumo energético en el ciclo de vida, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • marcos para las ventanas de madera de mayor o menor calidad • lacados de linóleo para el suelo, comparados con suelos laminados fabricados con derivados del petróleo (más emisiones y peor olor) • bombillas de ahorro energético frente a bombillas de filamento de tungsteno; interruptores con detectores de infrarrojos pasivos • Projete para reciclar.
Autoridades administrativas	<ul style="list-style-type: none"> • Consulte propuestas innovadoras para el abastecimiento de agua, la eliminación o reutilización de las aguas pluviales y la eliminación de las aguas grises o fecales. • Consulte con las empresas suministradoras las tarifas ventajosas de bajo consumo. • Si el edificio genera electricidad (paneles fotovoltaicos, fuerza eólica), consulte la posibilidad de recompra por parte de la empresa suministradora.

Proyecto básico

Para solicitar el permiso de obras se requiere el proyecto definitivo. Será necesario analizar la proporción de superficies acristaladas utilizando herramientas de evaluación como el método LT (véase EVALUACIÓN).

Para el cumplimiento de la normativa, los principales asuntos ecológicos consistirán en la selección de materiales sostenibles y los cálculos del rendimiento energético, la energía incorporada y, en algunos casos, la masa térmica de la estructura. Algunos estados miembros de la Unión Europea aceptan métodos innovadores de cálculo energético, mientras que en otros será preciso utilizar los métodos de cálculo establecidos.

Durante el desarrollo del cálculo estructural, se debe tener en cuenta el bajo consumo energético y la duración del ciclo de vida útil, como, por ejemplo, mayor recubrimiento y protección de las armaduras. Proyectar teniendo en cuenta el factor de vida útil es especialmente importante en el caso del hormigón pretensado, ya que, con la tecnología actual, su reciclaje o reutilización tras la demolición es difícil.

La capacidad del edificio para adaptarse a usos futuros imposibles de prever, afecta tanto a la estructura como a las instalaciones. Una resistencia estructural superior a la establecida podría resultar útil. Por ejemplo, podría ser que la capacidad de carga del forjado de un edificio de viviendas fuese distinta a la de un edificio de oficinas (mayor resistencia y mayor distancia entre apoyos), y el proyecto debería ser flexible ante los posibles cambios de uso. La adaptabilidad funcional que ofrece una estructura reticular puede hacer que sea preferible a una de muros de carga. Proyecte teniendo en cuenta futuras instalaciones, flexibilidad y renovación.

Los consultores técnicos preparan informes para el arquitecto, el cliente y las autoridades competentes sobre las instalaciones del edificio y su rendimiento energético. El consumo de energía debería calcularse en kWh/m² por año, dado que ésta es la unidad utilizada habitualmente, y los cálculos deberían dividirse en los siguientes apartados:

calefacción • refrigeración • iluminación • ventiladores, bombas, controles • baja potencia • total.

Los resultados pueden compararse con los indicadores de rendimiento normales para ese tipo de edificios en el clima dado. Esto proporcionará un buen pronóstico del rendimiento del edificio y una idea de los objetivos conseguidos.

Proyecto básico: alcance de los servicios del arquitecto

Obtener la licencia administrativa para construir y, con ese objetivo, realizar los dibujos de detalle que se requieran, integrando el trabajo de los asesores especializados cuando así fuera necesario.

A partir de esta fase, como cualquier cambio posterior puede requerir nuevas consultas con la administración, se permitirán sólo las mínimas modificaciones en la forma y la mayoría de las especificaciones técnicas. El proyecto cumple toda la normativa aplicable e integra los factores técnicos y arquitectónicos necesarios para la ubicación del edificio en el emplazamiento.

Los documentos y servicios que se proporcionarán incluyen:

- memoria de las características generales del proyecto;
- planos de todas las plantas, secciones y alzados a escala 1:50 (1:100 para proyectos muy grandes);
- actualización del programa;
- mediciones de la obra, detalladas por partidas;
- documentos legales, como el permiso de obras.

Tabla 1.8 Consideraciones durante la fase del proyecto básico

<p>Planos del emplazamiento y del edificio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Confirme decisiones anteriores sobre los planos del emplazamiento y del edificio; situación respecto al asoleo y abrigo; forma con respecto a las sombras; distribución y extensión del acondicionamiento paisajístico (superficies duras y jardinería). • Considere la reutilización de las aguas superficiales en el propio emplazamiento. • Considere el tratamiento de agua contaminada procedente de las superficies duras destinadas al aparcamiento de vehículos.
<p>Secciones y alzados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Confirme la altura de los techos para sacar el máximo partido de la luz y la ventilación naturales, y evitar, así, el sobrecalentamiento. • Confirme las proporciones de la fachada y la provisión y diseño de dispositivos exteriores para proporcionar sombra y evitar el sobrecalentamiento. • Considere la instalación de rendijas de ventilación pasiva en las ventanas. • Confirme decisiones previas sobre materiales sostenibles.
<p>Consultores especializados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Considere el ciclo de vida útil y la capacidad de adaptación de la estructura y de las instalaciones a distintos usos. • Revise la adecuación de la capacidad de carga de la estructura a largo plazo. • Garantice el fácil acceso a conductos, tuberías y cables mediante cubriciones y canales portacables registrables. • Instale cableado enfundado de sección adecuada en las paredes para facilitar la sustitución de la instalación eléctrica.
<p>Principios técnicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrolle el cálculo de las instalaciones del edificio a partir de los principios previamente enunciados. • Realice cálculos del rendimiento energético del edificio.

Proyecto de ejecución

Los detalles, especialmente los del cerramiento exterior, las especificaciones técnicas de los componentes del edificio y de la factura del trabajo y la coordinación de los ingenieros asesores —sobre todo en lo que se refiere a las instalaciones mecánicas y eléctricas, pero también a la estructura— tienen importantes consecuencias para el proyecto ecológico.

La descripción detallada del cerramiento exterior con el fin de obtener el mejor rendimiento; por ejemplo, el material más sostenible para los marcos de las carpinterías es la madera blanda, pero, para un edificio con una vida útil larga, los marcos mixtos con sistema de rotura de puente térmico también pueden ser una buena opción.

Seleccionar los acabados de techos y suelos para garantizar su durabilidad: el mayor coste de los materiales de mejor calidad quedará más que compensado por su duración.

En los detalles de las instalaciones, especifique componentes que proporcionen un buen rendimiento energético y buen comportamiento a lo largo del tiempo. Especifique sanitarios que reduzcan al mínimo el consumo de agua.

Actualmente, los sistemas de ventilación mecánica suelen incluir bombas de recuperación de calor; en los edificios de viviendas, los componentes patentados alcanzan una tasa aproximada de recuperación del 70 %. Normalmente, se utilizan conductos de 10 cm de diámetro que llegan desde los espacios habitables y de circulación hasta un punto central de recogida, situado normalmente en cubierta, desde donde se expulsa el aire al exterior o se introduce al interior.

El sobrecoste de los sistemas de iluminación con detectores de infrarrojos pasivos es cada vez menor. Las lámparas de ahorro energético resultan rentables, ya que el gasto inicial se amortiza a corto plazo. Siempre que sea posible, utilice iluminación dirigida y diseñe con el fin de obtener niveles más bajos de iluminación ambiental.

Especifique materiales locales: ladrillos, bloques de hormigón y tejas; así reducirá el impacto medioambiental correspondiente al transporte de estos materiales pesados (véase ELEMENTOS; materiales).

Tabla 1.9 Consideraciones durante la fase del proyecto de ejecución

<p>Plano de emplazamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especifique sumideros y lagunas con tratamiento de plantas para el drenaje de las aguas pluviales. • Especifique sistemas cerrados de tratamiento de aguas fecales.
<p>Secciones y alzados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccione la carpintería que ofrezca el mejor rendimiento. • Los vidrios deberían estar recubiertos con una capa de baja emisividad. • Utilice rejillas de ventilación y/o estrategias de ventilación pasiva. • Utilice bombas de recuperación del calor cuando sea posible. • Utilice materiales aislantes sostenibles y sobredimensione los grosores establecidos por normativa. • Evite los puentes térmicos.
<p>Materiales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especifique materiales duraderos y con una baja energía incorporada. • Especifique materiales locales; acabados duraderos para la cubierta; suelos laminados de mayor grosor; tableros con bajo contenido de formaldehído; enlucidos de cal y pinturas acuosas o acrílicas, que son más saludables. • Controle a los asesores para garantizar que se implementa la estrategia acordada en fases anteriores.
<p>Principios técnicos y aplicación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especifique los componentes de las instalaciones mecánicas que ofrezcan un buen rendimiento energético y sean duraderos: calderas de gas de condensación; las mejores válvulas termostáticas para los radiadores; controles de compensación climática; calefacción central por suelo radiante (de baja presión); sistemas de ventilación mecánica que incluyan bombas de recuperación de calor; ascensores de bajo consumo; sistemas de iluminación con detectores de infrarrojos pasivos y lámparas de ahorro energético; cisternas de doble descarga; urinarios y lavabos controlados por células fotoeléctricas; electrodomésticos que ahorren energía y recursos. • Reduzca la distancia de los conductos del agua caliente desde el lugar de almacenamiento hasta el lugar de uso.

Proceso de licitación

Los documentos del proceso de licitación deberían tener en cuenta los principios ecológicos (Tabla 1.10). Algunos contratistas, en particular los especialistas en instalaciones mecánicas, sanitarias y de ventilación, deberán proporcionar proyectos detallados como parte de su trabajo. Si el arquitecto quiere que el proyecto sea sostenible, debería resaltar este aspecto ya que, de este modo, las ofertas competirán bajo las mismas condiciones y se podrá comprobar si los licitadores tienen en cuenta la innovación. Los componentes concretos deberían especificarse por su nombre o tipo cuando sea necesario. Esto incluiría:

- instalaciones mecánicas: sistemas de calefacción, radiadores y controles de alta eficiencia energética;
- instalaciones eléctricas: interruptores y accesorios de alta eficiencia energética;
- instalaciones sanitarias: sanitarios de bajo consumo de agua.

Cuando se pide a un contratista que proponga una oferta global, deberían proporcionársele instrucciones sobre la selección de los componentes y de los sistemas. Estas instrucciones incluirían:

- sistema estructural: larga vida útil, elevada resistencia, baja energía incorporada y materiales sostenibles, siempre que sea posible;
- elementos de acabado: vidrios para puertas y ventanas, tipos de marcos y revestimientos;
- acabados: duraderos para suelos y paredes;
- materiales para paredes, suelos y techos que produzcan las mínimas emisiones de gases tóxicos.

Aparte de los elementos presupuestados por los contratistas, tanto en ofertas generales como especializadas, los acuerdos contractuales convencionales pueden verse afectados por el proyecto sostenible. Por ejemplo, la limitación del espacio disponible para la realización de los trabajos es importante para conservar la vegetación existente. La introducción de cláusulas que indiquen áreas que el contratista debe proteger, incluyendo planos de las zonas relevantes, puede mejorar los niveles de protección del emplazamiento. Además, la introducción de cláusulas que requieran que se reutilice in situ toda la capa de terreno superficial del solar permitirá conservar este recurso.

Todos estos aspectos deberían añadirse a las buenas prácticas de construcción habituales.

Proceso de licitación

El arquitecto prepara y redacta los documentos de la licitación para facilitar al cliente la adjudicación del contrato, o contratos, de construcción. El cliente escogerá el método de licitación, que podrá ser una oferta global de un solo contratista, varios contratistas especializados o una solución combinada. El arquitecto examina y verifica las ofertas recibidas y participa en las negociaciones.

Los documentos y servicios que se proporcionarán incluyen:

- provisión y emisión de los documentos de licitación: contrato/s, acuerdos colaterales, formularios de licitación;
- informe sobre las ofertas recibidas, que incluirá análisis y comparativas.

Tabla 1.10 Consideraciones durante la fase de licitación

Plano de emplazamiento	<ul style="list-style-type: none">• Limite el espacio de trabajo de los contratistas para proteger las características naturales y la vegetación existente.• Especifique la conservación y reutilización de la capa de terreno superficial.• Proporcione instrucciones sobre el manejo y almacenamiento de los materiales con el objetivo de reducir al máximo los residuos.
Contratistas especializados	<ul style="list-style-type: none">• Los requisitos del proyecto ecológico deberían ser explícitos en todas las ofertas, sobre todo en las de proyecto y construcción de sistemas especializados. Estos requisitos deberían incluir instrucciones sobre el uso de materiales encontrados in situ; la reducción, la gestión y la eliminación de los residuos de obra; y el uso de materiales de limpieza respetuosos con el medio ambiente.

Alcance de los servicios del arquitecto

En la fase de construcción, el arquitecto comprueba que las obras se ajustan al proyecto y proporciona todas las instrucciones necesarias para que el contratista las coordine y ejecute correctamente.

Los documentos y servicios que se proporcionarán incluyen:

- preparación de los documentos contractuales, incluyendo contratos, planos, especificaciones y posibles garantías;
- organización de los distintos contratistas, cuando sea el caso;
- control de la obra según los plazos previstos, las normas y estándares aplicables, y los documentos contractuales, teniendo en cuenta las dimensiones, la calidad, los estándares y la apariencia del edificio;
- instrucciones para ejecutar las obras;
- convocatoria y levantamiento de actas de las reuniones en obra;
- realización de evaluaciones periódicas de las obras.

Construcción

Control de obra

En la obra, el contratista general dirige a sus propios trabajadores y a muchos especialistas. En esta fase entran en juego muchos aspectos diferentes: la calidad de la construcción, el seguimiento estricto del programa y el control eficiente del coste de la mano de obra y de los materiales, teniendo en cuenta la seguridad en la obra y las impredecibles condiciones climatológicas. El arquitecto comprueba que los materiales y componentes que se suministran son los especificados y que se respetan las instrucciones sobre la protección del paisaje existente u otras características del solar (Tabla 1.11).

Una gestión de la obra que sea respetuosa con el medio ambiente y la ejecución correcta de ciertos aspectos del trabajo pueden mejorar notablemente el rendimiento del edificio. Estudios cuantitativos de edificios construidos según un mismo proyecto muestran variaciones importantes en el consumo de energía que, aunque pueden atribuirse en parte a los distintos usuarios de los edificios, también se deben a las calidades de la construcción. La principal causa de preocupación es el cerramiento exterior, y los aspectos a los que se debe prestar especial atención incluyen:

- calidad de la fábrica exterior para reducir en la mayor medida posible las pérdidas de calor debido a posibles infiltraciones de aire;
- colocación del aislamiento para evitar puentes térmicos en ciertos puntos, como esquinas o elementos de la estructura;
- estanquidad de los elementos practicables, como ventanas y puertas exteriores;
- sellado de huecos alrededor de las tuberías;
- colocación de barreras de vapor sin perforaciones.

Si el contratista sustituye los componentes especificados por otros menos aceptables, puede resultar que las especificaciones de las ventanas de vidrio doble, el aislamiento o la pintura sean incorrectas. Tanto en el caso de estos componentes como de otros, p. e., los mecánicos y los eléctricos, compruebe los albaranes de entrega cuando existan dudas.

Los residuos tóxicos, incluyendo el amianto utilizado como aislante y las planchas de amiantocemento deberían retirarse con medidas de seguridad y ser trasladados a instalaciones autorizadas para su almacenamiento especial.

El contratista debería adoptar todas las medidas necesarias para que los residuos de obra sean los mínimos posibles y para separar los embalajes de cartón y polietileno con el objetivo de ser reciclados. La gestión y el almacenamiento correctos de los materiales reducirán los residuos.

Tabla 1.11 Consideraciones durante la fase de control de obra

Comprobar que los procedimientos son adecuados

- Recogida y almacenamiento de la capa superficial del terreno para su posterior reutilización.
- Provisión de los materiales y componentes especificados.
- Protección adecuada del paisaje, la vegetación, el agua y otras características existentes del solar.
- Manejo y almacenamiento correctos de los materiales.
- Utilización de materiales que se encuentran en el solar, como áridos o tierra.
- Almacenamiento separado de embalajes de cartón y polietileno para reciclarlos.
- Utilización de materiales de limpieza respetuosos con el medio ambiente.

Comprobar los estándares de construcción

- Colocación correcta del aislamiento.
- Manipulación segura de los materiales: cortar, pulverizar.
- Calidad de la fábrica exterior.
- Estanquidad de los elementos practicables.
- Sellado de huecos alrededor de tuberías que atraviesan el cerramiento exterior.
- Barreras de vapor.
- Vidrios de baja emisividad.
- Eliminación correcta de los residuos tóxicos.
- Medidas para minimizar residuos y reciclar embalajes.

Entrega del edificio

Antes que se entregue el edificio al cliente, el arquitecto comprueba que haya sido terminado según los planos y las especificaciones. En el momento de la entrega se pueden solicitar planos y especificaciones del edificio tal como ha sido construido; asesoramiento sobre el mantenimiento y la reparación de los sistemas y componentes; orientaciones sobre el rendimiento de las instalaciones; y, cada vez con más frecuencia, recomendaciones sobre seguridad en el mantenimiento y la reparación del edificio (Tabla 1.12). Tanto si las características de las medidas de acondicionamiento del edificio son pasivas como activas, el cliente sólo podrá sacar el máximo provecho del rendimiento del edificio si se le explica detalladamente su funcionamiento. También serán útiles los consejos referentes al mantenimiento del edificio de una forma respetuosa con el medio ambiente.

Tabla 1.12 Entrega del edificio: recomendaciones sobre la utilización y mantenimiento del edificio

Mantenimiento correcto

- Mantener y renovar los acabados de suelos y paredes escogidos por su salubridad y buen rendimiento medioambiental.
- Limpiar regularmente ventanas y otras fuentes de luz natural.
- Mantener los sanitarios para reducir su consumo de agua.
- Cuidar la vegetación tanto interior como exterior.
- Utilizar productos de limpieza que no sean tóxicos y sí biodegradables.
- Aplicar pintura y películas protectoras en espacios bien ventilados.
- Inspeccionar anualmente los sistemas activos para comprobar que las calderas, el equipo de refrigeración, las válvulas de los radiadores, los detectores infrarrojos y los controles de calefacción y refrigeración continúan siendo eficaces.

Utilización de los sistemas de gestión de energía

- Utilizar los sistemas para evitar el sobrecalentamiento en verano: sistemas móviles para proporcionar sombra y refrigeración nocturna.
- Utilizar los sistemas de ventilación, tanto activos como pasivos (ventiladores, ventilación natural), para optimizar el equilibrio entre las demandas de ventilación, calefacción y refrigeración.
- Utilizar el edificio para sacar el máximo partido a la radiación solar en invierno: controlar la ventilación nocturna; utilizar persianas para reducir el asoleo; cerrar las puertas interiores para retener el calor captado; abrir las contraventanas para ventilar.
- Aprender a utilizar los controles de los sistemas mecánicos, como temporizadores, controles de compensación climática, válvulas termostáticas programables de los radiadores, y manipular estacionalmente la temperatura de flujo del sistema de calefacción.
- Utilizar las instalaciones eléctricas: reemplazar correctamente los accesorios de iluminación, decidir cuándo se debe apagar tanto la iluminación como la electricidad, utilizar sensores de iluminación, establecer sectores de potencia.
- Utilizar los sistemas para sacar el máximo partido a la luz natural y reducir el uso de la artificial.
- Evitar las tarifas máximas de electricidad (normalmente de 7:30 a 17:30 horas) apagando periódicamente máquinas grandes.

Controlar la eficiencia del edificio acabado

Después de la entrega del edificio y de que éste haya sido prácticamente acabado, pero antes del final de obra, es aconsejable realizar algún control del rendimiento del edificio. El grado de control variará, obviamente, según la complejidad del edificio y el presupuesto disponible. Aunque no todos los edificios requieren un control exhaustivo de las temperaturas a lo largo de las temporadas de calefacción y refrigeración, cada día es más habitual utilizar el control remoto a través de un ordenador y un módem. Las prestaciones de los sistemas de control integrado de edificios (BEMS) también son útiles para controlar el rendimiento. La Tabla 1.13 muestra ejemplos de los tipos de control que se pueden llevar a cabo.

Tabla 1.13 Controlar el rendimiento medioambiental

- Comprobar posibles infiltraciones de aire debido al secado y la contracción de los materiales, que reducen su estanquidad.
- Estudiar el consumo de energía por calefacción y refrigeración durante toda una temporada, teniendo como referencia las facturas de gas, electricidad y otras fuentes de energía; la suma de todas ellas proporciona el consumo anual en kWh/m². El resultado puede compararse con las cifras de referencia, para evaluar el nivel global de confort de los usuarios, especialmente en lo que se refiere al sobrecalentamiento en verano (cuando no se conecta el aire acondicionado y se utilizan métodos naturales de refrigeración), y su grado de satisfacción con la disponibilidad de luz natural. Para esto pueden ser útiles los cuestionarios.
- Controlar las temperaturas de las estancias, utilizando termómetros normales o conectados a un sistema de control por ordenador, para establecer la eficacia de las instalaciones de calefacción y refrigeración y ayudar a determinar el grado de utilización de las instalaciones activas.
- Controlar el consumo de agua mediante lecturas mensuales y anuales de los contadores, y calcular el consumo diario (l/persona) de cada usuario del edificio. Los datos pueden compararse con las cifras de referencia establecidas para determinar el nivel de rendimiento.

Rehabilitación

Un 50 % de la producción de la industria de la construcción en la Unión Europea corresponde al mantenimiento y las reparaciones.¹

En general, resulta más sostenible rehabilitar y reutilizar edificios existentes que demolerlos y volver a construir. Rehabilitar significa utilizar menos materiales y consumir menos energía en conceptos como demolición y transporte. Normalmente, también requiere más mano de obra que construir de nuevo. Además, debe tenerse en cuenta el beneficio cultural si se preservan edificios conocidos y emblemáticos, así como las oportunidades de aprender cómo se trabajaban los edificios antiguos, muchos de los cuales fueron construidos con técnicas y materiales sostenibles y han durado muchos años.

La normativa sobre construcción puede presentar problemas para los trabajos de restauración. En la mayoría de los estados de la Unión Europea, los requisitos de la normativa sobre construcción se expresan en términos de rendimiento: "aislamiento térmico razonable", "rendimiento estructural adecuado". Las recomendaciones asociadas están concebidas para obras nuevas y no siempre tienen en cuenta la resistencia, el aislamiento térmico y otras características de los edificios existentes. Es posible que la normativa no permita niveles que anteriormente fueron aceptables, lo que exige amplias mejoras que, a veces, dan un resultado estético poco aceptable que hace recomendable su demolición y nueva construcción, aunque, de hecho, lo más sostenible sería conservar y renovar el edificio antiguo.

Suele resultar útil realizar una auditoría energética del edificio antes de abordar la rehabilitación. Esta auditoría puede llevarla a cabo el propio arquitecto, aunque los especialistas podrán proporcionar muchos datos, sobre todo en lo que se refiere a estrategias sostenibles de rehabilitación, que a menudo son sorprendentemente rentables. La auditoría, junto con una evaluación del rendimiento energético del edificio rehabilitado, puede facilitar indicaciones muy útiles sobre el potencial de mejora.

El alcance de los proyectos de rehabilitación puede ir desde una redecoración hasta una renovación parcial de la estructura primaria, con las consiguientes alteraciones y renovaciones. Los sistemas de calefacción, iluminación, ventilación y refrigeración se hacen más eficientes, y los elementos del cerramiento exterior, como ventanas, puertas, dispositivos para proporcionar sombra y elementos opacos, tienen el potencial de mejorar el rendimiento. La Tabla 1.14 ofrece una lista de obras que convendría tener en cuenta en proyectos de un alcance importante.

Tabla 1.14 Consideraciones durante la fase de rehabilitación

<p>Antes de abordar el proyecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una auditoría energética del edificio.
<p>Identificar el potencial de mejora medioambiental del edificio, incluyendo:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la luz natural mediante lucernarios. • Reducción del sobrecalentamiento mediante lamas externas o persianas. • Reducción de la demanda de calefacción mediante la instalación de sistemas de doble puerta y por medio de añadir aislamiento a los muros exteriores y a la cubierta. • Mejora del rendimiento del cerramiento con ventanas y puertas de calidad. • Facilitar la ventilación natural añadiendo paños practicables en ventanas y lucernarios. • Controlar la ventilación y las posibles infiltraciones. • Aumentar el rendimiento de los sistemas activos mediante mejores controles (temporizadores, termostatos, sistemas integrados de control de edificios) y accesorios más eficientes (lámparas, calefactores). • Mejorar la calidad del aire interior sustituyendo los acabados sintéticos por acabados naturales: linóleo, pinturas acuosas.
<p>A tener en cuenta en las rehabilitaciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejores controles de los sistemas activos. Los siguientes suelen ser rentables: <ul style="list-style-type: none"> • controladores programables de estado sólido para calefacción y ventilación; • interruptores de luz automáticos; • termostatos individuales para cada espacio radiador; • controles de compensación climática • Cerramiento exterior más hermético. • Mejora del aislamiento térmico: no siempre es fácil, pero, si se cambia la cubierta, podría ser posible mejorar el aislamiento térmico por poco más. El aislamiento de los muros exteriores puede mejorar muchísimo el rendimiento térmico y aumentar el confort interior. • Si se van a cambiar las ventanas o las puertas exteriores, normalmente merecerá la pena instalar mejores calidades. • La instalación de dobles ventanas interiores crea minigalerías, precalienta el aire de la ventilación y reduce la transmisión de ruido exterior. • Los acabados de alta calidad para suelos y paredes son más duraderos y compensan el coste adicional. • Al mismo tiempo que se restaura la fachada, pueden introducirse mecanismos de control climático pasivo, cortavientos de doble puerta en las entradas exteriores, dispositivos para proporcionar sombra con lamas fijas o móviles, e invernaderos. • Introducir componentes sostenibles que no existían previamente, como colectores solares en cubierta, células fotovoltaicas y ascensores de bajo consumo.

Notas

¹ *SECTEUR: estudio estratégico sobre el sector de la construcción*, Comisión Europea, DG III, Bruselas, 1995.

2. Temas

Introducción

No resulta fácil definir los parámetros que deben considerarse en el proyecto de edificios ecológicos, sobre todo si se pretende que sean útiles para el arquitecto en las primeras fases conceptuales del proceso.

En un edificio ecológico el proyectista debería considerar, además del confort y la salud de los ocupantes, el efecto del edificio en el medio ambiente global y local. Podríamos ilustrar la relación entre confort, salud y medio ambiente en un sistema cartesiano de coordenadas (2.1) con tres ejes que se corresponden con estos tres aspectos del rendimiento del edificio:

1. Confort de los ocupantes

Existen muchos factores que afectan al confort, como la actividad, la ropa, la edad y el sexo del individuo, además de ciertos aspectos del ambiente interior, como la temperatura del aire y de las superficies, la humedad, el movimiento del aire, el ruido, la luz y los olores.

2. Salud de los ocupantes

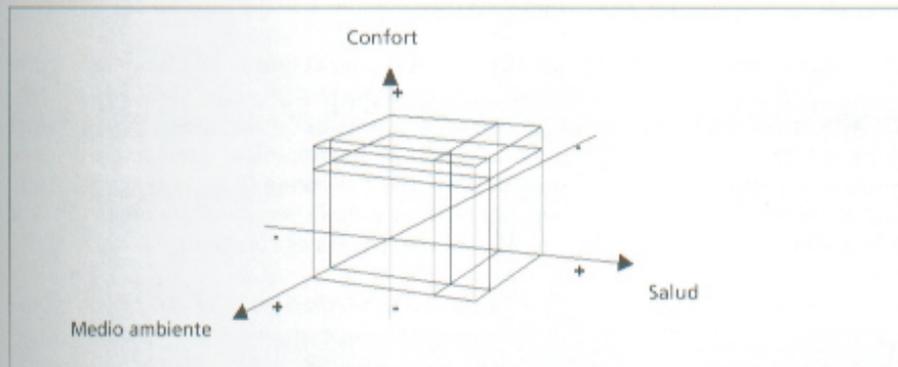
Un ambiente interior de mala calidad afecta a la salud de los ocupantes:

- puede contener sustancias tóxicas o alergénicas
- puede ser estresante o inseguro
- puede favorecer la transmisión de enfermedades contagiosas

3. Impacto ambiental del edificio

La construcción y el uso de un edificio afectan al medio ambiente; sus consecuencias en el ámbito local siempre han sido reconocidas, pero ahora se constata también su efecto a mayor escala, como el calentamiento global o el agotamiento de los recursos.

Un edificio ecológico debería ubicarse en el cuadrante positivo de este gráfico.



2.1 Diagrama cartesiano esquemático que ilustra la relación entre confort, salud y medio ambiente.

Este sistema cartesiano es una herramienta conceptual que resulta útil como guía para reflexionar sobre el proceso de construcción ecológico, pero, obviamente, se encuentra muy lejos de ser un instrumento para evaluar un proyecto concreto. Mientras que los parámetros físicos que definen el confort son conocidos y aceptados ampliamente, todavía están poco claros aquellos que determinan la calidad del ambiente interior en relación con la salud de los ocupantes y el impacto del edificio sobre el medio ambiente exterior. Además, el peso que se da a los distintos componentes que constituyen los parámetros individuales, y su ubicación en el cuadrante positivo o en los negativos, está profundamente influenciado por el contexto cultural del edificio, y depende de la percepción personal o profesional del riesgo medioambiental.

Introducción

Confort

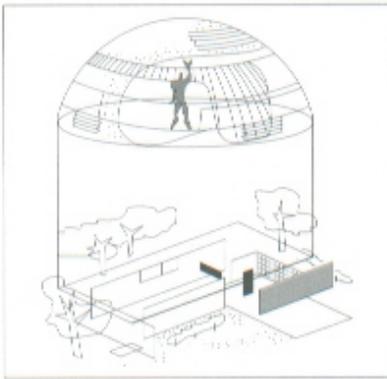
Confort térmico
Confort visual
Calidad del aire interior
Calidad acústica
Objetivos

Salud

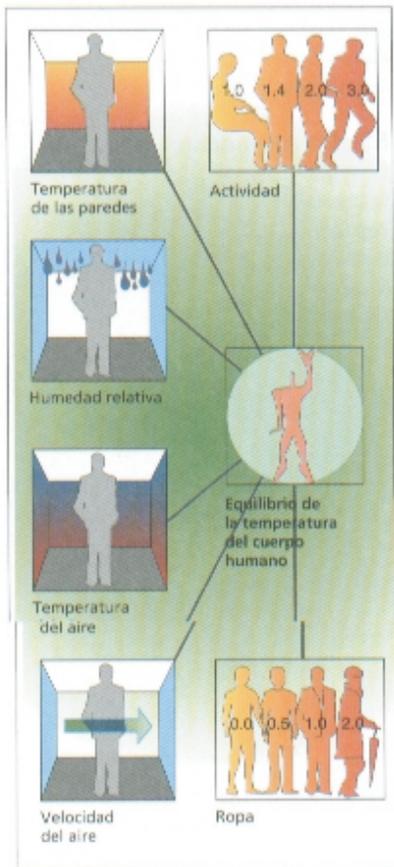
Calidad del aire interior
Materiales
Luz natural
Ruido
Objetivos

Medio ambiente

Energía
Materiales
Agua
Residuos
Ruido
Objetivos



2.2 Modelo teórico de la vivienda equilibrada.



2.3 Parámetros que determinan el confort térmico.

Unidades:

La unidad de energía metabólica es el met

1 met = 58 W/m²

teniendo en cuenta que el cuerpo humano tiene una superficie de aproximadamente 1,8 m².

La unidad de aislamiento térmico de la ropa es el clo

1 clo = 0,155 m²K/W

Confort

El edificio modifica el entorno natural exterior, modera el clima y proporciona protección y abrigo, y los proyectistas deben entender cómo interactúa el clima exterior con el edificio y el cuerpo humano (2.2). El confort es subjetivo y depende de la edad, el sexo, la cultura y de quién paga las facturas. En la práctica, los proyectistas intentan crear condiciones que resulten aceptables para la mayoría de los usuarios.

Los estándares convencionales de confort, como los que recoge la norma ISO 7730, se basan en estudios realizados en laboratorios de clima. Sin embargo, los estudios de campo sugieren que las predicciones basadas en esos estudios de laboratorio no son totalmente fiables, porque no tienen en cuenta la capacidad de adaptación de los individuos (por ejemplo, quitarse la chaqueta o bajar las persianas) o la necesidad de variación en su entorno.¹ Por tanto, las temperaturas óptimas prescritas por esos estándares pueden hacer que se sobrestimen los requisitos de calefacción y refrigeración. Si se tiene en cuenta que una reducción de 1 °C en la temperatura del aire puede ahorrar un 10 % del consumo de energía en un sistema de calefacción, resulta evidente la importancia que tiene la evaluación cuidadosa de los objetivos relacionados con el rendimiento ambiental interior.

Confort térmico

“La zona de confort podría describirse como el punto en el que el hombre gasta la energía mínima para adaptarse a su entorno”.²

El confort térmico puede definirse como una sensación de bienestar en lo que se refiere a la temperatura. Se basa en conseguir el equilibrio entre el calor producido por el cuerpo y su disipación en el ambiente.

La temperatura interior del cuerpo humano se mantiene constante. El cuerpo humano no dispone de ningún sistema de almacenamiento térmico y debe disipar el calor que genera. El equilibrio depende de siete parámetros: tres de ellos —el metabolismo, la ropa y la temperatura de la piel— guardan relación con el individuo, y los otros cuatro —la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura superficial de los elementos y la velocidad del aire— tienen que ver con el entorno (2.3). Aunque estos parámetros pueden aplicarse de una forma general, el proyecto también deberá tener en cuenta que existen condiciones locales específicas importantes (el sol que entra por una ventana, el peso, la capacidad de adaptación y otros factores subjetivos) que afectan a la percepción del confort.

El metabolismo es la suma de las reacciones químicas que se producen en el cuerpo humano para mantener la temperatura corporal a 36,7 °C y compensar la pérdida de calor hacia el ambiente. La producción de energía metabólica (calor) depende del grado de actividad física (2.4). La ropa impide el intercambio de calor entre la superficie de la piel y el ambiente que nos rodea (2.5). La temperatura de la piel depende del metabolismo, de la ropa y de la temperatura ambiente, y, a diferencia de la temperatura interior del cuerpo, no es constante.

La temperatura del aire/ambiente influye en la pérdida de calor del cuerpo humano a través de los mecanismos de convección y evaporación.

La humedad relativa es la cantidad de humedad del aire, y se indica como un porcentaje de la humedad máxima que podría contener a esa temperatura y a esa presión. La humedad relativa influye en la pérdida de calor porque permite un mayor o menor grado de evaporación. Exceptuando situaciones extremas, la influencia de la humedad relativa en la sensación de confort térmico es relativamente pequeña. En regiones de clima moderado, por ejemplo, el incremento de la humedad relativa del 20 al 60 % sólo consigue reducir la temperatura en un 1 °C como máximo, sin apenas afectar al confort térmico.

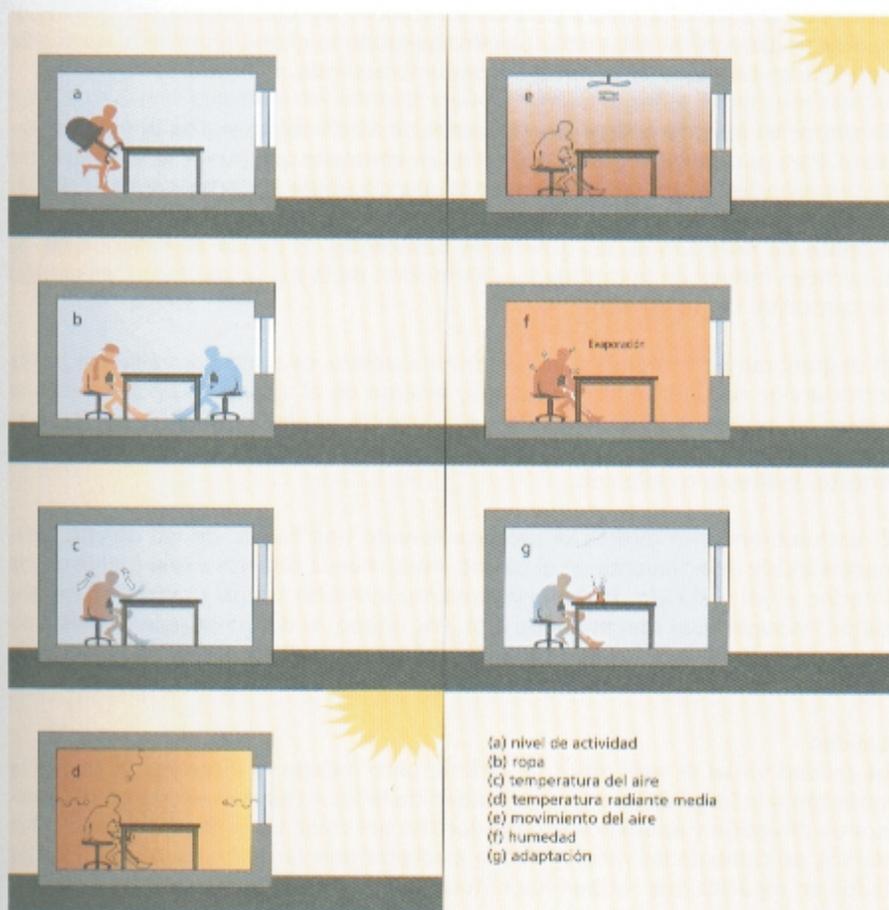
La temperatura radiante media es la temperatura media de la superficie de los elementos que circundan un espacio. Afecta tanto al calor que el cuerpo pierde por radiación como al que pierde por conducción cuando está en contacto con esas superficies. En los edificios mal aislados, las superficies interiores suelen estar frías, por lo que la temperatura del aire debe ser más alta para compensarlo. Un aumento de la temperatura radiante media significa que las condiciones de confort pueden alcanzarse a temperaturas del aire inferiores, y una reducción de 1 °C en la temperatura del aire puede ahorrar hasta un 10 % del consumo de energía. Por tanto, el aislamiento ahorra energía, no sólo porque reduce la pérdida real de calor del edificio, sino también porque permite reducir la temperatura del aire.

La velocidad del aire no reduce la temperatura, pero crea la sensación de frescor gracias a la pérdida de calor por convección y al aumento de la evaporación. En el interior de los edificios, la velocidad del aire es normalmente inferior a 0,2 m/s.

La realización de los cálculos a partir de unas temperaturas fijas aceptadas internacionalmente es una práctica habitual, pero los estudios demuestran que los individuos no tienen una relación pasiva ante su entorno. Cuando es posible, buscan condiciones más cómodas (sol o sombra, viento o abrigo) y cambian de postura, ropa o actividad para mejorar su confort.

En los estudios de campo, el abanico de temperaturas que se consideran cómodas es más amplio de lo que cabría esperar. Los individuos acostumbrados a altas temperaturas indican que las consideran aceptables, lo que sugiere un cierto grado de aclimatación que modifica el grado de aceptabilidad térmica. "Esto significa que no es necesario que las temperaturas interiores sean uniformes en todo el mundo: cada región podría adoptar temperaturas adecuadas al clima o la estación preponderante".²

Considerar la adaptabilidad de las personas y los edificios significa que las definiciones de confort también pueden ampliarse. Un proyecto inteligente utilizará la masa del edificio para moderar los cambios de temperatura; elementos ajustables, como persianas, contraventanas y ventilación para responder a condiciones variables; y sistemas activos de calefacción o refrigeración para mantener la temperatura deseada o, por lo menos, moderar el clima exterior.



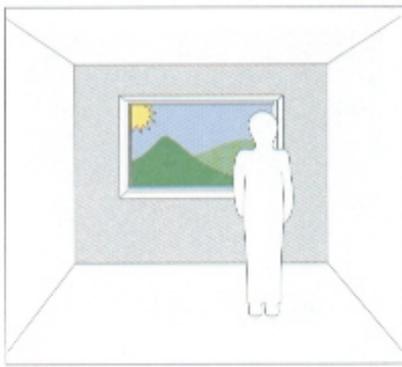
2.6 Proyectar en busca del confort térmico.

ACTIVIDAD	W/m²	met
Descansar		
Dormir	40	0,7
Estar tumbado	45	0,8
Estar sentado, quieto	60	1,0
Estar de pie, relajado	70	1,2
Caminar (en llano)		
0,83 m/s	115	2,0
1,34 m/s	150	2,6
1,75 m/s	220	3,8
Actividades de oficina		
Leer, sentado	55	1,0
Escribir	60	1,0
Escribir a máquina	65	1,1
Archivar, sentado	70	1,2
Archivar, de pie	80	1,4
Caminar por la oficina	100	1,7
Levantar peso, embalar	120	2,1
Conducir/pilotar		
Coché	60-115	1,0-2,0
Autón, rutina	70	1,2
Autón, afeitado instrumental	105	1,8
Autón, combi	140	2,4
Vehículo pesado	185	3,2
Actividades varias		
Cocinar	95-115	1,6-2,0
Limpieza doméstica	115-200	2,0-3,4
Sentado, moviendo las extremidades	130	2,2
Trabajo con maquinaria sencilla (masa de luz)	105	1,8
Trabajo con maquinaria pesada (industria eléctrica)	115-140	2,0-2,4
Cargar sacos de 50 kg	235	4,0
Trabajo de piso y sala	255-280	4,0-4,8
Actividades de ocio variadas		
Bañar	140-255	2,4-4,4
Calistenia/ejercicio	175-235	3,0-4,0
Tenis individual	210-270	3,6-4,0
Baloncesto	250-440	5,0-7,6
Lucha libre	410-505	7,0-8,7

2.4 Generación de calor metabólico típica durante distintas actividades.

Ropa	Resistencia térmica	
	m²K/W	clo
Desnudo	0	0
Pantalón corto	0,015	0,1
Conjunto típico de ropa tropical: calzoncillos, pantalón corto, camisa de cuello pico y manga corta, calcetines finos y sandalias	0,045	0,3
Conjunto de ropa ligera de verano: calzoncillos, pantalón ligero largo, camisa de cuello pico y manga corta, calcetines finos y zapatos	0,08	0,5
Conjunto de ropa ligera para trabajar: ropa interior ligera, camisa de trabajo de manga larga de algodón, pantalones de trabajo, calcetines de lana y zapatos	0,11	0,7
Conjunto típico de invierno para interior: ropa interior, camisa de manga larga, pantalones, chaqueta o jersey de manga larga, calcetines gruesos y zapatos	0,16	1,0
Traje de oficina grueso, tradicional en Europa: ropa interior de algodón, de manga y pierna largas, camisa, traje (incluyendo pantalones, chaqueta y chaleco), calcetines de lana y zapatos fuertes	0,23	1,5

2.5 Aislamiento térmico de diferentes conjuntos de ropa.



2.7 Las ventanas tienen ventajas evidentes.

Luminancia (candelas/m²): flujo de luz que procede de una superficie y llega al ojo del observador.

Iluminancia (lux): luz que incide sobre una unidad de área de una superficie concreta.

Lux: unidad del Sistema Internacional que mide la iluminancia producida en una superficie de un metro cuadrado por un flujo luminoso de un lumen distribuido uniformemente por esa superficie.

Factor de luz diurna (%): iluminancia en un punto concreto del interior, expresado como un porcentaje de la iluminancia horizontal exterior simultánea bajo un cielo claro.

2.8 Definiciones.

	Medio	Mínimo
Iglesia	5,0 %	1,0 %
Sala de hospital	5,0 %	1,0 %
Oficina	5,0 %	2,0 %
Aula	5,0 %	2,0 %
Sala de estar	1,5 %	0,5 %
Dormitorio	1,0 %	0,3 %
Cocina	2,0 %	0,6 %

2.9 Factores de luz diurna recomendados (CIBSE, 1987).

Luminancia

fondo de la tarea visual : entorno
3 : 1

fondo de la tarea visual :
campo periférico
10 : 1

fuelle de luz : campos adyacentes
20 : 1

interior en general
40:1

2.10 Relaciones de luminancia recomendadas.

Confort visual

Una mala iluminación puede producir fatiga visual, dolores de cabeza, irritabilidad, errores y accidentes. La iluminación confortable de un espacio depende de la cantidad, distribución y calidad de la luz. La fuente de luz puede ser natural, artificial, o ambas a la vez; sin embargo, las ventanas ofrecen claras ventajas. En centros de enseñanza, hospitales y fábricas, la ausencia de vistas al exterior puede tener consecuencias psicológicas negativas. En oficinas, los beneficios psicológicos de tener ventanas han demostrado ser incluso mayores que los beneficios físicos de los que los propios ocupantes se han percatado.

Casi todos los espacios necesitan luz artificial cuando oscurece, y algunos espacios y actividades la necesitan durante el día. Cuando esto sucede, el espectro lumínico de la luz artificial debería ser lo más parecido posible al de la luz natural.

Cantidad

Los niveles de iluminación recomendados para cada tarea específica están bien definidos. Si se especifican e implementan según los estándares aceptados, no es probable que los ocupantes tengan problemas. Deberían establecerse los requisitos concretos de iluminación para los usuarios y las actividades del edificio tomando como referencia las tablas de iluminancias recomendadas para distintas actividades (2.9), como los códigos CIBSE del Reino Unido u otras fuentes.⁴

Distribución

La distribución de la luz en un espacio suele ser más importante que la cantidad; su uniformidad afecta a la percepción de claridad. Cuando hay demasiada diferencia entre los niveles de luz natural cerca de las ventanas y lejos de ellas, los ocupantes de la zona más oscura tienden a encender las luces, a pesar de que disponen de la luz natural adecuada. La percepción de la distribución de la luz puede definirse en términos de contraste o deslumbramiento.

El contraste es la diferencia entre la apariencia de un objeto y el de su fondo inmediato. Para garantizar el confort, el grado de contraste que puede permitirse entre distintas partes de un mismo campo visual está sujeto a ciertos límites (2.10). El contraste puede definirse mediante la comparación de la luminancia, iluminancia o índice de reflexión de las superficies adyacentes. El índice de reflexión de las superficies influye en la cantidad y distribución de la luz (y, por tanto, en el nivel de contraste) de un espacio.

El deslumbramiento significa un contraste excesivo, causado normalmente por la introducción de una fuente de luz muy intensa en el campo visual que crea una sensación incómoda y fatigante. Para el ocupante, el efecto puede ser desde levemente molesto hasta absolutamente cegador. El deslumbramiento puede ser directo, indirecto o reflejado.

El deslumbramiento directo se produce cuando una fuente de luz de alta luminancia incide directamente en el campo visual. Puede deberse a una fuente de luz interior, al sol o al cielo. El deslumbramiento indirecto ocurre cuando la luminancia de las superficies es demasiado alta. Por último, el deslumbramiento reflejado se produce cuando la luz se refleja en superficies pulidas con un alto índice de reflexión.

Calidad

La calidad visual es más difícil de definir, pero incluye la dirección, el color y la variación a lo largo del tiempo. La calidad de la luz natural es excelente en términos de dirección y apariencia y reproducción del color. La gente disfruta de la luz del sol, así como de las vistas, y tiende a aceptar una variación de la intensidad de la luz en espacios que reciben luz natural que no toleraría si se tratase de un sistema de iluminación artificial.

Calidad del aire interior

Este parámetro está menos definido en comparación con otros parámetros de confort. Siempre que la calidad del aire exterior sea aceptable, los problemas tradicionales de ambiente cargado y malos olores pueden resolverse normalmente mediante tasas adecuadas de renovación, una distribución eficaz del aire y el control de las fuentes interiores de contaminación. Cuando el aire exterior es impuro, o el uso concreto del edificio pone a prueba los sistemas de ventilación, puede ser necesario adoptar otras medidas (véase SALUD; Calidad del aire interior).

Calidad acústica

Aunque la calidad acústica no es una cuestión prioritaria en el proyecto sostenible, se debería tener en cuenta sus consecuencias (2.11). Por ejemplo, la ventilación natural puede requerir que se abran ventanas o rejillas de ventilación entre espacios interiores, pero los ruidos molestos o la pérdida de intimidad acústica no pueden considerarse consecuencias aceptables. Si se evitan las alfombras u otros acabados absorbentes en los suelos con el fin de aprovechar la inercia térmica de la estructura, puede ser necesario adoptar otras medidas para reducir la transmisión del ruido de impacto y conseguir un amortiguamiento acústico óptimo en los espacios ocupados.

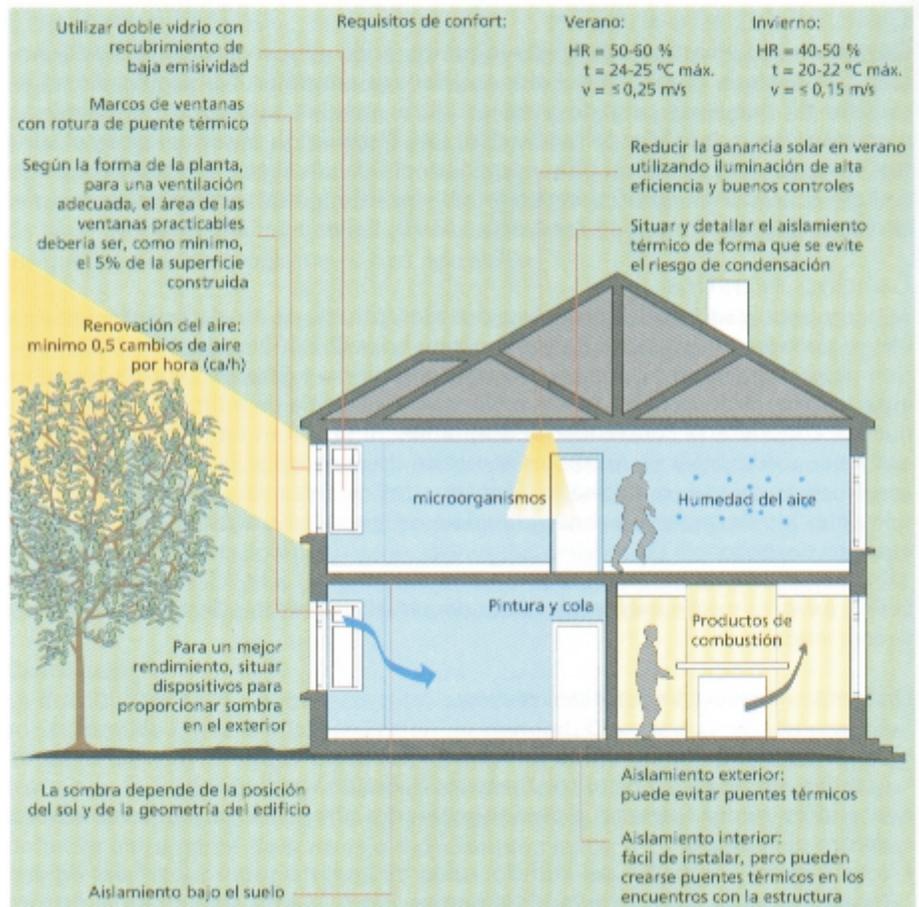
Los parámetros medioambientales estándares incluyen niveles de ruido aceptables y recomendados.

Las fuentes de molestia acústica incluyen:

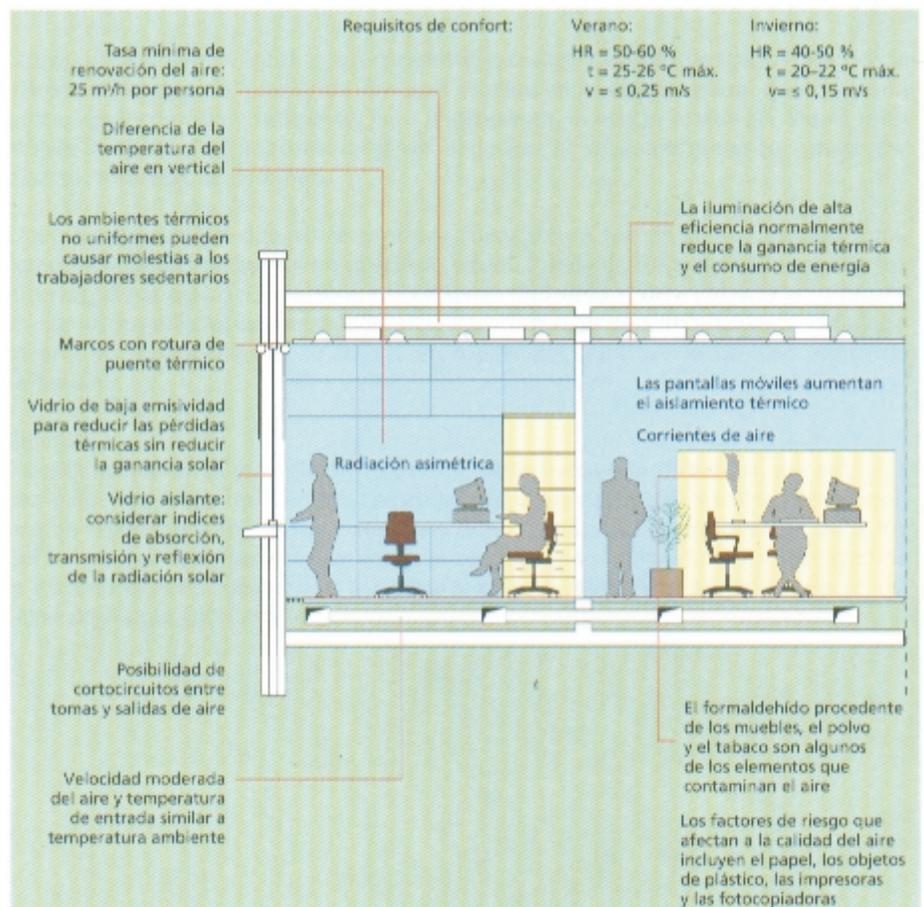
- exteriores: tráfico o pérdida de intimidad acústica debido a ventanas abiertas (pueden entrar en conflicto con las necesidades de ventilación);
- interiores: ruidos fuertes o molestos generados por actividades que se realizan dentro del edificio;
- construcción y acabados del edificio: ruido de impacto sobre superficies rígidas (probablemente como resultado de aprovechar la inercia térmica de la estructura);
- instalaciones: ruido producido por las instalaciones del edificio (por ejemplo, la ventilación mecánica).



2.11



2.12 Confort térmico y calidad del aire interior en el hogar.



2.13 Confort térmico y calidad del aire interior en la oficina.

Objetivos

Proteger a los ocupantes de los elementos

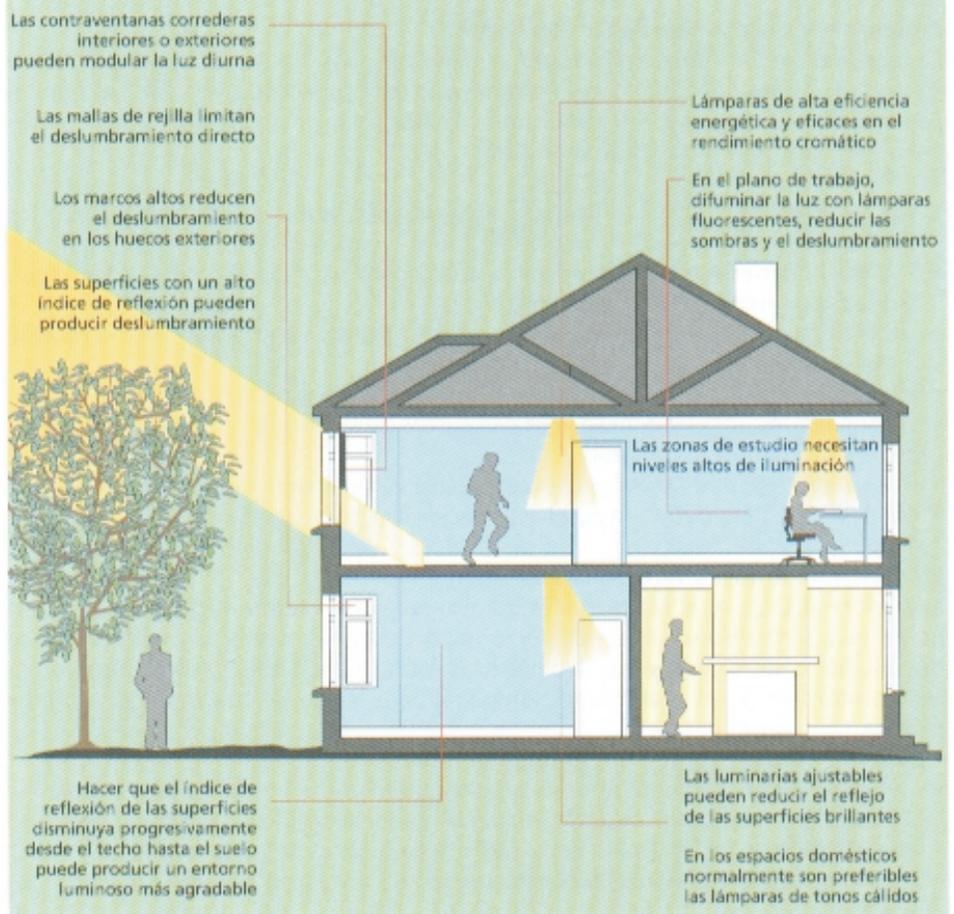
La recopilación de información sobre el clima forma parte de cualquier estrategia para crear un edificio saludable. Permite que los proyectistas evalúen un emplazamiento para prevenir las condiciones meteorológicas adversas o los riesgos naturales que podrían afectar al edificio.

- Los edificios deberían planificarse y situarse en relación con la topografía y los vientos dominantes.
- El edificio debería estar proyectado y construido para evitar la humedad (capilaridad, penetración, condensación).
- Las estructuras y las cubiertas deberían poder resistir vientos fuertes y cargas de nieve intensas.
- El cerramiento debería impedir la infiltración excesiva de aire.
- En climas fríos, el cerramiento y los conductos de las instalaciones deberían estar protegidos contra las heladas.
- Deberían adoptarse medidas concretas para evitar inundaciones locales.
- Los edificios altos deberían estar equipados con pararrayos.

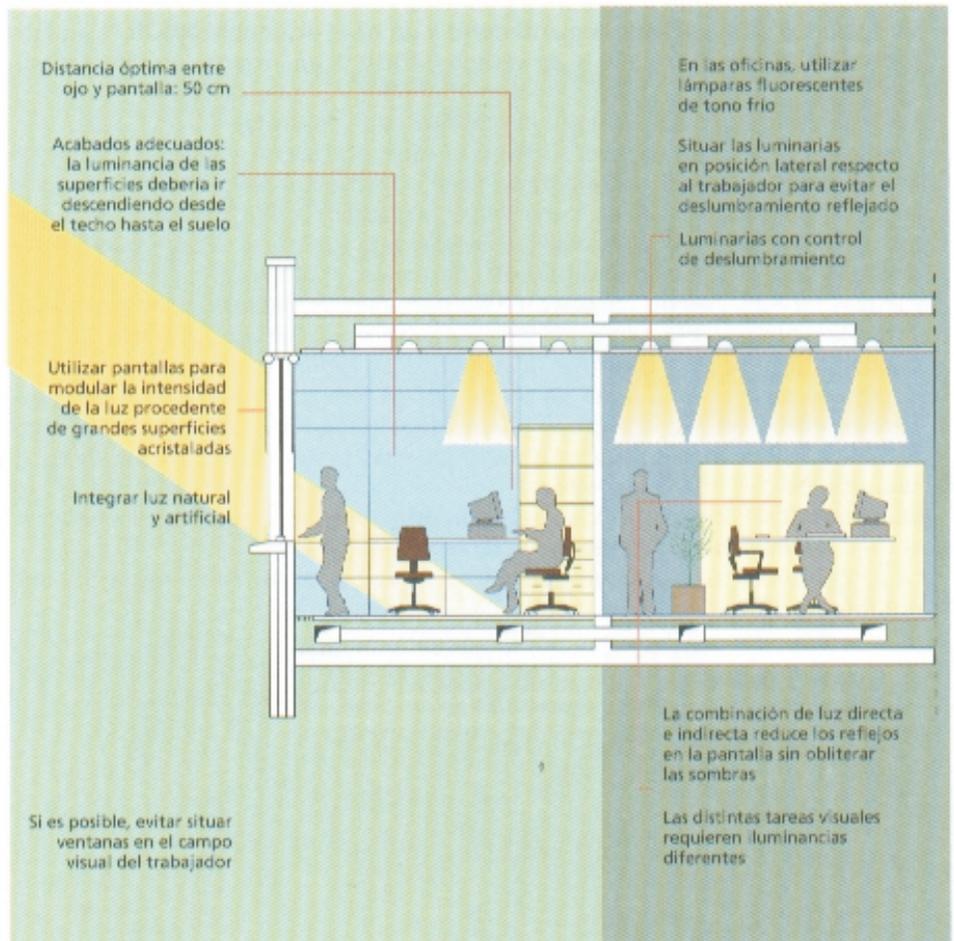
Mantener un entorno térmico confortable

El confort térmico es el estado en el que el mecanismo termorregulador del cuerpo no está sometido a ningún esfuerzo importante. Por tanto, el mantenimiento del equilibrio térmico interior debería prevenir subidas o bajadas indebidas de la temperatura corporal y, al mismo tiempo, ayudar a que las funciones fisiológicas prosigan con normalidad.

- La temperatura ambiente debería proporcionar confort térmico a los ocupantes (20-22 °C en invierno y 24-26 °C en verano son temperaturas razonables, pero debería tenerse en cuenta la actividad y la capacidad de adaptación).
- La temperatura óptima debería alcanzarse a la altura de la rodilla, a 0,5 m del suelo.
- La temperatura radiante media debería ser 3 °C inferior a la temperatura del aire interior que se considera óptima.
- El movimiento del aire en los espacios no debería ser excesivo (los niveles aceptables son 0,1-0,15 m/s en invierno y 0,25 m/s en verano).
- La humedad relativa debería mantenerse a un nivel aceptable (40-70 % en latitudes septentrionales; 50-60 % en verano y 40-50 % en invierno en climas mediterráneos).
- Los sistemas de calefacción deberían ser fáciles de controlar.
- Una proporción media del 30 % entre la superficie de las ventanas y la de los muros es un buen punto de partida para el proyecto, pero debería ajustarse teniendo en cuenta el clima, la orientación y el uso del edificio. En los climas cálidos, se debe considerar la posibilidad de limitar la superficie de ventanas a aproximadamente el 10 % de la superficie construida.
- Los mecanismos de control solar, como persianas venecianas, contraventanas, pantallas, deflectores y vidrios fotocromáticos, termocromáticos o electrocromáticos, pueden utilizarse para controlar la incidencia de radiación solar.
- Los muros exteriores pintados de colores claros reflejan la radiación solar.
- Los cinturones verdes, los árboles y las plantas trepadoras, así como los depósitos de agua, pueden utilizarse para reducir las temperaturas de los muros y cubiertas en condiciones de calor.
- En los climas cálidos, los edificios deberían estar orientados de manera que aprovechen los vientos dominantes en verano.
- La ventilación natural nocturna es eficaz para reducir la temperatura del aire durante las épocas de calor.



2.14 Confort visual en el hogar.



2.15 Confort visual en la oficina.

Proporcionar confort visual

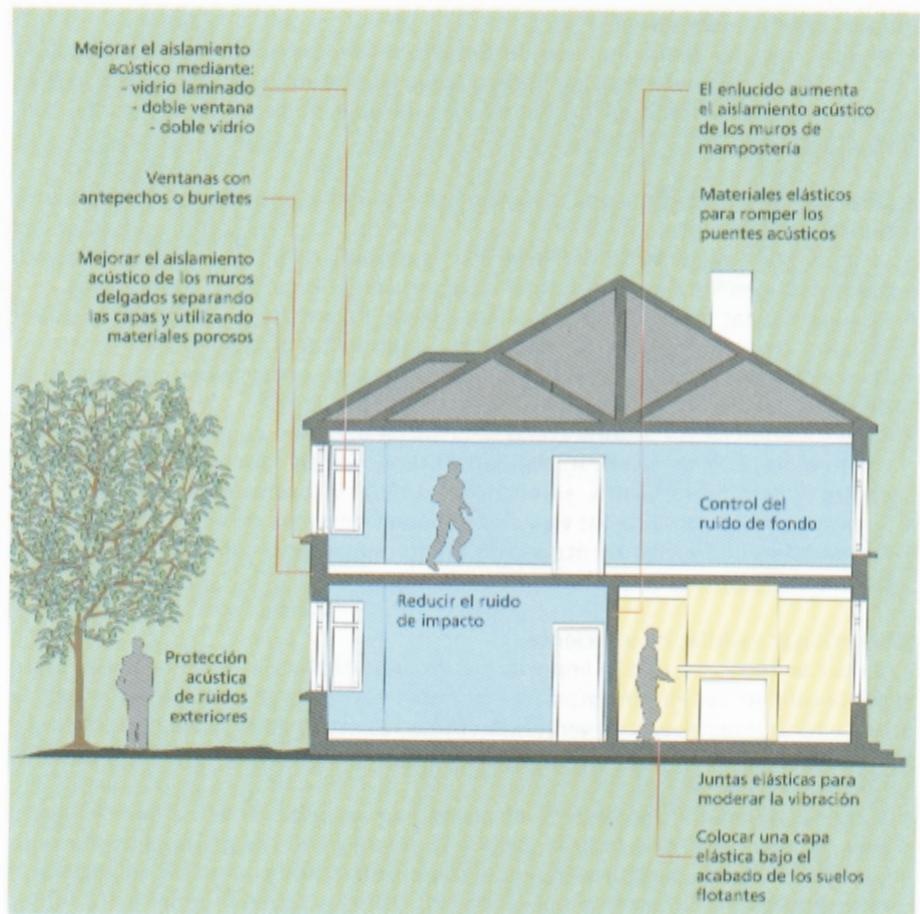
El objetivo de una buena iluminación debería ser proporcionar una luz adecuada tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. En cualquier clima, es necesario encontrar un equilibrio entre los requisitos de luz natural y los del confort térmico.

- Una buena orientación y una distancia correcta entre edificios favorecen la incidencia de luz natural.
- La proporción de superficie acristalada y la disposición de las ventanas deberían garantizar una iluminación natural adecuada en el interior de los edificios.
- Para garantizar una distribución adecuada de luz natural, sería deseable poder ver algo de cielo desde la mayoría de las zonas de un espacio.
- El espectro de la luz artificial que se utilice durante el día debería ser similar al de la luz natural.
- Tanto la iluminación natural como la artificial deberían cumplir ciertos requisitos fisiológicos y de salud: intensidad óptima, similar luminosidad, protección contra el deslumbramiento, ausencia de sombras y contraste adecuado.
- Siempre que sea posible, los espacios deberían disponer de ventanas o lucernarios que permitan que los ocupantes mantengan cierto contacto visual con el exterior.

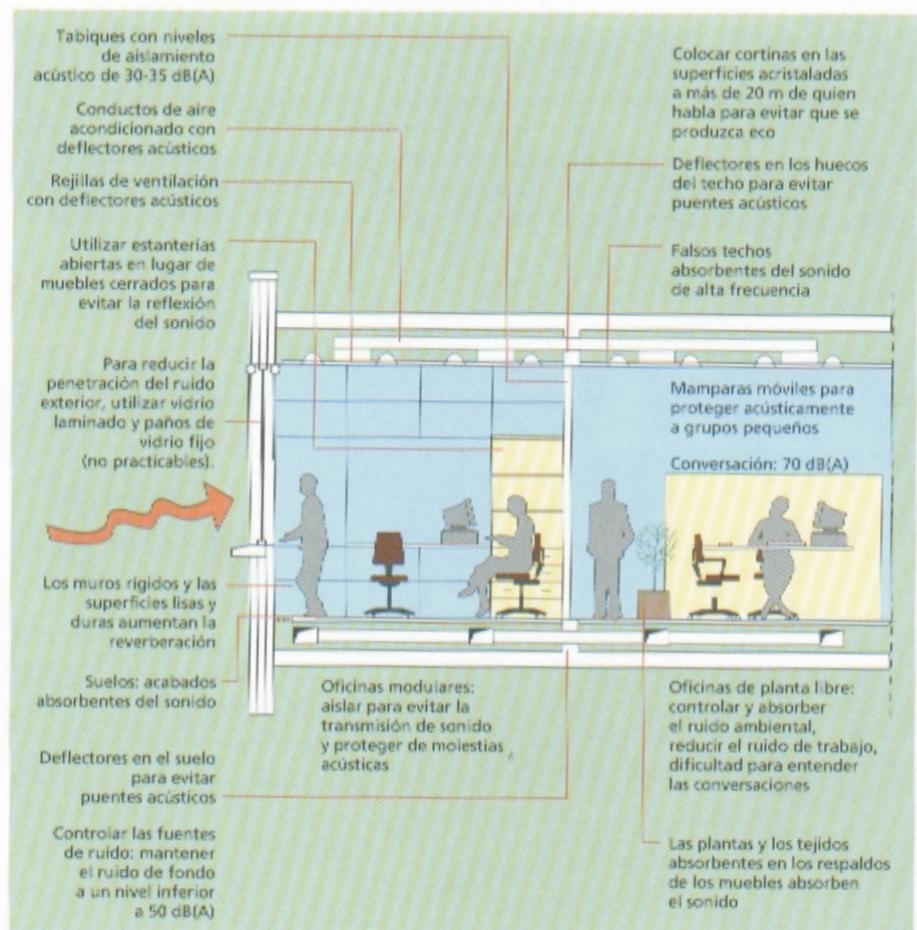
Proporcionar ventilación suficiente

Cada vez se reconoce más la importancia de una ventilación adecuada para mantener la calidad del aire interior. Esto se debe, al menos en parte, a la tendencia actual a reducir los niveles de ventilación como resultado de cambios en los estilos y técnicas de construcción, y/o de medidas deliberadas para reducir la pérdida de calor.

- El caudal de ventilación debería ajustarse a los estándares de calidad del aire y a las recomendaciones sanitarias (media: 25 m³ por persona y por hora en oficinas).
- Las filtraciones de aire pueden, por sí solas, proporcionar un nivel adecuado de renovación del aire. Sin embargo, todos los edificios deberían tener mecanismos adicionales de ventilación controlada, eficaces y fáciles de usar.
- La zona practicable de las ventanas debería llegar hasta cerca de los techos, para permitir la salida del aire caliente que se acumula en la parte superior de los espacios.
- Las ventanas deberían incorporar posibilidades de "microapertura" para ventilación, como las ventanas oscilobatientes.
- Las ventanas deberían permitir una ventilación fácil y controlable.
- Las entradas y salidas de aire de los sistemas mecánicos deberían estar situadas de forma que no causasen molestias acústicas a las propiedades cercanas.
- Si resulta inevitable la instalación de aire acondicionado, debería estar diseñado para facilitar los trabajos periódicos de limpieza y mantenimiento.



2.16 Confort acústico en el hogar.



2.17 Confort acústico en la oficina.

Proporcionar condiciones acústicas aceptables

Muchas actividades humanas, como, por ejemplo, trabajos intelectuales que requieran concentración, conversar, escuchar música o dormir, exigen niveles de ruido controlados y/o intimidad acústica.

- Los edificios pueden protegerse del ruido exterior con una buena orientación y utilizando barreras acústicas como muros, bermas o vegetación.
- Las actividades y los equipos que generen ruido dentro del edificio deberían situarse lo más lejos posible, en lugares no ocupados.
- Los espacios que comparten muros y suelos deberían estar dedicados, preferiblemente, a usos similares.
- La mejor forma de reducir la transmisión del sonido es aumentar la masa de los elementos estructurales del edificio, algo especialmente eficaz para ruidos de baja frecuencia.
- La transmisión de sonidos por el aire se reduce eliminando rendijas del cerramiento exterior y de las divisiones interiores.
- Los vanos de las ventanas son una de las principales causas de la infiltración de ruido. Dependiendo del entorno, pueden estar selladas o incorporar vidrios aislantes, como el laminado. Las rejillas de ventilación deberían estar provistas de deflectores acústicos.
- Colocar capas de material elástico bajo los suelos flotantes y falsos techos reduce la transmisión del ruido de impacto entre los edificios de viviendas.
- La transmisión indirecta del sonido a través de los muros con cámara debería reducirse colocando materiales absorbentes del sonido en su interior.
- Cuando se prevea una excesiva contaminación acústica dentro del edificio, deberían especificarse los componentes y los materiales absorbentes del sonido.
- Para reducir la transmisión de ruido en oficinas, deben incorporarse deflectores acústicos de alto rendimiento, que reflejan el sonido de nuevo hacia el espacio.
- Las tuberías de desagüe no deberían pasar cerca de salas de estar o dormitorios.
- Los motores de los ascensores o de cualquier otra maquinaria deberían colocarse sobre soportes elásticos.
- Los ventiladores deberían ser lo más grandes posibles para poder funcionar a la velocidad mínima.



2.18 Principales fuentes de contaminantes en un bloque de oficinas.

Contaminantes habituales del aire interior

- fibra de amianto
- vapor de formaldehído
- compuestos orgánicos volátiles (COV)
- humo de tabaco
- gas radón

2.19

Salud

Es evidente que las condiciones del interior de un edificio no sólo afectan al confort de sus ocupantes y usuarios, sino también a su salud. La mala calidad del aire interior, los materiales tóxicos, la falta de luz natural o el ruido excesivo pueden tener consecuencias perjudiciales duraderas.

La calidad del aire interior

La contaminación del aire interior ejerce un impacto directo sobre la salud que es superior al de la mayoría de los problemas ambientales y, por tanto, afecta a la productividad. Los efectos de la contaminación del aire interior sobre la salud humana incluyen alergias, asma, enfermedades contagiosas, cáncer y alteraciones genéticas. Cuando los efectos son generalizados, crónicos y de baja intensidad en inmuebles concretos, la situación se conoce como SEE, Síndrome del Edificio Enfermo.⁵ La calidad del aire interior viene determinada por la calidad del aire en el exterior del edificio, las emisiones de contaminantes en el interior y el caudal de ventilación, así como por la eficacia de los sistemas de filtración y el grado de mantenimiento de las instalaciones mecánicas o de otro tipo.

La gente pasa un 80-90 % del tiempo en sus vidas dentro de edificios, pero todavía se desconoce el impacto de la exposición constante a las emisiones de baja intensidad procedentes de la gran variedad de materiales que se encuentran habitualmente en su interior. La mayoría de estos agentes contaminantes provienen del propio edificio (2.18). Debido al aumento del uso de disolventes orgánicos, acabados interiores que emiten compuestos orgánicos volátiles (COV), productos de limpieza, ordenadores y otros equipos de oficina, la contaminación del aire interior se ha convertido en un grave problema.

Pretender que los edificios sean más herméticos para ahorrar energía afecta a la calidad del aire, pues se produce menos ventilación accidental y esto aumenta el polvo y la concentración de emisiones en el aire. Desde esta perspectiva, menores caudales de ventilación crean condiciones insalubres, aunque hay otra postura que sugiere que el verdadero problema lo constituye el aumento de las emisiones contaminantes en el interior de los edificios. Según N. Baker, el SEE se observa casi exclusivamente en edificios con sistemas de ventilación mecánica.⁵ Sin embargo, lo que queda claro es que en los espacios mal ventilados se producen altas concentraciones de esporas de moho, ácaros y compuestos orgánicos volátiles. También está demostrado que cuando se usan sistemas artificiales, sólo se consigue un ambiente interior saludable si están correctamente instalados, son totalmente operativos y reciben un mantenimiento adecuado.

Estos factores inciden sobre la necesidad de especificar los materiales y calcular los sistemas de ventilación de los edificios a conciencia.

Para controlar la contaminación del aire interior se utilizan tres enfoques principales:

- retirar la fuente de contaminación del edificio;
- controlar las emisiones contaminantes en el origen;
- expulsar las emisiones contaminantes del edificio a través de medidas de ventilación.

Materiales

En la producción de materiales de construcción, acabados y bienes de consumo se utilizan ciertos productos químicos y sustancias tóxicas (2.19). Algunos de estos productos contaminan el aire o el agua en el interior de los edificios, y otros son perjudiciales cuando se está en contacto con ellos o se ingieren. Pueden afectar a quienes los manipulan en su fabricación o los instalan en un edificio, a los usuarios del edificio y/o a los trabajadores que restauran o derriban el inmueble al final de su vida útil.

El plomo y el amianto presentan riesgos bien conocidos para la salud. Algunos materiales sintéticos, como el PVC, también pueden producir emisiones peligrosas durante su uso. Además, las pinturas, los barnices y los adhesivos son fuentes habituales de emisiones tóxicas (para más información sobre el impacto de distintas categorías de materiales sobre la salud y el medio ambiente, véase ELEMENTOS; Materiales).

Luz natural

La luz natural es beneficiosa para la salud y su carencia puede causar depresión (conocida como Trastorno Afectivo Estacional), enfermedades óseas (debido a la carencia de vitamina D) y trastornos del sueño y de concentración. También se ha demostrado que la luz natural es especialmente necesaria para los niños. En un centro de enseñanza de Alberta, Canadá, los alumnos en aulas con luz de espectro completo estaban más sanos, asistieron a clases de 3,2 a 3,5 días más, sufrieron nueve veces menos caries y crecieron una media de 2,1 cm más que sus compañeros en aulas con luz media.⁷ En un estudio comparativo de centros de enseñanza en el condado de Johnston, Carolina del Norte (EE UU), la tasa de asistencia era más elevada en los centros que disponían de luz natural; después de tres años en esos centros, las notas que obtuvieron los alumnos en los exámenes finales fueron un 14 % más altas que los alumnos de centros que no contaban con ella. Además, el efecto parecía incrementarse cuanto más tiempo estuvieran los alumnos en los centros con luz natural.⁸

Ruido

La exposición a niveles excesivos de ruido puede producir enfermedades relacionadas con el estrés y pérdida auditiva (2.20). Puede consultarse una lista de fuentes de molestia acústica en una sección anterior (Véase CONFORT; Calidad acústica).

Objetivos

Proteger contra los agentes contaminantes exteriores

El ambiente interior sufre una entrada constante, aunque variable, de agentes contaminantes procedentes del aire exterior. En esta categoría pueden incluirse partículas en suspensión, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, óxidos de carbono y plomo.

- Siempre que sea posible, los edificios deben estar situados lejos de carreteras y otras fuentes de contaminación.
- Plantar vegetación en el interior y en el exterior para absorber los contaminantes y el polvo.
- Evitar huecos exteriores que permitan la infiltración no prevista de aire exterior.
- Cuando la calidad del aire exterior sea inaceptable, se deben proporcionar ventanas selladas y ventilación mecánica.
- Las ventanas y las tomas de aire de los sistemas de ventilación mecánica se deben ubicar de forma que eviten la entrada de aire contaminado.

Controlar la contaminación de procesos en el interior del edificio

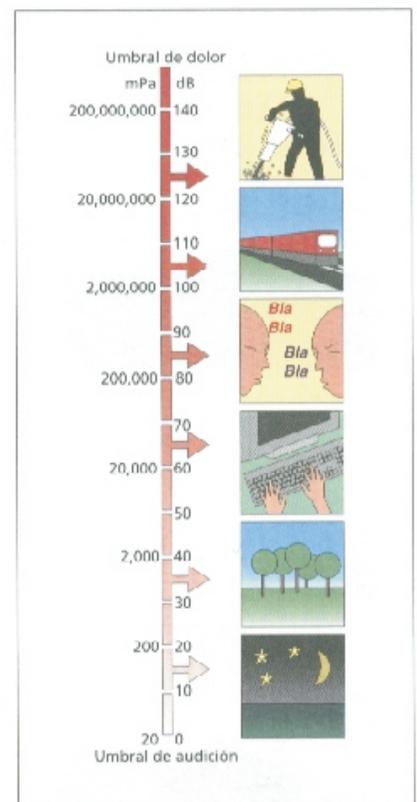
Los ocupantes y las actividades que se desarrollan en un edificio son una fuente de emisiones. Los contaminantes habituales incluyen óxidos de carbono y nitrógeno, malos olores, humo de tabaco, vapor de agua, patógenos transmitidos a través del aire y emisiones tóxicas procedentes de electrodomésticos y maquinaria.

- La mayoría de los casos de intoxicación por monóxido de carbono (CO) se producen debido a la combustión incompleta de combustibles utilizados para calentarse y cocinar. Los electrodomésticos y las salidas de humos deben recibir el mantenimiento correcto y la ventilación debe ser adecuada.
- Proporcionar extractores para la ventilación local de zonas de fumadores y de espacios con electrodomésticos o equipos que puedan generar emisiones.
- Proporcionar ventilación natural adecuada para diluir la concentración de microorganismos transportados por el aire.
- Permitir la entrada de luz natural directa a todas las estancias.
- Proporcionar luz natural y artificial suficiente para llevar a cabo revisiones y limpieza.

Proteger contra emisiones radioactivas

En circunstancias normales, la mayor exposición al radón proviene de la inhalación de subproductos que proceden de su desintegración y que están presentes en el aire interior.

- Cuando se sospecha que existen altos niveles de radón, debería hacerse un seguimiento radiológico.
- Aumentar la ventilación, tanto bajo el suelo como en las estancias.
- Colocar una barrera de vapor entre el terreno y el espacio habitable, o sellar suelos y muros para reducir las emisiones de radón.



2.20

Especificar materiales de construcción, acabados y equipamiento no tóxicos

- Exigir a los fabricantes o proveedores que indiquen el contenido de todos los materiales o componentes que se van a utilizar en el edificio y seleccionar los menos perjudiciales.
- Reducir al mínimo los acabados que emitan compuestos orgánicos volátiles en superficies expuestas al aire interior.
- Facilitar el acceso a las instalaciones para permitir el mantenimiento adecuado de los equipos de aire acondicionado o ventilación mecánica.
- Tras evaluar su estado, sellar o retirar de un edificio existente cualquier material con amianto, siempre que la posible liberación de polvo y fibras no genere más riesgo que dejarlo en su sitio.
- En los edificios existentes, considerar la retirada de tuberías de plomo y depósitos recubiertos con ese material, cuando la posible contaminación por el agua presente un problema.

Diseñar para obtener luz natural

- Las estancias donde los ocupantes pasan períodos considerables de tiempo al día deberían estar provistas de ventanas o lucernarios si la función del espacio lo permite.

Proteger del exceso de ruidos y vibraciones

- Las medidas para evitar el exceso de ruidos y vibraciones se incluyen en una sección anterior (véase CONFORT; Objetivos).

Medio ambiente

Los tipos de impacto que pueden producir los edificios sobre el medio ambiente son muy variados. Todos conocemos los problemas causados por los procesos relacionados con la construcción, como el calentamiento global, la reducción de la capa de ozono, la pérdida de hábitats naturales y biodiversidad, la erosión del suelo y la liberación de contaminantes tóxicos. Un enfoque útil sería concebir el futuro edificio como una nueva entidad, viva y saludable, pues forma parte integrante del emplazamiento. Los diagramas 2.21a y 2.21b ilustran los sistemas abiertos y lineales de los edificios convencionales y los sistemas cerrados, cíclicos y sostenibles que representan la alternativa.

Un edificio es una estructura física compuesta por distintos elementos, pero también una especie de "máquina viva": un lugar donde la gente desarrolla su actividad diaria, los electrodomésticos consumen energía, la temperatura debe regularse, etc. El impacto ambiental del edificio debe analizarse desde dos puntos de vista principales:

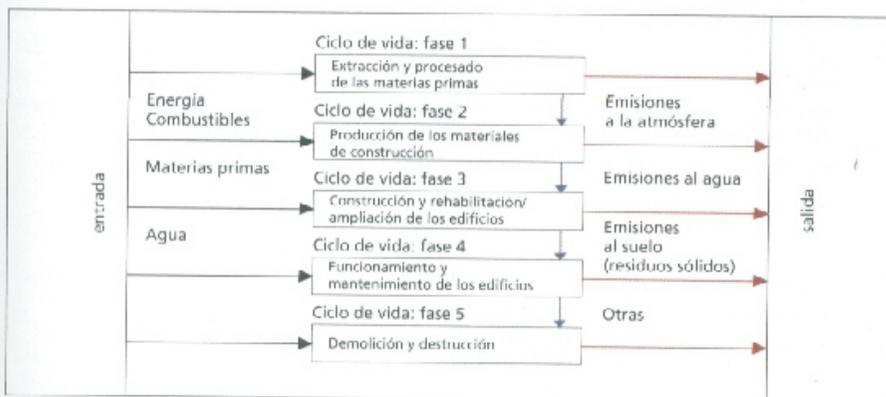
1. Como estructura física, el edificio es un cuerpo inerte, una simple "suma de partes". Estas partes se fabrican, se montan, se mantienen, se derriban y, finalmente, se destruyen una a una. Cada parte conlleva un conjunto de efectos relacionados con esos procesos, y el impacto ambiental total del edificio es la suma de todos ellos.
2. Como "máquina viva", el coste que supone para el medio ambiente es hacerlo funcionar durante su ciclo de vida: los productos que requiere, como energía e instalaciones, y los de expulsa, como CO_2 y residuos.

Para determinar el verdadero impacto ambiental de un edificio, el análisis puede realizarse de forma que refleje la importancia relativa de los distintos elementos y procesos del edificio y las prioridades para reducir los impactos ambientales, lo que se conoce como análisis del ciclo de vida. La información necesaria para realizar esta tarea de un modo exhaustivo es de tal calibre y tan detallada que resultaría muy poco práctico efectuar el análisis en la mayoría de los casos. Sin embargo, es posible analizar ciertos elementos o componentes del edificio. Aunque la idea de un análisis exhaustivo sólo está al alcance de un especialista, la comprensión del concepto ayudará a racionalizar nuestras decisiones (2.22).

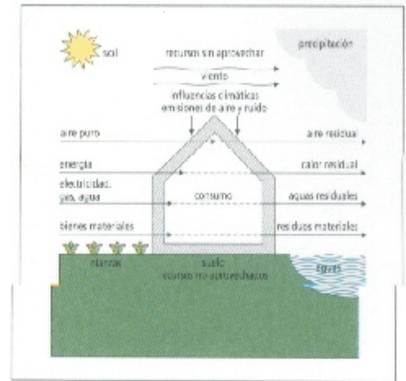
A pesar de que existen diversos factores que influyen en un edificio durante las distintas fases de su vida útil, la mayoría de ellos se establecen fundamentalmente durante los procesos de proyecto y construcción. Las decisiones que se toman en esos momentos determinan el consumo de recursos y energía durante las etapas futuras, como su mantenimiento, rehabilitación, conversión y reestructuración.

Los aspectos que deben tenerse en cuenta se agrupan en cinco categorías principales:

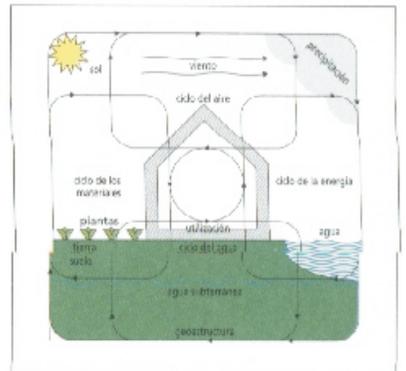
control del consumo de energía • consumo de materiales • consumo de agua • gestión de residuos • control de ruidos



2.22 Diagrama de flujo del ciclo de vida de los edificios.



2.21a Uso ineficaz de los recursos en un edificio convencional.



2.21b Uso cíclico de los recursos en un edificio sostenible.
Fuente: GAIA Vista Architects.

Energía

El consumo de energía en los edificios convencionales afecta al medio ambiente porque utiliza recursos no renovables y genera emisiones de CO₂, NO_x y SO₂ que contribuyen a la contaminación del planeta.

Un proyecto sostenible significa que uno de sus objetivos principales es que la contaminación resultante del consumo de energía sea mínima, y esto puede hacerse de tres maneras:

- Utilizando principios pasivos que reduzcan el consumo de energía del edificio.
- Complementando las fuentes de energía convencionales con fuentes renovables, como la energía solar, la eólica o la derivada de la biomasa.
- Cuando sea necesario utilizarlos, especificar los sistemas convencionales más eficientes y menos contaminantes.

En un edificio convencional, la cantidad de energía consumida (y la procedencia de esa energía) sigue siendo la preocupación más importante desde el punto de vista medioambiental. Sin embargo, esta situación está cambiando a medida que el consumo de energía de los edificios es más eficaz. El Building Research Establishment (Centro de Investigación de la Construcción) británico ha señalado que, en algunos edificios nuevos y bien aislados, la energía incorporada de la estructura podría suponer hasta un 50 % de la energía que se necesitaría para hacerlos funcionar durante un período de 25 años.

Materiales

Los criterios para la selección de materiales y componentes incluyen el coste, la estética, el rendimiento y la disponibilidad. Para especificar de forma respetuosa con el medio ambiente tanto los materiales y componentes del edificio como la forma en que se montan, es necesario sumar la energía incorporada (2.23) y los impactos ambientales locales y globales. Las consecuencias para el interior del edificio y el impacto ambiental general de distintas categorías de materiales se tratan en una sección anterior (véase SALUD; Materiales).

La elección de los materiales y los componentes ejerce un efecto muy importante sobre el rendimiento energético. La energía incorporada de una estructura de hormigón puede ser alta, pero si está pensada para aprovechar la calefacción y la refrigeración solares pasivas, puede producir una reducción equivalente en el consumo de energía en el plazo de unos pocos años de uso. Otros componentes, como ventanas de baja emisividad e instalaciones eficaces de calefacción e iluminación, tienen un efecto tan importante sobre la eficiencia energética que compensa con creces cualquier otro impacto que resulte de su fabricación o eliminación.

Materiales y su energía incorporada (kWh/m ²)	A	B	C	Variación entre las fuentes
Bloques ligeros	417	600	(-)	144%
Hormigón ligero	833	(-)	480	174%
Hormigón	625	600-800	368	217%
Madera (importada)	694	754	(-)	108%
Madera (local)	(-)	110-220	53	415%
Ladrillo	1.222	1.462	2.100	172%
Yeso	1.806	900	730	247%
Plástico	9.300	47.000	12.000	500%
Vidrio	23.000	15.000	15.000	153%
Acero	63.000	103.000	78.330	163%
Aluminio	195.000	75.600	151.200	258%

A - *The Architects' Journal*, 8 de junio de 1997
B - *Environmental code of practice*, BSRIA, 1994
C - *Environmental science handbook* (citado por S. V. Szokolay, 1980)

2.23 Energía incorporada de materiales habituales de construcción.

Agua

El uso despreocupado del agua provoca diversos problemas medioambientales, tanto en el abastecimiento para su consumo en el edificio como en el posterior tratamiento de las aguas de escorrentía y residuales en las zonas urbanizadas.

Según la mayor parte de las normativas, casi toda el agua que se utiliza en los edificios debe ser potable. El agua procede del entorno natural y, por tanto, casi siempre supone una reducción de las reservas de los acuíferos subterráneos y superficiales. Su tratamiento requiere plantas de tratamiento, con el consiguiente consumo de materiales y energía tanto para su construcción como su funcionamiento.

Después de ser utilizada, los sistemas de alcantarillado transportan el agua para que sea tratada de nuevo, antes de devolverla, más o menos limpia, al entorno natural.

Además, los pavimentos urbanos impermeables aceleran la escorrentía de las aguas pluviales, reduciendo la evaporación y erosionando las zonas ajardinadas y las riberas de los cursos naturales, lo que significa que se necesita más construcción (sumideros, alcantarillado, muros de contención) para evitar inundaciones. Durante las tormentas, el agua de escorrentía suele mezclarse con aguas fecales no tratadas (o parcialmente tratadas) en los aliviaderos, haciendo que se viertan contaminantes al medio ambiente.

Incluso en zonas donde el agua es abundante, los efectos de todo esto sobre los hábitats naturales y la biodiversidad pueden ser profundos y duraderos.

Residuos

Los desperdicios domésticos y comerciales, la basura de las calles, los escombros de la construcción, los residuos procedentes de procesos industriales y de otros tipos, y los fangos fecales, causan problemas medioambientales. A pesar de que los sistemas de tratamiento de residuos de la mayoría de los países europeos tienden a reducir al mínimo los impactos locales, su eliminación final tiene consecuencias importantes, como la contaminación del suelo, el aire y el agua en el ámbito regional y global. La estrategia de gestión de residuos de la Unión Europea describe un sistema de gestión basado en cuatro pilares:

- reducir la producción de residuos en origen
- clasificar los residuos
- reutilizar o reciclar
- eliminar los residuos de forma segura

El equipo de proyecto puede ayudar a fomentar prácticas sostenibles entre los propietarios y usuarios del edificio mediante la creación de espacios seguros y adecuados para almacenar distintos tipos de residuos, un primer paso necesario para poder reciclarlos o eliminarlos de forma segura y eficiente.

El único momento en que el equipo de proyecto incide directamente sobre la generación de residuos es en la fase de construcción. Reducir la generación de residuos mediante un uso cuidadoso de los materiales y su clasificación para su posterior reciclaje o reutilización es responsabilidad del contratista. En Suecia se ha calculado que la construcción de un edificio de diez plantas genera una cantidad de residuos equivalente a una planta entera. Sin embargo, el desarrollo de prácticas más sostenibles para el tratamiento de los residuos procedentes de la construcción y de la demolición depende mucho de que existan instalaciones adecuadas de tratamiento y un mercado para los materiales reciclados. En Holanda existen instalaciones de procesado de este tipo de residuos, donde se recupera aproximadamente un 60 % del material para su reutilización. En 1993, Dinamarca alcanzó una tasa de reciclaje de materiales procedentes de construcción y demolición del 80 % mediante incentivos fiscales.⁹ La Unión Europea ha comenzado ya a debatir la posibilidad de elaborar una Directiva sobre Residuos de Construcción.

Ruido

El aumento de la construcción de alta densidad, junto con la mecanización y la urbanización, significa que el ruido se ha convertido en un grave problema en la mayoría de los asentamientos humanos del mundo. Los efectos son locales, no globales, pero su impacto sobre la calidad de vida en las zonas afectadas es importante.

Objetivos

Utilizar fuentes renovables de energía

Las fuentes de energía renovables pueden integrarse en el proyecto de la mayoría de los edificios nuevos o existentes, lo que conlleva una reducción del consumo de combustibles fósiles para calefacción y refrigeración y, a su vez, supone reducir el impacto ambiental de los edificios y ayudar a disminuir las emisiones de CO².

- Minimizar la demanda de energía para calefacción, refrigeración e iluminación mediante la utilización de sistemas y tecnologías solares pasivos (atrios, invernaderos, muros Trombe, chimeneas solares, cubiertas y muros ventilados, iluminación natural, etc.).
- Utilizar sistemas y colectores solares para calentar el aire y proporcionar tasas adecuadas de ventilación del interior.
- Utilizar sistemas y colectores solares para calentar el agua para necesidades higiénicas básicas y para la calefacción de espacios a baja temperatura.
- Integrar módulos y células fotovoltaicas de tamaño y potencia punta adecuados en las cubiertas y fachadas orientadas al sur para producir electricidad y gestionar la carga.
- Integrar calderas de biomasa (astillas de madera, etc.) que incorporen filtros electrostáticos para reducir las emisiones

Especificar sistemas y electrodomésticos de bajo consumo energético

Para poder aplicar con éxito las nuevas tecnologías de ahorro energético es necesario colaborar con los proveedores de energía desde la fase de proyecto, que debería incorporar soluciones energéticamente eficientes para el edificio y la zona. Esto podría conseguirse si se integran correctamente las distintas tecnologías y conceptos de proyecto desde sus primeras fases.

- Utilizar energía fuera de las horas punta de consumo siempre que sea posible, aprovechando las propiedades térmicas del edificio y las tecnologías adecuadas.
- Las instalaciones deberían incorporar sistemas de gestión de carga con mecanismos de control que optimicen las tarifas eléctricas.
- Los sistemas de calefacción y refrigeración deberían incorporar sistemas de control integrado (BEMS).
- La iluminación artificial debería utilizar lámparas y balastos de alta eficiencia y sistemas de control automáticos.
- Los sistemas radiantes que permiten la división en zonas independientes reducen el consumo de energía de espacios grandes cuando la ocupación es baja.
- Los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración a baja temperatura pueden integrarse con energías renovables o energía residual producida por el equipamiento técnico.
- Los equipos de aire deberían incorporar sistemas de intercambio y bombas de recuperación del calor.

Utilizar sabiamente los materiales

El proyecto arquitectónico debería considerar la selección de los materiales y el desmantelamiento del edificio al final de su vida útil como aspectos clave del proceso, reduciendo así al mínimo el uso de recursos, la generación de emisiones, y facilitando la reutilización y el reciclaje.

- Escoger los materiales teniendo en cuenta sus efectos ambientales.
- Proyectar de modo que los materiales y componentes sean duraderos.
- Proyectar para permitir cambios en el uso del edificio a lo largo del tiempo.
- Las fachadas y los tabiques interiores deberían poder ser retirados o sustituidos sin que afecten a la estructura.
- Incorporar un método para el desmantelamiento del edificio y la reutilización o reciclaje de sus componentes mediante la separación de sus elementos al final del ciclo de vida.
- El proyecto debería centrarse en facilitar el mantenimiento de los sistemas y componentes para conseguir una baja emisividad y una larga vida útil.
- Exigir al contratista que utilice materiales de limpieza ecológicos durante la construcción y la limpieza final.

Proporcionar suficiente agua potable

En los estados de la Unión Europea, el 40-97 % de la población rural dispone de una red de suministro de agua de buena calidad y el 30 % de un sistema de saneamiento. En las zonas urbanas, el 95-99 % dispone de una red de suministro de agua satisfactoria y el 70-75 % un sistema de saneamiento (según un estudio de la OMS, Organización Mundial de la Salud).

Los aspectos cualitativos del abastecimiento de agua también son importantes. El agua podría estar contaminada por productos tóxicos, lo que haría que no fuera potable. En este sentido, las medidas de control son de vital importancia para la salud pública y para la salud del medio ambiente.

- En las nuevas urbanizaciones, el suministro y la distribución del agua, la eliminación de aguas residuales y el drenaje y el alcantarillado deberían formar parte integrante del plan general de urbanización.
- Las tuberías de suministro de agua deberían estar protegidas contra la contaminación procedente de bacterias o productos químicos perjudiciales del terreno.
- Los depósitos de agua, tanto exteriores como interiores, deberían estar siempre tapados para evitar la aparición de algas debido a la exposición solar, para prevenir la entrada de roedores y para facilitar su limpieza con regularidad.
- Los materiales utilizados en las instalaciones de agua no deberían constituir una fuente de contaminación bacteriana o química que pueda afectar al suministro.

Fomentar la conservación y reutilización del agua

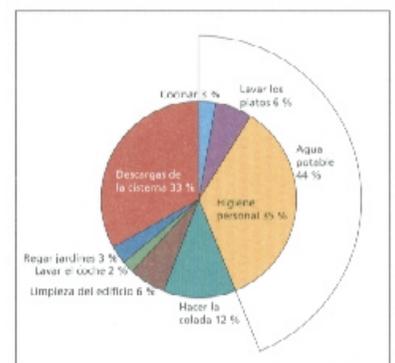
El proyecto debería reducir a mínimos el consumo de agua y el impacto ambiental de los asentamientos nuevos y existentes utilizando tecnologías y otras medidas de ahorro.

- Instalación de contadores para facilitar la medición y el control del consumo de agua.
- Utilización sanitarios y otros electrodomésticos con dispositivos de ahorro de agua.
- El principio de utilización de las aguas grises debería establecerse en la fase de proyecto.
- Las zonas ajardinadas que requieran riego mínimo.
- La planificación del emplazamiento y el proyecto del edificio deberían incorporar medidas para la recogida y el almacenamiento de aguas pluviales para su uso en el exterior.

Establecer medidas sanitarias para evacuar las aguas residuales y de escorrentía

La evacuación adecuada del agua contribuye a mejorar la salud y el medio ambiente. Si el drenaje de las aguas superficiales no es adecuado, pueden producirse inundaciones periódicas de carreteras, pozos y viviendas, que suponen un riesgo para la salud y el medio ambiente.

- El proyecto y la construcción de los sistemas de drenaje deberían respetar los principios de salubridad. Debe asegurarse que los drenajes de pluviales en superficie no se filtren al suelo y contaminen el suministro.
- Especificar preferentemente tuberías cerradas y protegidas, con puntos de registro para su mantenimiento. Comprobación regularmente de las canalizaciones abiertas para que no se atasquen.
- El registro a la instalación de fontanería debería ser fácil y rápido para procurar su mantenimiento y evitar la contrapresión que pueda contaminar el suministro de agua.
- Los materiales para los sistemas de fontanería deberían seleccionarse por su resistencia, durabilidad y capacidad de resistencia a la acción corrosiva de los residuos.



2.24

Fomentar la reducción, clasificación, almacenamiento, recogida y eliminación de los residuos.

Un proyecto cuidado y una buena gestión pueden reducir los residuos de la obra. Una vez ocupado el edificio, es importante que cuente con instalaciones para almacenamiento, recogida y eliminación de los residuos. Los métodos de eliminación dependen en gran medida de la existencia de lugares adecuados, del coste del transporte, de factores socioeconómicos y de las condiciones locales.

- Proyectar con medidas estándar para reducir cortes de piezas en obra y exigir al contratista que reutilice los recortes siempre que sea posible.
- Aplicar los requisitos de manipulación, almacenamiento y protección de los materiales.
- Exigir a los contratistas que calculen meticulosamente el material necesario antes de realizar un pedido.
- Especificar la separación, almacenamiento y recogida o reutilización de materiales reciclables, incluyendo embalajes.
- Las instalaciones para manipular residuos deberían proporcionar espacio suficiente para el tratamiento in situ; deben ser cómodas tanto para el usuario como para el servicio de recogida, y los niveles de higiene, sanidad y servicio se cuidarán especialmente.
- Proporcionar espacios para contenedores individuales en cada vivienda de una urbanización.
- Establecer los recorridos hasta los contenedores para los servicios de recogida de los residuos sin que sea necesario atravesar ninguna parte del edificio.
- Considerar las instalaciones para el almacenamiento de residuos como una parte integrante del edificio.

Controlar el ruido exterior

- Los edificios industriales deberían estar aislados para prevenir el ruido en origen.
- Las calles principales de las ciudades deberían ampliarse para que puedan actuar como cinturones protectores de vegetación que separen distintas zonas.
- El tráfico de vehículos debería prohibirse o limitarse en zonas residenciales, sobre todo durante la noche.
- Siempre que sea posible, es conveniente evitar los pavimentos y otras superficies duras, de esta forma se reduce el efecto del sonido reflejado. Utilización de zonas de césped y vegetación, que son absorbentes acústicos.

Notas

¹ Roaf, Susan; Hancock, Mary (eds.), *Energy efficient building: A design guide*, Halsted Press, Nueva York, 1992.

² Olgyay, Victor, *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2006.

³ Roaf, Susan; Hancock, Mary, (eds.), *op. cit.*

⁴ *Code for interior lighting*, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Londres, 1984; *Applications manual: window design*, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Londres, 1987.

⁵ Levin, Hal, "Best sustainable indoor air quality practices in commercial buildings", en *Environmental Building News*, 1996.

⁶ Baker N., Fanchiotti, A.; Steemers, K. (eds.), *Daylighting in architecture: a European reference book*, James & James (Science Publishers), Londres, 1995.

⁷ *SunWorld*, vol. 20, 3, septiembre de 1996, págs. 13-15.

⁸ *IAEEL Newsletter*, 1996.

⁹ World Resource Foundation, *Construction and demolition wastes* (hoja informativa), Tonbridge, Kent, 1985.

Bibliografía

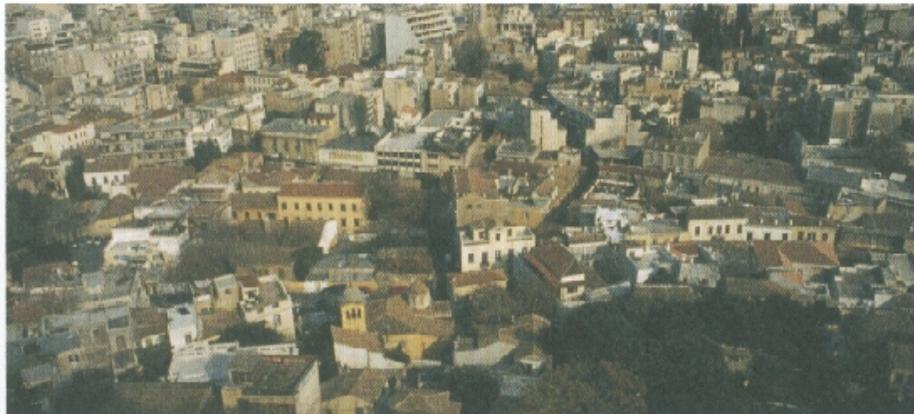
- *Code of practice for daylighting, part 2*, BS 8206, BSI, Londres, 1992.
- Crisp, V. H. C.; Littlefair, P. J.; McKenna, G. T.; Cooper, I., *Daylighting as a passive solar energy option* (BR 129), Building Research Establishment, Garston, 1985.
- David, Anink; Boonstra, Chiel; Mak, John, *Handbook of sustainable building: an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment*, James & James (Science Publishers), Londres, 1996.
- Den Ouden, C.; Steemers, Theo C., (eds.), *Building 2000* (vol. I y II), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992.
- *Energia demo* (colección de informes técnicos), Institut Català d'Energia, Barcelona, 1992.
- *Energy efficient lighting in schools; Energy efficient lighting in industrial buildings; Energy efficient lighting in buildings; Energy efficient lighting in offices; y Energy efficient lighting practice*, BRECSU-OPET para la Comisión de las Comunidades Europeas, Garston, 1992-1994.
- Evans, Barrie, "Green report highlights priority issues", en *Architects' Journal*, vol. 197, 14, 7 de abril de 1993, pág. 6.
- "Green buildings: ideas in practice. Debating natural ventilation", en *Building Services*, enero de 1994, págs. 18-22.
- *Guidelines for ventilation requirements in buildings* (informe 2: Acción de Colaboración Europea: La calidad del aire interior y su impacto sobre el hombre), Comisión Europea, Bruselas, 1992.
- Littler, John; Randall, Thomas, *Design with energy: the conservation and use of energy in buildings*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.
- Matteoli, Lorenzo, *Energia progetto*, V. V. Celid, Turin, 1981.
- McNicholl, Ann; Lewis, J. Owen, (eds.), *Daylighting in buildings*, UCD-OPET para la Comisión Europea, Dublín, 1994.
- Potter, I.N., *Sick building syndrome* (Nota Técnica 4/88), The Building Services Research and Information Association (BSRIA), Bracknell, 1988.
- *Project monitor*, Estudios de casos que ilustran la arquitectura solar pasiva en la Unión Europea, Comisión Europea, DG XII, 1987.
- Ranson, Ray, *Healthy housing: practical guide*, OMS/Oficina Regional para Europa, E & FN Spon, Londres, 1991.
- Research Digest, *Solar energy in architecture and urban planning*, 1-8, ERG-UCD para la Comisión Europea, Dublín, 1987-1997.
- *Sick building syndrome: a practical guide* (informe 4. Acción de Colaboración Europea: La calidad del aire interior y su impacto sobre el hombre), Comisión Europea, Luxemburgo, 1989.
- Slater, A. I.; Davidson, P. J., *Energy efficient lighting in buildings*, BRECSU-OPET para la Comisión Europea, Garston, 1991.
- *Thermal performance of the exterior envelopes of buildings*, Actas de la conferencia ASHRAE/DOE/BTECC, Clearwater Beach (Florida), 1992.

3. Estrategias

Escala urbana y de barrio

La forma urbana es el resultado de una compleja interacción de presiones e influencias interdependientes: climáticas, económicas, sociales, políticas, estratégicas, estéticas, técnicas y normativas. Muchas decisiones urbanísticas han tenido profundos y duraderos efectos sobre la cohesión social y la calidad de vida de los individuos, así como sobre el medio ambiente global. A escala urbana, las necesidades de ahorro de combustibles fósiles y recursos energéticos y de utilizar fuentes de energía más respetuosas con el medio ambiente son cada vez más acuciantes. Sin embargo, la eficiencia energética no es un objetivo en sí, sino parte de una búsqueda integrada del desarrollo sostenible, que reconozca el impacto local, regional y global de las ciudades sobre el aire, el suelo, el agua, la vegetación, la vida animal y la población humana.

Los arquitectos casi nunca tienen la capacidad de tomar decisiones sobre la ubicación del proyecto en el tejido urbano. En muchos casos, el emplazamiento, ya sea urbano, suburbano, industrial o verde, ya habrá sido seleccionado antes de que el arquitecto aborde el proyecto. Sin embargo, a escala de barrio, los arquitectos suelen estar más implicados en el proceso de planificación, y las decisiones de proyecto que toman pueden conllevar consecuencias importantes en lo que se refiere a la sostenibilidad.



3.1 Tejido urbano de Atenas.

Escala urbana y de barrio

- Microclima
- Usos del suelo
- Densidad
- Transporte
- Zonas verdes
- Agua y residuos
- Energía

Elección y análisis del emplazamiento

- Selección del solar
- Análisis del solar

Planificación del solar

- Microclima
- Densidad
- Transporte
- Zonas verdes
- Agua y residuos
- Energía

Forma del edificio

Envolvente

- Elementos opacos/macizos
- Elementos traslúcidos
- Elementos transparentes
- Elementos productores de energía
- Galerías
- Atrios

Acabados

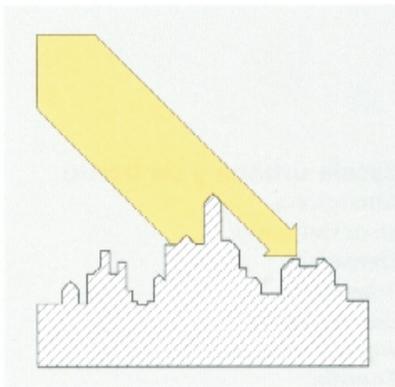
- Rendimiento energético del edificio
- Calidad del aire interior

Instalaciones, equipos y controles

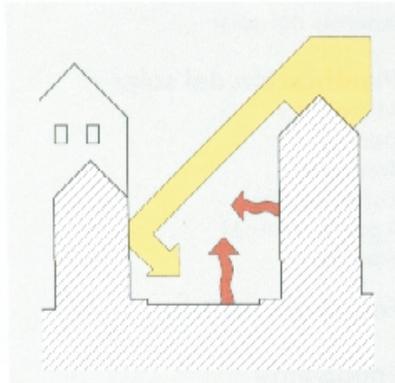
- Calefacción
- Refrigeración
- Ventilación
- Iluminación

Rehabilitación

- ¿Remodelar o no?
- Cerramiento
- Riesgos
- Construcción y entrega



3.3 El tejido urbano recibe la ganancia solar.



3.4 Los materiales densos almacenan e irradian el calor.

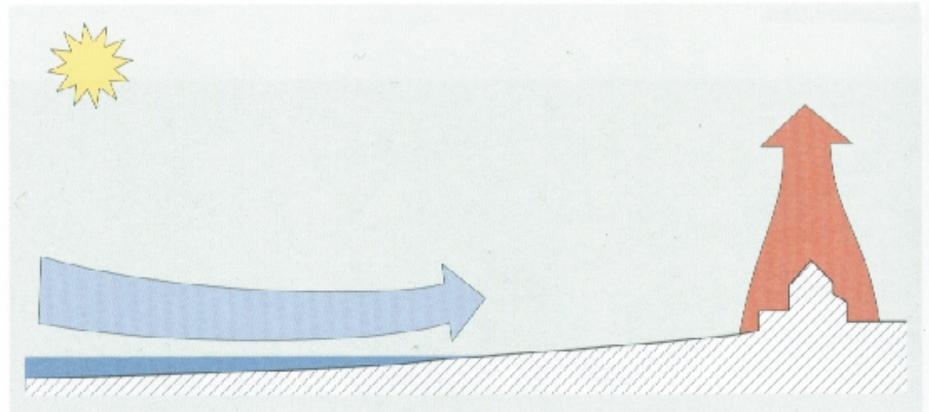
Microclima

El clima de una ciudad es diferente al del territorio circundante, y existe una relación clara entre las formas y espacios urbanos y el proyecto eficiente desde el punto de vista energético. A escala de la manzana o del barrio, ciertas decisiones pueden mejorar el microclima local, protegiéndolo de los vientos o de la excesiva radiación solar, por ejemplo, o moderando los efectos negativos de condiciones urbanas como el ruido y la contaminación atmosférica o visual. Distintas distribuciones pueden producir microclimas diferentes y proporcionar mayor o menor confort.

Temperatura

Las ciudades suelen ser considerablemente más calurosas que las zonas rurales que las circundan (3.2). Normalmente, las temperaturas medias diarias son 1-2 °C más altas, o incluso más en una noche de verano sin brisa. Esto se debe a varios factores que, en conjunto, constituyen el efecto denominado "isla de calor".

- Los edificios, los sistemas de transporte y la industria emiten calor.
- Los pavimentos urbanos y los edificios almacenan y conducen el calor de forma más eficaz que la tierra o la vegetación (3.3, 3.4).
- Los edificios impiden el paso del viento, reduciendo su posible efecto refrigerante.
- Las superficies impermeables, que hacen que el agua de escorrentía circule a más velocidad, y la retirada mecánica de la nieve reducen la evaporación y, por tanto, el efecto refrigerante.



3.2 El efecto "isla de calor".

Viento

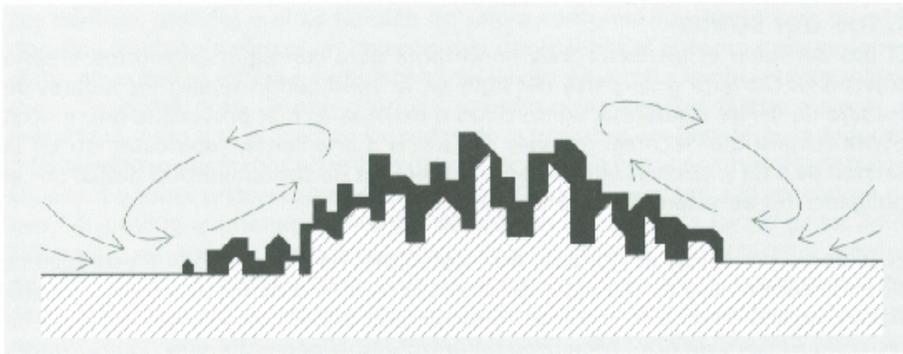
El obstáculo que presentan los edificios y otras estructuras para la circulación del viento provoca que los movimientos de aire en las ciudades tiendan a ser, en general, más lentos pero más turbulentos que en el campo (3.5). Se ha calculado que la velocidad del viento en una ciudad es la mitad de la que se daría en una situación de mar abierto. En el límite de una ciudad, esta disminución se reduce a un tercio (3.6).

Luz solar

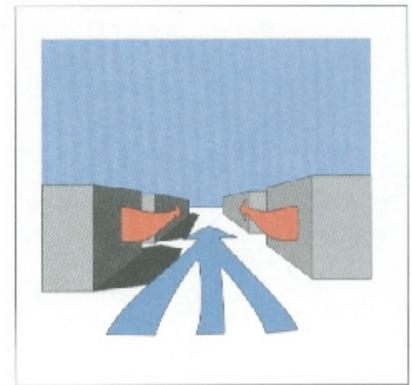
Es evidente que los edificios y otras estructuras urbanas obstruyen hasta cierto punto la luz solar directa (3.7). Decidir si esto supone una ventaja o una desventaja depende de otros parámetros del microclima. Según la latitud, la exposición a la luz solar en verano será más o menos importante que la protección del sol.

Calidad del aire

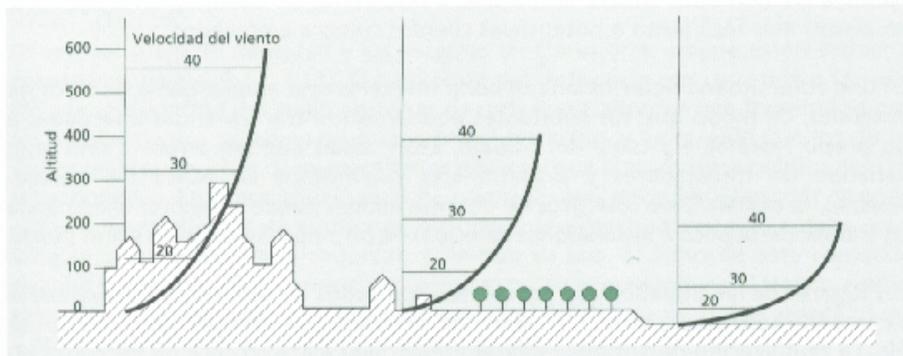
La contaminación procedente del tráfico, los sistemas de calefacción y los procesos industriales absorben y dispersan la luz, debilitando la radiación solar directa pero aumentando la radiación difusa en días despejados. La calidad del aire influye en el uso de la energía solar y la ventilación natural. Además, los contaminantes provocan que los materiales constructivos se deterioren con mayor rapidez. La calidad del aire, sobre todo la concentración de CO, CO₂, SO₂ y NO_x y de partículas, también afecta a la salud humana. Se calcula que hay diez veces más partículas suspendidas en el aire en la ciudad que en el campo.¹



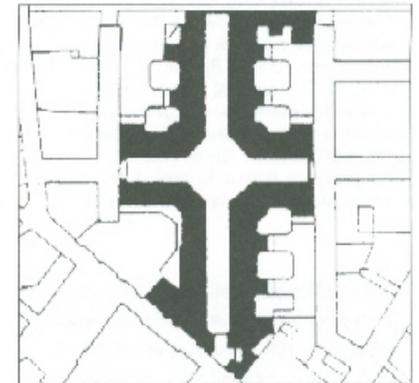
3.5 El movimiento del aire en las ciudades tiene más turbulencias que en el campo.



3.8 Efecto "embudo" del viento dominante en una calle.



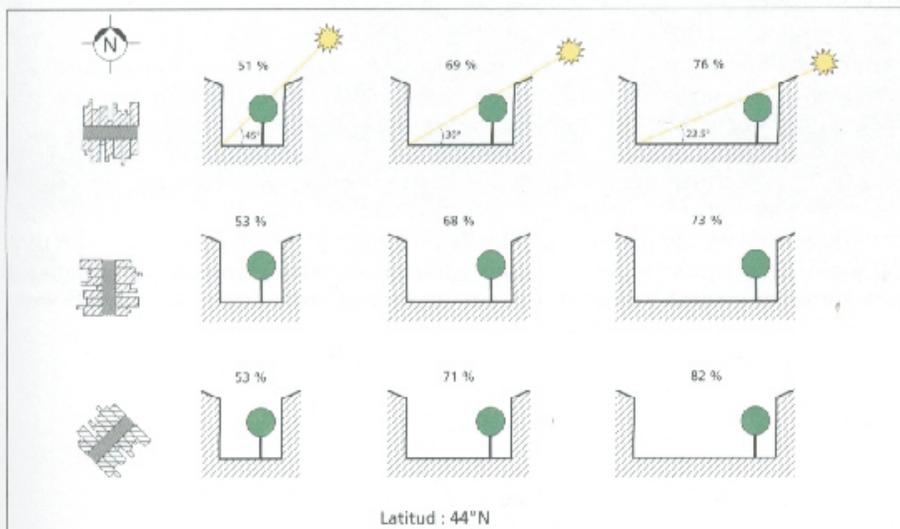
3.6 La velocidad del viento a una determinada altura es menor en las ciudades que en campo abierto.



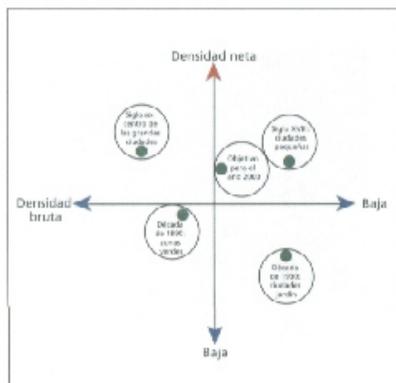
3.9 Giuseppe Mengoni, galería Vittorio Emanuele, Milán.

Debe considerarse la contaminación del aire desde dos puntos de vista: en primer lugar, el efecto de los contaminantes sobre el proyecto, el rendimiento del edificio y la salud de sus ocupantes y, en segundo lugar, la necesidad de garantizar que los propios edificios no generen más contaminación.

- Tomar en consideración los vientos dominantes en el trazado y la orientación de las calles (3.8). Situar los edificios de manera que protejan los espacios públicos, a menos que se necesite aumentar su refrigeración, o dispersar los contaminantes atmosféricos (3.9).
- En climas fríos, buscar la orientación solar más favorable para las calles y los espacios abiertos. Cuando sea posible, procurar que la vegetación o los edificios cercanos no proyecten sombra sobre las zonas de captación solar durante la estación fría. En los climas cálidos, por el contrario, puede aprovecharse la sombra.
- Recordar los efectos de los materiales utilizados en los pavimentos. La piedra, el ladrillo, el hormigón y otros materiales similares de gran inercia térmica almacenan calor, lo que contribuye a elevar la temperatura del aire. El agua puede ejercer un efecto refrigerante por efecto de la evaporación, y la vegetación por medio de la sombra y la evapotranspiración.



3.7 Asoleo en función de la distancia entre edificios.



3.10 Comparativa de las densidades netas y brutas de la vivienda en distintos periodos, que sugiere un cambio del modelo dominante en la década de 1990 hacia la ciudad ideal del siglo XVIII: urbanizaciones compactas de usos mixtos, rodeadas de espacios verdes para ocio, cultivos, etc. Fuente: Barton, H.; Davies, G.; Guise, R., *Sustainable settlements: a guide for planners, designers and developers*, University of the West of England/The Local Government Management Board, Bristol, 1995. Fuente: Barton, Davies and Guise, 1995.

Para urbanizaciones residenciales se recomienda una densidad neta media de 100 personas (o 40-50 viviendas) por hectárea, debido a los siguientes motivos (Barton, Davies y Guise, 1995):

- Es la densidad necesaria para que sea viable un buen servicio de autobuses;
- es la densidad más baja que permite sistemas de calefacción urbana;
- es la densidad más alta que permite un buen asoleo (con la distribución apropiada) y es el nivel medio que garantiza viviendas y jardines de tamaños variados.

Usos del suelo

El uso del suelo es un factor muy importante para conseguir una forma urbana sostenible. Durante gran parte del siglo XX, la zonificación separó los lugares de trabajo de los de residencia, comerciales o de ocio, lo que provocaba que mucha gente tuviera que recorrer grandes distancias diariamente, repercutiendo en la calidad de vida y, además, aumentando los niveles de contaminación global por el obligado uso de sistemas de transporte.

El esfuerzo por construir ciudades más sostenibles ha provocado que esta política de zonificación haya empezado a cambiar. Los centros urbanos o de barrio, los edificios y espacios multiusos donde se combinan usos cívicos, residenciales, empresariales, comerciales y de ocio, fomentan un único desplazamiento para realizar múltiples actividades. Las viviendas cercanas a colegios, centros de trabajo, tiendas e instalaciones sociales y sanitarias reducen la necesidad de transporte, proporcionando a los individuos un más fácil acceso a sus puestos de trabajo y, a los negocios, un acceso más fácil tanto a potenciales clientes como a empleados.

En una zona urbana determinada debería ofrecerse una amplia gama de tipos de viviendas, de modo que sus habitantes puedan encontrar viviendas adecuadas a un precio razonable y cerca del trabajo. Estas zonas pueden atraer a una gran variedad de trabajadores y profesionales cualificados en busca de trabajo. Además, la existencia de colectivos de distintas edades puede equilibrar la demanda de transporte público e instalaciones de ocio o de otro tipo fuera de las horas punta.

Los lugares de las ciudades que ya cuenten con todos los servicios y formen parte de una infraestructura accesible, deberían aprovecharse siempre que fuera posible. La reutilización de antiguos solares industriales evita muchos de los costes en servicios e infraestructuras necesarios para urbanizar una zona verde; además, mejora la calidad medioambiental y estética de su entorno inmediato.

Densidad

En general, se considera que los modelos de desarrollo urbano sostenible dependen del refuerzo y de la renovación de los tejidos existentes, y de la aplicación de principios bioclimáticos a todas las actividades que en ellos se desarrollan. Sin embargo, existen argumentos a favor tanto de la urbanización de alta densidad como de baja (3.10).

Las densidades altas pueden significar un menor consumo de energía en los edificios, mayor tamaño de las zonas verdes, mayor uso del transporte público y más posibilidades de utilizar sistemas de calefacción colectivos, como la calefacción urbana. También pueden producir beneficios socioeconómicos; por ejemplo, la supervivencia comercial de muchos servicios depende de las densidades relativamente altas que garanticen suficiente número de clientes. El Ministerio del Medio Ambiente británico recomienda "concentrar urbanizaciones residenciales de alta densidad cerca de los centros de transporte público, manteniendo las densidades existentes o aumentándolas cuando sea posible".² La organización Amigos de la Tierra sugiere que, en general, la densidad de las ciudades debería ser aproximadamente equivalente a la de una calle con edificios de dos o tres plantas. A pesar de que las zonas de alta densidad se asocian a servicios más eficientes, también pueden producirse impactos negativos, como la contaminación y la ausencia de espacios públicos. Por otra parte, la urbanización de baja densidad puede permitir mejor calidad de vida, viviendas más espaciales, la posibilidad de trabajar desde casa y un jardín o huerto para cultivos, con la consiguiente producción de compost, pero también puede suponer un uso poco eficiente del transporte.

Mientras que la mayoría de los países occidentales fomentan la densidad alta y el uso mixto del suelo en las zonas urbanas, hay ciudades en el sur de Europa que podrían beneficiarse de densidades más bajas y de una segregación más estricta de los usos del suelo. Cada ciudad debería evaluarse individualmente, teniendo en cuenta sus características propias y su contexto. Las respuestas universales no existen.³

Los edificios grandes o altos tienden no sólo a consumir más energía en su interior, sino también a ejercer un impacto más grave sobre el entorno exterior inmediato, en lo que se refiere a turbulencias del viento y a arrojar sombras tanto solares como pluviométricas. La reducción del tamaño o la densidad puede mejorar el microclima, pero si se aumentan los costes de la inversión, los beneficios se reducen, o las viviendas son menos accesibles para personas con pocos recursos económicos. Un estudio sobre sectores representativos de Buenos Aires llegó a la conclusión de que "es posible mantener las mismas densidades y cambiar la forma de los edificios para crear mejores condiciones climáticas en el exterior y en el interior, sin que esto influya en los costes iniciales o de urbanización". Después de estudiar distintas densidades, los autores concluyeron que "la densidad no es el factor básico que hay que tener en cuenta; la forma del edificio es más importante".⁴ Es más fácil conseguirlo en grandes proyectos de urbanización que en situaciones en las que los propietarios individuales sólo están limitados por las normas de urbanismo.

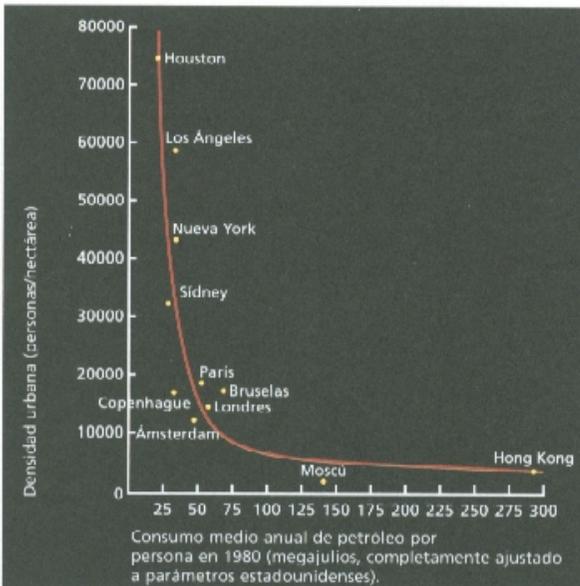
El diseño puede fomentar:

- accesibilidad a los servicios para todos los ciudadanos, con independencia de su edad, capacidad y posición económica;
- menor dependencia del coche;
- uso de transporte público, carriles bici y rutas peatonales;
- teletrabajo.

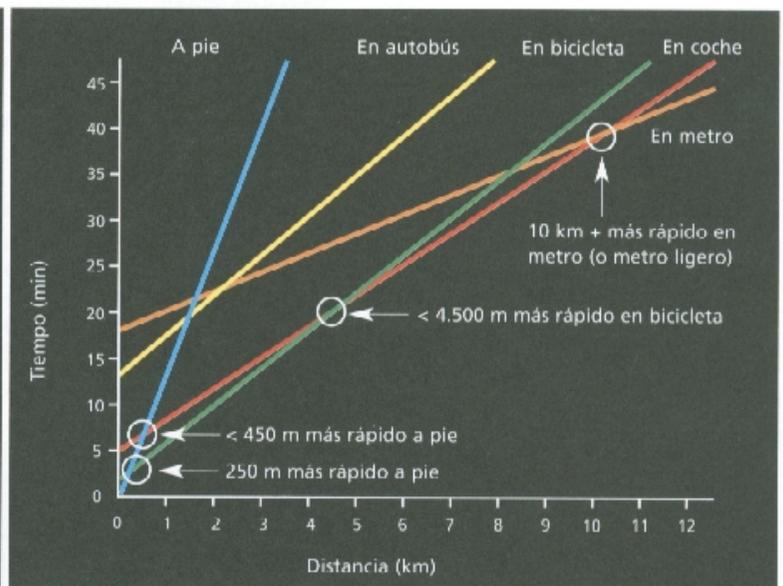
Transporte

El uso del suelo, la densidad y los sistemas de transporte urbano están estrechamente vinculados (3.11, 3.12). El bajo coste del transporte por carretera y ferrocarril y la segregación del suelo en zonas de usos especializados han fomentado que los asentamientos se hayan esparcido por el territorio, y ha exigido que los ciudadanos realicen muchos desplazamientos diarios y que el transporte público deje de ser económico. En la actualidad, el coche particular es el peor despilfarrador de energía y la mayor fuente de emisiones, así que la arquitectura sostenible debe combinarse con medidas que reduzcan y limiten su uso. El éxito de este cometido depende, en parte, de factores como políticas públicas para reducir el tráfico, restricciones de aparcamiento, precio de las autovías, carriles de prioridad autobús/taxi, y otros que escapan al control por parte del arquitecto.

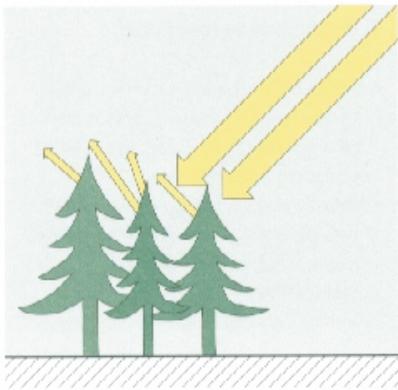
A escala local, la planificación detallada de los accesos al transporte público y la creación de caminos peatonales y carriles bici que conecten con los sistemas urbanos más amplios son fundamentales. Las zonas urbanizadas importantes deberían estar a distancias cómodas (aproximadamente 400 m) del transporte público. Las rutas para ciclistas y peatones deberían ser continuas, razonablemente directas y libres de tráfico, ruido o contaminación.⁵ Estos sistemas fomentarían los desplazamientos a pie o en bicicleta tanto por motivos prácticos como de ocio.



3.11 Relación entre consumo de petróleo y densidad urbana. Basado en: Newman, Peter W. G.; Kenworthy, Jeffrey R., *Cities and automobile dependence: an international sourcebook*, Gaver Publishing, Aldershot, 1989.



3.12 Tiempos de desplazamiento de puerta a puerta en distintos medios de transporte en zonas urbanas. Fuente: Whitelegg, John, *Transport for a sustainable future. The case for Europe*, John Wiley, Chichester, 1994.



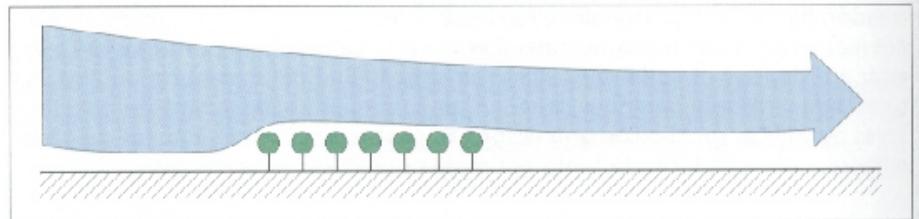
3.13 La vegetación modifica la temperatura del aire a ras de suelo.

Zonas verdes

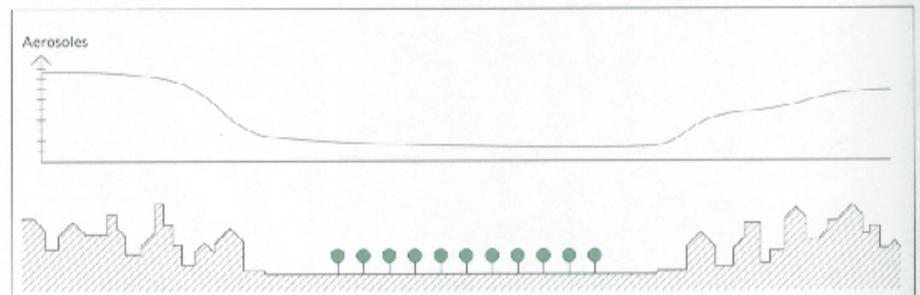
Un aspecto importante de la planificación urbana sostenible es la creación de zonas verdes a distintas escalas. Las zonas de juegos y los parques y jardines públicos en las zonas urbanas, así como los espacios multiusos al aire libre en las periferias, reducen la contaminación, crean zonas adecuadas para el desarrollo de la flora y la fauna, y permiten que los habitantes de la ciudad tengan contacto con el campo. También mejoran la salud social, física y psicológica de los individuos y de la comunidad.

En un barrio, las zonas verdes pueden moderar el microclima local. La vegetación y el agua modifican la humedad, la temperatura del aire, el viento, la radiación solar, el ruido y la contaminación (3.1, 3.14, 3.15); también desempeñan un papel importante en la gestión de las aguas superficiales y, potencialmente, de los efluentes (3.16). En el ámbito de la ciudad, los parques y jardines ejercen un efecto considerable sobre el microclima. Las temperaturas pueden ser de 5 a 10 °C más reducidas en los parques urbanos en comparación con las zonas densamente edificadas circundantes. Su efecto sobre la contaminación también es importante.

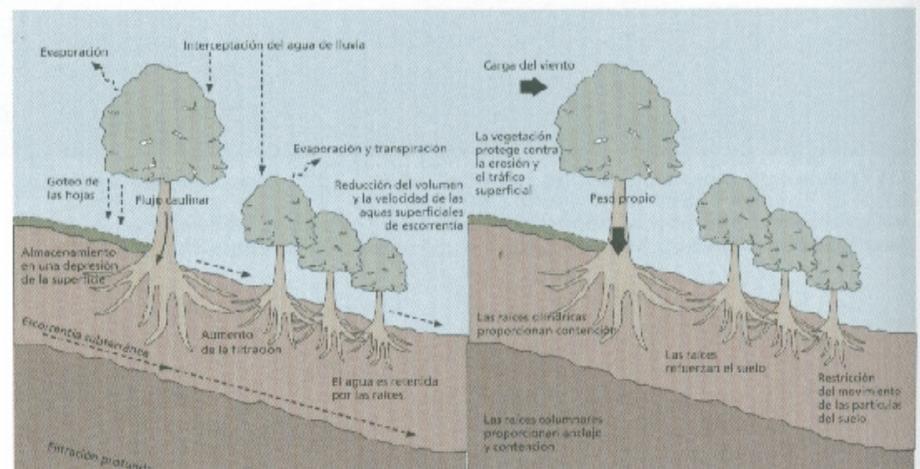
Una estrategia especialmente útil consiste en conectar las zonas verdes y los hábitats naturales mediante corredores verdes lineales o circulares, formando una red que abarque toda la ciudad. Estos corredores pueden ser bastante estrechos, lo suficiente para permitir el movimiento de peatones, ciclistas y animales por todo el sistema. Los proyectistas pueden ubicar industrias en zonas ajardinadas o recuperar antiguas zonas industriales para crear espacios abiertos. Debería intentarse que los espacios peatonales y de ocio estén relativamente protegidos del tráfico y de la contaminación. Con todo, los terrenos marginales sin cultivar, los márgenes de las autopistas, las vías de ferrocarril o las zonas industriales pueden ser tan eficaces como los parques para promover el desarrollo de la flora y la fauna.



3.14 Los cortavientos naturales reducen la velocidad del viento.



3.15 La vegetación absorbe o filtra los contaminantes.

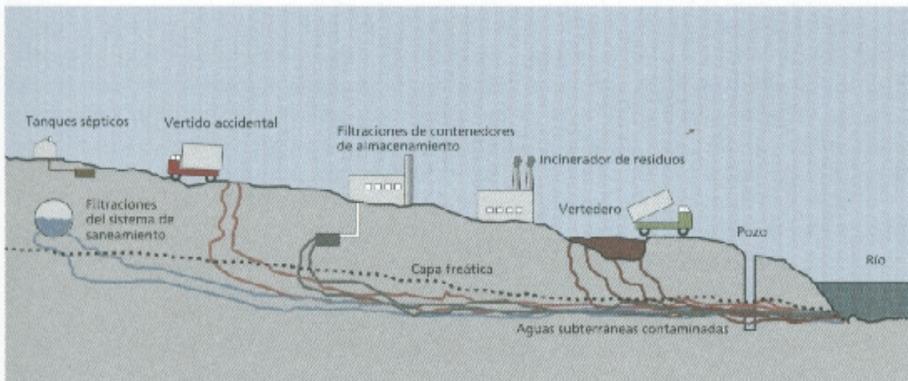


3.16 La vegetación reduce la escorrentía de las aguas superficiales.

Fuente: CIRIA, 1990.

Agua y residuos

La gestión de los residuos y el ahorro del agua están estrechamente ligados. Una mala gestión de los residuos puede afectar irremediablemente a la calidad del agua, con graves consecuencias para las poblaciones humanas y animales (3.17).



3.17 Impacto de una mala gestión de los residuos sobre el agua.

Es preciso evitar elementos paisajísticos que utilicen agua procedente de los suministros de agua potable, así como cualquier acción que pueda contaminarlos. Las políticas y los proyectos deberían:

- reducir al mínimo la demanda de agua potable;
- reducir al mínimo la cantidad de agua residual que requiera tratamiento mecánico;
- reducir al mínimo la producción de residuos sólidos, sobre todo los no clasificables.

Estos pasos reducirán los costes de inversión y de mantenimiento del suministro público de agua, de los sistemas de drenaje y de tratamiento de residuos.

Los sistemas separadores de aguas superficiales y grises son básicos; es también muy recomendable separar las aguas grises de las fecales. Las franjas de suelo permeable filtrante y las lagunas de captación permiten que el agua de lluvia penetre de nuevo en el subsuelo. Las aguas grises pueden tratarse in situ mediante plantas filtrantes antes de volver a los cursos de agua; de esta forma, sólo las aguas fecales llegarían a las depuradoras convencionales. Los pantanos artificiales, combinados con el tratamiento de efluentes, pueden reducir los costes de tratamiento de las aguas negras en un 60-90 % comparados con los sistemas mecánicos convencionales.⁶

Las instalaciones comunitarias de barrio o de manzana pueden reducir los costes de la separación, recogida y reutilización de residuos sólidos. De los residuos orgánicos puede producirse compost. Los residuos procedentes de combustibles podrían reutilizarse para sistemas de calefacción urbana, pero la operación tendría que tener la envergadura suficiente como para permitir la rentabilización de los equipos y controles necesarios para eliminar los gases de combustión y prevenir la emisión de otros contaminantes a la atmósfera.

Energía

A escala urbana, la eficiencia energética se promueve prestando atención a los usos del suelo, la densidad, el transporte, el agua y los residuos, y también mediante dos estrategias adicionales: la primera consiste en garantizar que en cada edificio nuevo o restaurado se minimiza la energía incorporada de la construcción y la energía que consumirá durante su vida útil; la segunda consiste en utilizar fuentes de energía económicas y respetuosas con el medio ambiente para subsanar cualquier déficit energético. Todo ello depende, por supuesto, del clima y de las condiciones locales. Algunas energías renovables, como el agua o el viento, las aguas subterráneas o la biomasa, los sistemas solares activos o las células fotovoltaicas, pueden no ser opciones prácticas. Sin embargo, incluso en el ámbito del barrio o de la manzana, surgen muchas oportunidades de aprovechar las energías renovables o de usar de forma más eficiente las fuentes de energía convencionales (por ejemplo, sistemas combinados de calor y energía o sistemas de calefacción urbana) (véase ELEMENTOS; Componentes). En el caso de complejos industriales, universitarios u hospitalarios, o incluso grandes urbanizaciones residenciales, merece la pena investigar estas posibilidades.

Factores del solar y de su distribución que pueden afectar al microclima

No son competencia del proyectista

- Área y clima local.
- Forma del solar.
- Características topográficas: composición, forma y aspecto del suelo.
- Edificios existentes que se conservan.
- Acceso rodado.
- Acceso a servicios.
- Restricciones de urbanización: densidad y altura de los edificios, preservación de los árboles.
- Acuerdos que limitan la forma o el carácter del proyecto.

Competencia del proyectista

- Distribución de los edificios en el solar: espaciado, orientación, yuxtaposición, patios, trazado de carreteras y acceso, situación de los espacios libres, jardines, zonas de servicio, garajes y almacenes.
- Los edificios: forma, altura, tipo de cubierta, orientación, ventanas y tipo de vidrio, aislamiento y capacidad térmica, permeabilidad al aire, revestimientos.

Otras características

- Árboles: abrigo contra vientos dominantes; abrigo contra vientos locales; vegetación decorativa.
- Topografía: montículos y bermas; cortavientos artificiales, barreras de nieve, superficie del suelo, pavimentación, hierba.

Fuente: *Climate and site development, part 3*, BRE Digest, 350, abril de 1990.

Elección y análisis del emplazamiento

En la mayoría de los proyectos, el solar ya ha sido elegido antes de contratar al arquitecto. Cuando no es así, y el arquitecto participa en el proceso de selección, los temas tratados en esta sección pueden añadirse a los habituales a la hora de estudiar emplazamientos alternativos. El objetivo es transferir a un solar el enfoque sostenible sobre el microclima, los usos del suelo, la densidad, el transporte, las zonas verdes, el agua, los residuos y la energía que la sección anterior aplicaba a escala urbana y de barrio. Esto debería permitir seleccionar un solar que ofrezca mejores condiciones para el usuario, un efecto más benigno sobre el medio ambiente global y, posiblemente, costes más bajos de urbanización.

Selección del solar

"Las decisiones sobre el uso del solar, e incluso sobre si debería edificarse o no, establecen la base de todas las decisiones posteriores de proyecto. El solar proporciona el contexto para los edificios, pero los edificios, por su parte, modifican el emplazamiento. Se altera el ecosistema local, se cambian los hábitats y se modifican los flujos de energía, agua, nutrientes y contaminantes. Los edificios cercanos y las comunidades más lejanas también se ven afectados".⁷

Cuestionario para seleccionar el solar

- ¿Es adecuado para ese fin —tiene connotaciones culturales, históricas, arqueológicas o científicas— y para ser urbanizado?
- ¿Puede urbanizarse sin destruirlo?
- ¿Existen usos más adecuados para el terreno, como la agricultura?
- ¿Hay posibilidades de utilizar energías renovables o calefacción urbana?
- ¿Tiene buen asoleo?
- ¿Hay lagos, lagunas, arroyos o pantanos? ¿Pueden aprovecharse las aguas subterráneas?
- ¿En qué condiciones se encuentran el aire, el agua y el suelo? ¿Hay ruidos?
- ¿Tiene fácil acceso al transporte urbano?
- ¿Cuenta con infraestructuras preexistentes: electricidad, abastecimiento de agua, comunicaciones, gestión de residuos y drenaje?
- Dependiendo del uso que se pretende, ¿tiene acceso a los servicios comerciales o comunitarios adecuados?
- ¿Pueden reutilizarse las estructuras existentes?
- ¿Cómo podría afectar al proyecto la posible urbanización de los terrenos colindantes?

Es muy importante subrayar que escogerle análisis para la elección de un solar de una manera sostenible no puede realizarse de forma aislada, sino que ha de tenerse en cuenta el contexto, su situación en un entorno más amplio y su contribución al mismo.

Análisis del solar

"Un análisis detallado del solar puede permitir que los promotores saquen partido de su potencial en cuanto a vistas, luz del sol, drenaje natural, vegetación (para producir sombra), vientos dominantes (para refrigeración), etc., al tiempo que se evitan o se reducen los daños al propio solar y a zonas circundantes".⁸

A gran escala, el clima general de una región determina ciertas características, como la temperatura, la humedad, la pluviosidad, la nubosidad, la velocidad y dirección del viento y la trayectoria solar. Los máximos y los mínimos habituales se utilizan para determinar la cantidad de agua de lluvia que es necesario drenar, la dirección de los vientos favorables y desfavorables, cuándo se debería captar o protegerse de la radiación solar y en qué zonas, y en qué momento las temperaturas se desvían de la zona de confort.

A escala local, este clima se verá modificado por unas condiciones particulares. El drenaje afectará a la humedad; el humo industrial o los gases procedentes de residuos pueden reducir la radiación solar; la topografía puede reducir la velocidad del viento, etc.

A la escala del propio emplazamiento, la energía solar disponible, la velocidad del viento y la temperatura pueden sufrir modificaciones debido a la topografía, la vegetación y los edificios, muros o vallas existentes. Esta "microescala" permite manipular el ambiente circundante al edificio en mayor medida. El objetivo es aprovechar los beneficios que se producen de forma natural y reducir al mínimo los efectos negativos.

Lista para analizar el solar

- Temperatura del aire/temperaturas medias mensuales durante el día y la noche.
- Luz natural: los obstáculos en el propio emplazamiento o en sus proximidades pueden afectar a la cantidad de luz natural disponible (3.18).
- Luz solar: grado de incidencia y orientación del solar; máximo de horas de luz solar, según los datos climáticos; ángulos de incidencia de sol, según la latitud; sombra (3.19, 3.20, 3.21).
- Viento: la rosa de los vientos de la zona indicará la dirección y la frecuencia de los vientos dominantes, pero no el grado de exposición ni los efectos locales debidos a la topografía (3.22).
- Topografía: los obstáculos en el solar pueden desviar el viento y proporcionar abrigo, pero también pueden arrojar sombra.
- Construcciones: detalles de todas las construcciones susceptibles de ser reutilizadas; reutilización de tierra, piedra o madera para los espacios exteriores o para crear abrigo.
- Vegetación: anotar el tipo y el estado de los árboles, arbustos, pantallas vegetales, cultivos y cubierta vegetal.
- Agua: tomar nota del nivel freático y de cómo se mueve el agua.
- Tipo de suelo: afectará a la cimentación, al drenaje y a la vegetación que se plante.
- Calidad del aire y niveles de ruido: determinarán las opciones de ventilación.
- Espacio disponible para reciclaje o tratamiento de residuos, permacultura, biomasa o producción de alimentos.
- Peligros: contaminación del suelo o de las corrientes de agua subterráneas, radón o fuentes de radiación electromagnética.
- Vistas: las vistas de, desde o a través del solar que deben potenciarse.
- Pautas de movimiento de personas y vehículos.

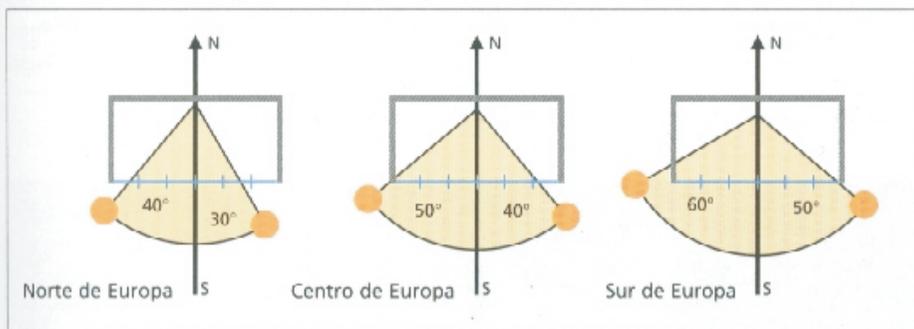
En especial, tenga en cuenta:

Luz solar

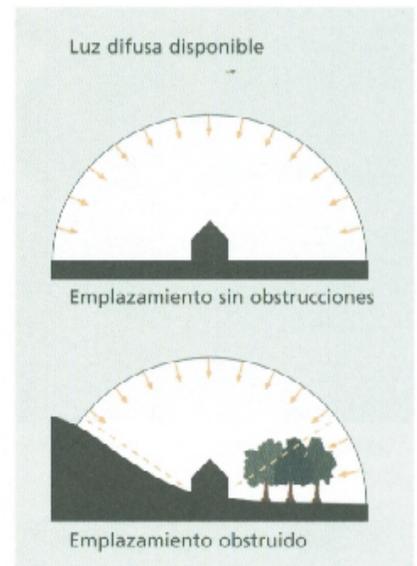
- Un solar orientado al sur recibe más radiación solar si está inclinado que si es llano, un hecho importante en invierno, cuando el ángulo de incidencia de la luz solar es bajo.
- Las pendientes de más del 10 % orientadas a 45° a norte suelen ser poco adecuadas para las aplicaciones solares. Incluso muros bajos pueden provocar obstrucciones.⁹
- La sombra de colinas, árboles o edificios existentes afectará a la cantidad de luz disponible. Defina posibles obstáculos de gran tamaño o cercanos, incluso los situados hacia el norte.

Viento

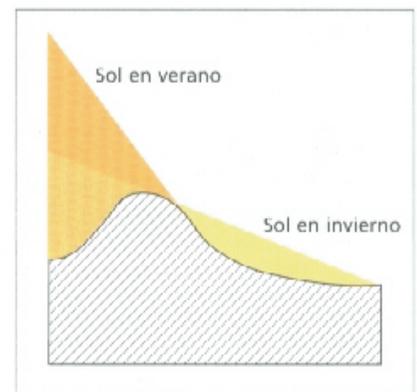
- La velocidad del viento en lo alto de una colina puede ser un 20 % superior en suelo llano.
- Por la noche, el aire frío tiende a descender por las pendientes expuestas, mientras que en lo alto de la colina el aire es más cálido.
- Las costas del mar o de los lagos se caracterizan por la presencia de brisas, incluso en días tranquilos.
- Los valles profundos o las avenidas largas y estrechas pueden actuar como embudos y aumentar la velocidad del viento.
- Los edificios altos pueden producir vientos locales de alta velocidad y turbulencia.



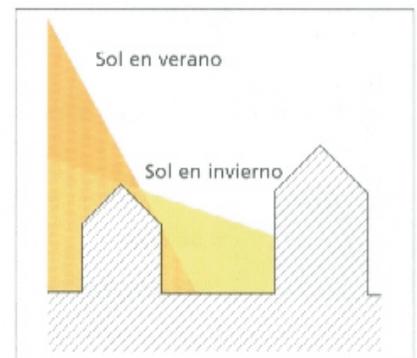
3.21 La mejor orientación para garantizar la máxima ganancia solar varía según la latitud.



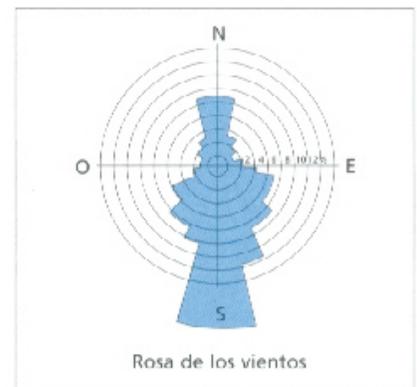
3.18 Efecto de una obstrucción de la cantidad de luz disponible.



3.19 Efecto de la topografía sobre el asoleo.



3.20 Efecto de los edificios sobre el asoleo.



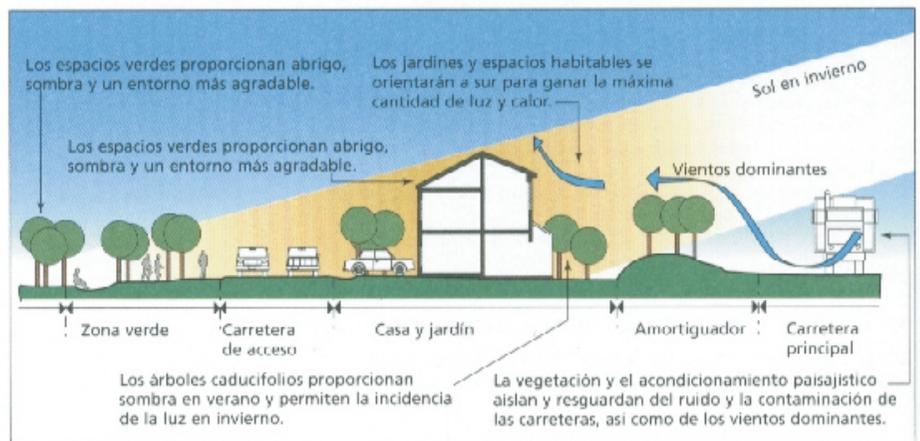
3.22 Dirección de los vientos locales.

Planificación del solar

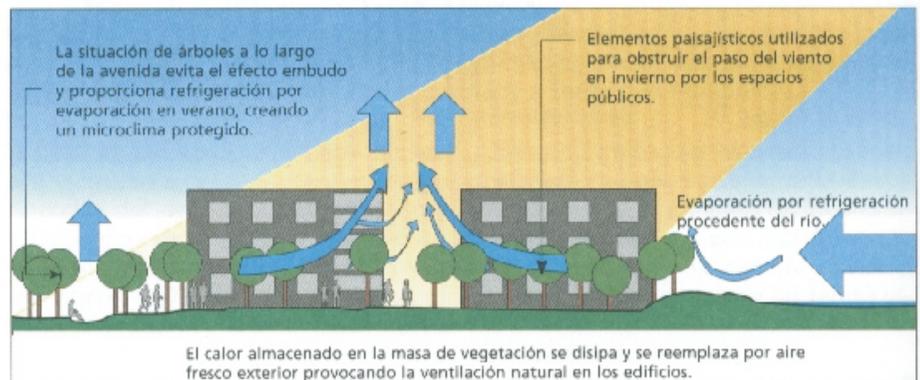
En el capítulo sobre la escala urbana y de barrio se consideraba principalmente el impacto de la urbanización del solar en el entorno regional y global, y sobre la comunidad donde se ubica. En el ámbito del solar, estas consideraciones siguen siendo importantes, pero el proyectista también debe empezar a tener en cuenta las consecuencias para los propietarios y los usuarios de los edificios que se van a construir. En esta fase es importante destacar el valor del trabajo multidisciplinario en equipo.

“Un buen proyecto debería explotar o manipular las características del solar para reducir el consumo de energía en los edificios. El objetivo es crear las mejores condiciones posibles para el edificio y sus ocupantes, y una interacción más positiva con el entorno más amplio”.¹⁰

La planificación del solar suele incluir la evaluación de ciertas características, pero es habitual que no se tengan en cuenta algunos de los rasgos naturales del emplazamiento, ni las posibilidades de utilizar fuentes alternativas de energía. Existen varios tipos de relaciones clave: las relaciones entre los propios edificios, entre los edificios y la topografía del solar, y la armonía general entre los edificios, la vegetación y las formas naturales y artificiales del terreno. Cuando los espacios interiores y exteriores se proyectan con objetivos bioclimáticos, los edificios y el espacio que los rodea reaccionan conjuntamente para regular el ambiente interior y exterior, y para realzar y proteger el solar, los ecosistemas locales y la biodiversidad (3.23, 3.24)



3.23 Estrategias para la planificación del emplazamiento en zonas residenciales.



3.24 Estrategias para la planificación del emplazamiento en edificios comerciales.

Microclima

A la escala del solar, el microclima se debe considerar desde dos puntos de vista diferentes: por un lado, interesa modificar el microclima para crear condiciones óptimas en el interior del edificio con el menor consumo de energía posible; por otro, también se requiere proyectar y ubicar los edificios de manera que creen espacios exteriores agradables, de los que puedan disfrutar los usuarios y los videntes.

Densidad

La ocupación del solar suele estar determinada por una combinación de objetivos económicos y ordenanzas municipales. Conserve y potencie al máximo el paisaje natural y la topografía o, cuando no sea relevante, intente garantizar que los nuevos edificios no afecten negativamente a los edificios cercanos o a las calles y espacios urbanos de la zona. Recuerde que los edificios grandes, además de consumir más energía durante su construcción y uso, tienen un efecto más radical sobre el microclima inmediato.

Transporte

Los caminos peatonales y los carriles bici deberían seguir los contornos del solar, con una pendiente máxima de 1:20 (1:12 como máximo para peatones en distancias muy cortas y 1:14 para ciclistas en distancias no superiores a 30 m).¹¹ Al trazar estos caminos, aproveche los lugares emblemáticos, las vistas y la vegetación existente, pero asegúrese de que sean lo suficientemente visibles y transitados como para garantizar la seguridad de los usuarios (3.25). Cuando se necesiten zonas de aparcamiento, pueden integrarse en el paisajismo general. Las superficies de los aparcamientos no tienen que ser necesariamente impermeables. Los adoquines perforados permiten que crezca hierba, de este modo, cuando no hay coches aparcados, estas zonas pueden formar parte del paisaje.

Zonas verdes

Los jardines y otros espacios verdes sirven de válvula de escape desde el punto visual y físico del espacio cerrado del edificio. Cuando las dimensiones del solar son limitadas, pueden explorarse otras opciones, como balcones, terrazas, azoteas ajardinadas o patios. En las zonas residenciales, los jardines proporcionan la oportunidad de cultivar huertos que, preferiblemente, deberían ser de distintos tamaños. En las zonas verdes, el proyecto debería aprovechar el paisaje, el agua y la vegetación para modificar el viento, la luz, la sombra, el ruido y la calidad del aire, con el fin de crear las mejores condiciones posibles para los usuarios del edificio y del solar.

Los árboles y la vegetación existentes deberían protegerse y utilizarse junto con la nueva vegetación para crear el microclima deseado. La vegetación autóctona ofrece grandes ventajas, y la selección de las variedades adecuadas de árboles, arbustos y cubierta vegetal puede reducir mucho el coste del mantenimiento (3.26).

Evite los elementos paisajísticos que requieran irrigación durante el verano, a menos que se planifiquen instalaciones de almacenamiento y reutilización de aguas pluviales y grises.

Vegetación autóctona

Además de reducir considerablemente los costes de mantenimiento, la vegetación autóctona también:

- promueve la estabilidad y sostenibilidad del paisaje a largo plazo;
- incrementa la diversidad biológica;
- aumenta la recuperación de los acuíferos subterráneos gracias a una mayor absorción;
- regenera la capa orgánica del suelo mediante la descomposición de la cubierta vegetal;
- reduce la erosión del suelo gracias a la cohesión de las raíces;
- reduce el riesgo de inundación al eliminar prácticamente las aguas de escorrentía;
- preserva y/o restablece las plantas y semillas existentes, manteniendo así la memoria genética;
- mejora la calidad del aire gracias a la fijación de carbono en el suelo;
- mejora la calidad del agua gracias a la filtración de aguas sucias y a la disminución de la velocidad de las aguas superficiales;
- reduce el impacto del mantenimiento al disminuir o eliminar el uso de herbicidas, pesticidas y fertilizantes, así como las emisiones de los cortacéspedes a motor y el riego.¹²

Tierra

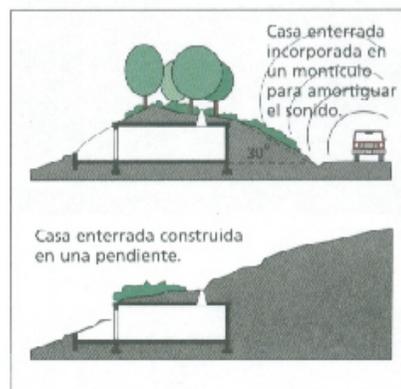
- Las bermas de tierra proporcionan abrigo y desvían el ruido (3.27).
- En un solar en pendiente, el edificio debería construirse sobre terrazas o bancales, en lugar de allanar el terreno.



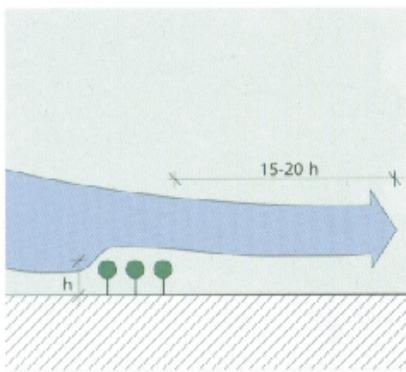
3.25 Planificar rutas peatonales seguras.

Tipo de espacio abierto	Índice
Bosque	100
Arbustos	118
Plantas de poca altura	475
Rosales	1.075
Rosaledas	1.291
Anuales	6.855
Perennes	1.842
Setos	1.303
Césped	
(mantenimiento general)	210

3.26 Comparativa de costes de mantenimiento de distintas plantas. Fuente: *Aanemerij Plantsoerien vande Gemeete*, Departamento de Parques, Róterdam, 1980.



3.27



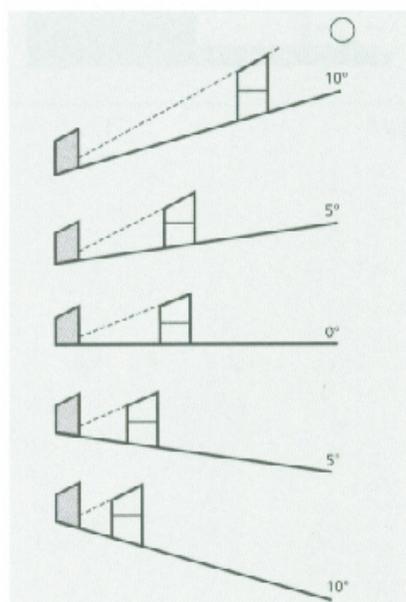
3.28 Cortavientos naturales: extensión de la zona protegida.



3.29



3.30



3.31 Efecto del grado de inclinación sobre el asoleo.

Árboles y arbustos

- Las pantallas de árboles y arbustos pueden reducir la velocidad del viento hasta el 50 % en distancias equivalentes a 10-20 veces su altura (3.8).
- Los árboles con hojas reducen la cantidad de luz disponible del 10 al 20 % de su valor sin obstrucciones; incluso en invierno, los árboles caducifolios la reducen un 40-50 % (3.29).
- Las pantallas de árboles y arbustos densos funcionan como barrera de sonido.
- Los árboles y arbustos absorben CO₂ y pueden eliminar hasta un 75 % de polvo, plomo y otras partículas del aire.
- Los árboles y arbustos pueden reducir las temperaturas veraniegas gracias a la sombra y la transpiración por evaporación (3.30).
- Los árboles y arbustos pueden elevar las temperaturas invernales al disminuir la velocidad del viento y reducir la radiación hacia el cielo nocturno.
- Los árboles de troncos altos y copas amplias proporcionan sombra y, al mismo tiempo, permiten la circulación de aire fresco a ras de suelo.
- Los arbustos y árboles pequeños pueden utilizarse para proyectar sombra sobre los equipos de aire acondicionado o bombas de calor en el exterior para mejorar su rendimiento, pero deben permitir el flujo adecuado del aire, por ello, las plantas no deberían estar a menos de 90 cm del compresor.
- Examine cuidadosamente las plantas existentes en el emplazamiento para identificar aquellas que puedan desempeñar un papel en el ahorro energético. Los árboles maduros serán más fáciles de mantener, normalmente serán más grandes y estarán más asentados que las variedades introducidas.
- Si es necesario plantar árboles grandes, es preferible que las especies seleccionadas tengan una tasa de crecimiento moderada, no alta, porque suelen soportar mejor las tormentas y son más resistentes a los insectos y a las enfermedades.

Cobertura superficial

- La cobertura vegetal (plantas bajas y/o césped) ejerce un efecto refrigerante gracias a la transpiración por evaporación (la pérdida de agua del suelo por evaporación y transpiración de las plantas que crecen en él).
- La temperatura emitida por la cobertura vegetal será de 10 a 15° inferior a la emitida por materiales que absorben el calor, como el asfalto, o por materiales reflectantes, como la grava o piedras de colores claros.
- Un material que absorbe el calor seguirá irradiándolo por la noche.
- Es posible utilizar plantas trepadoras para sombrear los muros y las ventanas. Para que crezcan sin que afecten a los muros, pueden utilizarse armazones.
- Las plantas trepadoras caducifolias dejarán pasar el sol en invierno y proporcionarán una agradable sombra en verano; las de hoja perenne proporcionarán sombra a las paredes en verano y reducirán los efectos de los vientos fríos en invierno.

Agua

- En el sur de Europa, los elementos paisajísticos que utilizan agua pueden ayudar a moderar el microclima mediante la refrigeración por evaporación de los espacios abiertos.
- Siempre que sea posible, intente aislar el espacio que desea refrigerar para concentrar las ventajas de la presencia refrescante del agua en una zona limitada; el patio es una solución clásica.
- El efecto de una fuente sobre la humedad relativa se extiende sólo a un radio de 2 m, a menos que esté rodeada de una zona verde con abundante vegetación.¹³
- En proyectos sostenibles, el drenaje natural del solar puede aprovecharse para crear elementos paisajísticos con agua.

Agua y residuos

En la actualidad, la mayor parte de los espacios urbanizados eliminan las aguas pluviales de escorrentía canalizándolas hacia las redes de saneamiento. Cuando hay tormentas, las alcantarillas acostumbran a desbordarse y, mezclada con las aguas fecales, el agua llega hasta los cursos naturales de agua. Un sistema ecológico de drenaje imita a la naturaleza, elimina la necesidad de tratamiento del agua de escorrentía y es mucho menos costoso. Intente aprovechar el drenaje natural del solar y minimice la extensión de las superficies impermeables de las zonas pavimentadas o de aparcamiento. Esto reduce la velocidad de la escorrentía, y, de este modo, causa menor daño a los terrenos y corrientes de agua colindantes y reduce la presión sobre el sistema de alcantarillado. Asegúrese de que retorne la mayor cantidad de agua posible y en las mejores condiciones a la tierra. Considere también la posibilidad de recoger y almacenar el agua de lluvia para riego, limpieza de superficies exteriores y otros usos exteriores. En cuanto a las aguas fecales, hay una amplia variedad de formas de tratamiento posibles, como los tanques sépticos,

los discos giratorios, la creación de lagunas con tratamientos vegetales o los sanitarios secos. La separación de las aguas grises y fecales ofrece la posibilidad de reutilización de las primeras, una vez tratadas in situ, para irrigación y otros usos.

“Correctamente calculados, los sistemas de infiltración de las aguas de escorrentía, los sistemas naturales de tratamiento de las aguas residuales y las estrategias paisajísticas que economizan agua pueden suponer un ahorro económico para el promotor”.¹⁴ Sin embargo, es importante recordar que incluso estos sistemas naturales necesitan un mantenimiento adecuado para su eficaz funcionamiento.

Siempre que sea posible, proporcione instalaciones para la separación, el almacenamiento y la recogida de residuos sólidos in situ. De los residuos orgánicos pueden fabricarse compost para su uso en el mantenimiento de las zonas verdes públicas o jardines privados de zonas residenciales.

Energía

El uso creativo del solar para reducir la demanda de calefacción o refrigeración dentro de un edificio constituye una de las oportunidades más importantes para el proyecto. La situación más adecuada del edificio se determina analizando las demandas interiores del inmueble con respecto a los datos recogidos durante el estudio detallado del solar (véase ESTRATEGIAS; Selección y análisis del emplazamiento).

Calefacción

En las latitudes más al norte, donde la demanda de calefacción es el factor dominante en muchos edificios, la orientación “ideal” de la fachada principal de un edificio que se quiera proyectar con sistemas pasivos de calefacción es el sur. En los edificios residenciales, la presencia de grandes huecos en la fachada sur permite que el sol inunde el edificio en invierno; los huecos en la fachada norte pueden reducirse al mínimo. En Reino Unido, los estudios realizados por la Energy Technology Support Unit (ETSU) han demostrado que, en una urbanización dada, con una replanificación del solar y la reorientación de las viviendas, se podría reducir la demanda de energía por vivienda en un 50 %.

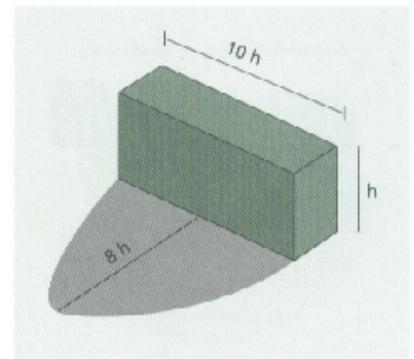
En los edificios no residenciales de dichas latitudes, la ganancia de luz natural a través de grandes ventanas en la fachada norte puede compensar las pérdidas de calor a través de ellas. Además, es necesario prevenir el sobrecalentamiento mediante dispositivos para proporcionar sombra en la fachada sur. En este tipo de edificios, las ventanas de las fachadas este y oeste suelen ser la principal causa de sobrecalentamiento, y es difícil conseguir sistemas eficaces para paliar la situación. En cualquier caso, sería razonable ubicar los edificios en la zona menos sombreadas durante la estación fría para que la necesidad de calefacción se reduzca. Los terrenos inclinados hacia el sur reciben más sol que los que están hacia el norte (3.31). Sitúe los edificios más altos al norte para que no arrojen sombra sobre los más bajos. Cuando evalúe el potencial de ganancia solar, tenga en cuenta la sombra total o parcial que producen los árboles y la radiación térmica procedente de edificios, muros y superficies adyacentes.

Como ya se ha indicado en secciones anteriores, la topografía del solar afecta a la velocidad y la dirección del viento. En muchas zonas de Europa, el viento sopla predominantemente en una dirección, y el proyecto debería intentar desviarlo o reducir su intensidad sin disminuir la ganancia solar.

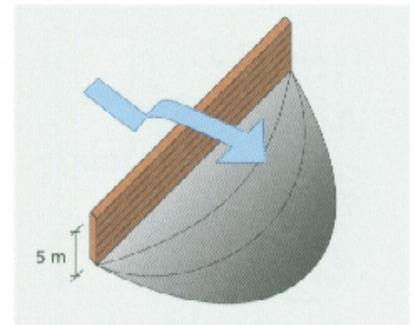
La velocidad o la dirección del viento pueden verse afectadas por nuevas formaciones de tierra, estructuras y vegetación, y los edificios individuales pueden disponerse para bloquear o desviar el viento (3.32, 3.33, 3.34). La utilización o creación de medidas de abrigo en el emplazamiento puede reducir la pérdida de calor de los edificios mediante infiltración y convección hasta en un 15 %.¹⁵ También puede aumentar el confort de los espacios habitables exteriores.

Refrigeración

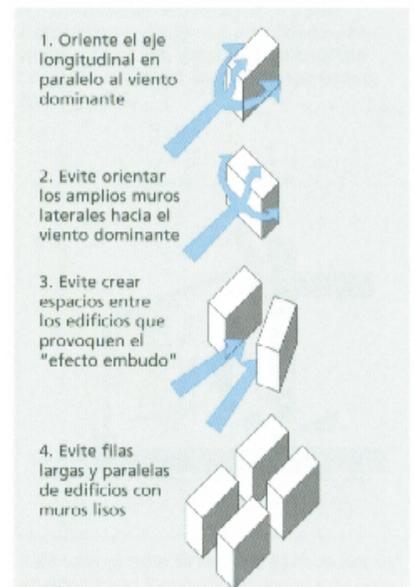
En las latitudes meridionales, la orientación del edificio y la ubicación de las ventanas deben reducir el sobrecalentamiento solar, intentando aprovechar cualquier sombra exterior existente. No olvide, sin embargo, la necesidad de proporcionar niveles adecuados de luz natural.



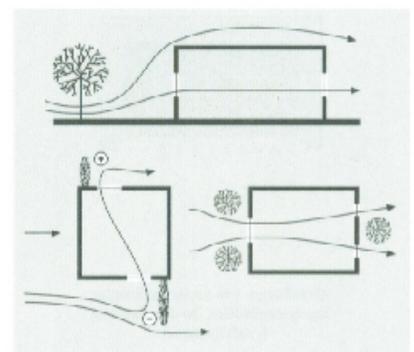
3.32 Barrera sólida: máxima zona protegida.



3.33 Áreas de protección calculadas detrás de un cortavientos permeable.



3.34 Seleccione la forma y la organización de los edificios para evitar corrientes descendentes y proteger los espacios exteriores.



3.35

En el sur, especialmente en edificios construidos con materiales ligeros y con baja inercia térmica, pueden necesitarse medidas específicas. En la estación cálida, puede ser conveniente dirigir el flujo del viento dominante, utilizando la forma del edificio, la vegetación o la topografía, para conducir brisas frescas hacia el interior del edificio o a su alrededor y reducir la demanda de refrigeración (3.35).

Cuando se utilicen superficies duras, los colores claros reflejan la radiación solar más eficazmente y, por tanto, ayudan a que la temperatura de la superficie sea menor, pero pueden causar deslumbramiento. Con respecto a la refrigeración, es recomendable que el número de superficies que absorban el calor y uso de materiales reflectantes cerca de los edificios sea mínimo, y/o que estén protegidos de la incidencia de luz solar directa.

Utilice vegetación (árboles o plantas trepadoras) y cubiertas vegetales en lugar de superficies duras, pues contribuyen a la disminución de las temperaturas gracias a las sombras y a la transpiración por evaporación.

Considere la utilización del agua para proporcionar refrigeración por evaporación.

Ventilación

La calidad del aire y el ruido exterior influyen sobre la posibilidad de abrir las ventanas para poder ventilar.

Los objetos y las superficies duras reflejan el sonido. Por el contrario, la distancia y las barreras (como muros, edificios y bermas) lo reducen, y los suelos y muros blandos lo absorben en cierta medida.

Los árboles pueden desempeñar una función doble en este sentido. Los cortavientos naturales densos actúan como una barrera y, además, absorben CO₂ y pueden eliminar hasta el 75 % del polvo, plomo y otras partículas suspendidas en el aire.

Luz natural

La cantidad de luz natural que recibe el edificio dependerá de la situación de los edificios en el solar, las sombras, del paisajismo y los acabados. Las superficies claras, tanto en el suelo como en los edificios cercanos, aumentarán la cantidad de luz que reciba el interior.

Es necesario estudiar cuidadosamente la situación de los árboles con relación a los edificios, dado que los primeros reducen la transmisión de luz incluso cuando pierden las hojas en invierno. Como regla general, sitúe sólo árboles bajos (de 5-10 m de altura, dependiendo de la distancia) en el lado sur del edificio.

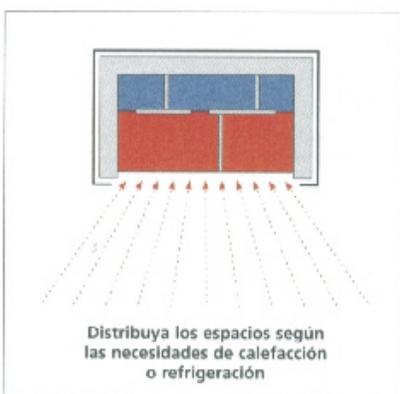
Forma del edificio

La planta y la forma del edificio son el resultado de un proceso complejo en el que es preciso sintetizar aspectos funcionales, técnicos y estéticos. El viento, la cantidad y dirección de la luz del sol, el grado de abrigo y de exposición a los elementos, la calidad del aire y el ruido influyen en la relación del edificio con su entorno exterior, y determinan la forma y el cerramiento. Las estrategias bioclimáticas relacionadas con la calefacción, la refrigeración, la iluminación y la energía deberían combinarse con el resto de prioridades del arquitecto ya en una fase muy temprana. El hecho de que el edificio tenga la forma y la orientación correctas puede reducir el consumo de energía en un 30-40 % sin ningún coste adicional.

Encontrar la forma y la organización espacial adecuadas desde el principio es muy importante. Una vez construido, los cambios en el edificio son muy difíciles de efectuar (por no decir imposibles) y muy costosos, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental.

Distribuya y oriente los espacios, tanto en planta como en sección, teniendo en cuenta sus requisitos de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación, con el objetivo de minimizar la demanda total de energía del edificio (3.36).

Siempre que sea posible, sitúe los espacios que requieran calefacción continuada en las fachadas orientadas a sur, para que se beneficien de la ganancia solar; a norte, sitúe espacios que no la necesitan y que, además, actuarán como amortiguadores térmicos. Los espacios que sólo requieren calefacción intermitente pueden ocupar orientaciones menos favorables. Para un rendimiento óptimo de los



3.36

sistemas pasivos de calefacción, iluminación y refrigeración naturales, los espacios que requieran ganancia solar deberían estar orientados con un ángulo inferior a 15° a sur.

Por el contrario, los espacios que necesitan refrigeración deberían situarse en la fachada norte. Los espacios donde la luz natural es importante deberían estar, obviamente, cerca de los muros o de la cubierta. La profundidad y la sección del edificio son aspectos clave para permitir la ventilación natural.

No es fácil alcanzar estos objetivos para cada espacio al tiempo que se satisfacen las demandas normales de funcionamiento de cualquier edificio, y tiene una fuerte incidencia en su forma (3.37).

En lo que se refiere a la calefacción y la refrigeración, la forma óptima del edificio será la que permita una menor pérdida de calor en invierno y la menor ganancia posible en verano. Esto variará, naturalmente, según las zonas climáticas.

Un edificio alargado con orientación este-oeste expone su cara longitudinal (sur) a la mayor ganancia de calor en los meses de invierno, y las caras transversales (este y oeste) a la mayor ganancia de calor en los meses de verano. En las latitudes europeas, la fachada sur de un edificio recibe al menos tres veces más radiación solar en invierno que las fachadas este y oeste. En verano, la situación se invierte. Tanto en verano como en invierno, el lado norte recibe muy poca radiación. Por lo tanto, se considera que una forma alargada con orientación este-oeste es la más eficaz en todos los climas para reducir los requisitos de calefacción en invierno y de refrigeración en verano, aunque su longitud dependerá del clima.¹⁶

En todos los climas, las viviendas adosadas son las más eficientes, pues sólo tienen dos fachadas al exterior y disponen de ventilación cruzada. Con una misma superficie útil, un piso consume menos energía que una vivienda adosada, una vivienda adosada menos que una pareada, y una pareada menos que una exenta (3.38).

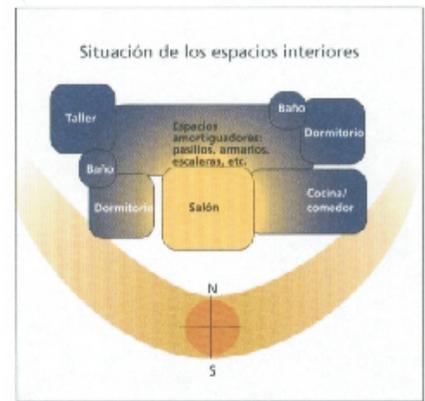
Dos elementos formales utilizados habitualmente en los edificios convencionales, la galería y el atrio, pueden desempeñar un papel importante en el diseño solar pasivo.

La galería ha demostrado ser un elemento práctico y versátil de calefacción solar pasiva. Utilizando distintos enfoques que combinan la ganancia solar directa e indirecta, puede incorporarse al proyecto de un edificio de nueva planta o constituir una extensión de un edificio existente (3.39).

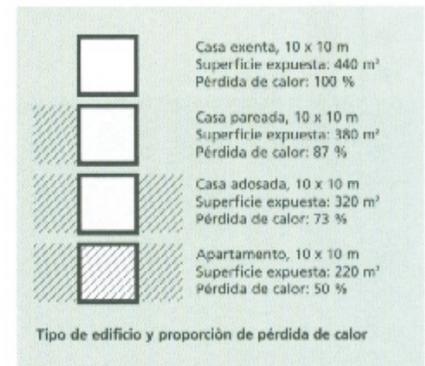
El atrio tiene la capacidad de transformar, tanto en lo funcional como climáticamente, lo que podría considerarse una calle anónima o un patio sin vida, en un espacio protegido y útil, un gran atractivo para cualquier urbanización. Por este motivo, cubrir los espacios entre edificios con vidrio se ha convertido en algo habitual, aunque en muchos casos su potencial de reducir la demanda de calefacción, refrigeración e iluminación sigue sin estar explotada. Un atrio bien proyectado incrementará el confort interior y compensará la inversión llevada a cabo (3.40).

El clima en Europa pasa de una estación fría y otra cálida, de modo que los edificios deben disponer de cierta flexibilidad para adaptarse a los cambios. Además, en muchos emplazamientos las características del microclima crean sus propios problemas, como, por ejemplo, fachadas meridionales demasiado expuestas al viento. Otras condiciones, como emplazamientos angostos, lindes irregulares o normativas locales, pueden limitar aún más las posibilidades del arquitecto para conseguir una respuesta óptima al clima.

Por último, las cuestiones energéticas no pueden ser las únicas que determinen la forma del edificio. Projete teniendo en cuenta la flexibilidad y la adaptabilidad para facilitar la futura reutilización del edificio, pero recuerde que, en lo que se refiere al impacto medioambiental, la expresión "lo pequeño es bello" sigue siendo una recomendación válida.

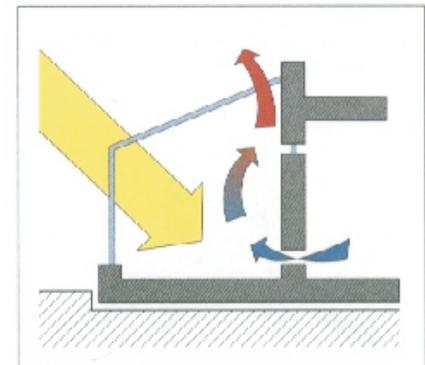


3.37

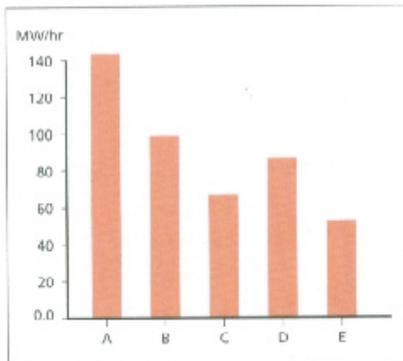
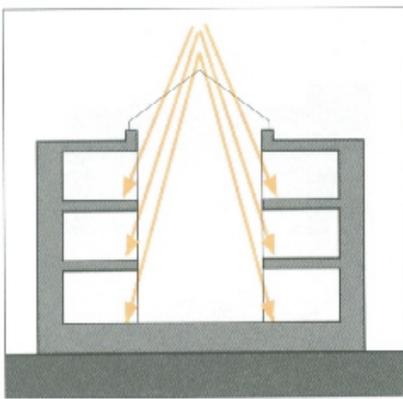


3.38 Pérdida de calor de distintos tipos de viviendas.

Fuente: Barton, H.; Davies, G.; Guise, R., *Sustainable settlements: a guide for planners, designers and developers*, University of the West of England/The Local Government Management Board, Bristol, 1995.



3.39 Una galería sirve para aprovechar la energía solar y reducir la pérdida de calor.



3.40 Consumo anual de calefacción de un edificio con atrio:

A - sin atrio;

B - con atrio, pero sin ventilación combinada con el edificio;

C - precalentamiento del aire de la ventilación;

D - aire de la ventilación expulsado al atrio, aumentando su temperatura;

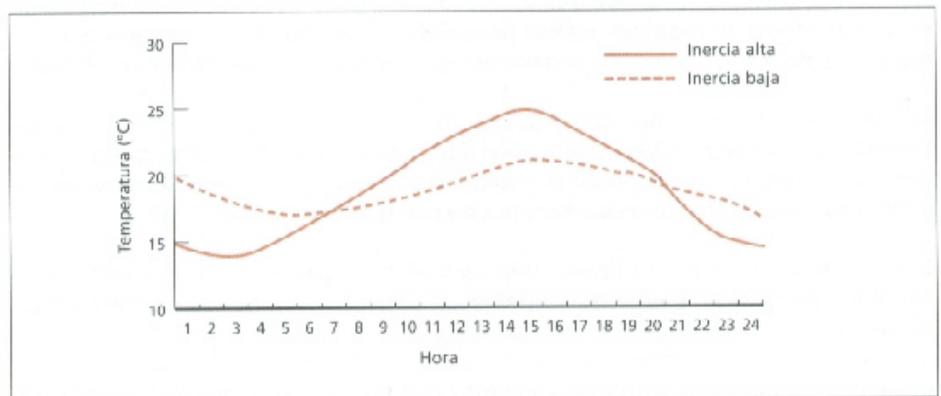
E - recirculación del aire entre el edificio y el atrio.

Fuente: Baker, N., "Light and shade: optimising daylighting design", en *European directory of sustainable and energy efficient buildings*, James & James, Londres, para la Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 1995.

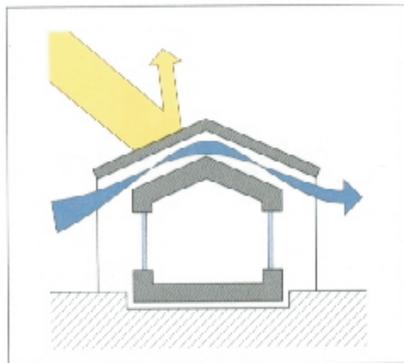
Latitudes norte

En aquellos lugares donde la calefacción es el requisito predominante, las siguientes estrategias pueden ser eficaces:

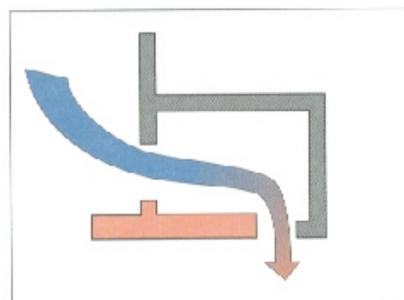
- baja relación entre superficie y volumen;
- aumento de la ganancia solar;
- reducción de la superficie orientada a norte o expuesta a los vientos dominantes;
- aislamiento de los cerramientos del edificio;
- control de la ventilación y la infiltración;
- utilización de dobles puertas entre los espacios calefactados y los que no lo están o el exterior;
- situación de las puertas de entrada lejos de esquinas y de los vientos dominantes;
- utilización de "zonas amortiguadoras" en las fachadas norte o expuestas, y galerías sin calefactar en las sur. Cuanto menor sea la diferencia entre la temperatura interior y la exterior, menor será la pérdida de calor a través del cerramiento;
- utilización de atrios y patios como zonas amortiguadoras térmicas y para introducir luz natural en plantas profundas;
- utilización de la inercia térmica para almacenar el calor producido por la ganancia solar y transmitirlo a medida que descienden las temperaturas interiores (3.41).



3.41 Temperaturas interiores en un día caluroso en edificios de alta y baja inercia térmica. La masa térmica puede ser útil tanto en climas cálidos como fríos.



3.42 Los aleros y las marquesinas proporcionan sombra al cerramiento.



3.43 Sitúe los huecos de forma que aprovechen los vientos dominantes.

Latitudes sur

En aquellos lugares donde la refrigeración es el requisito predominante, pueden aplicarse las siguientes estrategias:

- baja relación entre superficie y volumen;
- reducción de la superficie orientada a sur;
- creación de aleros, soportales, contraventanas y marquesinas para sombrear el cerramiento (3.42);
- aislamiento de los cerramientos, sobre todo la cubierta;
- control de la ventilación y la infiltración cuando las temperaturas exteriores son altas;
- creación de chimeneas de ventilación cuando las temperaturas exteriores sean lo suficientemente frescas;
- situación de huecos en la fachada sombreada del edificio, o de forma que se aprovechen los vientos dominantes (3.43);
- utilización de "zonas amortiguadoras térmicas" en las fachadas sur;
- utilización de la inercia térmica para almacenar el calor producido por la ganancia solar y así reducir el sobrecalentamiento de los espacios interiores;
- utilización de patios para crear bolsas de aire frío cerca del edificio y proporcionar luz natural a plantas profundas;
- utilización de agua para proporcionar refrigeración por evaporación.

Envolvente

En la arquitectura sostenible, la relación entre el rendimiento del edificio y la envolvente es fundamental. En cualquier edificio se espera que el cerramiento aisle del viento, la humedad y la lluvia, que permita la entrada de luz y aire, que conserve el calor y que proporcione seguridad e intimidad. En un edificio sostenible, también podemos esperar que modere los efectos del clima sobre los sistemas energéticos del edificio, que capte y almacene el calor, que redirija la luz, controle el movimiento del aire y genere energía.

Un cerramiento de mayor calidad puede ser más caro, pero si mejora el equilibrio entre las pérdidas y ganancias de calor, reduce las necesidades de calefacción, elimina la necesidad de calefacción perimetral o hace descender las facturas de combustible; el coste adicional puede verse compensado por el ahorro posterior.

Aparte de los huecos de ventilación que puedan contener, las superficies ciegas de los muros, suelos y cubiertas son elementos estáticos. Entre sus funciones se incluyen la térmica, relacionadas con la calefacción y la refrigeración —proporcionar abrigo y aislamiento y moderar los cambios bruscos de temperatura mediante el uso de la masa térmica—, la acústica y la producción de energía (3.44).

Los elementos acristalados pueden ser más dinámicos para responder a cambios a corto y a largo plazo en las condiciones interiores y exteriores. Tienen funciones más complejas, como permitir la iluminación natural, proporcionar vistas y comunicación con el exterior, calentar a través del uso controlado de la ganancia solar y refrigerar a través de la sombra y la ventilación (3.45).

Estrategias sostenibles para el diseño del cerramiento

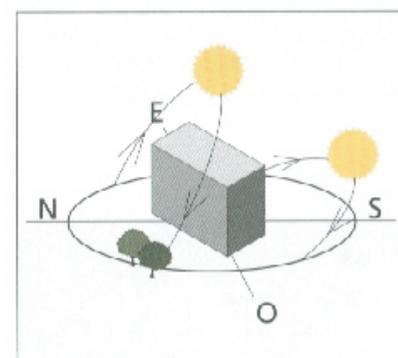
- Responder a la orientación. El mundo que rodea el edificio no es simétrico. Modifique el cerramiento para responder a los problemas y oportunidades presentados por las orientaciones de las distintas fachadas (3.46).
- Mantenga la fábrica del edificio caliente. Coloque el aislamiento lo más cerca posible de la cara exterior de la envolvente, permitiendo así que la masa térmica del edificio modere las fluctuaciones de temperatura interiores y eleve la temperatura radiante del interior.
- Projete con el objetivo de la durabilidad. Especifique materiales de larga vida útil y bajo coste de mantenimiento para reducir al mínimo el consumo de energía y de materiales durante la vida útil del edificio.
- Simplifique las cosas. Haga todo lo que sea posible mediante la arquitectura antes de recurrir a la instalación de sistemas mecánicos para ajustar el ambiente interior.



3.44.
Arquitectos: Boje Lundgaard y Lene Tranberg.



3.45 Fachada activa.
Arquitecto: Fielden Clegg; fotografía: Dennis Gilbert.



3.46 Responder a la orientación.

Los aspectos que deben tenerse en cuenta en el diseño de la fachada incluyen:

- Propiedades de transmisión térmica, solar y lumínica de los elementos;
- control de los huecos en lo que se refiere a pérdidas y ganancias de calor;
- potencial de captación y almacenaje térmicos;
- proporción de acristalamiento.

El papel que se espera que desempeñe el cerramiento de un edificio concreto dependerá de las estrategias adoptadas para calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación.

El siguiente cuestionario puede ayudar a tomar decisiones en cuanto al diseño y las especificaciones del cerramiento:

- ¿Queremos que sea un edificio de respuesta rápida o lenta?
- ¿Se utilizará el cerramiento para almacenaje térmico?
- ¿Cuál es el objetivo principal: aprovechar la luz natural, maximizar la ganancia de calor o minimizar la pérdida de calor?
- ¿Hay que solucionar problemas concretos relacionados con el uso, el emplazamiento o la orientación?

Cuestiones como la energía incorporada y la salud también influirán en la selección de los materiales.



3.47.
Arquitectos: Sotomayor, Domínguez y López de Asián.

Elementos opacos/macizos

Los elementos sólidos del cerramiento pueden desempeñar funciones tanto de calefacción como de refrigeración, mediante el uso de la masa térmica, el aislamiento y la prevención de infiltraciones de aire.

Calefacción y refrigeración

En el norte de Europa, el rendimiento térmico del cerramiento se mide en función de la retención del calor. Los edificios pierden calor a través de su fábrica exterior y a causa de la ventilación y las infiltraciones de aire incontroladas.

En el sur de Europa, los muros pueden facilitar la transferencia de calor no deseado hacia el interior. Tradicionalmente se utilizan paredes macizas pintadas de colores intensos para reflejar la radiación solar, mientras que la inercia térmica de los muros de mampostería se aprovecha para ralentizar la ganancia solar no deseada y difundirla durante la noche, manteniendo fresco el interior (3.47).

Tanto en sus funciones de calefacción como de refrigeración, las propiedades térmicas de un muro opaco pueden controlarse a través de:

- la conductividad y la capacidad de almacenamiento térmico de los materiales (masa térmica);
- el aislamiento térmico;
- la buena ejecución de los detalles.

Masa térmica

Estudios recientes han analizado el diseño solar pasivo de los edificios de uso no doméstico y han llegado a las siguientes conclusiones:¹⁷

- una alta masa térmica estabiliza las temperaturas durante el día y contribuye a la refrigeración nocturna, pero puede incrementar ligeramente los costes en calefacción;
- la mejor forma de aumentar la masa térmica es maximizar la superficie; el aumento del grosor es relativamente ineficaz;
- la masa térmica no debería estar aislada térmicamente del aire que circula por el interior (debajo de un suelo técnico o encima de un falso techo, por ejemplo);
- cuando el objetivo de la masa térmica expuesta es moderar las temperaturas durante el día, deberían proporcionarse medios seguros y controlables de refrigeración nocturna.

Muros

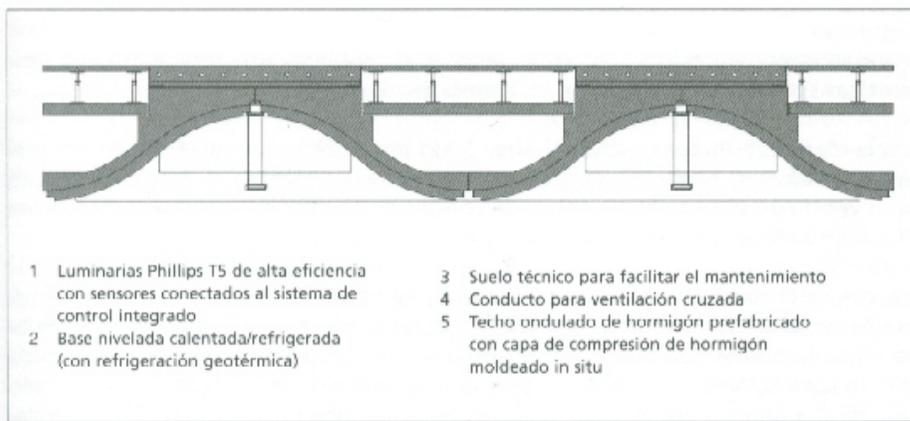
Los materiales utilizados para construir muros pueden clasificarse según su alta o baja masa térmica. Por ejemplo, la obra de fábrica tiene una buena inercia térmica que ralentiza la respuesta del edificio a los cambios en las temperaturas exteriores y evita alteraciones bruscas de la temperatura interior. Los ladrillos cerámicos, los bloques de hormigón y el adobe son ejemplos de este tipo de construcción.

Los edificios de baja masa térmica son los que tienen estructura de madera o metálica revestida con paneles ligeros, lo que proporciona una rápida respuesta térmica a los cambios climáticos exteriores y produce grandes cambios de temperatura en el interior. La construcción con estructuras de madera se utiliza cada vez más y permite altos grados de aislamiento.¹⁸

En los edificios ocupados durante el día, la masa térmica absorbe el calor, liberándolo por la noche, lo que reduce las temperaturas máximas del aire durante el día. El confort térmico depende tanto de la temperatura radiante media como de la temperatura del aire, y la temperatura de la superficie de los materiales con una alta masa térmica es más baja que la temperatura máxima del aire, lo que contribuye al confort.

Suelos

Los suelos flotantes de madera tienen menos energía incorporada que los de hormigón (véase TEMAS; Medio Ambiente). Sin embargo, una losa de hormigón puede servir de almacenaje térmico, siempre que no esté revestida con un acabado ligero, como muestra la sección transversal del suelo del edificio BRE en Reino Unido (3.48).



3.48 Edificio del BRE, construcción del suelo.
 Arquitecto: Fielden Clegg.

Aislamiento

Los muros, las cubiertas y otras partes opacas de un edificio deben incluir aislante térmico tanto para reducir la pérdida de calor como para mantener las superficies interiores a una temperatura superior. El aislamiento, por lo tanto, aumenta los niveles de confort.

La reducción de la pérdida de calor mediante niveles superiores de aislamiento sigue siendo la medida más eficaz para conservar energía, pero recuerde que aumentar el grosor del aislante está sujeto a la ley de rendimientos decrecientes. Por ejemplo, el ahorro que supone aumentar el grosor de 4 a 6 cm es comparable al que se obtiene al aumentarlo de 6 a 12 cm (3.49, 3.50).

Muros

El aislamiento puede colocarse en la cara exterior, en la interior o dentro del propio muro sin modificar sus propiedades generales. Los patrones de ocupación, el tiempo de respuesta del sistema de calefacción y de sus controles y la masa térmica óptima del edificio determinarán la posición más adecuada.¹⁹

Aislamiento interior

El aislamiento interior separa la masa térmica de los muros del espacio habitado y reduce tanto el tiempo de respuesta como la energía que se requiere para que el espacio alcance el nivel de confort. Puede que otros elementos proporcionen masa térmica que modere las fluctuaciones de temperatura en el espacio. Si no es así, esta opción sólo es recomendable para edificios que se calientan de forma intermitente.

La desventaja del aislamiento interior es que tiende a producir problemas relacionados con la ejecución de los detalles, como los puentes térmicos y la condensación.

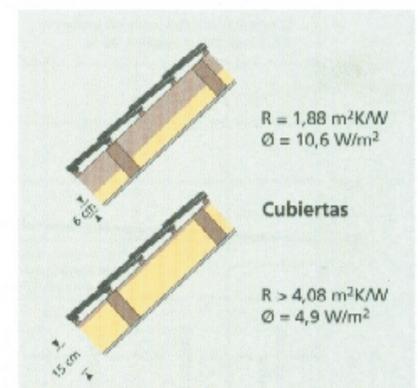
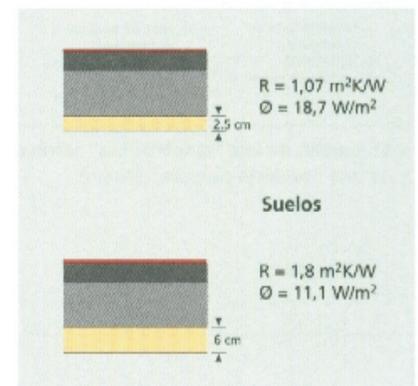
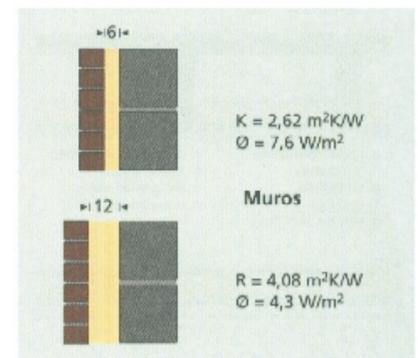
Aislamiento exterior

La mayor capacidad térmica que se produce como resultado de colocar el aislamiento en la cara exterior del edificio supone que se reducen las fluctuaciones en la temperatura del aire, pero el espacio tardará más tiempo en calentarse o enfriarse. Por lo tanto, este sistema es más recomendable para edificios que se calientan de forma continuada.

La desventaja de colocar el aislamiento en el exterior es que las capas de acabado situadas por fuera del aislamiento estarán sometidas a grandes cambios de temperatura, que pueden producir esfuerzo térmico y desplazamientos.

Aislamiento intersticial

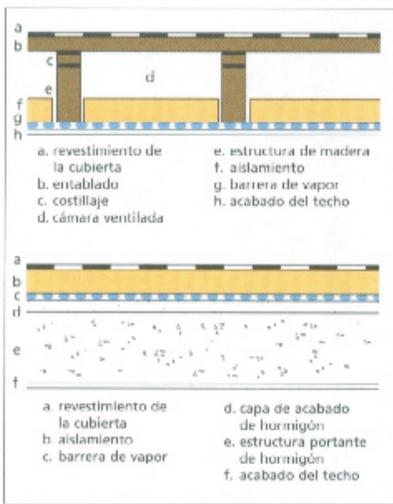
En algunas partes de Europa, es habitual construir con muros huecos. La cámara de aire puede aislarse parcial o totalmente, dependiendo de los detalles constructivos y del clima. Este tipo de aislamiento proporciona algo de inercia térmica al interior del muro y reduce considerablemente el riesgo de condensaciones dentro del edificio. También reduce las posibilidades de que se produzcan puentes térmicos.



3.49 Tipos de aislamiento térmico.

Materiales	Conductividad térmica W/mK
Tablero de oliestileno expandido	0,036-0,038
Tablero de poliestileno expandido para relleno parcial de la cámara de aire	0,025
Manta de fibra de vidrio	0,040
Placa de fibra de vidrio para relleno parcial de la cámara de aire	0,034
Manta de fibra mineral	0,037
Placa de fibra mineral para relleno parcial de la cámara de aire	0,032-0,033
Tablero de poliuretano	0,023-0,025

3.50 Conductividad térmica de algunos materiales aislantes habituales.



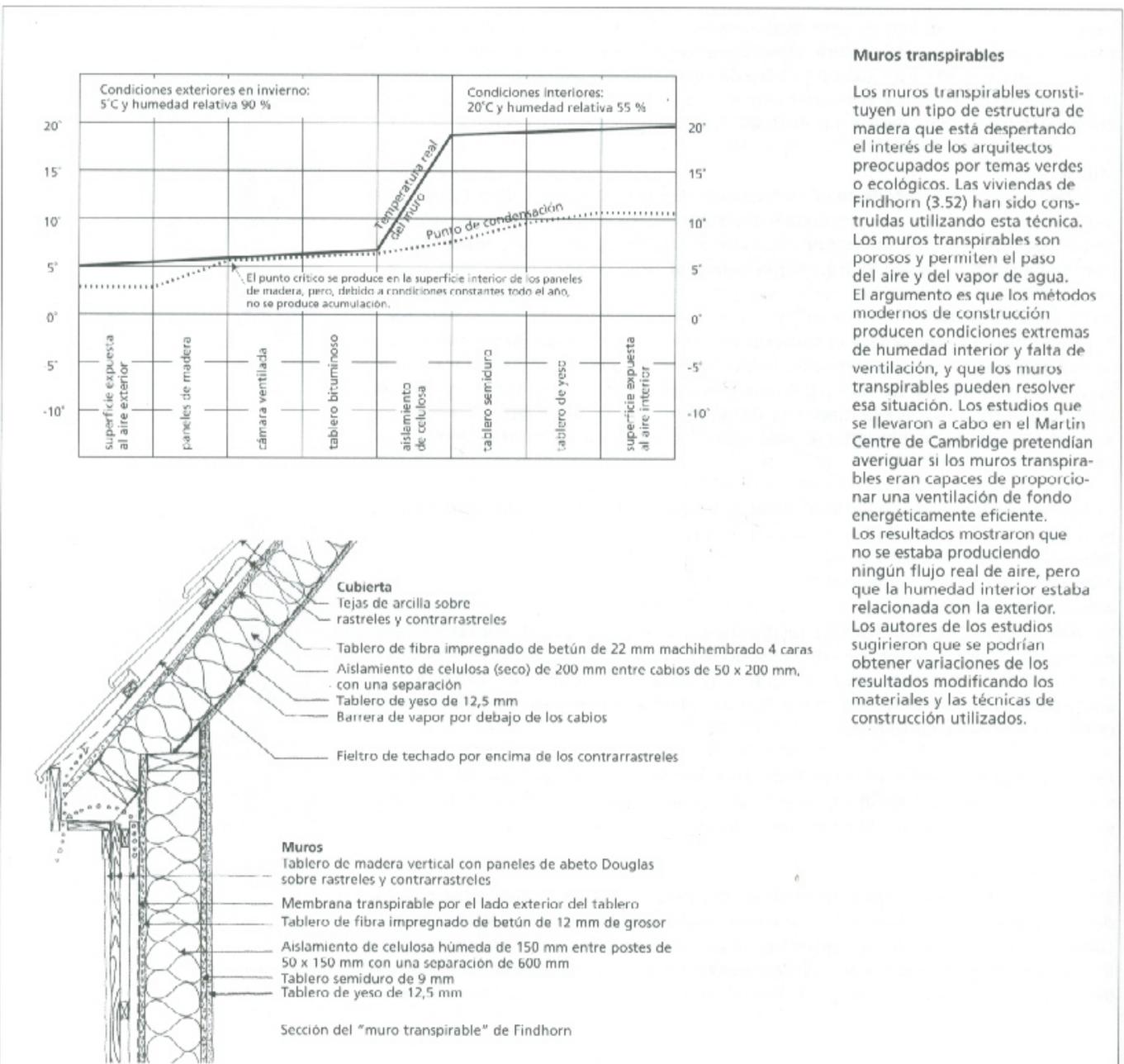
3.51 Sección de una "cubierta fría" (arriba) y de una "cubierta caliente" (abajo).

Cubiertas

Normalmente, la posición del aislamiento en la cubierta ofrecerá ventajas y desventajas similares a las descritas en el caso de los muros.

Las cubiertas inclinadas suelen aislarse justo por encima del nivel del techo, y el espacio bajo la cubierta queda sin calefactar (si no es habitable). Este espacio está bien ventilado y existe poco riesgo de condensación. Puede mejorarse fácilmente el aislamiento añadiendo otra capa.

Las cubiertas planas pueden ser de dos tipos: la "cubierta fría" se ventila por encima del aislamiento, mientras que en la "cubierta caliente" el aislamiento se coloca inmediatamente debajo del revestimiento y no está ventilada. Se recomienda la "cubierta caliente", ya que presenta menor riesgo de condensación, pero, como se indicaba antes sobre el aislamiento exterior, las capas situadas encima del aislamiento estarán sujetas a grandes fluctuaciones de temperatura y podrán sufrir esfuerzo térmico y desplazamientos (3.51).



3.52 Muros transpirables.

Muros transpirables

Los muros transpirables constituyen un tipo de estructura de madera que está despertando el interés de los arquitectos preocupados por temas verdes o ecológicos. Las viviendas de Findhorn (3.52) han sido construidas utilizando esta técnica. Los muros transpirables son porosos y permiten el paso del aire y del vapor de agua. El argumento es que los métodos modernos de construcción producen condiciones extremas de humedad interior y falta de ventilación, y que los muros transpirables pueden resolver esa situación. Los estudios que se llevaron a cabo en el Martin Centre de Cambridge pretendían averiguar si los muros transpirables eran capaces de proporcionar una ventilación de fondo energéticamente eficiente. Los resultados mostraron que no se estaba produciendo ningún flujo real de aire, pero que la humedad interior estaba relacionada con la exterior. Los autores de los estudios sugirieron que se podrían obtener variaciones de los resultados modificando los materiales y las técnicas de construcción utilizados.

Suelos

Está demostrado que las pérdidas de calor a través del suelo de la planta baja son superiores a lo que indican los cálculos estándar. La pérdida de calor a través del forjado no es constante en todo el suelo, sino que es mayor en los extremos. Aislar los extremos del forjado será tan eficaz como aislar toda la superficie,²⁰ y el cálculo del coeficiente K deberá tener en cuenta tanto el tamaño del forjado como las condiciones de sus extremos.

Un suelo flotante de madera requiere aislamiento adicional, que normalmente consiste en una capa continua de un material semirrígido o flexible colocado por encima de las viguetas (y por debajo del acabado), o de un material semirrígido colocado entre las viguetas. El coeficiente K se calcula combinando el acabado, las cámaras de aire y todo el aislamiento situado por encima de la estructura.

Construcción del muro superaislado

Esta técnica es ampliamente utilizada en Canadá y los países escandinavos. Emplea una combinación de altos niveles de aislamiento y una estructura de madera. Es más hermético, causa menos puentes térmicos y está construido más cuidadosamente.

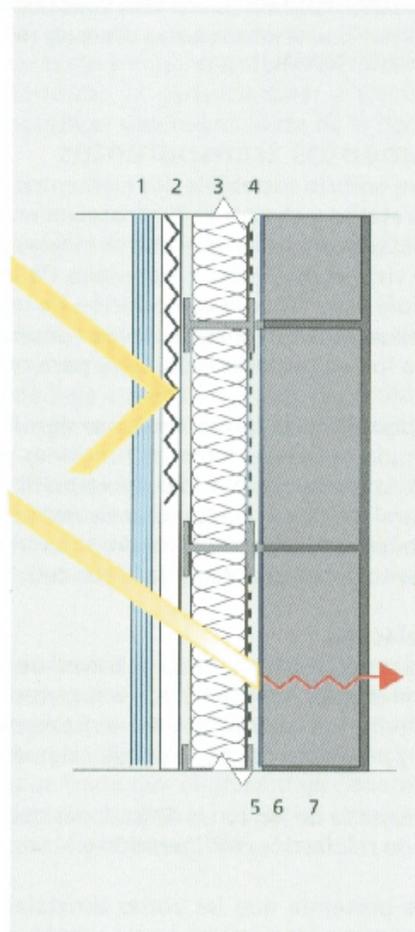
El superaislamiento ejerce menos impacto sobre el carácter arquitectónico del edificio que otras estrategias sostenibles. Es menos exigente en cuanto a la disposición en planta, en sección, la orientación y las ventanas que una estrategia solar pasiva.

Los niveles altos de aislamiento constituyen la mejor forma de ahorrar energía, pero, más allá de un cierto punto, el incremento del aislamiento producirá rendimientos decrecientes, y ese punto varía según el clima y el coste del combustible. Es preciso tener mucho cuidado para evitar fugas de aire; la existencia de humedad en la cámara afectará al rendimiento del aislamiento y hará que se pudra la estructura.

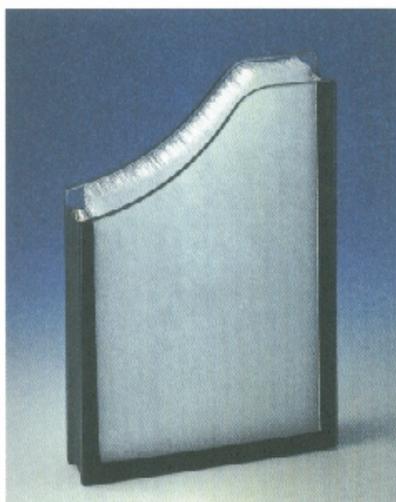
El superaislamiento es una técnica de construcción utilizada principalmente en los climas fríos. En los climas cálidos y húmedos, aumentar la resistencia térmica del edificio supone añadir barreras radiantes. La barrera radiante debería estar colocada hacia una cámara de aire y no estar sellada, porque entonces actuaría como un retardador de vapor y produciría condensación dentro del muro (véase ELEMENTOS; Barreras radiantes).

Diagrama de la sección de un muro con aislamiento transparente

1. Hoja de vidrio con bajo contenido en hierro en baquetillas.
2. Cámara de aire con persiana motorizada, que se puede subir para captar la radiación solar o bajar para reflejar la no deseada en verano o conservar el calor por la noche.
3. Material de aislamiento transparente y anclajes de soporte.
4. Línea discontinua: lámina posterior de policarbonato transparente para prevenir pérdidas de calor por convección por el aislamiento.
5. Cámara para prevenir pérdidas de calor por conducción por el aislamiento. La cámara se cierra horizontalmente en tramos para reducir la circulación del aire, que aumentaría las pérdidas por convección.
6. Capa de pintura azul oscuro para aumentar la absorción del calor.
7. Muro de bloques densos de hormigón para almacenar el calor, con enlucido interior de yeso.



3.53 Construcción del muro superaislado.



3.54 Vidrio Okalux con aislamiento transparente.

Fuente: Okalux Kapillarglas GmbH.

Elementos traslúcidos

Calefacción

El material de aislamiento transparente (MAT) puede admitir la luz natural pero sin la pérdida de calor asociada al acristalamiento tradicional. Además, su composición permite la ganancia solar. Los estudios demuestran que la demanda de calefacción tanto en instalaciones nuevas como en readequaciones puede reducirse hasta un 75 % mediante la utilización de MAT.²¹ Sin embargo, es necesario tener cuidado para evitar el sobrecalentamiento.

Iluminación natural

La introducción de un material de aislamiento transparente entre hojas de vidrio en un marco convencional puede servir para reemplazar las ventanas tradicionales en lugares donde se requiere luz, pero no vistas (3.54, 3.55). Existen distintas categorías de MAT y la transmisión de luz varía entre el 45 y el 80 %, con una reducción de aproximadamente el 8 % por cada hoja de vidrio protector que se utilice. Los valores de aislamiento térmico resultantes son mucho mejores que los del vidrio: un MAT de poliamida hexagonal de 98 mm tiene un factor de transmisión de luz del 61 %, combinado con una resistencia térmica cinco veces superior a la del vidrio doble normal. En este momento, el coste es aproximadamente tres veces superior al de las ventanas de vidrio doble convencionales.



3.55 Residencia de estudiantes en Windberg (Alemania) con fachada transparente aislada. Arquitecto: Thomas Herzog.

Elementos transparentes

En un edificio sostenible, los elementos acristalados suelen ser la característica más interesante y compleja. El acristalamiento y el diseño de las ventanas son las áreas en las que se han producido los mayores avances técnicos en los últimos años, que han visto surgir nuevos materiales de los laboratorios de investigación. Ahora es posible especificar la composición de una unidad de acristalamiento para cumplir los requisitos de ganancia solar, conservación del calor, y transmisión y dirección de la luz en distintas latitudes y para orientaciones diferentes (3.56).

Un buen diseño de las ventanas significa hallar un equilibrio entre demandas a menudo opuestas, como las funciones pasivas de calefacción y refrigeración: permitir la ganancia solar pero no admitir excesivo calor; proporcionar suficiente luz natural sin causar deslumbramiento; facilitar la ventilación controlada del edificio sin que entre demasiado ruido; proporcionar contacto visual con el entorno, pero garantizar la intimidad y la seguridad.

Calefacción

La ganancia solar directa a través de ventanas orientadas correctamente es la manifestación más sencilla, y a menudo más eficaz, de la arquitectura "climática". El diseño y la orientación del acristalamiento deberían optimizar la ganancia solar útil y minimizar las pérdidas de calor durante la estación fría.

El proyecto de las zonas acristaladas debe alcanzar un equilibrio entre las necesidades de calefacción, refrigeración y luz natural (véase: EVALUACIÓN; El método LT).

Si se pretende que las zonas acristaladas orientadas al sur tengan dimensiones superiores a las necesarias para admitir luz solar, con el fin de aumentar la ganancia térmica, es necesario mejorar su coeficiente K. Sin embargo, un coeficiente K más bajo en el vidrio suele estar asociado con una reducción de la transmisión de luz.

Descripción	Grosor en mm (las cifras en cursiva se refieren a la cámara de aire)	% Transmisión directa de calor radiante	Coefficiente K W/m ² K	% Transmisión de luz
Vidrio transparente sencillo	6	0,83	5,4-5,8	88
Doble	6, 12, 6	0,72	2,8-3	78
Doble con capa de baja emisividad	6, 12, 6	0,52	1,7-2	74
Triple	6		1,9	69
Triple con dos capas de baja emisividad	6, 12, 6	0,45	1-1,2	65
Doble capa de baja emisividad y espacio parcialmente evacuado	6, 12, 6	0,5-0,75	0,5	74
Doble con capa de baja emisividad y cámara de argón	6, 12, 6, 12, 6	0,5-0,75	1,5	74
Triple con dos capas de baja emisividad y doble cámara de argón	6, 12, 6	0,45-0,65	0,8	65
Doble con hoja exterior reflectante	6, 12, 6	0,3-0,49	2,7-2,8	36-61
Doble con hoja exterior que absorbe el calor	6, 12, 6	0,16	2,3-2,6	9-35
Bloque de vidrio	100		2,9	75
Bloque de vidrio	80		3,24	75
Vidrio aislante sellado, eléctrico, con capa de baja emisividad y cámara de argón	6, 12, 6	0,72	1,48-0	72

(en funcionamiento)

3.56 Características ópticas y térmicas de varios materiales de acristalamiento (datos recogidos de catálogos de productos de distintos fabricantes).

Por otra parte, mejorar el coeficiente K del acristalamiento significará incrementar la temperatura radiante media del espacio y, por tanto, reducir la temperatura del aire que exige el confort (3.57, 3.58).

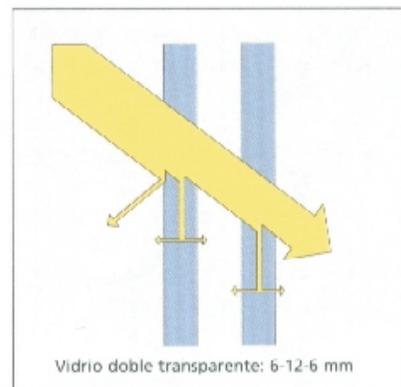
Otra alternativa es utilizar zonas acristaladas que no sean más grandes de lo necesario, para admitir la luz solar e instalar niveles muy altos de aislamiento, intentando siempre evitar que se produzcan puentes térmicos y minimizando las pérdidas por infiltración. En un edificio de estas características, la ganancia solar a través de ventanas de tamaño convencional debería satisfacer una buena parte de la demanda de calefacción.

Aislamiento térmico

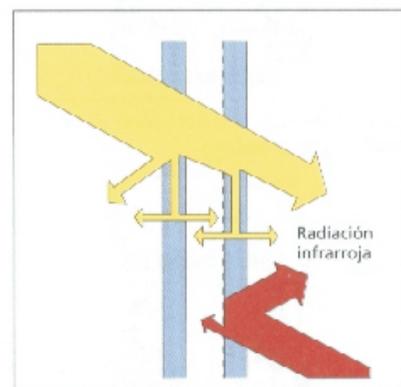
El vidrio es un mal aislante térmico. Existen varias formas de reducir la pérdida de calor a través del acristalamiento:

- el vidrio doble (dos hojas de vidrio con una cámara de aire intermedia) es el tipo de acristalamiento eficiente especificado con mayor frecuencia;
- el revestimiento del vidrio con una capa de baja emisividad reduce la pérdida de calor por radiación; resulta caro, pero su especificación podría justificarse simplemente por motivos de confort;
- algunos gases, como el argón o el criptón, pueden utilizarse en la cámara en lugar del aire para reducir aún más la pérdida de calor por convección.
- se están desarrollando elementos de vidrio doble al vacío total o parcial (véanse los valores teóricos del coeficiente K de los distintos tipos de vidrios en la ilustración 3.59).

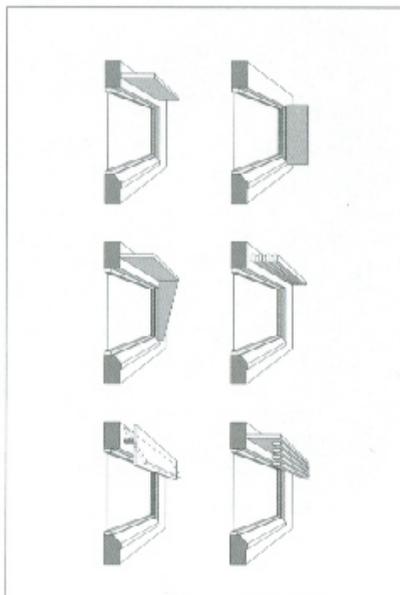
Además de las cualidades de conductividad térmica del propio vidrio, también se pierde calor a través y alrededor de las ventanas debido a la infiltración y la radiación. Las ganancias y pérdidas por infiltración equivalen al 39 % de las ganancias y pérdidas a través del propio vidrio. Los marcos bien ajustados y el uso de burletes reducirán las pérdidas y ganancias de calor. Dado que el porcentaje general del alzado que ocupa la carpintería puede llegar a ser de un 10-20 %, el valor del marco en términos de aislamiento térmico es importante (3.60).



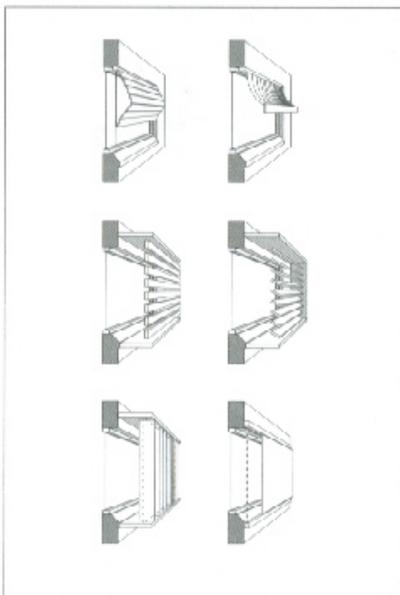
3.57 Transmisión a través de sistema estándar de doble acristalamiento.



3.58 Transmisión a través de acristalamiento típico de baja emisividad.



3.61 Dispositivos fijos exteriores para proporcionar sombra.



3.62 Dispositivos ajustables exteriores para proporcionar sombra.

Tipo de vidrio	Coefficiente K W/m ² K	% Transmisión de luz	% Transmisión solar
Vidrio transparente			
Vidrio sencillo, 4 mm	6	88	83
Vidrio doble con cámara de aire (4-12-4)	3	80	76
Vidrio doble con capa de baja emisividad y cámara de argón (4-12-4)	1,5	77	65
Vidrio triple con cámara de aire (4-12-4-12-4)	2	72	67
Vidrio triple con capa de baja emisividad y cámara de argón	1,2	70	60
Vidrio de baja emisividad con cámara al vacío (4-12-4)	0,5	77	65
Vidrio reflectante			
Vidrio doble de reflexión media con capa de baja emisividad (6-12-6)	1,6	29	39
Vidrio doble con revestimiento de bronce, capa de baja emisividad y cámara de argón (6-12-6)	1,6	9	13

3.59 Ejemplos de valores clave para distintos tipos de vidrio.
Fuente: EC2000 Information dossier.

Material del marco	Coefficiente K W/m ² K
Madera: grosor medio > 80 mm	1,6
Madera: grosor medio 50-80 mm	2
Madera: grosor medio < 80 mm	2,8
Plástico: sin refuerzo metálico	2,8
Plástico: con refuerzo metálico	3,6
Aluminio: con barrera térmica: trayectoria térmica > 10 mm	3,6
Aluminio: con barrera térmica: trayectoria térmica < 10 mm	5
Aluminio o acero: con o sin barrera térmica	7

3.60.
Fuente: Button y Pye, 1993.

Refrigeración

Uno de los problemas más importantes relacionados con el diseño de las ventanas es el sobrecalentamiento durante la estación cálida. Las principales técnicas de refrigeración pasiva incluyen el uso de dispositivos para proporcionar sombra y ventilación.

Dispositivos para proporcionar sombra

La ganancia de calor a través de ventanas convencionales puede ser considerable. Dependiendo de la orientación y de la situación geográfica, si se adoptan proporciones razonables de acristalamiento la necesidad de sombrearlos puede reducirse. Sin embargo, cuando la radiación solar es excesiva durante algunos momentos del día, la forma más eficaz de reducir la ganancia de calor es bloqueando la incidencia de la radiación solar por medio de dispositivos que proporcionen sombra. El arquitecto tiene a su disposición una gama cada vez más amplia y competitiva de estos dispositivos, que incluyen persianas, contraventanas, lamas y elementos estructurales o añadidos.

Si no es posible proporcionar la sombra desde el exterior, cuanto más cerca se coloquen los dispositivos del exterior del edificio, más eficaces serán. También debe considerarse el uso de vegetación (véase ESTRATEGIAS; Paisaje).

Los dispositivos para proporcionar sombra pueden clasificarse en fijos o móviles, y en exteriores o interiores (3.61, 3.62). Los aleros, porches y soportales son ejemplos de dispositivos fijos muy habituales en el sur de Europa, y forman parte de los recursos de la arquitectura popular para arrojar sombras frente al intenso sol del mediodía. Las lamas y los aleros pueden sujetarse directamente a la fachada. Aunque permiten el movimiento del aire, estos sistemas son limitados porque, por una parte, proporcionan sombra adecuada sólo durante una parte del día en estaciones concretas y, por otra, reducen la cantidad de luz natural que penetra en el interior en otras épocas del año, cuando sería muy bienvenida.

Los dispositivos móviles para proporcionar sombra incluyen las contraventanas, utilizadas en muchas zonas. Las contraventanas aisladas son una opción energéticamente eficiente. Las lamas controladas por sistemas manuales o artificiales pueden proporcionar niveles óptimos de luz natural en todas las épocas del año, siempre y cuando se utilicen correctamente. En grandes zonas acristaladas pueden ser eficaces las cortinas semitransparentes, opacas o reflectantes. Algunos dispositivos de sombreado pueden incorporar células fotovoltaicas para generar electricidad (para más información, véase ELEMENTOS; Sombreado, redirigir la luz, vidrio crómico y células fotovoltaicas).

Ventilación

La ventilación puede facilitarse por medios naturales o mecánicos, o por una combinación de ambos sistemas. La ventilación natural es inducida por el viento o por fuerzas de empuje debidas a diferencias de temperatura entre el aire interior y el exterior. Para facilitar la ventilación cruzada, deberían disponerse huecos de ventilación o ventanas practicables en las caras opuestas del edificio, sin grandes obstáculos que impidan el flujo del aire entre ambas caras; en este sentido, la planta libre funciona bien.

Los edificios bien proyectados para facilitar la ventilación natural normalmente cuentan con plantas poco profundas, donde la distancia de fachada a fachada (o atrio) no es superior a cinco veces la altura de los espacios. En espacios modulares con ventilación por un único lado, la ventilación natural sólo será eficaz para una profundidad equivalente a dos veces la altura del espacio. Puede requerirse, por tanto, que los espacios sean más altos que en un edificio ventilado de forma mecánica, pero el espacio que se economiza al no tener que instalar conductos en el techo o en el suelo compensará la mayor altura de las plantas.

Los huecos de ventilación deberían situarse de forma que no se produzcan corrientes frías. Varios huecos de ventilación incorporados y bien distribuidos en las ventanas son más eficaces que una única ventana abierta. Existen huecos de ventilación autorregulables que proporcionan el mismo flujo de aire con independencia de la velocidad del viento exterior. Otros atenúan el ruido del exterior, aunque ofrecen una mayor resistencia al paso del aire.

En climas con temperaturas veraniegas nocturnas considerablemente inferiores a las diurnas, la ventilación nocturna puede combinarse con la masa térmica para proporcionar refrigeración. Debería haber un buen contacto térmico entre el aire de la ventilación y la masa térmica. Las ventanas y los huecos de ventilación utilizados para la ventilación nocturna no deberían suponer un riesgo para la seguridad, y la refrigeración debería controlarse para que no fuera excesiva, pues podría dar lugar a que los ocupantes sintiesen frío por la mañana o, incluso, encendiesen la calefacción.

Luz natural

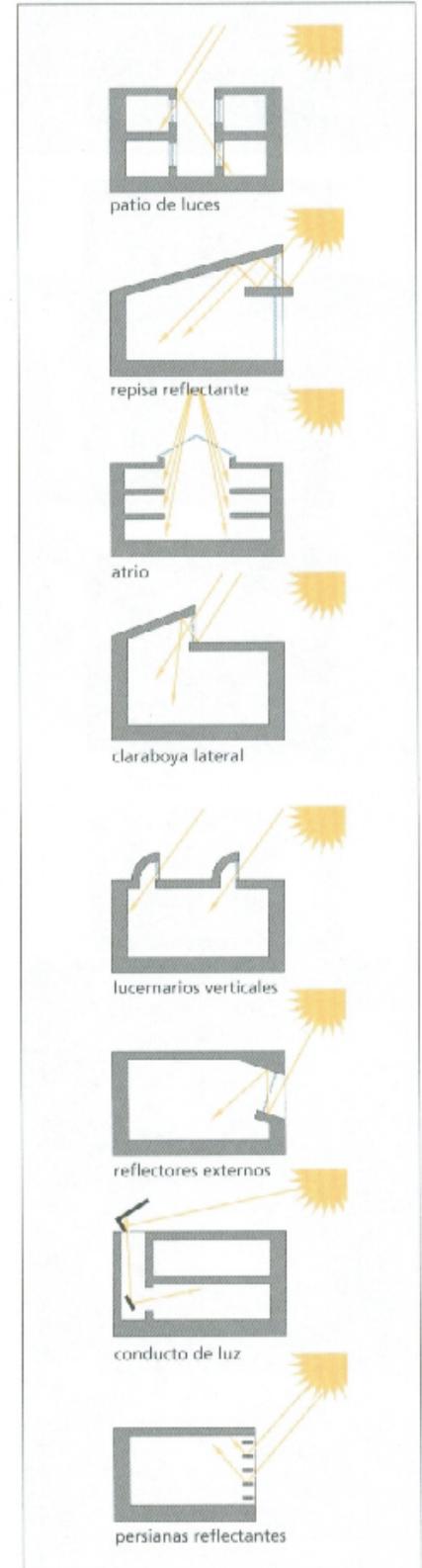
La iluminación artificial es responsable de un 50 % del consumo de energía en los edificios de oficinas, y de una parte considerable de la energía en otros edificios no residenciales. En la actualidad, el uso de la luz natural combinada con sistemas de iluminación de alta eficiencia permite ahorrar fácilmente un 30-50 % y, en algunos casos, es posible alcanzar niveles de ahorro del 60-70 %.

Por tanto, reemplazar la luz artificial por la natural conllevará un considerable ahorro de energía. Los espacios que reciben luz natural son más atractivos y más económicos para vivir y trabajar. Además, la carencia de luz en nuestro entorno puede producir problemas de salud, como el trastorno afectivo estacional (TAE) y la falta de vitamina D (véase TEMAS; Salud, confort y medio ambiente).

Los requisitos de luz natural dependerán de la función del edificio, sus horas de uso, el tipo de usuario y las necesidades de vistas, intimidad y ventilación, así como de los objetivos energéticos y medioambientales (3.63).

Un buen diseño del cerramiento para captar la luz natural depende de:

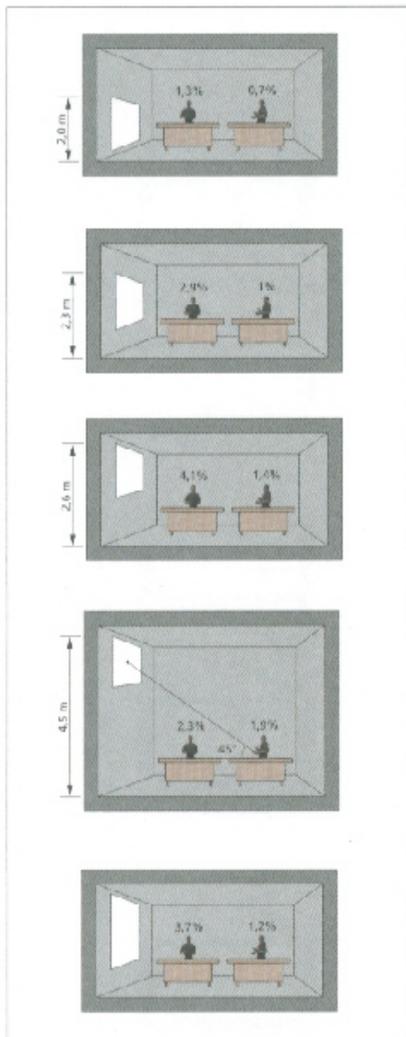
- posición, forma y tamaño de los huecos;
- características de los materiales de acristalamiento;
- posición, forma y dimensiones de los dispositivos de sombreado.



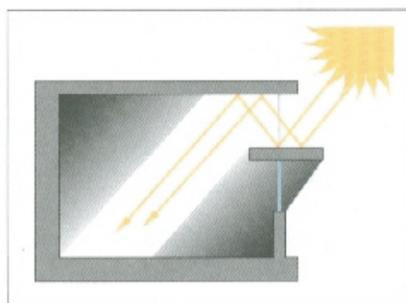
3.63 Elementos transparentes: sistemas y dispositivos de captación de luz natural.

En el diseño de superficies acristaladas, tenga en cuenta:

- tamaño y orientación de las ventanas;
- tipo de acristalamiento;
- tipo de carpintería y detalle de las juntas para evitar la infiltración;
- medidas de control solar;
- medidas de aislamiento nocturno;
- ventanas practicables que contribuyen significativamente al confort del ocupante.²²



3.64 Posición y tamaño de las ventanas.



3.65 La repisa reflectante proporciona sombra a la mayor parte de la ventana, pero refleja la luz hacia el techo y permite que penetre hasta el fondo del espacio. Fuente: Baker, N., "Light and shade: optimising daylighting design", en *European directory of sustainable and energy efficient buildings*, James & James, Londres, para la Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 1995.

Ventanas

Como norma general, la iluminación natural en un edificio sólo será eficaz a una distancia de la fachada equivalente al doble de la altura del espacio. Por tanto, los edificios de plantas poco profundas ofrecen más posibilidades de aprovechamiento de la iluminación natural (así como la ventilación y la refrigeración naturales) que los edificios de planta profunda.

El nivel de iluminación natural en un punto determinado de un espacio depende mucho de la cantidad de cielo visible por la ventana desde ese punto. En consecuencia, la instalación de zonas acristaladas cerca del techo es positiva desde el punto de vista de la luz natural. Por ejemplo, las ventanas altas y estrechas proporcionan una mejor distribución de la luz natural en el espacio que las ventanas bajas y anchas. En el caso de los espacios en esquina o en la planta superior, la disposición de ventanas en más de una fachada o tragaluces también mejorará la distribución de luz natural.

La forma y el tamaño de las ventanas dependerán de factores como la profundidad del espacio y la orientación de la ventana. Las ventanas altas garantizan una buena penetración de la luz hasta el fondo del espacio, mientras que las ventanas anchas proporcionan mejores vistas. Es posible dividir las ventanas para satisfacer distintas demandas; se podría colocar una parte más baja para garantizar las vistas y otra más alta para permitir la entrada de más luz, y estas partes incluso podrían estar sombreadas de distinta forma. Los estudios han demostrado que los espacios con ventanas altas y repisas reflectantes cuentan con niveles de luz natural especialmente uniformes en toda su profundidad (3.64).²³

La iluminación cenital también es una fuente muy eficaz de luz natural en edificios bajos y en la última planta de los edificios.

Sistemas y dispositivos de control de la luz natural

Los dispositivos de control de la luz natural distribuyen la luz de forma más uniforme; están diseñados para reflejar la luz hacia el techo y, desde allí, hacia el fondo del espacio, al tiempo que reducen la excesiva luz cerca de las ventanas y, por tanto, ahorran energía. Debido a la capacidad de adaptación de nuestros ojos, la necesidad de luz percibida es menor en condiciones de iluminación uniforme. Las repisas y las persianas reflectantes son los sistemas utilizados más habitualmente (3.65). Otros ejemplos son:

- sistemas pasivos, como láminas, estructuras reflectantes, prismas, vidrio impreso, películas o paneles cortados con láser;
- sistemas automáticos, como hologramas o heliostatos

Algunos de los sistemas más complejos no están diseñados sólo para proporcionar sombra a la parte anterior del espacio, sino también para aumentar los niveles generales de luz en la parte posterior. El Building Research Establishment británico realizó estudios para evaluar la capacidad de varios sistemas en el aumento de la iluminación, mejora de la uniformidad y reducción del deslumbramiento.²⁴ Los resultados fueron variados; todos los sistemas mejoraban la uniformidad, pero los que aumentaban los niveles de iluminación en el fondo de los espacios sólo lo conseguían cuando recibían luz solar directa y bajo ciertos ángulos de incidencia.

Sombreado

Si se instalan aleros fijos sobre las ventanas para reducir la ganancia solar en verano, también se reducirá la entrada de luz natural durante todo el año. Las persianas y otros dispositivos móviles reducen la luz natural sólo cuando están en posición cerrada. Aunque la luz solar directa puede hacer que un espacio sea atractivo (sobre todo en invierno), si incide directamente sobre los ocupantes o las superficies de trabajo quizás no sea adecuada. Las persianas venecianas pueden utilizarse para reflejar la luz solar hacia el techo, evitando las molestias de la luz directa y, al tiempo, consiguiendo una buena cantidad de luz. Puede ser necesario informar a los ocupantes sobre cómo sacarle el mayor partido a este tipo de persianas.

Ventilación

Cuando abrir las ventanas supone un problema, es recomendable utilizar huecos de ventilación, que pueden estar insertadas en elementos opacos o incorporadas al propio sistema de las ventanas. Provistas de mecanismos para controlar el flujo del aire, pantallas contra el polvo, mallas contra insectos y deflectores acústicos, constituyen una solución relativamente barata para lugares con ruido y contaminación exterior. Los paneles opacos practicables pueden incrementar las tasas de ventilación en verano sin crear grandes zonas acristaladas.

Aislamiento

Las contraventanas aislantes, que se cierran cuando oscurece, pueden ser útiles para reducir la pérdida de calor. Crear una cámara de aire perfectamente sellada entre las contraventanas y el vidrio incrementa su eficacia, pero puede ser algo difícil de conseguir. Son preferibles las contraventanas exteriores; las interiores pueden dar lugar a condensaciones en el vidrio cuando hace frío y, si permanecen cerradas cuando brilla el sol, pueden crear esfuerzos térmicos que provoquen la rotura del vidrio. Sin embargo, no es fácil manipular las contraventanas exteriores correctamente; cuando hace frío, por ejemplo, los ocupantes probablemente no abrirán la ventana para cerrarlas. Las contraventanas de lamas controladas desde el interior pueden solucionar este problema, pero también pueden obstaculizar la entrada de luz durante el día.

Elementos productores de energía

Paneles fotovoltaicos

Ya es posible utilizar paneles de fachada o cubierta fotovoltaicos, aunque en la actualidad su precio todavía es prohibitivo. Durante los últimos diez años, el coste de la producción de energía eléctrica por este método se ha reducido a la mitad y su eficiencia se ha doblado. Los paneles pueden colocarse en la cubierta o en las fachadas de los edificios. La integración de paneles fotovoltaicos en los sistemas de revestimiento convencionales es relativamente sencillo (3.66, 3.67). A medida que aumenta la temperatura de los paneles, su eficiencia disminuye; así, son más eficaces como una pantalla colocada sobre el revestimiento que lo protege contra el viento y la lluvia y, además, crea una cámara de aire ventilada entre ambas capas.

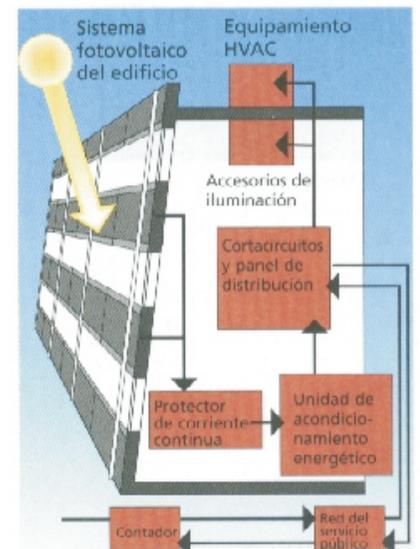
Las cubiertas fotovoltaicas, donde los propios paneles fotovoltaicos constituyen el revestimiento, ofrecen una solución sostenible muy distinta. En la casa Roaf, en Oxford (Reino Unido) los paneles fotovoltaicos están integrados en un sistema de baquetillas de aluminio, junto con tragaluces Velux y paneles solares para calentar agua (3.68).

Paneles solares térmicos

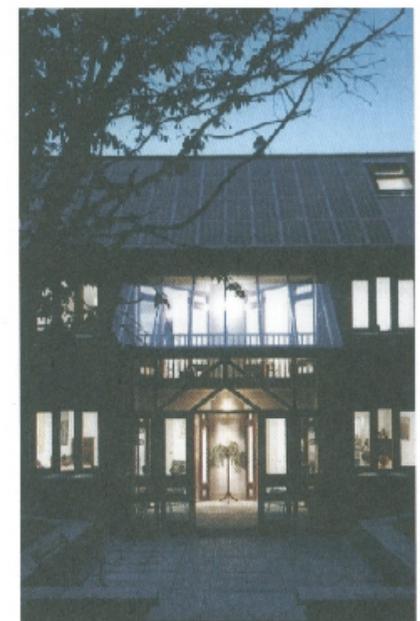
Un panel solar típico consiste en una placa colectora colocada entre una capa de vidrio y otra aislante. En el interior de los paneles hay unos tubos por los que se bombea el agua. La situación óptima es que estén colocados en muros o cubiertas orientados al sur, aunque cualquier orientación con un ángulo de 30° respecto al sur obtendrá un rendimiento satisfactorio. El grado óptimo de inclinación depende del objetivo. Para calentar agua, normalmente se recomienda un ángulo con la línea horizontal inferior a la latitud del lugar, para aprovechar el sol alto estival. Para calentar el espacio, se recomienda un mayor ángulo de inclinación, dado que el sol está más bajo en invierno. Sin embargo, la trayectoria del sol no es el único factor que debe tenerse en cuenta para determinar la inclinación del colector, también es importante la radiación difusa procedente del cielo (véase ELEMENTOS; Células fotovoltaicas, paneles solares térmicos).



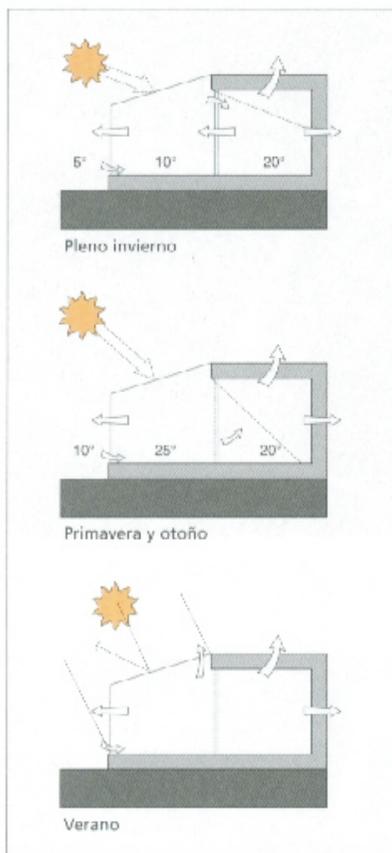
3.66 Aplicación práctica de las células fotovoltaicas.



3.67 Sistema fotovoltaico integrado en el edificio.



3.68 Cubierta fotovoltaica, casa Roaf (Oxford, Reino Unido). Arquitecto: S. Roaf.



3.69

Galerías

Las galerías constituyen un sistema de calefacción solar pasivo que combina la ganancia térmica directa e indirecta.

Calefacción y refrigeración

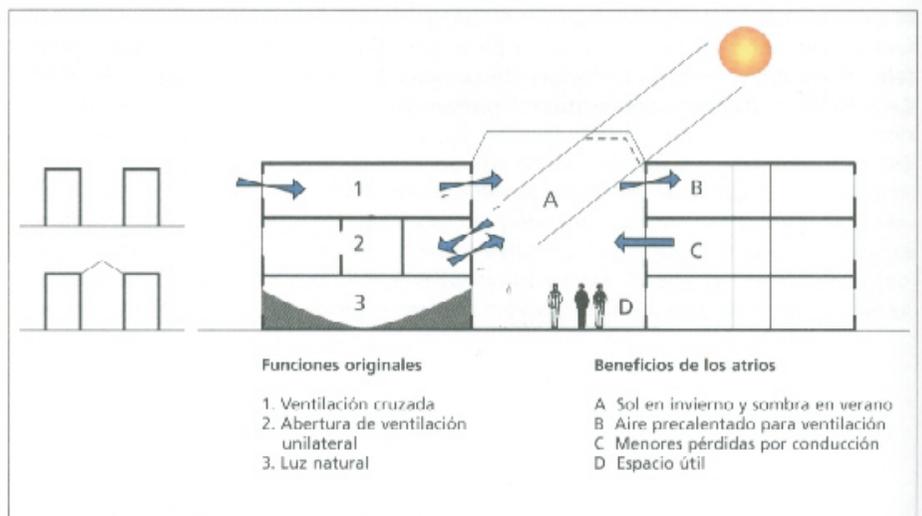
En una vivienda, la galería funciona como un amortiguador térmico que reduce drásticamente la pérdida de calor. Constituye un mecanismo útil y energéticamente eficiente incluso cuando no se produce ganancia solar directa (3.69).

La luz solar que entra en el espacio se almacena en los elementos macizos como energía térmica. La distribución de este calor puede realizarse de varias formas. Un muro de mampostería que separe la galería del resto de la vivienda puede proporcionar suficiente masa térmica para almacenar el calor absorbido y liberarlo más tarde. Si se colocan huecos de ventilación cercanos al suelo y al techo, se producirá una circulación natural del aire por convección. Del mismo modo, un ventilador de techo junto con un termostato permitirá el intercambio de calor entre el invernadero y el resto de la vivienda cuando sea conveniente.

Cuando se añade una galería al muro exterior de un edificio existente no es necesario utilizar vidrio doble, aislar o sellar herméticamente el cerramiento exterior. Las propiedades térmicas del material elegido para la estructura tampoco son importantes, pero al menos dos tercios de las ventanas deben ser practicables para evitar el sobrecalentamiento estival. Si es posible, añada aislamiento móvil para proteger las ventanas de noche o cuando el cielo esté cubierto.

Las galerías deberían estar separadas de los espacios contiguos calefactados mediante puertas o ventanas bien ajustadas. Cuando sea necesario, el calor puede ser introducido fácilmente en esos espacios por convección. Durante la noche, o cuando bajan las temperaturas, la galería puede aislarse del resto de los espacios para que actúe como amortiguador.

Una galería con calefacción producirá pérdidas de energía en lugar de ganancias.



3.70 Beneficios ambientales de los atrios construidos a partir de un espacio abierto.

Atrios

Calefacción y refrigeración

Los atrios funcionan como amortiguadores intermedios. Su temperatura ambiente depende de las pérdidas específicas de calor desde el espacio acristalado hacia el exterior y de las ganancias específicas procedentes de los edificios (3.70).

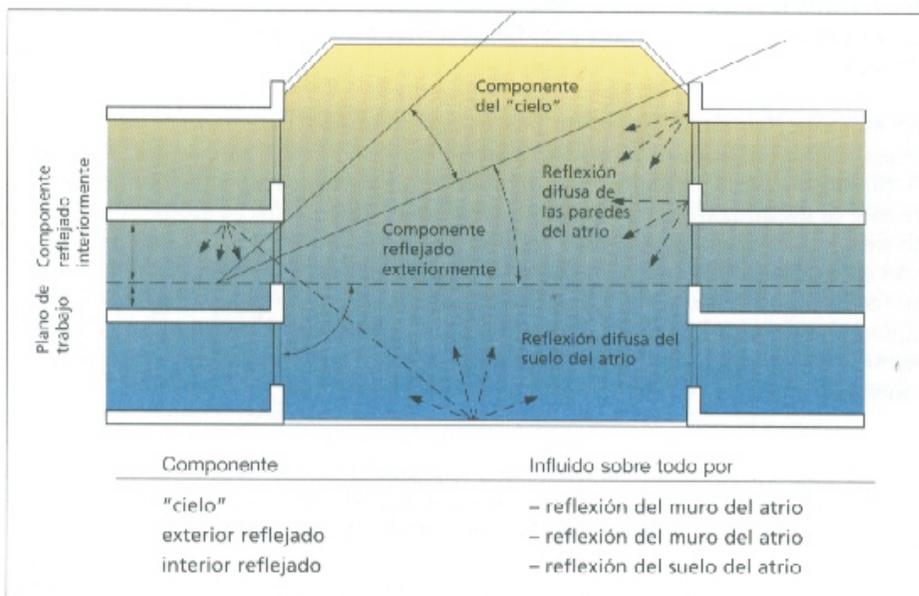
Es preciso analizar cuidadosamente la ganancia térmica procedente de la radiación solar, porque una gran cantidad de la radiación térmica puede retransmitirse al exterior, especialmente cuando hay superficies opacas poco absorbentes. Un atrio puede retener un 30-85 % de la radiación transmitida, dependiendo del color y de la geometría de los edificios adyacentes, y de las propiedades de transmisión del acristalamiento.

Ventilación

La combinación de dispositivos para dar sombra y de ventilación es eficaz para reducir las temperaturas de los atrios en verano, pero es preciso analizar cuidadosamente la ventilación cruzada natural para garantizar el confort en días críticos. Los sistemas de ventilación adecuados pueden lograr temperaturas superiores en el atrio sin aumentar el consumo de energía del edificio. Por ejemplo, el aire de extracción del edificio puede utilizarse como suministro de aire para el atrio y, de igual modo, el aire de extracción del atrio puede precalentar el aire que entra en el edificio a través de un intercambiador de calor.

Iluminación natural

Los atrios pueden mejorar considerablemente la calidad de los espacios interiores adyacentes, que se benefician de todas las ventajas de la luz natural. Las nuevas tecnologías permiten mayor libertad al arquitecto en lo que se refiere al tipo de construcción, diseño y materiales; incluso aun cuando se requieran periodos largos para amortizar la inversión, puede haber razones poderosas para emplear este sistema (3.71).



3.71 El atrio como fuente de luz natural.



3.72.
Arquitecto: Alberto Campo Baeza.

Material Resistibilidad	Densidad	Conductividad	
	kg/m ³	(K) W/m C	(1/K)mC/W
Panel aislante de amianto	750	0,12	8,3
Alfombra			
• base de fieltro de lana	160	0,045	22,2
• base de goma celular	400	0,1	10
Hormigón	2.400	1,83	0,55
Corcho	540	0,085	11,8
Tablero de fibra aislante	260	0,05	20
Lana de vidrio	25	0,04	25
Linóleo (según norma BS 810)	1.150	0,22	4,6
Lana mineral			
• fieltro	50	0,039	25,6
• manta semirrígida	80	0,038	26,3
• a granel, plancha o manta	130	0,036	27,8
Plásticos celulares	30	0,038	26,3
• panel de espuma fenólica	50	0,036	27,8
• poliestileno, expandido	15	0,037	27
• espuma de poliuretano (envejecido)	25	0,034	29,4
PVC y goma	30	0,026	38,5
Madera			
• madera dura			
• madera contrachapada	0,15		6,7
• madera blanda			
Tablero de partículas de madera	800	0,15	11,8
Plancha de lana de madera	500	0,085	11,8
	600	0,093	10,8

3.73 Propiedades térmicas de algunos materiales para suelos.
Fuente: Building Research Establishment, 011.

Acabados

Al especificar los acabados de un edificio, deben tenerse en cuenta varios aspectos. Algunos de ellos ya han sido mencionados en secciones anteriores, y otros se abordarán con más detalle en las siguientes.

El respeto por el medio ambiente y la importancia del ahorro energético determinarán la selección y especificación de los acabados en un proyecto ecológico. En general, los materiales deben evaluarse desde tres puntos de vista principales:

- El efecto de la producción del material sobre el medio ambiente; el impacto medioambiental por kilogramo de los procesos de extracción, transporte, fabricación, instalación, demolición y eliminación.
- El efecto del uso del material sobre el consumo de energía del edificio; rendimiento térmico y rendimiento de la iluminación natural.
- El efecto del material sobre el entorno interior: calidad del aire interior, características visuales y acústicas.

El primer aspecto ya ha sido considerado en detalle en otra sección, pues la información está relacionada con la selección de los materiales (véase TEMAS; Confort, salud, medio ambiente y ELEMENTOS; Materiales).

Rendimiento energético del edificio

Los objetivos en cuanto al rendimiento energético de un edificio se determinarán y acordarán en las fases tempranas del proyecto. Durante la construcción, es importante que la especificación de los acabados sea coherente con dichos objetivos. Los acabados ejercerán un efecto positivo o negativo sobre el rendimiento energético y medioambiental del edificio. Es fundamental que el cliente y el equipo de proyecto sean conscientes de que el rendimiento teórico de un proyecto de bajo consumo de energía dependerá, en la práctica, de la rigurosa implementación de estrategias de apoyo en las fases posteriores.

La función de los acabados en el rendimiento energético del edificio estará relacionada, sobre todo, con el rendimiento térmico y el rendimiento de la iluminación natural (reflexión y redirección de la luz).

Calefacción y refrigeración

El diseño solar pasivo del edificio puede prever el uso de algunos elementos, muros y suelos, por ejemplo, como acumuladores térmicos a efectos de calefacción o refrigeración. Para que estos elementos funcionen de acuerdo con ese diseño, deberían estar expuestos a la fuente de calefacción o refrigeración y en contacto directo con las corrientes de aire (3.72).

Los acabados utilizados pueden facilitar u obstaculizar esa función térmica. La utilización de acabados oscuros en los suelos aumentará su capacidad de absorción de calor y que funcionen como almacén térmico. Los acabados de colores claros reflejarán la luz y el calor, y los acabados de baja densidad, como la madera o los pavimentos textiles, actuarán como capas aislantes e impedirán la absorción del calor (3.73). Los suelos técnicos y los falsos techos contrarrestarán el uso de la masa térmica.

Sin embargo, un cierto grado de flexibilidad es posible. Como ya se ha indicado (véase ESTRATEGIAS; Cerramiento), cuando la masa térmica es elevada, el interior se calentará muy lentamente, las temperaturas de las superficies permanecerán bajas y se garantizará un ambiente interior más fresco. Esto es idóneo en el verano de climas cálidos, pero puede resultar menos favorable en invierno. La utilización de acabados alternativos, como la madera, alterará la capacidad y el tiempo de respuesta térmica. En el libro *The climatic dwelling* se pone el ejemplo de los tapices medievales: "En verano se podían retirar para dejar al descubierto la masa térmica de los gruesos muros de mampostería y la inferior temperatura de su superficie".²⁴

Iluminación natural

Iluminancia

La iluminancia depende de la cantidad de luz que entra en un espacio, y del color y el acabado de las superficies. Cuando la luz natural penetra en una estancia, las superficies interiores —paredes, suelo, techo y mobiliario— la reflejan. El color y el acabado de estas superficies afectarán tanto a la cantidad como a la calidad de la luz en ese espacio. En general, los colores claros tienen un mayor grado de reflexión, mientras que la absorción es mayor en los colores oscuros. El uso de acabados claros en el suelo y las superficies verticales hará que la luz se refleje y ayudará a obtener niveles más altos de luz natural, al mismo tiempo que reducirá el contraste entre la zona cercana a las ventanas, donde la luz es más intensa, y las demás superficies (3.74). Por el contrario, las superficies más oscuras provocarán una pérdida de luz.

Reflexión

Los valores de reflexión que se desea conseguir deben acordarse en las fases iniciales del proyecto. Los cálculos básicos necesarios para la iluminación emplearán el factor de reflexión estándar para paredes, suelos y techos, pero la decisión final sobre los acabados suele tomarse mucho más tarde, cuando ya se aproxima la finalización del proyecto. Los factores de reflexión reales pueden ser muy diferentes a los utilizados en los cálculos, normalmente en perjuicio de la iluminancia. La reducción del factor de reflexión de las paredes de un espacio del 50 al 10 % podría reducir la iluminancia horizontal en el plano de trabajo hasta un 25 %. "Puesto que el ojo tiene una gran capacidad de adaptación, esos cambios en la iluminancia pueden ser aceptables para la tarea, pero ya no estarán de acuerdo con las especificaciones".²⁵

Deberían evitarse los acabados brillantes en los planos de trabajo o en cualquier superficie de un espacio de trabajo. Las superficies con acabados muy reflectantes pueden causar reflejos molestos, por lo que los acabados mate o semimate son más recomendables.

La mejora del factor de reflexión del techo genera una mejor distribución de la luz y aumenta la iluminancia, tanto en el plano horizontal como en el vertical.

Colores

Los colores que se utilicen afectarán a los factores de reflexión y de absorción de las superficies, así como a su rendimiento térmico, como ya se ha mencionado. Los colores deberían evaluarse y seleccionarse según sus factores relativos de reflexión y absorción.

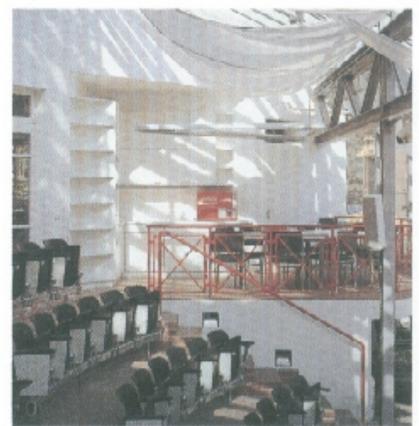
Mobiliario

En la fase de proyecto, las superficies interiores suelen concebirse como planos monocromáticos pero, una vez que el edificio está ocupado, esto rara vez es así. Las paredes pueden tener cuadros o estanterías, mientras que los suelos estarán cubiertos de muebles cuyos acabados afectarán a la distribución de la luz natural. Además, las mamparas de las oficinas, los ordenadores y los sistemas de iluminación artificial introducirán muchas más sombras y relieves.

Calidad del aire interior

El ahorro de energía a menudo produce ambientes interiores perfectamente aislados y sellados. La selección de los materiales en los edificios energéticamente eficientes afecta a la calidad del aire interior aún más que en los edificios convencionales. Cuando se especifican materiales con ingredientes tóxicos y se producen emisiones de gases, los efectos se magnifican debido a la falta de movimiento de aire y ventilación; esto da lugar a una gran cantidad de impurezas en el ambiente interior. Las altas concentraciones de productos químicos como el formaldehído procedente de los tejidos, los muebles y los tableros de partículas pueden ser especialmente perjudiciales para una persona que duerma o pase muchas horas ante una mesa de trabajo en un espacio reducido (véase TEMAS; Confort, salud, medio ambiente y ELEMENTOS; Materiales).

La selección cuidadosa de los acabados es una forma de mejorar la calidad del aire interior, aunque debería formar parte de una estrategia más amplia que incluya los sistemas de ventilación, colocación de plantas de interior, mantenimiento y otros factores.



3.74

Factores de reflexión típicos de algunos acabados de pintura mate

Blanco	0,85
Amarillo claro	0,82
Amarillo intenso	0,70
Naranja	0,54
Azul claro	0,45
Naranja intenso	0,28
Rojo intenso	0,17
Verde oscuro	0,09
Negro	0,05

(Tabla: Esbensen Consulting Engineers, *Energy comfort 2000*, dossier informativo, 1997).

Materiales / Productos	Tasa de emisión de formaldehído g/m ³ /día
Tablero de fibra de densidad media	17.600-55.000
Paneles de contrachapado de madera dura	1.500-34.000
Tablero de partículas	2.000-25.000
Espuma aislante de urea-formaldehído	1.200-19.200
Paneles de contrachapado de madera blanda	240-720
Productos de papel	260-680
Productos de fibra de vidrio	400-470
Ropa	35-570
Materiales elásticos para suelos	< 240
Alfombras	n-65
Tapicerías	n-7

n: ninguna

3.75 Emisiones de formaldehído de varios materiales de construcción, accesorios y bienes de consumo (datos de ASHRAE).

Fuente: Balaras, 1993.

Los mayores niveles de contaminantes se producen casi siempre durante la construcción y las primeras semanas de ocupación, cuando los materiales liberan más sustancias tóxicas (3.75). Es entonces cuando puede ser necesario proteger otros materiales, como alfombras o tapices, para impedir que absorban los tóxicos y se conviertan también en fuentes contaminantes. Los materiales más tóxicos suelen ser los inestables o los que se aplican en estado líquido. Las pinturas, los sellantes, los conservantes, las colas, los materiales de limpieza y los plásticos, como el PVC, se encuentran entre los más tóxicos. En muchos casos, existen alternativas más seguras, pero puede que no sean muy conocidas o no estén ampliamente disponibles. Incluso materiales presentes en pequeñas cantidades pueden tener un impacto desproporcionado sobre la calidad del aire. Una buena idea podría ser, por ejemplo, posponer la instalación de accesorios como cortinas o alfombras hasta que se sequen los productos aplicados con disolventes, lo que impedirá la absorción de los compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes del aire y su reemisión.

Especificación de acabados

La especificación de los tipos de materiales es muy complejo. Los acabados se seleccionan utilizando muchos criterios, como el coste, la durabilidad, la adecuación, la estética, etc. El impacto sobre el ambiente interior es sólo una de estas cuestiones. Una publicación de este tipo no puede pretender dar información completa y detallada sobre las ventajas y desventajas medioambientales del uso de los materiales más comunes. Existen muchas publicaciones especializadas y periódicas que lo hacen. Sin embargo, a continuación se ofrece un breve resumen de algunos tipos genéricos de acabados que se utilizan habitualmente y de los efectos medioambientales de su uso, teniendo en cuenta, sobre todo, la calidad del aire interior.

Paredes y techos

Yeso

La mayoría de las paredes y techos se enyesan, a menos que se requiera un acabado. El yeso se utiliza de diferentes formas: en húmedo y aplicado con una llana, en seco en forma de paneles, etc. La materia base puede ser el yeso (sulfato de calcio dihidratado), cuyo tratamiento requiere mucha energía, o el mortero de cal. El yeso procedente de la desulfuración del gas de combustión es un subproducto de la producción de electricidad, y utilizarlo evita su eliminación como si fuese un residuo. La extracción del yeso produce algunos efectos medioambientales, pero el material en sí no es tóxico. El fosfoyeso es un subproducto de la producción de fertilizantes y puede ser radioactivo; por lo que se considera el menos atractivo de estos productos. El mortero de cal es un compuesto natural que sólo requiere un proceso de fabricación con un bajo consumo de energía.

La placa de cartón yeso puede contener aditivos y el sellante que cubre la junta entre placas contiene una variedad de productos químicos que pueden seguir emitiendo gases durante meses después de la instalación. Una alternativa sería utilizar compuestos de baja toxicidad.²⁶

Pintura

La pintura, tan decorativa como funcional, contiene una amplia variedad de ingredientes y disolventes tóxicos. Un objetivo medioambiental podría ser reducir la necesidad de usarla como acabado, sobre todo en espacios residuales o de servicio de poco uso. En aquellos lugares en los que se utilice pintura, debería ser acuosa y contener la cantidad mínima posible de productos tóxicos o contaminantes. Cuando se especifican pinturas de poliuretano, deberían aplicarse con una brocha o con un rodillo, no con un pulverizador.

El número de suministradores de pinturas "naturales" está aumentando como resultado del incremento de la demanda. Sin embargo, por ahora ese tipo de pinturas son considerablemente más caras que las convencionales. Además, los disolventes utilizados en las pinturas orgánicas pueden ser tan peligrosos para la salud como los de las pinturas tradicionales²⁷ (véase ELEMENTOS; Materiales, para información más detallada sobre pinturas y acabados para madera).

Papel

El papel se utiliza mucho, sobre todo en aplicaciones domésticas. Es recomendable elegir papel no estucado, aunque su mantenimiento sea más difícil. Los papeles de vinilo tienen cada vez más éxito porque se pueden lavar, pero el revestimiento es de PVC, con todas las consecuencias negativas que eso conlleva para la calidad del aire interior.

Azulejos

Los azulejos constituyen un acabado duradero y se utilizan mucho en cuartos de baño y cocinas. Se componen de arcilla mezclada con aditivos para dar color y dureza. Los azulejos esmaltados tienen una energía incorporada relativamente alta debido al proceso de cocción.²⁸ Su impacto sobre el aire interior depende del adhesivo escogido. Los adhesivos recomendados desde el punto de vista medioambiental son los de bajo o ningún contenido en disolventes orgánicos: mortero para los suelos y adhesivos acuosos para las paredes.

Madera

La utilización de madera como acabado para paredes y techos es poco habitual fuera de las aplicaciones domésticas, pero la mayoría de los comentarios sobre los suelos de madera son también relevantes en este apartado (3.76). La madera blanda europea es recomendable desde el punto de vista medioambiental, pero los techos de este material pueden requerir la aplicación de un acabado, y el impacto sobre el aire interior dependerá de su composición.

Suelos

Existe un amplio abanico de materiales naturales y sintéticos que pueden utilizarse como revestimiento para suelos: piedra, madera, piezas cerámicas, láminas de vinilo o linóleo y moqueta de lana o nailon. Es necesario tener en cuenta la fuente del material (renovable o no renovable), el contenido de energía incorporada y el efecto sobre la calidad del aire interior, dependiendo de la composición del material y del uso de adhesivos. La gama de productos de bajo precio está dominada por los materiales sintéticos, fabricados a partir de productos derivados del petróleo, producidos en masa y vendidos como "baldosas" textiles o plásticas. Su bajo precio, sin embargo, oculta el alto coste del daño medioambiental y los riesgos para la salud.²⁹

Piedra

Las ventajas de la piedra, como la pizarra o el mármol, son su durabilidad y belleza. El impacto medioambiental de los productos derivados de la piedra es menor que el de la mayoría de los demás materiales, a pesar de que el granito emite más radón que muchos otros materiales de construcción.³⁰ Con todo, la pequeña cantidad de granito que se utiliza en el interior de los edificios no debería ser motivo de preocupación.

Acabados granolíticos

Los suelos de áridos aglomerados con cemento (como el terrazo) son extremadamente resistentes y no requieren ningún tipo de adhesivo o sellador después de su colocación. Cualquier daño medioambiental que puedan producir estos materiales está relacionado con el uso del cemento (véase ELEMENTOS; Materiales).

Madera

La madera, si es reciclada o procede de una fuente sostenible certificada, es un material no contaminante, pero normalmente se protege con una capa para aumentar su durabilidad y se sujeta utilizando un adhesivo. Los acabados utilizados para la madera pueden ser cancerígenos,³¹ y su grado de toxicidad dependerá del grado de ventilación y de las dimensiones de la capa sintética dañina. Deberían especificarse acabados fabricados con ceras, aceites o barnices respetuosos con el medio ambiente.

El polvo que se produce cuando se trabaja con madera puede ser tóxico, perjudicial para el sistema inmunológico o cancerígeno.³² La legislación sobre seguridad laboral en Reino Unido limita la exposición al polvo procedente de maderas duras.

Los productos derivados de la madera, como la madera contrachapada, los tableros enlustrados, los tableros de partículas y los tableros de fibra contienen fenol y resina ureica, que incrementan los niveles de toxicidad del aire interior. Los tableros de densidad media (DM) contienen un alto nivel de formaldehído (un 14 %), y otros tableros de partículas y contrachapados, un 10 %.³³ Sin embargo, según Ove Arup and Partners (1993), "el riesgo para la salud que presentan los productos fabricados correctamente queda minimizado por las técnicas de procesamiento y acondicionamiento, y los riesgos principales están relacionados con la emisión de fibras o polvo cuando se instalan". En las casas de Findhorn se utilizaron tableros Karlit y tableros de fibra como revestimiento, porque no contienen formaldehído ni colas tóxicas. Sin embargo, no tienen las mismas cualidades que los otros tableros en lo que se refiere a su flecha o resistencia al agua.



3.76 Paneles de madera blanda, Irish Energy Centre, Dublín, Irlanda. Arquitectos: Energy Research Group, University College, Londres, Reino Unido.

Suelos: resumen

Los revestimientos para suelos que contribuirán en menor medida a la cantidad de contaminantes presentes en el aire interior son:

- Revestimientos lisos: linóleo, corcho (en baldosas o láminas), látex (goma);
- piedra y azulejos cerámicos (por ejemplo, losas de piedra);
- madera reciclada o de una fuente renovable;
- moquetas de fibras naturales sobre una base de arpillera y fieltro (deberían sujetarse con tachuelas, en lugar de utilizar adhesivos que contengan disolventes).

Acabados de la madera

Los barnices sintéticos son más duraderos que los naturales, pero emiten compuestos orgánicos volátiles. Algunos acabados inocuos incluyen el aceite de linaza, la cera natural y la goma laca.

Moquetas

Las moquetas sintéticas son una conocida fuente de compuestos orgánicos volátiles, debido a su pelo, los adhesivos y la base. Además, la mayoría de los tintes se derivan de productos petroquímicos. Un amplio estudio de las emisiones producidas por las moquetas llevado a cabo por la organización estadounidense Consumer Safety Commission y citado en el número nueve de la publicación *Green building digest* de 1996, encontró que, en condiciones normales, las moquetas emiten tasas de formaldehído y otros compuestos volátiles que producen concentraciones inferiores al umbral de irritación (70 ppbv). Sin embargo, combinadas con otras fuentes de compuestos orgánicos volátiles en el hogar, las emisiones de las moquetas nuevas podrían producir concentraciones superiores a los valores límite de ese umbral de irritación, sobre todo en edificios mal ventilados.

En muchos casos, la lana se mezcla con nailon para mejorar la durabilidad de las alfombras. La fabricación de nailon es responsable de aproximadamente la mitad de la producción anual de NO_x en el Reino Unido. Su uso es inocuo, pero su incineración produce gases tóxicos. Otros productos sintéticos que se utilizan en la fabricación de moquetas y que emiten sustancias tóxicas son el poliéster, el polipropileno, el poliuretano y el acrílico.

Las moquetas menos perjudiciales para el medio ambiente son las fabricadas con lana animal (oveja o cabra) o fibras vegetales (sisal, algas, fibra de coco, algodón, arpillera), sobre bases naturales de yute o látex, sin teñir o sin decolorar, y sin tratamiento insecticida. Sin embargo, la experiencia de las casas de Findhorn indica que, dado que las moquetas de pared a pared son difíciles de limpiar correctamente, pueden fomentar la aparición de microorganismos.³⁴

PVC/vinilo

El impacto medioambiental más importante de la producción de pavimentos de vinilo es la emisión de grandes cantidades de residuos tóxicos; los ingredientes sin tratar son cancerígenos y producen irritaciones graves.³⁵ El PVC se describe con detenimiento en la sección ELEMENTOS; Materiales.

Corcho

El corcho es un material relativamente inocuo en su recolección y producción. Los gránulos de corcho se moldean utilizando agentes aglutinantes. Cuando se especifique, debe tenerse en cuenta que los aglutinantes que contienen formaldehído pueden sustituirse por aglutinantes naturales, con la consiguiente mejora de la calidad del aire interior. Por otra parte, los suelos de corcho requieren una capa protectora para prevenir las manchas. Algunos productos compuestos incorporan bases o capas superiores de vinilo, pero el corcho sólo puede considerarse un material orgánico satisfactorio si se utilizan aceites o ceras.

Linóleo

El linóleo se fabrica con corcho, aceite de linaza, polvo de madera, pigmentos y arpillera. Tiene un rendimiento tan bueno como el vinilo, y el precio es similar. Es un material completamente natural y respetuoso con el medio ambiente, que incluso contiene un bactericida natural.

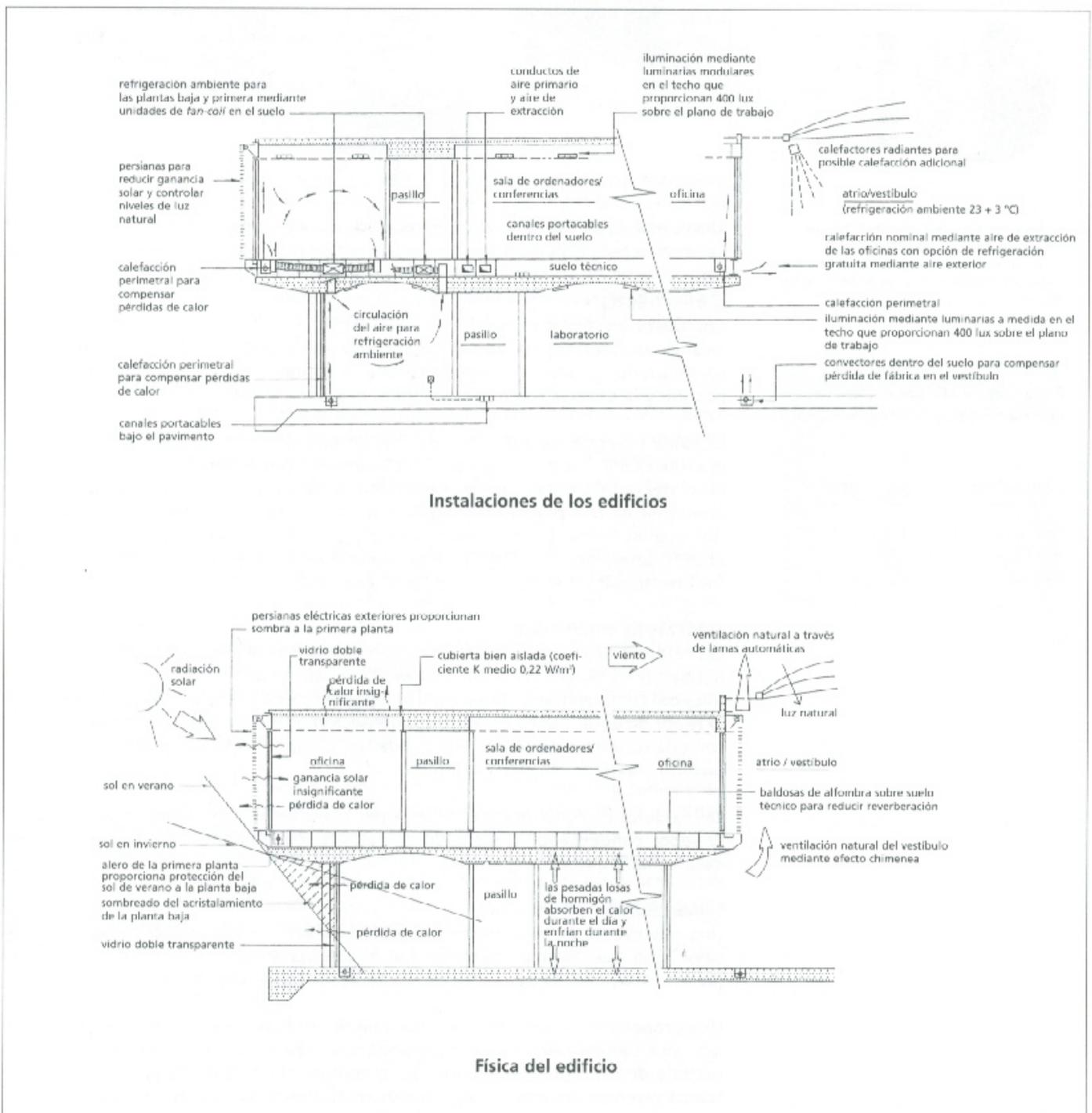
Adhesivos

Un aspecto medioambiental clave de la especificación de acabados de paredes y suelos es el uso de adhesivos. La mayor parte de los adhesivos utilizados habitualmente son sintéticos y químicos, y emiten gases tóxicos producidos normalmente por disolventes inorgánicos durante su aplicación e inmediatamente después. Además, algunos adhesivos pueden provocar irritaciones cutáneas durante su aplicación. Pueden sustituirse por adhesivos derivados de la goma, la celulosa y productos animales o vegetales. Existen productos naturales que se pueden utilizar para papel, corcho, azulejos, linóleo, parqué, moqueta, revestimientos y laminados de goma.³⁶

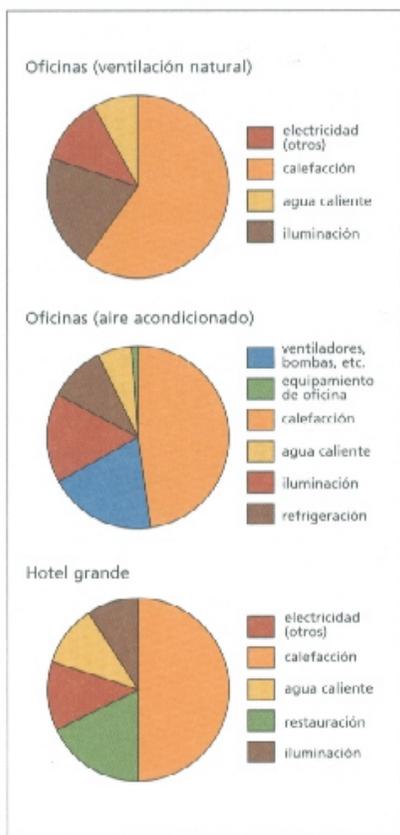
Instalaciones, equipos y controles

El rendimiento energético de un edificio depende en gran medida de los efectos de la interacción entre la fábrica y las instalaciones. Por lo tanto, un proyecto energéticamente eficiente requiere una buena comunicación entre el arquitecto y el ingeniero de instalaciones, que debería llevarse a cabo desde los inicios del proceso de proyecto (3.77). Esto es aún más importante en el caso de los edificios que aprovechen la calefacción solar pasiva, la luz natural y los sistemas de ventilación y refrigeración naturales. Para obtener el máximo beneficio de la energía ambiental se requiere una buena integración de las instalaciones mecánicas y eléctricas con los sistemas pasivos (3.78, 3.79, 3.80).

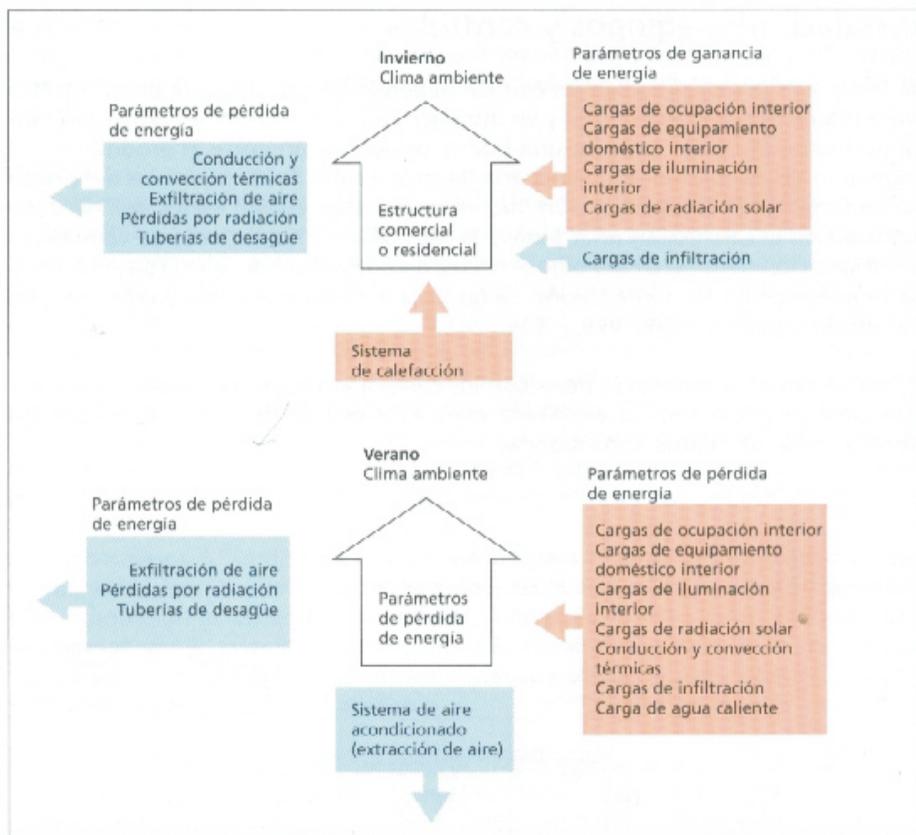
En las secciones siguientes se describen los componentes de las instalaciones energéticamente eficientes, haciendo referencia a los efectos de la interacción con los sistemas pasivos cuando corresponda.



3.77 Diagrama de la sección del edificio de Investigación de Schlumberger (Cambridge, Reino Unido). Arquitectos: M. Hopkins & Partners; Ingenieros: Büro Happold.



3.79 Desglose del consumo de energía típico en un edificio de oficinas con ventilación natural, un edificio de oficinas con aire acondicionado y un hotel grande en Reino Unido.



3.78 Ganancias y pérdidas energéticas típicas en invierno y en verano.

Calefacción

Combustibles fósiles

Si las circunstancias permiten elegir el combustible para los sistemas de calefacción convencionales, debe tenerse en cuenta la contaminación que produce su combustión y la eficacia con que funcionará el equipamiento.

La tabla muestra las emisiones de CO₂ de distintos combustibles por unidad de energía (3.80). Las emisiones de SO_x son insignificantes en el caso del gas ciudad; en el del petróleo y el carbón, dependen de la composición del combustible. Las emisiones de NO_x pueden minimizarse seleccionando una caldera con un quemador que las limite. El consumo de energía y la contaminación producida durante el procesamiento y el transporte también debería tenerse en cuenta, pero no es fácil conseguir información sobre estos aspectos.

Emisiones de CO₂ por unidad de energía de distintos combustibles

Combustible	kg CO ₂ /kWh
Gas natural	0,2
Petróleo	0,27
Carbón	0,3-0,35

3.80

Calderas de condensación

Las calderas de condensación son el tipo más eficiente, con una eficiencia estacional de un 85 %. En las calderas convencionales, cerca del 10 % de la energía térmica del combustible se disipa por la chimenea como energía latente contenida en el vapor de agua. Las calderas de condensación poseen un intercambiador de calor con una superficie adicional para condensar el vapor presente en los gases de combustión y extraer esa energía latente.

Las calderas de condensación deben estar conectadas a un desagüe para eliminar el vapor condensado. El mercado de calderas de condensación de gas está más desarrollado que el de gasóleo.

Dimensionado del sistema

Una envolvente exterior hermética y bien aislada no sólo reduce las pérdidas de calor, sino que también permite que el sistema mecánico de calefacción tenga menor capacidad, lo que reduce el coste de inversión del sistema.

Una proporción de superficies acristaladas orientadas al sur por encima de los niveles convencionales aumentará la ganancia solar pasiva, pero también incrementará la pérdida de calor por transmisión. Sin embargo, el aumento de la superficie acristalada produce dos efectos adicionales en el diseño del sistema de calefacción:

- Se necesitará un sistema de calefacción mayor para satisfacer la demanda cuando no exista ganancia solar pasiva, lo que aumentará el coste de inversión.
- La caldera funcionará a un nivel de carga inferior en relación con su tamaño, es decir, su factor de carga medio será más bajo. En algunas calderas esto produce una menor eficiencia estacional (3.81).

Control de la emisión de calor

Los radiadores y otros emisores de calor deberían estar controlados de forma que sólo emitan calor cuando sea necesario. Si la ganancia solar pasiva es suficiente para calentar un espacio a la temperatura deseada, un sistema de control que incorpore un termostato debería cortar el suministro en ese espacio. Las estancias orientadas al este son las que más suelen beneficiarse de la ganancia solar pasiva durante la mañana, mientras que las orientadas al oeste lo hacen por la tarde. Por tanto, las zonas con ventanas orientadas en distinta dirección deberían tener controles independientes de temperatura.

Capacidad de respuesta

La calefacción solar pasiva de un espacio puede cambiar rápidamente, por ejemplo, cuando el cielo está nublado. El sistema de calefacción debería ser capaz de responder con rapidez a estos cambios, si no es así, el espacio se sobrecalentará y la ganancia solar no servirá de nada. Los sistemas con radiadores de baja capacidad térmica suelen responder rápidamente, mientras que los sistemas de calefacción bajo el suelo, integrados en el hormigón, suelen ser más lentos, por eso no se consideran apropiados para espacios con grandes ventanales orientados al sur.

Bombas de calor

Las bombas de calor pueden utilizarse para extraer calor útil de una fuente de baja temperatura, como el suelo, el aire exterior o el agua. A pesar de que estas fuentes de energía son renovables, la bomba requiere energía eléctrica para la compresión y la circulación; en consecuencia, es necesario analizar cuidadosamente sus costes y sus requisitos de energía primaria. Se han realizado estudios económicos sobre el rendimiento de bombas de calor que satisfacen simultáneamente la demanda de calefacción y refrigeración, y aportan resultados favorables.

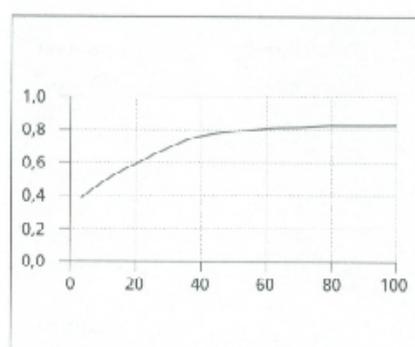
Refrigeración

Refrigeración natural

Los sistemas de refrigeración natural tienen el potencial de mantener condiciones de confort en verano en una amplia variedad de edificios y climas. Si la refrigeración natural no es suficiente, pueden aumentarse los caudales de ventilación de forma mecánica; si esto tampoco es suficiente, será necesario emplear sistemas de refrigeración artificial.

Sin embargo, antes de descartar la opción de la refrigeración natural deberían evaluarse todos los métodos que permitan reducir la ganancia térmica solar e interna, y de mejorar la ventilación natural en las horas de más calor. Los costes de inversión y funcionamiento de edificios refrigerados de forma natural suelen ser más bajos y, siempre que consigan mantener los niveles de confort, muchos ocupantes los prefieren. Además, en el caso de los sistemas de aire acondicionado, un buen mantenimiento es fundamental para evitar que se reduzca su eficacia y, por tanto, el confort de los usuarios. Los sistemas de refrigeración natural normalmente no requieren tanta dedicación en uso y mantenimiento.

Si se necesita ventilación mecánica o refrigeración artificial, debería tenerse en cuenta la posibilidad de combinarla con la ventilación natural mediante un sistema mixto; ello supondría que la refrigeración natural puede utilizarse en algunas partes del edificio y la ventilación o refrigeración mecánica en otras (modo mixto zonal). Otra alternativa sería instalar los sistemas naturales y los mecánicos en la misma zona, y utilizar los mecánicos sólo cuando el sistema de refrigeración natural no sea suficiente (modo mixto estacional).



3.81 Ejemplo de la curva de eficiencia de una caldera.

Ventiladores de techo

El movimiento de aire generado por un ventilador de techo puede producir el mismo efecto de refrigeración que un descenso de la temperatura de 2-3 °C, y su consumo de energía es mucho menor que el del aire acondicionado. La velocidad del aire debajo de estos ventiladores debería mantenerse dentro de límites aceptables.

Ventilación mecánica

Los ventiladores extractores mecánicos pueden utilizarse para aumentar la ventilación natural. Por ejemplo, en un atrio pensado para facilitar la ventilación mediante el efecto chimenea, puede instalarse un ventilador extractor en la cubierta que se active cuando las temperaturas interiores sobrepasen un nivel preestablecido.

Los sistemas de ventilación mecánica por conductos también pueden utilizarse para refrigerar el edificio. Sin embargo, la función de refrigeración puede requerir caudales de flujo bastante altos que pueden producir las correspondientes caídas de presión en el sistema. En ese caso, se requerirá una mayor potencia de ventilación para impulsar el flujo del aire.

Refrigeración artificial

Los sistemas de aire acondicionado consumen mucha energía. Un edificio completamente acondicionado puede consumir de dos a tres veces más energía que un edificio similar con ventilación natural. Si es necesario utilizar un sistema de aire acondicionado, debería especificarse sólo para aquellas partes del edificio donde sea absolutamente imprescindible.

Cuando la necesidad de refrigeración artificial es inevitable, algunos factores que pueden reducir la capacidad requerida y las horas de funcionamiento incluyen: planta poco profunda, estructura bien aislada, cerramiento hermético (véase: ESTRATEGIAS; Cerramiento), iluminación y equipamiento eficientes y bien controlados, para minimizar las ganancias internas, y dispositivos de control solar. Deberían evitarse las superficies acristaladas excesivamente grandes en las fachadas expuestas al sol en verano.

Muchos sistemas de refrigeración artificial utilizan refrigerantes que contienen sustancias químicas que destruyen la capa de ozono. Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) no son tan dañinos como los clorofluorocarbonos (CFC), hoy en día prohibidos, pero siguen siendo perjudiciales para la capa de ozono. Los hidrofluorocarbonos, por otra parte, no dañan la capa de ozono, pero son potentes gases que provocan el efecto invernadero, y, por tanto, su uso también es preocupante. Los refrigerantes alternativos, que no destruyen la capa de ozono ni son gases que provocan el efecto invernadero, incluyen el amoníaco, el propano y el agua, aunque su comercialización no está tan desarrollada como el caso de los fluorocarbonos.

La eficiencia de un sistema de refrigeración artificial puede expresarse como la relación entre el calor extraído de los espacios ocupados y la electricidad que consume todo el sistema. Un valor estacional medio en torno a los 2 kW de calor extraído por cada kW de energía consumido es habitual en los sistemas convencionales. Un trazado que reduzca la longitud de los conductos y tuberías para minimizar la resistencia al flujo incrementará su eficiencia. En este sentido, puede ser útil colocar la maquinaria cercana a las zonas que necesitan mayor refrigeración.

La mayoría de los refrigeradores utilizados en los sistemas artificiales se basan en el ciclo de compresión del vapor, y los comentarios anteriores se refieren a ellos. Otro tipo de refrigeradores se basa en el ciclo de absorción, impulsado por calor en lugar de electricidad. Hace mucho tiempo que se conoce este sistema, pero en los últimos años está suscitando gran interés.

Los refrigeradores por absorción pueden utilizar fluidos refrigerantes inocuos, como el agua. Una aplicación que tiene un gran potencial en el futuro es el uso de refrigeradores por absorción impulsados por el calor residual derivado de sistemas combinados de calor y energía, o por sistemas solares activos. La viabilidad económica de estos proyectos se verá favorecida por la demanda de calor durante todo el año: calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente todo el año.

Cálculo de las temperaturas interiores

Muchos sistemas de aire acondicionado están calculados para responder a las peores condiciones posibles, y esto significa que tienen una capacidad superior a la que necesitan durante la mayor parte de su vida útil. Cuando las temperaturas de confort se expresan como un intervalo (por ejemplo: 24-26 °C), el sistema debería ajustarse al límite superior del mismo, no al punto intermedio. A menudo, permitir que las temperaturas superen los niveles de confort convencionales puede reducir considerablemente el tamaño del sistema y su consumo de energía (3.82).

Las temperaturas estándar utilizadas para los interiores suelen basarse en los datos proporcionados por la norma ISO 7730, obtenidas mediante análisis de la percepción del confort realizados en laboratorios. Sin embargo, como se indicó en la segunda parte de los temas, los estudios han demostrado que a menudo existen discrepancias entre las condiciones de confort previstas por ese método y las observadas en la práctica. En muchos casos, los usuarios se sienten satisfechos con temperaturas más altas en verano y más bajas en invierno que las que sugiere la norma ISO 7730. Por tanto, no parece necesario seguir tan estrictamente las temperaturas recomendadas por esta norma, sobre todo si se proporciona la posibilidad de adaptarse al clima.

Los edificios con refrigeración natural proporcionan más posibilidades de adaptación que los que sólo cuentan con aire acondicionado. Algunos ejemplos de elementos que permiten a los ocupantes controlar el ambiente interior incluyen termostatos ajustables, aberturas de ventilación, persianas, ventanas practicables y una distribución flexible que les permita colocar el mobiliario de la forma más conveniente.

Ventilación

A medida que aumentan los niveles de aislamiento térmico y las expectativas de los ocupantes en cuanto a la calidad del aire interior, la proporción de la pérdida térmica total del edificio que representa la ventilación se ha convertido en un asunto cada vez más importante. Aunque no resulta tan sencillo como controlar la pérdida térmica a través de la obra de fábrica, se puede hacer mucho para controlar la pérdida de calor a través de la ventilación.

El caudal de ventilación requerido depende de muchos factores, que incluyen la actividad de los ocupantes y el tipo de espacio. Por ejemplo, en oficinas donde no está permitido fumar suele recomendarse un caudal de ventilación de 5 a 8 l/s por persona. Si el caudal de ventilación es superior al necesario, se producirá una pérdida de energía. Dado que tanto las fuerzas que inducen la infiltración (la presión del viento y la diferencia entre la temperatura interior y la exterior) como los requisitos interiores de ventilación son variables, para satisfacer las necesidades de los ocupantes sin derrochar energía se requiere un cerramiento exterior relativamente hermético y caudales de ventilación controlables.

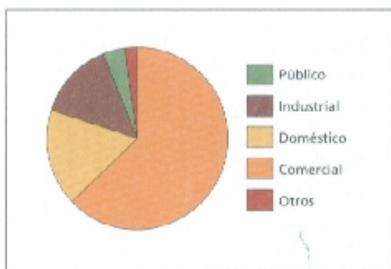
A un nivel básico, la ventilación es necesaria para proporcionar oxígeno a los ocupantes y diluir y eliminar el CO₂ y los malos olores. Sin embargo, la ventilación también debe eliminar otros contaminantes (vapor de agua, formaldehído, etc.), por lo que se necesitarán caudales más altos de ventilación si esas sustancias están presentes en el aire en cantidades importantes. Un aspecto clave de una estrategia de ventilación energéticamente eficiente consiste en minimizar el caudal de ventilación necesario gracias a la eliminación de las emisiones de contaminantes en el edificio (véase TEMAS; Salud).

Cuando la emisión de contaminantes es inevitable, resulta más eficiente desde el punto de vista energético eliminarlos en origen que aumentar el caudal de ventilación de todo el edificio. Las fuentes de contaminantes en los edificios de oficinas incluyen algunas fotocopiadoras e impresoras que emiten ozono, y las cafeterías o comedores, que emiten vapor de agua. Los contaminantes pueden eliminarse en origen mediante extractores locales o situando la fuente cerca de una ventana por la que normalmente sale el aire del edificio (por ejemplo, en la cara opuesta a la dirección del viento).

Si la ventilación natural no es suficiente para satisfacer las necesidades de los ocupantes en circunstancias concretas (por ejemplo, en días sin viento), se pueden utilizar ventiladores extractores para aumentar el caudal de ventilación. Sin embargo, estos ventiladores deberían estar controlados para que no queden encendidos cuando no se necesitan.

Tipo de edificio Estancia/ actividad	Temperatura operativa (°C)
Residencial	
Sala de estar	21
Dormitorio	18
Escaleras	16
Oficinas	
General	20
Privado	20
Almacenes	15
Fábricas	
Trabajo sedentario	19
Trabajo ligero	16
Trabajo pesado	13
Centros de enseñanza	
Aulas	18
Sala de conferencias	18
Cafeterías y bares	18
Cantinas y comedores	20

3.82 Temperaturas interiores recomendadas durante el invierno (norte de Europa).



3.83 Consumo de energía en iluminación en Reino Unido.

Tipo de lámpara	Eficacia [lm/W]
Lámpara incandescente	10-15
Lámpara halógena de tungsteno	20-30
Lámpara fluorescente compacta	50-75
Lámpara fluorescente trifósforo	80-100
Lámpara de halogenuro metálico	70-90
Lámpara de vapor de sodio a alta presión	70-120

3.84 Eficacia luminosa de distintos tipos de lámparas.

Ventilación mecánica

Los sistemas de ventilación mecánica pueden clasificarse en sistemas de impulsión, sistemas de extracción y sistemas de impulsión y extracción. En los sistemas de impulsión, el aire se expulsa del edificio mediante exfiltración y, por tanto, la recuperación del calor no es posible. Los sistemas de extracción y los de impulsión y extracción ofrecen la oportunidad de recuperar el calor. En los sistemas de extracción, el calor del aire viciado saliente puede recuperarse mediante una bomba de calor y ser utilizado para producir agua caliente. En los sistemas de impulsión y extracción, el calor recuperado puede utilizarse para calentar el aire de renovación mediante un intercambiador de placas o un volante térmico. Los datos económicos relacionados con la recuperación del calor a través de sistemas de impulsión y extracción son más favorables cuanto más severa sea la estación fría.

La eficiencia estacional de los intercambiadores de calor puede llegar a un 70 %. Sin embargo, sólo pueden recuperar el calor del aire que sale a través de ellos. Si un edificio con un sistema de impulsión y extracción no es hermético, parte del aire saldrá por exfiltración a través de la obra de fábrica. Además, la infiltración elevará las tasas de impulsión por encima de lo necesario. En consecuencia, un edificio hermético es fundamental para el funcionamiento eficiente de los sistemas de ventilación, sobre todo para los sistemas de impulsión y extracción.

El sistema de ventilación debería estar diseñado de manera que facilite su mantenimiento; por ejemplo, las piezas que necesitan limpieza regularmente deberían tener un acceso fácil y rápido. Una vez en funcionamiento, el sistema debería recibir el mantenimiento correcto: cambio de filtros y limpieza de las superficies de intercambio de calor con regularidad. De no ser así, su eficiencia descenderá y la calidad del aire empeorará. Además, los sistemas de ventilación mecánica (y de aire acondicionado) que no reciben el mantenimiento adecuado no sólo afectan a la calidad del aire, sino que pueden causar problemas de salud debido al desarrollo de microorganismos. Una forma útil de calcular la eficiencia de un sistema de ventilación mecánica es medir la electricidad consumida por unidad de aire impulsado, expresada en julios por litro (J/l) o, más habitualmente, en vatios por litro por segundo [W/(l/s)]. Los valores normales son 1-3 W/(l/s), y los sistemas más eficientes se aproximan al límite inferior de este intervalo.

Iluminación

La iluminación es responsable de una parte considerable del consumo de energía en los edificios no domésticos. En las oficinas puede llegar a representar el 50 % del consumo de electricidad, y en los edificios de planta profunda su consumo puede superar al de la calefacción. En las fábricas, el porcentaje de energía dedicado a la iluminación es normalmente de un 15 % y, en los centros de enseñanza, del 10-15 % (3.83).

La cantidad de energía consumida por el sistema de iluminación depende del consumo de los equipos y del tiempo durante el que estén encendidos. La reducción de cualquiera de estos dos factores reducirá el consumo. En los edificios existentes se puede ahorrar energía y dinero de muchas formas; el ahorro puede alcanzar de un 30 a un 50 %. En edificios de nueva planta, el aprovechamiento máximo de la luz natural puede reducir el tiempo durante el que se consume luz eléctrica.

La luz eléctrica contribuye a la ganancia de calor en el interior del edificio. Esto reduce la carga de calefacción en invierno, pero es perjudicial en verano, pues aumenta los costes en refrigeración. Una mejora en la eficiencia energética del sistema de iluminación en invierno se verá compensada por el correspondiente aumento de la carga de calefacción. Sin embargo, como la calefacción proviene normalmente de una fuente más eficaz (respecto a la energía primaria) y con un coste más bajo, se producirá una ganancia neta tanto en términos de coste como de consumo de energía primaria. En verano se conseguirá reducir tanto el coste de la iluminación como la necesidad de refrigeración.

Iluminación eléctrica

La eficacia luminosa de una fuente de luz es el flujo luminoso emitido por unidad de potencia consumida; se mide en lúmenes por vatio (lm/W). La eficacia luminica típica de distintos tipos de lámparas se muestra en el cuadro 3.84. La eficacia tiende a aumentar con el flujo lumínico, es decir, las lámparas más grandes suelen ser más eficientes que las pequeñas (3.85, 3.86).

Las lámparas de descarga necesitan un balastro, que también consume energía. Por tanto, la eficacia lumínica de una lámpara con balastro será inferior a la de la lámpara en sí.

La utilización de balastos electrónicos de alta frecuencia en las lámparas fluorescentes, en lugar de balastos magnéticos, mejora la eficacia lumínica de la combinación de lámpara y balastro de un 10-20 %. Los balastos electrónicos también favorecen un encendido más suave de las lámparas y, por tanto, prolongan su vida útil y disminuyen los costes de sustitución. Además, los balastos de alta frecuencia reducen el parpadeo (existen estudios que asocian el parpadeo de los balastos antiguos con problemas de vista cansada y dolores de cabeza).

La eficiencia de una luminaria se mide estableciendo una proporción entre el flujo luminoso que emite y el flujo luminoso de las lámparas que contiene. La distribución direccional de la luz emitida y la luminancia de la luminaria también son aspectos importantes que deben tenerse en cuenta en el proyecto.

En un espacio, las superficies claras reflejan más luz que las oscuras (véase ESTRATEGIAS; Acabados). Si en un proyecto se decide optar por superficies claras, se podrá reducir la capacidad del sistema de iluminación eléctrica y, en consecuencia, los costes de inversión.

El cálculo de iluminación local (dirigida) sobre las superficies de trabajo, combinada con niveles inferiores de iluminación general (ambiente) en otras zonas del espacio es más eficiente energéticamente que proporcionar sólo luz general, dado que no todo el espacio requiere el nivel de iluminación que exigen las áreas de trabajo.

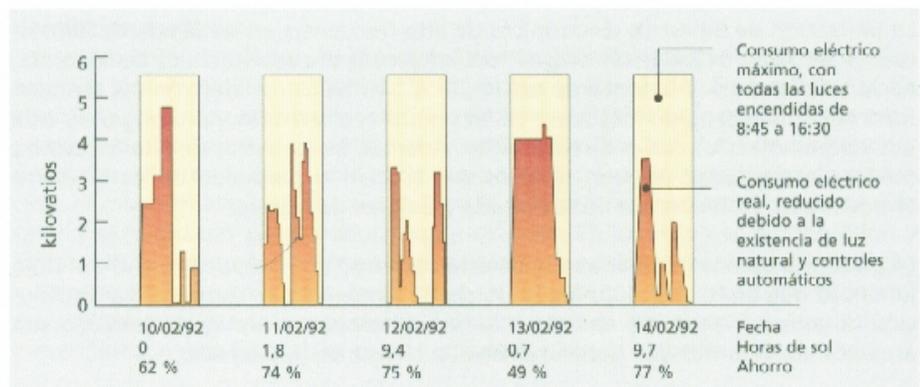
En los momentos de máximo sobrecalentamiento, la iluminación eléctrica contribuirá menos, en general, a la ganancia térmica interior que la luz natural. El motivo es que la distribución de la luz y los niveles de luminancia de la iluminación artificial se pueden controlar de forma más precisa para ajustarlos a las necesidades de los usuarios que la luz natural. Esto es así a pesar de que la proporción de flujo luminoso por contenido energético de la luz natural (unos 140 lm/W) es superior a la eficacia luminosa de las lámparas fluorescentes modernas (unos 100 lm/W).

Ítem	Lámpara halógena de tungsteno 100 W	Lámpara fluorescente PLCE 20 W
Lámparas de tungsteno 8 x 0,63 €	5,04 €	
Costes de electricidad (100 W x 8.000 h x 9,70 céntimos de €)	77,60 €	
Total	82,64 €	
Lámpara PLCE 1 x 17,00 €		17 €
Costes de electricidad (20 W x 8.000 h x 9,70 céntimos de €)		15,52 €
Total		32,52 €
Ahorro		50,12 €

3.85 Comparación de los costes de las lámparas de tungsteno y las lámparas fluorescentes.

Medidas de eficiencia energética	Coste €	Ahorro de energía (%) (años)	Plazo de recuperación
Sustituir tubos de 38 mm por tubos de 26 mm	4-6 cada uno	8 (mismo precio)	< 2
Balastos de alta eficiencia para lámparas halógenas	20-65 por luminaria	15-20	5-15
Sustituir lámparas de tungsteno por lámparas fluorescentes compactas	15-20 cada uno	40-70	1-3
Sustituir difusores opalizados por reflectores especulares	30-60 por luminaria	20-50	2-6
Instalar controles automáticos	—	si se necesitan menos luminarias	
		20-50	2-5
Complementar iluminación general con iluminación dirigida	—	60-80	4-8

3.86 Medidas de eficiencia energética, ahorro de energía y plazos de amortización para las instalaciones de iluminación existentes.



3.87 Seguimiento del rendimiento de los controles.

Controles

En muchos edificios sería posible ahorrar una cantidad considerable de energía simplemente apagando las luces cuando no es necesario. Como en muchos casos no se puede depender de que los propios usuarios las apaguen o reduzcan su intensidad según sea conveniente, los controles automáticos desempeñan un papel muy importante en un sistema de iluminación eficiente.

Los temporizadores pueden utilizarse para apagar las luces automáticamente cuando el edificio esté desocupado. Los controles de ocupación (o detectores de presencia) utilizan sensores (infrarrojos o ultrasónicos) que detectan el movimiento y apagan las luces si no perciben movimiento durante un intervalo (15 min, por ejemplo). Los sensores de luz natural pueden utilizarse para atenuar o bajar las luces según los niveles de luz natural. En muchos casos, estos tipos de controles son necesarios para alcanzar un ahorro significativo durante el día (3.87).

La instalación de interruptores localizados permite controlar la iluminación en zonas reducidas mediante interruptores próximos a los usuarios. Las lámparas controladas por un único interruptor deberían coordinarse con la penetración de luz natural y la ocupación. Por ejemplo, las lámparas que proporcionan luz general en una oficina de planta libre podrían estar controladas por baterías de interruptores paralelos a las ventanas, mientras que las lámparas sobre cada espacio de trabajo se podrían controlar individualmente.

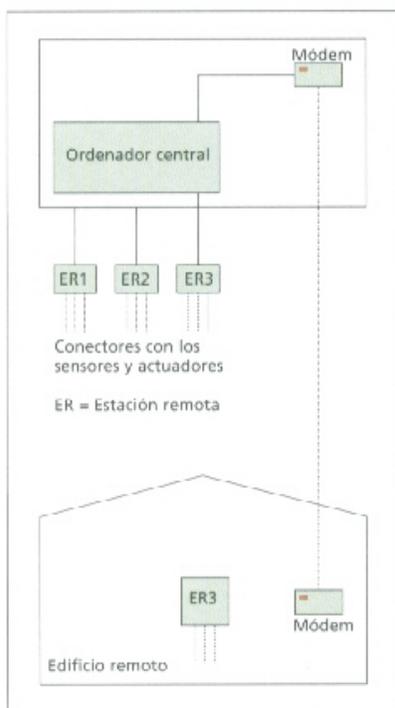
La estrategia de control más adecuada para un edificio o espacio concreto dependerá de las circunstancias y, en particular, de la ocupación. En muchos casos, el mejor enfoque consiste en que sean los controles los que apaguen las luces, y los ocupantes los que las enciendan según sea necesario.

Sistemas de control integrado

Como se describe en las secciones anteriores, el control automático de los componentes y sistemas individuales de las instalaciones del edificio puede ayudar a conseguir un funcionamiento energéticamente eficiente. Sin embargo, la combinación de los distintos controles en un sistema integrado de gestión del edificio puede producir los siguientes beneficios adicionales:

- Pueden programarse procedimientos de control más sofisticados.
- Facilita el seguimiento del consumo de energía e indica posibilidades de ahorro.
- Pueden recibirse avisos de necesidades rutinarias de mantenimiento que suponen una ayuda para los técnicos en el mantenimiento de un funcionamiento eficiente para evitar engorrosos fallos de los equipos (3.88).

Un exceso de información puede ser tan perjudicial como una escasa, porque algunos datos importantes pueden pasar desapercibidos entre montones de información. Los sistemas de control integrado pueden filtrar la información irrelevante y señalar aquellos puntos donde es posible ahorrar energía. La información que se entrega a los técnicos, los contables, etc., puede filtrarse para que contenga sólo los datos que cada uno necesita y en los términos que pueda comprender.



3.88 Sistema de control integrado distribuido.

Rehabilitación

“Reutilizar un edificio existente es una de las estrategias sostenibles más eficaces que existen. Reduce los materiales, la energía y la contaminación que supondría construir un edificio nuevo, y evita los nuevos servicios e infraestructura necesarios en un emplazamiento sin construir”.³⁷

En la actualidad, la rehabilitación de edificios representa más de un tercio de la producción del sector de la construcción en la Unión Europea. Se prevé que estas cifras aumenten si el parque de edificios continúa creciendo, y si se extiende el conocimiento de las ventajas económicas y medioambientales de la rehabilitación de edificios. Una gran proporción de edificios residenciales son viviendas construidas con bloques o paneles prefabricados de hormigón que, en muchos casos, se encuentran en malas condiciones y necesitan reformas importantes.

Cualquier edificio con un bajo rendimiento en términos de consumo de energía, condiciones de confort o impacto ambiental, es susceptible de rehabilitación. Los beneficios para los propietarios y los residentes de una reevaluación meticulosa del proyecto y funcionamiento del edificio pueden tener un gran alcance: confort, salud, eficacia, disfrute, calidad estética, prestigio y valor, junto con costes más bajos de mantenimiento y mayor seguridad ante las fluctuaciones del precio de la energía. Algunos de estos beneficios son difíciles de calcular, pero, aun así, resultan obvios para los clientes. Las posibilidades de mejorar el edificio desde el punto de vista arquitectónico son considerables, y pueden incluir la reorganización de la distribución espacial y funcional del edificio o la incorporación de edificios o espacios adyacentes.

Los aspectos económicos de las medidas de ahorro energético aplicadas en viviendas unifamiliares están bastante bien estudiados, pero la actualización de otros tipos de edificios implica el análisis de una gran variedad de opciones más costosas y complejas. Al igual que con las obras de nueva planta, un enfoque integrado producirá mejores resultados que uno individualizado.

¿Remodelar o no?

Algunas veces existe la posibilidad de escoger entre remodelar un edificio antiguo y encargar o comprar un edificio mejor; otras veces, la remodelación es inevitable. En ambos casos, las preguntas que deben hacerse son similares: ¿Puede conseguirse el ambiente interior deseado? ¿Cuánta energía se ahorrará? ¿Cuánto se reducirán las emisiones de CO₂, clorofluorocarbonos y otros contaminantes? ¿Pueden aplicarse las medidas propuestas sin ningún riesgo añadido? ¿Serán duraderas? ¿Requerirán mantenimiento adicional? ¿Generarán otros beneficios no relacionados con la energía? ¿Serán rentables?

La rentabilidad de cualquier intervención se incrementa si se realiza en el momento correspondiente del ciclo de vida normal del edificio y sus accesorios: mantenimiento regular, redecoración rutinaria y sustitución de equipos desfasados, acondicionamiento interior o rehabilitación total del edificio.

Como primer paso debería evaluarse el rendimiento energético del edificio existente, “sin control”, durante periodos representativos del día y del año. También debería realizarse un estudio de los posibles defectos del edificio (como puentes térmicos o condensación), para conocer su rendimiento y tener una base, o referencia, a partir de la que proyectar. Sería conveniente analizar el rendimiento térmico del cerramiento existente respecto a pérdidas o ganancias de calor no deseadas a través de muros, ventanas y puertas, sobre todo, en la planta baja y la cubierta. Debería prestarse especial atención a los puentes térmicos en la eficacia del aislamiento, sobre todo en balcones y encuentros entre forjado y fachada, donde puede ser deficiente; también a las pérdidas de energía debidas a infiltraciones no deseadas de aire frío en invierno (o aire caliente en verano).

A continuación, es necesario estudiar las condiciones microclimáticas positivas o negativas que se producen en torno al edificio. Al igual que en una obra nueva, es preciso tener en cuenta aspectos como la radiación solar, la temperatura, la pluviometría, la intensidad y la dirección del viento, la topografía, la vegetación, los edificios colindantes y la naturaleza de las actividades locales, para poder interpretar todos estos datos en términos de condiciones y oportunidades medioambientales. Los espacios entre los edificios pueden aprovecharse positivamente, por ejemplo, a través de elementos paisajísticos que optimicen las condiciones microclimáticas y favorezcan el ahorro energético y el confort, o mediante estructuras

que enlacen los edificios y creen espacios cubiertos adicionales. Algunos ejemplos de posibles intervenciones incluyen la modificación del perímetro del solar (bermas, etc.), la plantación de árboles y otros tipos de vegetación para proporcionar abrigo o sombra, y el cambio de las características reflectantes de las superficies exteriores para incrementar los niveles de luz natural en el interior.

Cerramiento

Las formas alternativas de construcción del cerramiento se tratan en una sección anterior (véase ESTRATEGIAS; Cerramiento), que examina las opciones que pueden ser relevantes en la rehabilitación de edificios existentes.

Muros

Es posible que los muros del edificio original ya contaran con materiales aislantes y que todavía resulten eficaces, aunque algunos tipos de aislantes se deterioran con el paso del tiempo. Con todo, podría ser recomendable instalar aislamiento adicional para mejorar el confort y reducir el consumo de energía. En los edificios de varias plantas, esto normalmente significa decidir entre un sistema de aislamiento interior o uno exterior.

En general, el aislamiento interior debería utilizarse sólo cuando la fachada no puede alterarse, cuando la ocupación es intermitente o, en el caso de edificios con varias unidades de propiedad, cuando no todos los propietarios quieren mejorar el aislamiento. Normalmente resulta más barato que el aislamiento exterior, pero se pierde espacio y supone la sustitución de zócalos, tuberías, cableado y cualquier otro elemento fijo; además, impide el uso de la masa térmica del edificio para almacenar el calor. Los esfuerzos térmicos que sufre la piel del edificio aumentan el riesgo de condensaciones intersticiales, y es prácticamente imposible resolver el problema de los puentes térmicos.

El aislamiento interior, colocado en la cámara de aire del muro, no afecta al aspecto exterior del edificio ni al tamaño de los espacios, y puede instalarse sin molestar a los ocupantes. Permite aprovechar la inercia térmica de la capa intermedia y, según el edificio, puede eliminar los puentes térmicos. El aislamiento queda bien protegido, y existe una amplia gama de sistemas patentados. Sin embargo, la instalación debe ser ejecutada por profesionales cualificados y, sin un estudio termográfico, resulta difícil garantizar que el muro quede uniformemente aislado. Algunas zonas pueden ser imposibles de aislar, como las juntas entre fachadas y cubierta, entre pilares y vigas o entre los elementos verticales y horizontales de ventanas y puertas exteriores. El arriostramiento de la cámara puede agravar la penetración de humedad.

Aunque a veces es inicialmente más costoso que el aislamiento interior, el aislamiento exterior, combinado con sistemas de revestimiento o revoque, ofrece las siguientes ventajas:

- Envuelve completamente el edificio con aislante, con lo que evita puentes térmicos.
- Permite que la masa térmica del edificio se utilice para moderar las variaciones de temperatura interiores.
- El edificio puede estar ocupado durante las obras.
- Puede mejorar el aspecto del cerramiento y su resistencia a las inclemencias del tiempo.
- Puede reducir los gastos de mantenimiento.
- Cuando es necesario renovar la fachada, el coste adicional del aislamiento se amortiza en unos pocos años.

Los sistemas de aislamiento exterior de muros se dividen en tres categorías principales:

Aislamiento de capa fina

El aislamiento de capa fina acostumbra a ser la opción más barata. Normalmente se utilizan paneles rígidos que se fijan a la fachada y a los que se les aplica un revoque o un enlucido de yeso de composición especial para crear una capa exterior impermeable. A esta capa se le puede aplicar una amplia variedad de acabados. Es preciso que tanto el detalle como la instalación de esta capa exterior se realicen meticulosamente, sobre todo las juntas, esquinas y vanos de puertas y ventanas. Existen varios sistemas patentados.

Aislamiento de fachada ventilada

El aislamiento se fija a la fachada existente y, después, los paneles de revestimiento se instalan por encima utilizando un bastidor de separación. Los paneles disponen de huecos que permiten que el aire exterior ventile el espacio entre ellos y el aislamiento. En verano, el flujo de aire refrigera la superficie del aislamiento, reduciendo la ganancia de calor a través del muro. Sin embargo, si no se limita, el flujo de aire también puede aumentar la pérdida de calor en invierno.

Módulos prefabricados

Estos módulos, cuyo comportamiento térmico es similar al de la fachada ventilada, llegan al lugar de construcción listos para instalar. Los sistemas especiales de fijación simplifican la operación de montaje y contribuyen a garantizar la calidad del producto final. El resultado es una superficie exterior que no requiere ningún tratamiento adicional.

Cubiertas

Las pérdidas de calor a través de las cubiertas son considerables debido a que su superficie es relativamente grande. Puede añadirse aislamiento, que suele ser un proceso sencillo y con un período de amortización corto. Debe prevenirse la condensación mediante el uso adecuado de barreras de vapor y ventilación.

El aislamiento de las cubiertas a dos aguas es una operación sencilla y de bajo coste. El aislante, normalmente fibra de vidrio, lana mineral o planchas de espuma rígida, se coloca en horizontal. Si se desea aislar el ático, el aislante nuevo puede aplicarse entre los cabios, teniendo en cuenta que es necesario permitir la ventilación de la estructura.

Los sistemas patentados para las cubiertas inclinadas (como las chapas metálicas utilizadas en los edificios industriales) suelen incluir algo de aislamiento, pero pueden mejorarse añadiendo aislamiento interior adicional. Los sistemas de chapas metálicas son relativamente duraderos; suelen mantenerse en buen estado y siguen protegiendo eficazmente contra la lluvia.

En las cubiertas planas debería evitarse la construcción de sistemas de cubierta fría. Las cubiertas calientes o invertidas permiten que el forjado funcione como almacén térmico y reducen el riesgo de condensación intersticial. La cubierta invertida ofrece la ventaja de que protege una sólida capa impermeable contra el esfuerzo térmico, pero si el revestimiento de la cubierta ha llegado al fin de su vida útil, una cubierta caliente puede proporcionar un período de amortización atractivo.

Soleras

El coste de colocar aislamiento bajo la solera de hormigón existente es difícil de justificar, a menos que sea necesario reemplazarlo por otros motivos (humedad, deterioro o capacidad de carga inadecuada, por ejemplo). En algunos casos, las pérdidas de calor pueden reducirse garantizando un drenaje eficaz en torno al perímetro del edificio y añadiendo aislamiento adicional por debajo del nivel del suelo. Otra alternativa consiste en colocar el aislamiento por encima de la solera existente y cubrirlo con una capa niveladora o un sistema patentado de revestimiento de suelos.

Los suelos flotantes suelen ser más fáciles de aislar y existen sistemas patentados para distintos tipos de construcción.

Puertas y ventanas

En los climas fríos, es necesario tener en cuenta las pérdidas de calor por transmisión a través de las superficies acristaladas, de los puentes térmicos en la carpintería y de la ventilación no deseada en las juntas. Las mejoras en estas zonas no sólo reducirán las pérdidas de calor del edificio, sino que eliminarán las corrientes de aire y el "factor de enfriamiento" de los vidrios fríos, reduciendo así la temperatura ambiente necesaria para el confort.

Cuantas más capas haya entre las hojas de vidrio, más se reducirá la transmisión térmica a través de la ventana. Suele ser posible instalar ventanas secundarias en la carpintería existente con sólo realizar pequeñas adaptaciones. Estas unidades secundarias podrían incorporar uno de los tipos avanzados de vidrio que se describen en la sección ELEMENTOS. Si la carpintería de las ventanas de doble vidrio está en buen estado, puede ser apropiado sustituir los vidrios por unidades que incorporen un revestimiento de baja emisividad o una cámara de gas. Los materiales de aislamiento transparentes (MAT) son cada vez más asequibles y podrían

Rehabilitación

Calefacción y ventilación del espacio

Reducir la demanda

- aislar la fábrica;
- reducir la infiltración;
- utilizar la ganancia solar.

Mejorar la eficiencia

- evaluar la eficiencia de los electrodomésticos;
- mejorar los controles.

Refrigeración y ventilación del espacio

Reducir el sobrecalentamiento

reducir las ganancias solares
mejorar la eficiencia de la iluminación y otros equipos que producen calor utilizar ventilación natural

Mejorar la eficiencia

- comprobar la eficiencia de bombas y ventiladores;
- mejorar los controles;
- especificar sistemas de refrigeración mecánica eficientes (si son inevitables).

Iluminación

Reducir la demanda

- mejorar la iluminación natural;
- racionalizar el uso del espacio.

Mejorar la eficiencia

- rediseñar la distribución de la iluminación artificial;
- especificar lámparas, luminarias y balastos eficaces;
- mejorar los controles.

Agua

Reducir la demanda

- utilizar agua potable sólo cuando sea necesario;
- mejorar el almacenamiento del agua y el trazado de las tuberías;
- instalar contadores para reducir la demanda.

Mejorar la eficiencia

- especificar accesorios que conserven agua.

Gestión del edificio

Reducir la demanda

- educar a los usuarios;
- fomentar "buenas prácticas" domésticas.

Mejorar eficiencia

- establecer objetivos y controlar el rendimiento;
- comprobar la eficacia de la utilización y el mantenimiento;
- considerar distintos sistemas de control.

ser una buena opción para los vanos donde las pérdidas de calor superan las ganancias, pero la luz natural sigue siendo un tema fundamental. Las persianas o contraventanas aisladas constituyen un método barato de reducir las pérdidas de calor por la noche.

En general, pero sobre todo en zonas con mucho viento, la falta de estanquidad de los marcos de las ventanas y las puertas exteriores produce pérdidas o ganancias térmicas. La instalación de burletes puede ayudar, pero si los marcos son muy antiguos o están gravemente deteriorados, deberían cambiarse por marcos nuevos y correctamente estancos.

Materiales

Al igual que en una obra nueva, la selección cuidadosa y razonada de los materiales y componentes del edificio puede mejorar las condiciones ambientales interiores y producir un efecto acumulativo importante sobre la salud del medio ambiente.

Instalaciones

En cualquier proyecto sostenible de readecuación existen dos tareas fundamentales relacionadas con las instalaciones. En primer lugar, reducir la demanda; en segundo lugar, asegurarse de que cuando se necesiten recursos adicionales, se suministren y utilicen de forma eficiente. Cuando sea necesario instalar sistemas mecánicos de calefacción o refrigeración, la energía necesaria debería provenir de fuentes renovables. El uso de sistemas mecánicos de aire acondicionado debería evitarse siempre que sea posible.

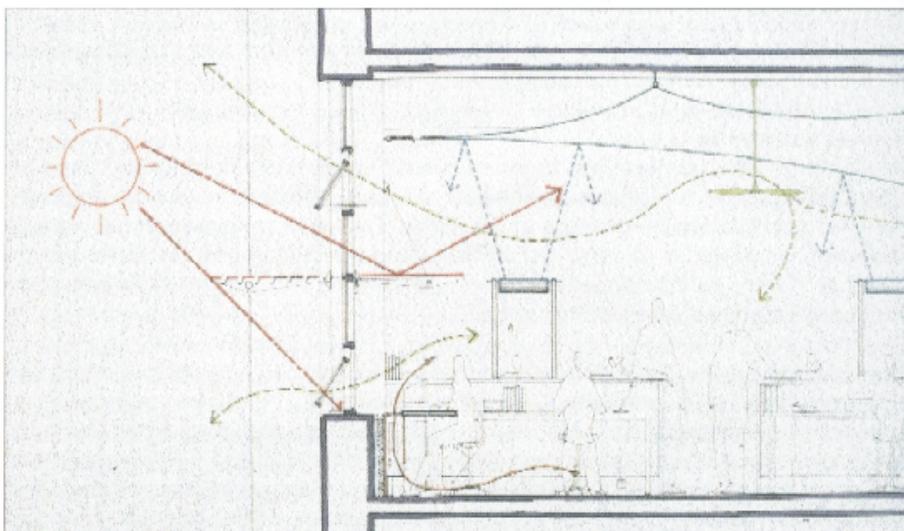
Sistemas de control

La mejora de los sistemas de control puede tener un impacto considerable sobre el consumo de energía y, a veces, constituye una solución aislada válida. Las válvulas termostáticas para radiadores ahorran un 10 % más que los controles manuales. El uso de contadores individuales en los edificios de apartamentos reduce el consumo un 15 %. Un sistema de control y seguimiento proporcionará a los usuarios la información necesaria para gestionar su propio consumo. Normalmente, cuanto más eficiente sea el sistema de control, más alto será el coste de inversión.

La introducción de tarifas individuales en lugar de tarifas planas proporciona la oportunidad de ahorrar energía, dado que motiva a los consumidores a realizar un uso más cuidadoso de los recursos. Las válvulas termostáticas para radiadores ahorran normalmente un 10 % más que los controles manuales.

Riesgos

Cuando se evalúan las estrategias de rehabilitación, es necesario tomar precauciones para evitar o minimizar los riesgos. Los edificios que se rehabilitan normalmente siguen ocupados durante las obras, y los ocupantes están expuestos a contaminación y otros riesgos procedentes de los procesos de desmantelamiento o demolición, así como de los materiales recién instalados.



3.89 Sede de Greenpeace, Londres, Reino Unido. Diagrama medioambiental. Arquitecto: Fielden Clegg.

Es posible identificar y controlar los problemas mediante un análisis meticuloso de las probables causas de contaminación interior. La técnica será común para todos los proyectos, mientras que las fuentes de contaminación son específicas para cada proyecto concreto.

La secuencia típica de la gestión del proyecto de rehabilitación debería incluir, como mínimo, los siguientes pasos:

- análisis del edificio existente para identificar posibles fuentes contaminantes;
- organización y gestión del proceso de rehabilitación para reducir los niveles de contaminación durante la demolición y la eliminación de los residuos;
- establecimiento de procedimientos para medir y garantizar la calidad del aire interior en todas las fases del proyecto.

Construcción y entrega

Durante la rehabilitación es muy importante informar y supervisar de cerca al equipo de construcción. Cuando la obra se entregue, los gestores y los ocupantes del edificio deberían recibir una explicación breve y fácil de entender sobre cómo utilizar los sistemas térmicos y de iluminación de la forma más eficaz. Asimismo, deberían estar informados sobre lo que deben hacer para que el edificio funcione y las posibles consecuencias de no utilizar o mantener adecuadamente el edificio y sus sistemas de energía. Una gestión eficaz y continuada es fundamental.

Notas

¹ Hough, Michael, *Naturaleza y ciudad. Planificación urbana y procesos ecológicos*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2004¹.

² Barton, H.; Davis, G.; Guise, R., *Sustainable settlements: a guide for planners, designers and developers*, University of the West of England/The Local Government Management Board, Bristol, 1995.

³ Athanassiou, "On the role of urban architecture towards urban sustainability", en De Herde, André (ed.), *PLEA 96: building and urban renewal*, PLEA, Lovaina la Nueva, 1996.

⁴ Murillo, Fernando; De Schiller, Silvia, "Sustainable urban development: obstacles and potentials", en De Herde, (ed.), *op. cit.*

⁵ Barton, H.; Davis, G.; Guise, R., *op. cit.*

⁶ Wilson, Alex, *Green development: integrating ecology and real estate*, Rocky Mountain Institute/John Wiley & Sons, Nueva York, 1998.

⁷ McNicholl, A.; Lewis, J. Owen, (eds.), *Green design: sustainable building for Ireland*, Stationery Office, Dublín, 1996.

⁸ Wilson, Alex, *op. cit.*

⁹ Barton, H.; Davis, G.; Guise, R., *op. cit.*

¹⁰ McNicholl, A.; Lewis, J. Owen, (eds.), *op. cit.*

¹¹ Barton, H.; Davis, G.; Guise, R., *op. cit.*

¹² Wilson, Alex, *op. cit.*

¹³ Romero, B., "A bioclimatic concept of public spaces", en De Herde, André, (ed.), *op. cit.*

¹⁴ Wilson, Alex, *op. cit.*

¹⁵ Barton, H.; Davis, G.; Guise, R., *op. cit.*

¹⁶ Olgay, Victor, *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2006⁴.

¹⁷ *Moderate thermal environments. Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, ISO 7730, 1994.

¹⁸ Talbott, John L., *Simply build green: a technical guide to the ecological houses at the Findhorn Foundation ecological village project*, Findhorn Foundation Development Wing, Findhorn, 1993.

¹⁹ Archard, P.; Cicquel, R., *European passive solar handbook. Basic principles for passive solar architecture*, Commission of the European Communities, Bruselas, 1986.

²⁰ BRE, 1994.

²¹ O'Coifagh, E.; Olley, J.; Lewis, J. Owen, *The climatic dwelling*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.

²² *Moderate thermal environments, op. cit.*

²³ *Ibid.*

- ²² Littlefair P. J., *Designing with innovative daylighting* (Informe 294 del BRE), Building Research Establishment, Londres, 1996.
- ²⁴ O'Cofaigh, E.; Olley, J.; Lewis, J. Owen, *op. cit.*
- ²⁵ Roaf, S.; Hancock, M., (eds.), *Energy efficient building: a design guide*, Scientific Publications, Blackwell, 1992.
- ²⁶ Talbott, John L., *op. cit.*
- ²⁷ *Green building digest*, publicación periódica del ACTAC, 1995.
- ²⁸ Anink, D.; Boonstra, C.; Mak, J., *The handbook of sustainable building: an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.
- ²⁹ *Green building digest*, *op. cit.*
- ³⁰ AA VV, *Architectural and environmental teaching*, COAC, Barcelona, 1997.
- ³¹ *Ibid.*
- ³² *Green building digest*, *op. cit.*
- ³³ Talbott, John L., *op. cit.*
- ³⁴ *Ibid.*
- ³⁵ *Green building digest*, *op. cit.*, 1995.
- ³⁶ Hall, Keith; Warm, Peter, *Greener building: products and services directory*, Association of Environment Conscious Building, Coaley, 1994.
- ³⁷ McNicholl, A.; Lewis, J. Owen, (eds.), *op. cit.*

Bibliografía

- Berrutto, V.; Fontoynt, M., "Procedure for on-site performance assessment of daylighting systems", ponencia en la IV Conferencia Europea sobre Arquitectura, Berlín, marzo de 1996.
- *Daylighting in buildings* (folleto), Energy Research Group, UCD OPET para CECDGXVII, 1994.
- *Going green. The green construction handbook: a manual for clients and construction professionals* (estudio de Ove Arup and Partners), JT Design Build Publication, Bristol, 1993.
- <http://ec.europa.eu/enterprise/construction/suscon/tgs/tg1/efcmfin.htm>
- "Living in the city", documentación presentada al concurso homónimo desarrollado en el marco del proyecto INNOBUILD, con fondos de la DG XII de Ciencia, Investigación y Desarrollo, Energy Research Group, UCD, 1994-1995.
- Quah, L., "Protocol and management information systems for indoor air quality assurance in the refurbishment of office buildings", ponencia presentada en Targeted Research Action, Environmentally Friendly Construction Technologies, first annual workshop primer anuario de trabajos, Toulouse, octubre de 1997.
- *Retrofitting*, folleto para la Comisión Europea DG XVII.
- Russyvelt, P.; Robinson, P., "The applicability of passive solar techniques to the refurbishment of non-domestic buildings in the UK", ponencia en la IV Conferencia Europea sobre Arquitectura, Berlín, marzo de 1996.
- VV AA, *The green pages: the contract interior designer's guide to environmentally responsible products and materials*, 1994.

4. Elementos

Componentes

Introducción

La lista de los diferentes tipos de componentes que se utilizan en la construcción sostenible podría ser larguísima. En la historia de la arquitectura ecológica han surgido cientos de soluciones diferentes, pero pocas de ellas han sido puestas a prueba durante tiempos largos en diferentes condiciones.

Como este manual está dirigido principalmente a proyectistas que se enfrentan a estos conceptos por primera vez, hemos seleccionado las tecnologías más conocidas, al menos por los que están familiarizados con el proyecto ecológico, y las que están más presentes en el mercado. De este modo, aunque no sean especialistas, podrán aplicar estas soluciones perfectamente probadas sin dificultad.

Componentes

Introducción

El cerramiento: elementos opacos

El cerramiento: elementos transparentes

Electricidad y agua

Sistemas de calefacción y refrigeración

Materiales

Introducción

Los efectos medioambientales de los materiales de construcción

Transporte

Residuos

Madera

Paja y otras fibras vegetales

Tierra

Piedra

Cemento y hormigón

Ladrillo, azulejo y otros materiales cerámicos

Vidrio

Metales

Pinturas, adhesivos, conservantes, sellantes y productos de limpieza

Productos sintéticos

El cerramiento: elementos opacos

Cubiertas vegetales

La colocación de tierra y vegetación sobre una cubierta plana o inclinada para crear una cubierta vegetal es una tradición antigua de la arquitectura popular que se está volviendo a utilizar en los últimos años. Sin embargo, una cubierta vegetal moderna no consiste simplemente en echar tierra sobre una cubierta convencional, sino que está compuesta de muchas capas que desempeñan distintas funciones (véase la ilustración 4.1).

Puede ser necesario reforzar la estructura de la cubierta para que soporte el peso adicional de la tierra, que tiene una densidad aproximada de 2 t/m^3 . El forjado de la cubierta puede ser plano o con un ángulo de inclinación inferior a 30° ; deben evitarse los salientes o prominencias, como, por ejemplo, los clavos. Una membrana impermeable, normalmente de caucho de etileno propileno dieno (EPDM) u otra goma sintética, se extiende sobre la plancha de cubierta. Por encima se suele colocar una capa de geotextil, que evita el deslizamiento de la tierra y contiene las raíces. La tierra, normalmente de unos 20 cm de espesor, se planta con la combinación de especies escogidas; cuanto más profunda sea la capa de tierra, más variedades se podrán plantar. A continuación se suele extender una capa biodegradable sobre la tierra para evitar que la lluvia o el viento arrastren la tierra antes de que las plantas hayan echado raíces. En los bordes de la cubierta se ha de crear una zona de drenaje, que consiste normalmente en un canal relleno de grava para evitar que se acumule la humedad.

Las ventajas de las cubiertas vegetales son principalmente estéticas. Pueden convertirse en un refugio para la flora y la fauna en medio de la ciudad, y pueden moderar el microclima local si su extensión es suficiente. El valor aislante de la tierra no es muy grande, aunque depende de la densidad y del índice de humedad; los valores de conductancia varían de 0,7 a $2,1 \text{ W/mK}$, lo que equivale a un coeficiente K de $0,15\text{-}0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ para una capa de 20 cm de grosor. La vida útil de la membrana impermeabilizante (que es, de hecho, la vida útil de la cubierta) puede ser más larga que la de otros materiales de techar, este hecho compensa un coste inicial más elevado. Las cubiertas vegetales también sirven para aislar del ruido exterior, aunque si este problema es grave quizás sea prioritario adoptar otras medidas, como el vidrio doble en las ventanas. La tierra de una cubierta verde también aporta una cantidad considerable de masa térmica, pero como está situada fuera de la envoltura aislada del edificio, sólo afectará en una pequeña medida al resto de la construcción.

Integración arquitectónica

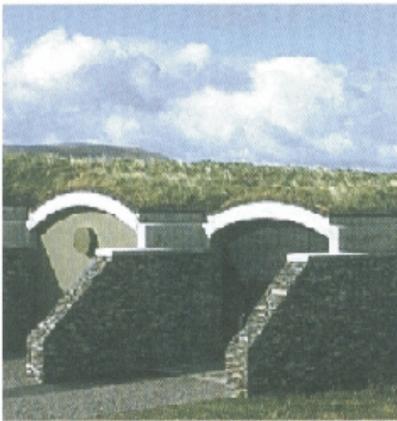
Es necesario prever el acceso a la cubierta para realizar labores de mantenimiento. El cálculo de las estructuras también puede verse afectado, como se ha indicado anteriormente.

Aspectos económicos

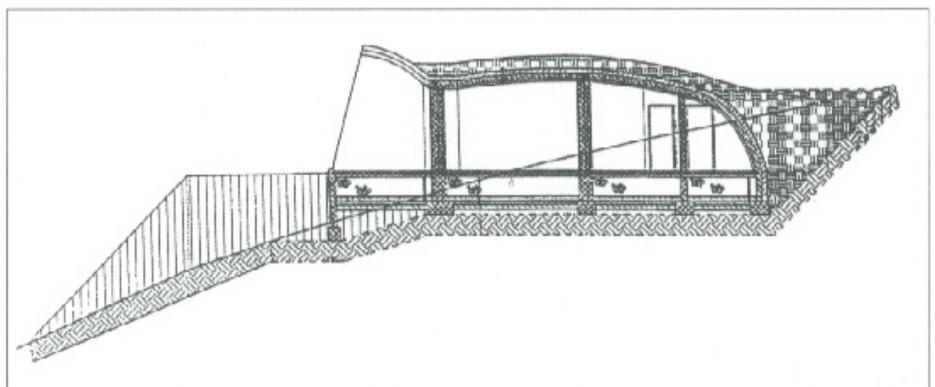
Una cubierta verde supone un gasto adicional considerable, que probablemente no se consiga amortizar mediante el ahorro de energía.



4.1 Sección de una cubierta vegetal.



4.2 Cubierta verde del Skellig Interpretative Centre, Irlanda. Arquitectos: Peter y Mary Doyle.

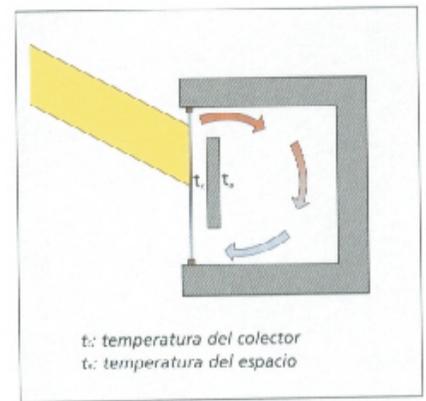


4.3 Casa Caglic, Eslovenia. Arquitecto: K. Caglic.

Elementos opacos

Muros Trombe

El muro Trombe es un ejemplo de calefacción solar por ganancia indirecta. Consiste en un muro de mampostería de 15-50 cm de grosor ubicado en la cara sur del edificio. A unos 10-15 cm de la superficie exterior del muro se coloca una capa sencilla o doble de paneles de vidrio o material plástico. La cara exterior del muro se pinta de un color oscuro para que absorba el calor, y los paneles impiden que este calor se disipe hacia el exterior. El muro Trombe se calienta progresivamente durante el día y el calor va penetrando desde su superficie exterior hasta la interior. A medida que la superficie interior se calienta, irradia calor a los espacios adyacentes. Si el muro tiene el espesor adecuado, este intervalo de tiempo permitirá que el calor de la tarde empiece a caldear el espacio por la noche, justo cuando comienza a bajar la temperatura exterior.²



4.4 Muro Trombe: ciclo típico.

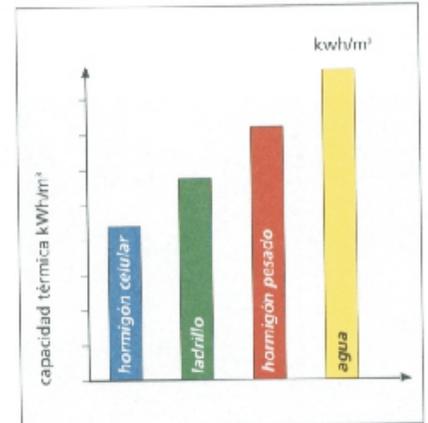
Si se necesita un calentamiento más rápido, pueden abrirse ranuras de ventilación en la parte superior e inferior del muro para conseguir que el calor circule por convección desde el espacio panelado hacia el interior del edificio. Durante la noche sería necesario cerrar esas ranuras para evitar que el ciclo se invierta y que se produzcan pérdidas de calor. Estas pérdidas durante la noche también pueden reducirse cerrando una cortina entre el muro Trombe y los paneles.

Integración arquitectónica

Si el muro Trombe ocupa toda la altura de la fachada, cerrará el paso a la luz del sol y ofrecerá una cara lisa y oscura al exterior. Teniendo en cuenta estas desventajas, podría construirse un muro sólo hasta la mitad de la fachada para permitir la entrada de la luz. Otro aspecto que debe tomarse en consideración desde el punto de vista arquitectónico es la pérdida de espacio útil que supone la construcción de un grueso muro Trombe.

Aspectos económicos

Un muro Trombe puede ser una inversión rentable o no, dependiendo de muchos factores, como el tipo de construcción, el coste de los materiales y los precios de la energía.



4.5 Capacidad térmica de distintos materiales.

El cerramiento: elementos transparentes

Muros cortina activos (fachada doble)

El muro cortina activo, o de fachada doble, es una tecnología que combina los beneficios estéticos de un alto porcentaje de acristalamiento (más del 90 %) con la eficiencia energética y el confort de un cerramiento macizo.

Es habitual que los edificios de las últimas cuatro décadas, sobre todo los de oficinas, presenten grandes superficies exteriores de vidrio que conforman un muro cortina no portante. Esto es fundamentalmente un recurso estético, facilitado por el bajo coste de la energía, los perfiles de acero o aluminio que sostienen la envoltura no estructural y el desarrollo de tecnologías de control del confort, sobre todo los sistemas de aire acondicionado. En la actualidad, los proyectistas son más conscientes de la necesidad del ahorro energético al tiempo que mantienen la calidad estética. La respuesta de algunos arquitectos ha sido la creación de muros cortina con un rendimiento adecuado desde el punto de vista de la eficiencia energética.

La fachada doble consiste normalmente en dos capas independientes de vidrio, separadas por una cámara de aire. Una de las capas, o las dos, puede ser de vidrio doble. Entre ambas pueden colocarse dispositivos para proporcionar sombra o redirigir la luz, y el aire de la ventilación circula por el espacio intermedio. Si está bien diseñada, la fachada exterior debería proteger a la interior del viento, la lluvia y el ruido, y, de este modo, permitir que las ventanas de la fachada interior puedan estar abiertas para facilitar la ventilación natural. La entrada de luz natural es otra ventaja, aunque la iluminación excesiva, sobre todo cuando procede de sólo de uno de los lados en un espacio profundo, puede crear problemas de deslumbramiento. El objetivo es conseguir que el rendimiento térmico de una fachada doble bien diseñada se aproxime al de una envoltura maciza.

Algunos de los posibles problemas que presentan incluyen la protección contra incendios (debido a la circulación de aire en el espacio entre las dos fachadas) y la reflexión del ruido entre los diferentes espacios.

En las fachadas dobles es fundamental el estudio de los detalles. En proyectos destacados se realizan minuciosas simulaciones mediante análisis por ordenador, maquetas a escala e, incluso, prototipos a tamaño real.

Recomendaciones

Para conseguir un diseño que funcione bien es fundamental la realización de las pruebas adecuadas.

Las fachadas dobles resultan especialmente apropiadas para la rehabilitación de edificios de oficinas.

Aspectos económicos

En los edificios que requieran una alta proporción de superficie acristalada, el muro cortina activo puede generar un ahorro de energía y, por tanto, de dinero.

Elementos transparentes

La redirección de la luz y el vidrio crómico

Redirigir la luz

El vidrio prismático y las películas holográficas son productos que redirigen la luz que atraviesa una superficie de vidrio.

El vidrio prismático cambia la dirección de la luz natural entrante al pasar por una superficie compuesta de prismas triangulares. Algunos de estos prismas tienen facetas especulares o metalizadas, cuya geometría puede diseñarse para condiciones específicas. El vidrio prismático puede impedir que penetre la luz solar directa y, al tiempo, redirigir la luz difusa al techo y al fondo del espacio. La luz que incide desde distintos ángulos puede dirigirse de forma selectiva y se pueden realizar ensamblajes a medida según la latitud y la orientación de la fachada.

Las películas holográficas también sirven para controlar la luz incidente y proyectarla con ángulos bien definidos. Podría, por ejemplo, bloquearse o redirigirse la luz solar que incide desde un ángulo alto sobre la fachada sur, o desde un ángulo bajo sobre las fachadas este y oeste. En una misma capa pueden combinarse hasta cuatro imágenes diferentes, que contienen distintas "instrucciones". Es posible mantener las vistas exteriores, pero desde ciertos ángulos de visión se produce el "efecto arco iris".

Vidrio crómico

El vidrio crómico es un tipo especial de vidrio que, cuando se activa, puede pasar de un estado transparente a uno oscuro y semitransparente u opaco, y viceversa. Se utiliza para controlar la radiación solar y evitar el sobrecalentamiento o el deslumbramiento, lo que significa que se pueden eliminar otras medidas de control solar más voluminosas, como las lamas o las persianas mecánicas, con la consiguiente reducción de los gastos de mantenimiento.

Las características de absorción y transmisión de la luz del vidrio crómico varían según sea su respuesta a: cambios de luz (fotocrómico), de temperatura (termocrómico) o una carga eléctrica (electrocrómico). El control de los vidrios electrocrómicos puede incorporarse al sistema de control integrado del edificio. El desarrollo del vidrio fotocrómico y electrocrómico ya ha alcanzado un desarrollo técnico avanzado, pero sus costes son elevados.

Integración arquitectónica

Los proyectistas pueden utilizar estos productos de forma creativa, combinando su rendimiento con sus cualidades estéticas.

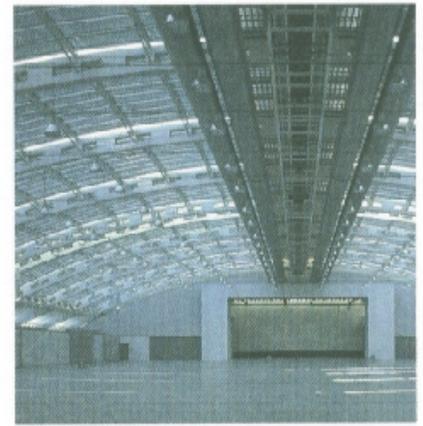
Recomendaciones

El vidrio crómico que cambia sin la intervención del usuario normalmente no es apropiado para ventanas situadas a la altura de los ojos, pero puede utilizarse en vidrios situados por encima o por debajo de ese nivel, o bien en lucernarios de cubierta.

Aspectos económicos

La fabricación de las hojas de vidrio prismático en sí no es muy costosa, pero el coste total de construcción de la ventana es más elevado que el caso de ventanas convencionales. El coste de las películas holográficas tampoco es excesivo.

Con los precios actuales, el vidrio crómico probablemente sólo sea una buena inversión en casos muy concretos.



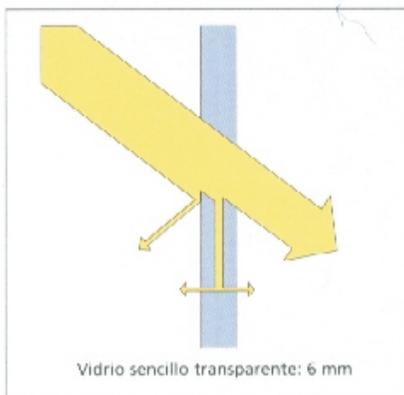
4.6 Redirigir la luz a través del vidrio. Design Centre, Linz, Austria. Arquitectos: Herzog and Partner.



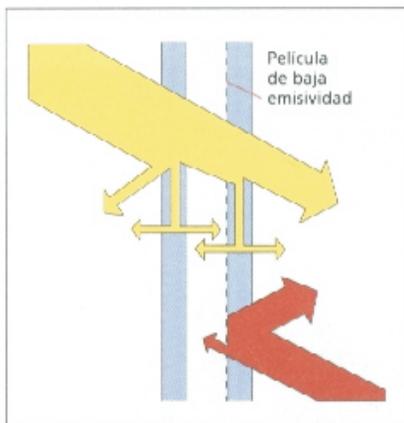
4.7 Redirigir la luz. Oficina de Bartenbach, Innsbruck, Austria. Arquitecto: J. Lackner.



4.8 Redirigir la luz. Oficina de Bartenbach, Innsbruck, Austria. Arquitecto: J. Lackner.



4.9 Hoja sencilla de vidrio flotado transparente.



4.10 Vidrio doble con capa de baja emisividad.

Elementos transparentes

Ventanas de alto rendimiento

Las características clave para determinar el rendimiento de las ventanas son el coeficiente K, (medido en W/m^2K) y la transmisión de la luz. Una ventana convencional con una sola hoja de vidrio flotado transparente transmite aproximadamente un 85 % de la luz que incide sobre ella y su coeficiente K es de $6 W/m^2K$. El vidrio doble normalmente proporciona un coeficiente K de $3 W/m^2K$ y una tasa de transmisión de luz de un 80 %.³ En el mercado existen ventanas de alto rendimiento que mejoran considerablemente estas cifras básicas, respondiendo a los tres tipos de pérdidas térmicas: conducción, radiación e infiltración o exfiltración de aire.

Vidrio de varias hojas relleno de gas

Las unidades de vidrio doble y triple convencionales están rellenas de aire. Sin embargo, las unidades selladas que contienen gases nobles (argón y criptón) proporcionan grados de aislamiento considerablemente más altos, pues reducen la conducción térmica a través de la unidad. Una ventana rellena de argón proporcionará en torno a un 20 % más de aislamiento que una ventana idéntica con aire, sin que esto afecte a la transmisión de la luz.⁴

Revestimientos de baja emisividad

En los climas fríos, el vidrio de una ventana normal absorbe calor del interior, se calienta y lo irradia de nuevo. Después de ser absorbido e irradiado varias veces, el calor pasa al exterior y se pierde. El proceso de radiación puede reducirse revisitando una o más hojas de vidrio con una capa de baja emisividad. Se trata de una película especial que reduce considerablemente la capacidad del vidrio para emitir radiación en ciertas longitudes de onda, pero que sólo afecta ligeramente a la transmisión de la luz. Una ventana típica de vidrio doble con cámara de argón tendrá un coeficiente K de 1,5 y una tasa de transmisión de luz de un 77 %. Una unidad comparable, pero con vidrio triple, tendrá un coeficiente K de 1,2 y una tasa de transmisión de luz de un 70 %.⁵

En los climas cálidos, las capas de baja emisividad también pueden utilizarse para reducir la radiación entrante. Es necesario utilizar una película ligeramente diferente, diseñada especialmente para cada tipo de clima.

Marcos

La calidad del sellante alrededor de una ventana varía según el material del marco y la antigüedad de la ventana. En las ventanas rellenas de gas, los sellantes tienen que ser de excelente calidad para que el gas no escape. Otro tipo de ventanas puede evaluarse según la tasa de infiltración. La conductividad del marco también es un factor importante; los marcos metálicos son mejores conductores que los de madera o los sintéticos.⁶

Recomendaciones

Debería indicarse que el coeficiente K especificado corresponde a toda la unidad y no sólo al propio vidrio.⁷

Aspectos económicos

Como parte de un sistema integrado de diseño, las ventanas de alto rendimiento pueden proporcionar un ahorro considerable, dependiendo del precio de la energía.

Elementos transparentes

Dispositivos para proporcionar sombra

Los dispositivos para proporcionar sombra pueden utilizarse para reducir el deslumbramiento y la ganancia de calor durante el día y la pérdida de calor durante la noche, siempre que se adapten a la situación y la orientación del edificio.

¿Sombreado en el interior o en el exterior?

El sombreado en el exterior es más eficaz para reducir la ganancia de calor (hasta un 80 % más), porque intercepta y desvía los rayos solares antes de que toquen el vidrio. Su instalación y mantenimiento son más costosos, pero desempeña una función estética importante y confiere carácter a la fachada.

Las persianas interiores suelen ser más baratas y fáciles de ajustar. Protegen a los ocupantes de un espacio contra los efectos inmediatos de la luz solar y contra el deslumbramiento, pero no son tan eficaces para reducir la ganancia térmica, porque el sol calienta tanto las persianas como el aire que las rodea. Las persianas reflectantes reducen este efecto en un 15-20 %.

Las persianas incorporadas, instaladas dentro de una unidad de vidrio doble o triple, con ventilación de la cámara hacia el exterior, combinan las ventajas de ambos tipos. La ganancia de calor se disipa hacia el exterior, pero las persianas están protegidas contra los rigores del clima.

¿Sistemas fijos o móviles?

Los aleros fijos excluyen la luz solar que incide desde un ángulo alto, pero reducen la penetración de la luz natural y no son apropiados para fachadas orientadas al este o al oeste. Son más adecuados, por tanto, para lugares donde hay buenos niveles de luz y el sobrecalentamiento constituye un problema, como ocurre en el sur de Europa. Los aleros continuos proporcionan mucha más sombra que los que cubren sólo el ancho de la ventana.

Las repisas reflectantes pueden utilizarse para redirigir la luz solar hacia el fondo de una estancia, y también para proteger la zona cercana a las ventanas de la radiación directa.

Resulta más difícil evitar la luz solar directa que incide desde un ángulo bajo. Si son realmente eficaces, las lamas verticales fijas excluyen una gran cantidad de luz natural y obstruyen las vistas. Las pantallas solares de malla de acero son casi "transparentes", pero también reducen la cantidad de luz natural que entra por las ventanas.

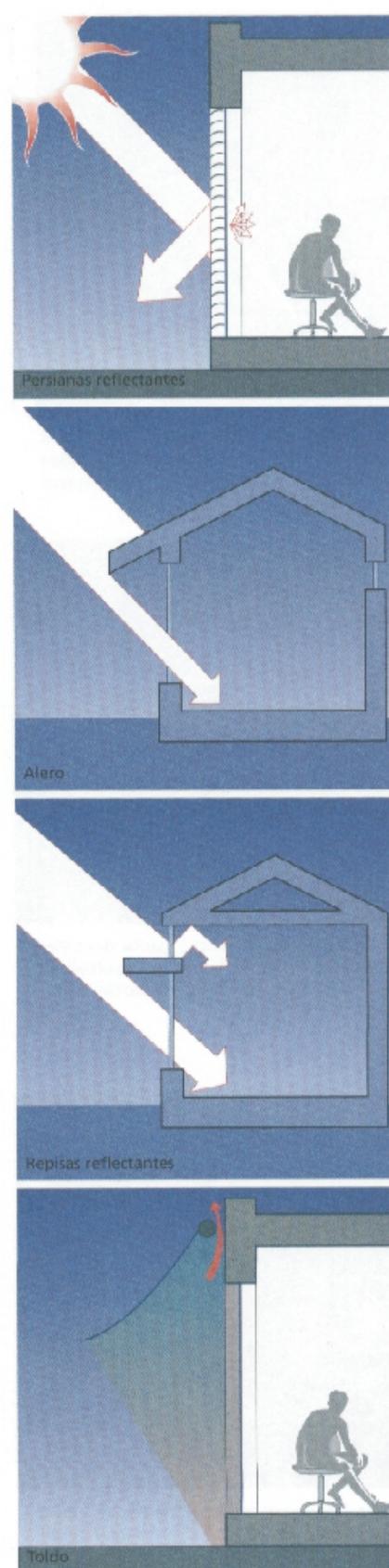
Los mecanismos ajustables para proporcionar sombra permiten evitar algunos de esos problemas. Los toldos plegables, las lamas exteriores ajustables, las cortinas, las persianas enrollables o las persianas venecianas pueden dejarse abiertas durante gran parte del tiempo y cerrarse sólo cuando el ángulo del sol lo exige. En las fachadas orientadas hacia el este o el oeste, las lamas horizontales deben estar casi completamente cerradas para bloquear la luz solar, pero las lamas verticales pueden permanecer parcialmente abiertas para admitir la luz reflejada o difusa del norte, al mismo tiempo que bloquean la luz solar. En algunos casos, pueden ser necesarios sistemas completamente automatizados que respondan a cambios en el ángulo de incidencia de la luz del sol o en los niveles de temperatura o de iluminación, sobre todo para controlar los dispositivos exteriores.

Recomendaciones

Deberían utilizarse diagramas de la trayectoria solar para calcular correctamente la sombra proyectada sobre la fachada del edificio y optimizar así su rendimiento.

Aspectos económicos

Como parte de un buen proyecto, los dispositivos de sombreado pueden ser una inversión económica.



4.11 Tipos de dispositivos de sombreado externos.

Células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas transforman la luz solar directamente en energía; son limpias y silenciosas, requieren muy poco mantenimiento y hacen un uso eficiente de la energía solar. El principal obstáculo que impide que su uso se generalice en la actualidad es el precio: el coste de la potencia punta es de unos 4 €/vatio de energía producida. Sin embargo, este precio está bajando con rapidez, y es probable que las células fotovoltaicas se utilicen muchísimo más en los próximos veinte años, a medida que el coste se siga reduciendo. Los estudios realizados en Alemania y Reino Unido calculan que entre una cuarta parte y la mitad de las necesidades de electricidad de esos dos países se podrían satisfacer exclusivamente a través de células fotovoltaicas instaladas en edificios.

Las células fotovoltaicas se utilizan en dos tipos de instalaciones diferentes: con o sin conexión a una red de suministro eléctrico más amplia. En el primer caso, las células fotovoltaicas y los dispositivos a los que suministran energía no están conectados a ninguna red eléctrica. La electricidad puede utilizarse a medida que se genera (por ejemplo, en una bomba de agua solar) o almacenarse en baterías para utilizarla con posterioridad. El coste de almacenar la energía acostumbra a ser bastante alto en este tipo de instalaciones. Suelen utilizarse en zonas rurales aisladas para aplicaciones como sistemas de refrigeración, teléfonos de emergencia y bombas de agua.

Las instalaciones conectadas a una red eléctrica prescinden del coste de almacenar la electricidad. La energía sobrante se suministra a la red a medida que se genera, y se recompra cuando se necesita. Los aspectos económicos de las instalaciones integradas en la red se rigen por la normativa de cada país, que determina si la compañía eléctrica tiene la obligación de comprar la energía a precio de mercado. La Unión Europea y los gobiernos nacionales han creado varios programas para fomentar el uso de las células fotovoltaicas, incluyendo incentivos fiscales, préstamos y subvenciones. Puede obtenerse más información a través de la International Solar Energy Society,¹⁰ que tiene agencias nacionales en la mayoría de los países de la Unión Europea.

Integración arquitectónica

Tradicionalmente, las células fotovoltaicas se instalaban en cubiertas inclinadas, del mismo modo que los paneles solares térmicos. Gracias a los avances de la tecnología, ya es posible integrar las células fotovoltaicas en la fábrica del edificio, como parte de la cubierta, de las fachadas, de los dispositivos para dar sombra e incluso las ventanas.

Recomendaciones

Escoja proyectistas e instaladores con experiencia. Normalmente, la empresa que instala el sistema proporciona una garantía de resultados, donde se compromete a que el sistema proporcione por lo menos una cantidad preestablecida de energía solar. Si no es así, la empresa reembolsará al cliente el coste del combustible necesario para compensar el déficit. Esto protege al usuario de posibles errores en el diseño o la instalación.

Aspectos económicos

Teniendo en cuenta los precios actuales, es posible que sólo se amortice el coste inicial de las células fotovoltaicas en casos limitados.



4.14 Células fotovoltaicas, Barcelona, España.
Arquitectos: BCN Cimbra Lógica.

Dispositivos de ahorro de agua

Existen componentes eficientes que pueden reducir considerablemente la cantidad de agua utilizada en un edificio sin afectar a los niveles de confort. Otras tecnologías permiten reciclar el agua para usos exteriores, como limpieza o riego (véase ESTRATEGIAS; Emplazamiento).

Componentes eficientes

Los modelos eficientes de duchas, sanitarios y grifos consumen la mitad, o menos, del agua que utilizan los modelos estándar, y las encuestas demuestran que la mayoría de los usuarios están satisfechos con su rendimiento.¹¹ Cuando se calcula el ahorro de este tipo de accesorios, debe tenerse en cuenta el ahorro energético necesario para producir agua caliente, además de la reducción del consumo de agua medida por el contador.

Inodoros

El criterio para medir el consumo de agua de los sanitarios es el volumen de agua por descarga. Los sanitarios hechos a medida, que consiguen un consumo mínimo de agua a través de características innovadoras y un mejor diseño, pueden reducir el consumo hasta 6-7 litros por descarga (lpd), o incluso menos, comparados con los entre 15,7-40,5 lpd que consumen los sanitarios convencionales.¹² Los sanitarios existentes pueden adaptarse con dispositivos de baja tecnología (como ladrillos en las cisternas) para desplazar parte del agua y, así, reducir la cantidad utilizada en la descarga, aunque esto puede afectar a su eficacia. La utilización de sanitarios de bajo consumo también reduce la presión sobre los tanques sépticos.

En los edificios comerciales, los urinarios de descarga continua deberían equiparse con temporizadores o sensores.

Grifos

En el ámbito doméstico, la clave para ahorrar agua a través de los grifos está en utilizarlos cuidadosamente. Pueden instalarse válvulas que permitan cerrar el flujo de agua y mantener la temperatura constante mientras se está usando; esto es más práctico que abrir y cerrar los grifos individuales de agua caliente y fría sucesivamente. También pueden equiparse los grifos existentes con aireadores para reducir el consumo (hasta unos 8 l/min).¹³ En espacios comerciales, los dispositivos controlados por sensores infrarrojos y las válvulas de autocierre reducen el derroche de agua.

Duchas

Es sabido que las duchas gastan menos agua que las bañeras. Además, ahora existen duchas de alta eficiencia que reducen aún más su consumo. Una ducha convencional utiliza 13,5-36 l/min, mientras que las duchas de alta eficiencia utilizan 11,25 l/min o menos.¹⁴ También hay que tener en cuenta el ahorro producido por el menor consumo de agua caliente.

Aspectos económicos

Los sanitarios de alta eficiencia pueden costar aproximadamente el doble que los convencionales. Los beneficios económicos producidos por estas medidas varían ampliamente según la escasez de agua, el nivel de las tarifas y el diseño del sistema.

Ascensores de alta eficacia

Los ascensores sin engranajes consumen una fracción de la energía que consumen los ascensores convencionales, y también reducen el impacto ambiental de los edificios de otras formas.

Un ascensor convencional de tracción, con capacidad para ocho personas, instalado en un edificio de viviendas con una intensidad de tráfico de unos 100.000 arranques anuales, consume unos 3.000 kWh por año. En la misma situación, un ascensor hidráulico consumiría 4.200 kWh. Un ascensor sin engranajes, sin embargo, consumiría sólo algo más de 1.800 kWh. Estos ascensores también generan puntas de carga menores, lo que supone fusibles más pequeños y cuotas de conexión más bajas.

Otra ventaja de los ascensores sin engranajes es que el cuarto de máquinas puede ser más pequeño o incluso innecesario, lo que supone un ahorro de espacio (unos 12 m² por ascensor) y de materiales comparado con los ascensores convencionales de tracción. Además, la maquinaria se sujeta a una estructura metálica, por lo que tampoco se requiere un muro de carga. El disco, la única parte móvil, tiene una velocidad de rotación inferior a la de un motor tradicional (sólo 95 rpm en lugar de 1.500), lo que produce menos ruido y vibración. Por último, no se necesita ningún lubricante, mientras que los ascensores de tracción requieren 1-2 l/unidad de tracción y los hidráulicos 20-60 l/año, lo que evita el problema de la eliminación de los residuos.

Integración arquitectónica

Dado que la maquinaria es más pequeña y que no se necesitan muros de carga en el hueco, la integración de los ascensores sin engranaje es más fácil que la de los ascensores convencionales. En zonas donde la altura de los edificios está limitada, esto puede permitir una planta ocupada adicional.

Aspectos económicos

Dependiendo de los costes iniciales, un ascensor sin engranajes puede resultar muy económico, puesto que los gastos de funcionamiento serán considerablemente más bajos.

Sistemas de calefacción y refrigeración

Energía renovable

Viento

La tecnología de las turbinas eólicas se ha desarrollado rápidamente en las dos últimas décadas, y el viento es ahora una de las fuentes de energía renovable más rentables. Las turbinas se instalan en grupos en parques eólicos, que suministran energía a la red eléctrica del mismo modo que las centrales convencionales. Muchas de las turbinas eólicas que se instalan en la actualidad tienen una potencia de entre 500 kilovatios (kW) y 1,5 megavatios (MW).

La producción anual de electricidad depende de la velocidad del viento en el lugar donde hayan sido instaladas las turbinas. Por tanto, el rendimiento económico es mucho mayor en las zonas costeras o elevadas, más expuestas al viento, que en las protegidas. Antes de que un parque eólico pueda comenzar a funcionar, se necesita el permiso de las autoridades competentes y una conexión con la red de suministro eléctrico.

La energía eólica es una de las fuentes de energía más eficientes en cuanto al uso del suelo. Sólo entre el 1 y el 2 % de la superficie de un parque eólico está ocupada por los cimientos de las turbinas y las vías de acceso; el terreno entre las turbinas puede utilizarse para agricultura u otros fines. Los parques eólicos a cierta distancia de la costa también comienzan a ser habituales.

Biomasa/residuos

Es posible producir calor y/o electricidad a partir de distintos tipos de residuos, incluyendo residuos procedentes de la agricultura, de la explotación forestal y de los sistemas municipales de saneamiento. Existen muchos ejemplos de proyectos comerciales que utilizan este tipo de combustible.

La energía también puede producirse a partir de cultivos plantados específicamente para ese propósito. Por ejemplo, la silvicultura de ciclo corto aprovecha el crecimiento de árboles como el sauce o el álamo en períodos relativamente breves (de tres a cinco años en general).

Agua

Energía hidroeléctrica: muchos de los lugares más adecuados para la explotación de la energía hidroeléctrica a gran escala ya están siendo utilizados, y las cuestiones medioambientales pueden limitar el desarrollo de más proyectos de estas dimensiones. Sin embargo, todavía existen muchos lugares en Europa adecuados para instalaciones hidroeléctricas a pequeña escala (desde unas decenas de kW hasta unos 5 MW).

Energía undimotriz: las olas que llegan a las costas atlánticas de Europa contienen cantidades enormes de energía, aunque la tecnología para aprovecharla todavía está en fase de investigación.

Energía maremotriz: en algunos lugares, el vaivén de las mareas puede aprovecharse para producir electricidad. La central de este tipo más conocida es la situada en La Rance (Francia), que ha estado funcionando con éxito desde 1966. Sin embargo, los grandes costes de inversión requeridos han impedido que se crearan otras centrales similares. Además, pueden constituir una amenaza para ecosistemas costeros delicados.

Sistemas solares térmicos

Los sistemas solares térmicos son dispositivos que captan la energía del sol y la transforman en calor útil, sobre todo para producir agua caliente sanitaria. Ya se utilizan ampliamente en toda Europa, en especial en Grecia, Alemania, Austria, Escandinavia y Holanda.

Un sistema solar térmico contiene componentes que captan el calor del sol, lo distribuyen y lo almacenan. Existen tres tipos principales de colectores solares.

- Los colectores sin cubierta de vidrio consisten en tuberías negras de plástico o metal por las que circula el fluido transmisor. Son muy baratos y fáciles de montar, pero sólo alcanzan temperaturas unos 20 °C superiores a la temperatura ambiente.
- Los colectores planos son los que se utilizan más habitualmente. Consisten en una caja plana y aislada por la que circula el fluido transmisor. Pueden alcanzar temperaturas de hasta 70 °C por encima de la temperatura ambiente.
- Los colectores de tubo de vacío consisten en un sistema de tubos de vidrio al vacío, cada uno de los cuales contiene un absorbente que capta la energía solar y la transfiere al fluido transmisor. Estos colectores pueden producir temperaturas de 100 °C o más sobre la temperatura ambiente.

Los colectores solares deben estar instalados de forma que reciban la luz solar, normalmente orientados al sur e inclinados respecto a la horizontal un ángulo que se corresponda aproximadamente con la latitud del emplazamiento. En Europa, esto significa que el ángulo de inclinación estará entre los 35 y 65°. Una cubierta inclinada orientada al sur ofrece la situación ideal.

Las partes correspondientes a la distribución y el almacenamiento de un sistema solar térmico son muy similares a las de los sistemas de calefacción convencionales. El medio de distribución es normalmente el aire o el agua. La unidad de almacenamiento de calor suele ser más voluminosa que en los sistemas no solares, debido a la necesidad de acumular calor durante períodos sin sol. Puede necesitarse una fuente de calor suplementaria, como una caldera de gas, gasóleo o madera.

Los sistemas solares térmicos son una fuente de energía limpia y económica. En la mayoría de los países de la Unión Europea, un sistema de este tipo puede proporcionar por lo menos la mitad del agua caliente necesaria en un hogar, sin prácticamente ningún coste de funcionamiento. Un sistema típico de agua caliente doméstica para una vivienda tendrá una superficie de 2-6 m² de colectores (aunque se necesitaría menos en el sur de Europa que en el norte) y un tanque de 200-300 litros de agua.

Integración arquitectónica

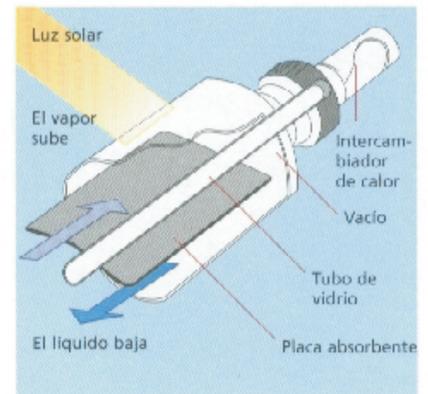
El impacto visual de un colector solar térmico instalado en la cubierta de un edificio no es superior, por ejemplo, al de un lucernario. Algunos sistemas, sobre todo en el sur de Europa, utilizan un mecanismo de termosifón para hacer circular el agua. Esto implica que el tanque tiene que estar situado sobre el colector, en el exterior de la cubierta, lo que podría causar un mayor impacto arquitectónico.

Recomendaciones

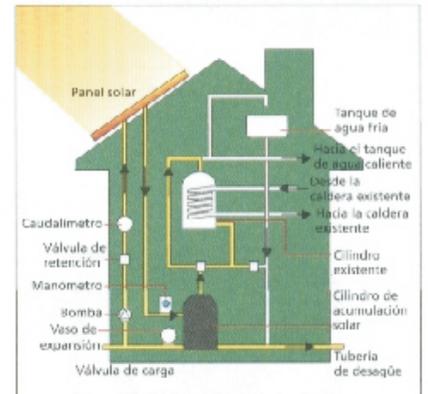
Compruebe que las sombras de los edificios y los árboles circundantes no obstruyan la luz solar que debe incidir sobre los colectores, sobre todo en invierno, cuando el sol está bajo.

Un sistema de buena calidad que reciba un mantenimiento adecuado debería durar entre 15 y 20 años. Las empresas que instalan estos sistemas suelen proporcionar una garantía de resultados, un documento en el que se comprometen a que el sistema proporcionará por lo menos una cantidad preestablecida de energía solar. Si no es así, la empresa reembolsará al cliente el coste del combustible necesario para compensar el déficit. Esto protege al usuario de posibles errores en el diseño o la instalación. Solicite un contrato de mantenimiento (una o dos revisiones al año suelen ser suficientes) durante al menos los primeros 5-10 años.

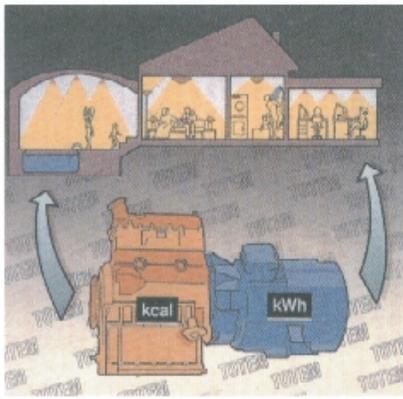
Puede obtenerse información sobre los sistemas solares térmicos a través de las asociaciones nacionales de energía solar o de la European Solar Industry Federation.¹⁵



4.15 Colector solar de tubo vacío: más eficiente que los colectores planos.



4.16 Diagrama de una vivienda típica con un sistema solar térmico incorporado.



4.17 El principio de una central combinada de calor y electricidad.

Producción combinada de calor y electricidad, y calefacción urbana

Producción combinada de calor y electricidad

La producción combinada de calor y electricidad (CHP, combined heat and power), o cogeneración, es la producción simultánea de calor y electricidad en la misma central eléctrica.

En la mayoría de las centrales y los generadores eléctricos, sólo un 35 % de la energía procedente del combustible se convierte en electricidad; el resto se emite al ambiente en forma de calor. Un 8 % adicional de la electricidad (sobre el 3 % de la energía primaria) se pierde, también en forma de calor, durante la transmisión y distribución hasta el usuario final. Se trataría de aprovechar ese calor.

Una central combinada de calor y electricidad es un generador eléctrico situado cerca de un lugar con una gran demanda de calor, como una zona industrial, un hospital o un hotel. Tanto la electricidad como el calor "residual" del generador se suministran normalmente al mismo usuario final. La eficiencia global de este tipo de proceso es de un 86 %, es decir, el 86 % de la energía primaria se suministra como calor o electricidad, mientras que una central eléctrica convencional combinada con una caldera convencional tendría normalmente una eficiencia de un 57 %.

Las centrales combinadas de calor y electricidad pueden utilizarse prácticamente en cualquier tipo de edificio: comercial, industrial, institucional o residencial. En el sector industrial, aquellas instalaciones que requieren calor de proceso, como las industrias química, cervecera o papelera, suelen constituir las aplicaciones más grandes y eficaces de la producción combinada de calor y electricidad. En viviendas y oficinas, este sistema puede utilizarse en redes de calefacción urbana o comunitaria.

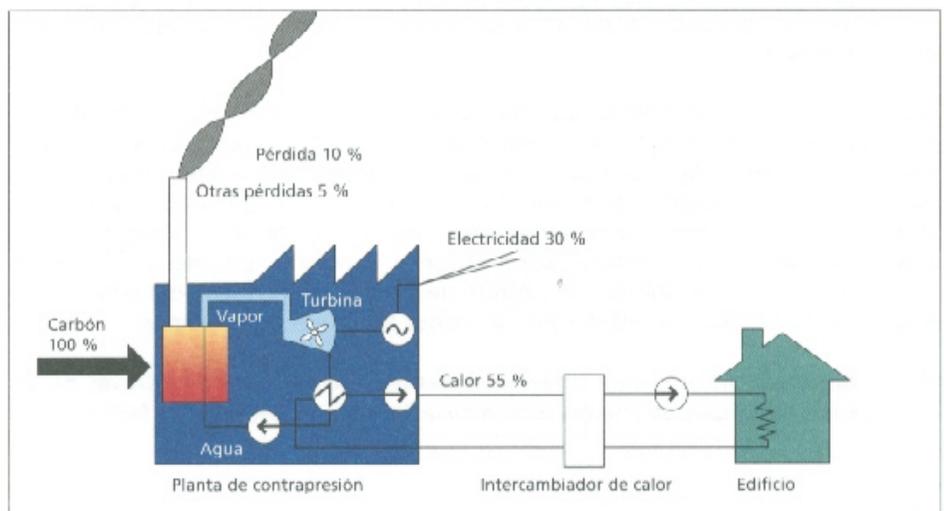
Las centrales pequeñas, que consisten en un motor de combustión interna alimentado por gas o gasóleo y tienen una producción eléctrica de entre 15 kW y 1 MW, son las más habituales. Normalmente, una empresa especializada diseña el sistema completo, que se sitúa en el cuarto de calderas existente de un edificio.¹⁶

Calefacción urbana

La calefacción urbana consiste en la generación común de calor para un barrio o un grupo de edificios. Las urbanizaciones densas de uso mixto son las más adecuadas para este tipo de calefacción. Es posible utilizar una amplia variedad de combustibles de forma eficaz, como madera, paja, residuos y energía solar.

Aspectos económicos

Los aspectos económicos de las centrales combinadas de calor y electricidad dependen en gran medida del emplazamiento y de la maquinaria. Se rigen por el perfil de la demanda energética del emplazamiento, los costes de capital y mantenimiento de la central, las horas de funcionamiento y los precios de la energía. Para que sean viables económicamente, el emplazamiento debería tener como mínimo una carga de electricidad de 45 kW y una carga de calefacción de 120 kW. Además, la demanda simultánea de calor y electricidad debería existir durante por lo menos 4.500 horas al año (factor de carga de un 50 %).



4.18 El principio de una central combinada de calor y electricidad.

Gasificadores de madera

A pesar de que utilizan una fuente de energía renovable, las calderas de madera tradicionales suelen caracterizarse por una combustión poco eficiente y que emite grandes cantidades de contaminantes, como partículas (hollín), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, y compuestos orgánicos volátiles.

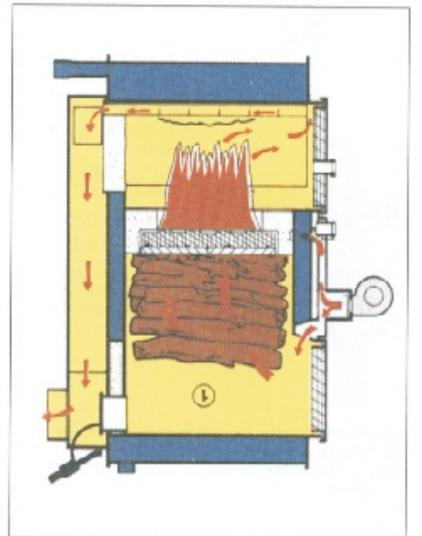
Los gasificadores de madera evitan estos y otros problemas relacionados con las tecnologías tradicionales para la utilización de la madera como fuente de calor. Además, también ayudan a garantizar el cumplimiento de la normativa sobre emisiones.

La combustión más eficiente y limpia de la madera se obtiene cuando la llama no entra en contacto directo con el combustible, aparte del que se está consumiendo. Este tipo de combustión se obtiene normalmente cuando la llama se orienta hacia abajo, dirigida hacia la parte superior del combustible. El diseño adecuado de la caldera, con la ayuda de un pequeño ventilador, proporciona un buen flujo de aire, al mismo tiempo que invierte la llama, de modo que arda hacia la parte superior del combustible. El combustible se calienta, se sublima (pasa al estado gaseoso) y sube hacia la llama; en ese momento se produce la combustión real. El resultado es una quema controlada que comienza en la parte superior de la caldera y progresa hacia abajo, proporcionando una combustión limpia y eficiente (eficiencia del 90% y niveles de emisión similares a los del gas natural).

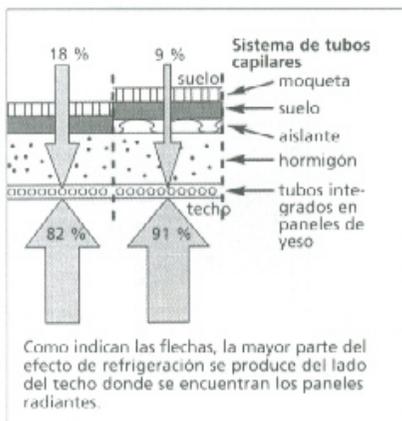
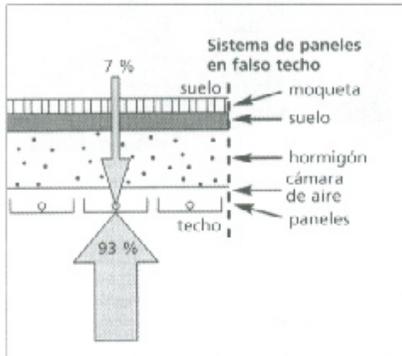
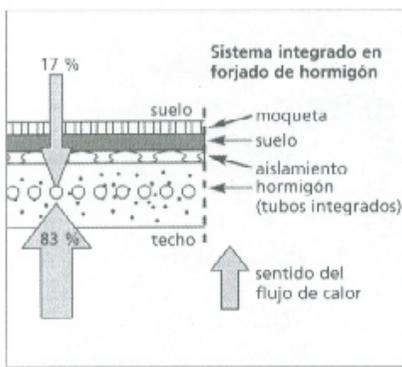
Los gasificadores más avanzados pueden programarse para que permanezcan "en espera" hasta que se requiera el calor máximo, y pueden cargarse de madera suficiente para un período de hasta 24 horas, dependiendo de su capacidad. Los gasificadores suelen tener una capacidad máxima de 30-100 kW, lo que los hace adecuados para uso doméstico, comercial y en oficinas. También se pueden combinar con sistemas de calefacción basados en combustibles fósiles.



4.19 Gasificador de madera.



4.20 Diagrama de funcionamiento.



4.21

Sistemas de calefacción y refrigeración radiante

Los sistemas de calefacción y refrigeración radiante proporcionan tanto calor como frío de una manera eficiente: en vez de calentar o refrigerar el aire, modifican la temperatura de las paredes, techo y/o suelo de un espacio. Este sistema funciona porque la temperatura que siente el cuerpo humano es más o menos equivalente a la media de la temperatura radiante (t_r) y la temperatura del aire (t_a). La temperatura radiante es la temperatura media de todos los objetos que rodean el cuerpo.

Un sistema de calefacción y refrigeración radiante consiste normalmente en un conjunto de tuberías instaladas en la superficie o en el interior de las paredes, el techo o el suelo de un espacio interior. Los tres tipos principales de sistemas de calefacción y refrigeración radiante son:

- **Sistemas integrados:** el agua circula por tubos de plástico integrados, como, por ejemplo, dentro del forjado de hormigón del suelo, del techo o de una pared, lo que permite que la masa térmica del forjado se utilice para moderar las cargas de calefacción o refrigeración.
- **Sistemas de paneles:** consisten en paneles, normalmente de aluminio, con tubos metálicos conectados a su parte posterior. Este sistema tiene una masa térmica mínima, pero proporciona una capacidad de respuesta muy rápida. Se utiliza habitualmente en falsos techos.
- **Sistemas de capilares:** consisten en una red de tuberías de plástico de pequeño diámetro instaladas bajo el enlucido de las paredes o del techo, o integradas en los tableros de cartón yeso. Proporcionan una temperatura superficial uniforme y tienen una capacidad de almacenamiento térmico intermedia con respecto a los otros dos sistemas. Son muy aconsejables para rehabilitaciones.

A diferencia de los sistemas convencionales de calefacción, como los que utilizan radiadores de pared, un sistema de calefacción y refrigeración radiante normalmente ocupará una parte importante de la superficie total del espacio, como todo el techo o una pared, lo que significa que el cambio real en la temperatura del aire necesario para producir una mejora en el confort de los ocupantes es relativamente pequeño. La carga de calefacción y refrigeración la proporciona normalmente una caldera de baja temperatura, un sistema de refrigeración eficiente, un sistema de refrigeración pasiva o una bomba de calor con un coeficiente de rendimiento alto.

A diferencia de los sistemas de aire acondicionado, los sistemas radiantes no afectan a la calidad del aire interior. Pueden reducir considerablemente la cantidad de ventilación mecánica que se necesita para garantizar el confort, y disminuyen el número de conductos que requeriría un sistema convencional de calefacción y aire acondicionado en un 80 %. Los sistemas radiantes pueden utilizarse de forma eficaz en edificios de viviendas o de oficinas, con o sin sistemas de ventilación mecánicos.

Integración arquitectónica

Una vez instalados, los sistemas de calefacción radiante desaparecen de la vista. El único requisito arquitectónico es dotar a cada estancia de la superficie ininterrumpida necesaria para colocarlos.

Refrigeración geotérmica

La refrigeración geotérmica se basa en la idea de que la temperatura de la tierra es inferior a la del aire exterior durante la mayor parte del año, y el calor procedente del edificio puede almacenarse en el subsuelo, que tiene una alta inercia térmica y una baja conductividad. En Europa, la temperatura del terreno varía entre los 8 y los 14 °C.

El intercambio de calor puede producirse por dos vías principales. El edificio puede diseñarse de forma que una superficie considerable del cerramiento esté en contacto directo con el suelo. Alternativamente, puede introducirse en el edificio aire ya refrigerado mediante su circulación por el subsuelo.

Un ejemplo típico de este segundo tipo de sistema consiste en uno o dos tubos del diámetro y la longitud adecuados, enterrados en horizontal en el terreno. El aire se suministra al interior a través de los tubos, normalmente con la ayuda de ventiladores eléctricos.

El sistema de circulación del aire puede ser abierto o cerrado. En un circuito cerrado, las tomas de entrada y salida del aire están situadas dentro del edificio, y el aire interior circula por los tubos. En un circuito abierto, el aire se toma del exterior.

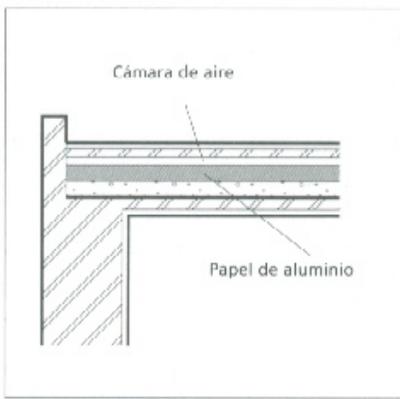
El descenso de la temperatura interior que se alcance dependerá de varios factores: la temperatura del aire entrante, la temperatura del suelo en torno a los tubos, la conductividad térmica de los tubos, el coeficiente de difusión térmica del suelo, la velocidad del aire y las dimensiones del tubo.¹⁷

Recomendaciones

- La longitud de los tubos debería ser, como mínimo, 10 m.
- El diámetro debería ser de 20-30 cm.
- Los tubos deberían estar a una profundidad de 1,5-3 m.
- La velocidad del aire debería ser 4-8 m/s.
- La temperatura del suelo a la profundidad a la que se hallan los tubos debería ser 5-6 °C menos que la del aire.
- Los tubos pueden ser de distintos materiales (PVC, acero inoxidable, hormigón, etc.), pero completamente impermeables a la lluvia y a la tierra. El material utilizado no debería emitir polvo o sustancias tóxicas al aire.
- Cuando se transmite calor al suelo, el aire puede crear condensaciones dentro del tubo. Por tanto, debe instalarse un sistema de drenaje adecuado y debe calcularse la velocidad del aire, prestando especial atención a la reducción del riesgo de condensaciones.¹⁸

Aspectos económicos

Los sistemas de refrigeración mediante la circulación de aire por el subsuelo son sencillos y de bajo coste, pero los aspectos económicos de la refrigeración geotérmica dependen del clima y de las características concretas del emplazamiento y del edificio.



4.22 Cubierta aislada con barrera radiante.

Barreras radiantes

Las barreras radiantes se utilizan en los climas cálidos para evitar que el calor de las superficies exteriores (muros y cubierta) penetre en el interior del edificio. La barrera consiste en una hoja de material reflectante (normalmente papel de aluminio) colocada en una cámara entre la superficie exterior y la capa aislante. El material reflectante refleja el calor radiante. Para que funcione correctamente, es fundamental que exista una cámara de aire inmediatamente después de la barrera radiante; de otro modo, el calor atravesaría la barrera por conducción. También se necesita una corriente de aire para transportar el calor del material reflectante por convección.

Cuando la refrigeración es un objetivo primordial del proyecto, la barrera radiante puede combinarse con el material aislante, en lugar de aumentar los niveles de aislamiento.¹⁹ Si se utilizan barreras radiantes, la construcción no debería ser hermética, y el material reflectante debería ser permeable al vapor para evitar la condensación dentro del cerramiento, así como el sobrecalentamiento del espacio bajo cubierta.²⁰

Materiales

Introducción

La enorme cantidad de tiempo y dinero que supondría realizar un análisis completo del impacto ambiental de todos los componentes y materiales de un edificio lo hacen prohibitivo. Sin embargo, un arquitecto responsable debería sopesar las consideraciones medioambientales junto con otros criterios (tabla 4.1). Para ello, el arquitecto necesita unas herramientas intelectuales, que son el objeto de este capítulo. Quienes deseen saber más de lo que el espacio nos permite incluir aquí, pueden consultar los excelentes recursos disponibles, que aparecen en una lista al final de esta introducción.

Tabla 4.1 Consideraciones sobre sostenibilidad en la selección de materiales

Hay varios aspectos que cualquier arquitecto preocupado por el impacto ambiental de los materiales que integrarán su edificio debería considerar. Una breve lista de esos aspectos podría ser la siguiente:

En el caso de materiales utilizados en cantidades de 250 kg o menos, tenga en cuenta:

- el impacto de la producción del material: destrucción del hábitat, emisiones tóxicas;
- cualquier riesgo para la salud o el entorno local durante el proceso de construcción o el posterior uso;
- la vida útil del material;
- el destino final del material después de la vida útil del edificio: la reutilización es mejor que el reciclaje, que a su vez es mejor que la incineración o que acabe en el vertedero;
- la reducción o separación de los residuos de construcción y la eliminación cuidadosa de los residuos tóxicos.

En el caso de materiales utilizados en grandes cantidades, tenga en cuenta los aspectos anteriores y también:

- la naturaleza de los recursos implicados: renovables o no renovables, escasos o abundantes;
- las emisiones de CO₂ (en kg/kg) durante su producción o, si esa información no está disponible, la energía incorporada (en kWh/kg);
- a qué distancia o por qué medio(s) se transportará el material, y las emisiones y el consumo de energía debido a ese transporte (véase tabla 4.2).

Los efectos medioambientales de los materiales de construcción

El proyecto del edificio en su conjunto no puede separarse fácilmente de la selección de los materiales y los componentes que lo integrarán. Su selección influye profundamente en el diseño y en el rendimiento del edificio. Los efectos de esa selección pueden considerarse desde dos puntos de vista. En primer lugar, hay impactos que se deben a la fabricación, el procesado, el transporte, la construcción, el mantenimiento, la demolición y el reciclaje o la eliminación de los propios materiales. En segundo lugar, la selección de los materiales influye sobre el rendimiento medioambiental del edificio en su conjunto, considerado más que la simple suma de sus partes.

Calcular el primer tipo de impactos es cuestión de disponer de la información. Se han realizado estudios sobre el impacto medioambiental de los materiales de construcción en varios países, y los resultados se han difundido ampliamente. En este capítulo se citan varias fuentes, algunas de las cuales aparecen en una lista al final de la introducción. Los lectores que necesiten información más detallada deberían consultarlas o buscar las elaboradas en su propio estado.

Todavía no existe un método estándar ampliamente aceptado para realizar el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los materiales. Esto significa que gran parte de la información citada aquí es anecdótica, subjetiva o difícil de comparar. En la actualidad, el organismo europeo European Network of Building Research Institutes (ENBRI), liderado por su socio británico, el Building Research Establishment (BRE), está desarrollando una metodología estándar para el ACV en el marco del programa BRITE EURAM de la Comisión Europea. Sin embargo, sólo se está estudiando una pequeña selección de materiales.²¹ Aunque difícil, es muy importante conocer la escala relativa de los distintos impactos, porque sólo entonces será posible

establecer prioridades entre las medidas para reducirlos. En general, los efectos medioambientales son proporcionales a la masa física del material en cuestión. Por tanto, la selección del material para la estructura del edificio será más importante, probablemente, que la selección del revestimiento para los suelos. Con todo, hay materiales que, aunque sólo estén presentes en pequeñas cantidades, pueden ejercer un efecto desproporcionado sobre el medio ambiente local; por ejemplo, la contaminación del aire interior acostumbra a deberse a pinturas, colas y otros materiales presentes en pequeñas cantidades.

La influencia de los componentes y los materiales sobre el rendimiento general del edificio es un tema extremadamente complejo. Este capítulo proporciona una breve guía de referencia sobre las propiedades de los propios materiales y componentes, no sobre los aspectos del proyecto ecológico relacionados con ellos, que se tratan en otras secciones.

Como los edificios normalmente duran bastante tiempo (una media de cincuenta años), el impacto ambiental de su uso es acumulativo. En la mayoría de los casos, el CO₂, emitido como resultado del consumo de energía en el edificio durante su ocupación, constituye su principal impacto medioambiental. Por tanto, la primera medida debería ser la reducción del consumo continuado de energía. Una vez conseguido esto, los materiales de bajo impacto cobran relevancia. Un estudio de viviendas de bajo consumo energético halló que "la especificación de materiales con baja energía incorporada, como la tierra apisonada, es extremadamente importante para el rendimiento total de un edificio [de bajo consumo energético] en cuanto a energía primaria y emisiones de CO₂".²²

Tabla 4.2 Emisiones totales y consumo de energía primaria de distintos medios de transporte de carga

Emisiones (g/t/km)	Agua	Ferrocarril	Carretera	Aire
CO ₂	30	41	207	1.206
CH ₄	0,04	0,06	0,3	2
NO _x	0,4	0,2	3,6	5,5
CO	0,12	0,05	2,4	1,4
VOCs	0,1	0,08	1,1	3
Energía (KJ/t/km)	423	677	2.890	15.839

Varios impactos medioambientales importantes, como el ruido, la emisión de partículas o los vertidos, no se han incluido. El impacto medioambiental del transporte de 100 t/km por carretera sería equivalente a desplazar aproximadamente 400 t/km por ferrocarril, 700 t/km por agua y 17 t/km por aire.²³

(Whitelegg, 1993)

Transporte

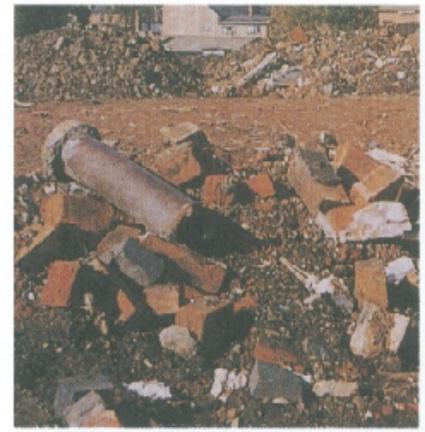
Debido a la enorme cantidad de materiales utilizados en la industria de la construcción, el impacto ambiental de su transporte es preocupante. La energía necesaria para transportar materiales en grandes cantidades depende normalmente de la distancia recorrida, el medio de transporte utilizado y la masa del material a transportar. Sin embargo, los materiales de baja densidad, como el aislamiento, tienden a consumir cantidades desproporcionadas de energía en el transporte, debido a su gran volumen. La tabla 4.2 muestra el impacto medioambiental aproximado de distintos medios de transporte.

Residuos

Los residuos procedentes de la industria de la construcción constituyen una fracción importante de todos los residuos. En última instancia, la mayoría de los materiales de construcción se convierten en residuos, que se depositan en vertederos o se incineran después del derribo del edificio, o cuando se desechan los embalajes y los materiales sobrantes.

Residuos procedentes de la demolición

Hasta hace poco, muchos materiales procedentes de los edificios demolidos simplemente se reutilizaban en el mismo lugar. Sin embargo, con la utilización de materiales modernos, como el hormigón armado, de complejos ensamblajes de distintos elementos y de adhesivos muy fuertes, cada vez se hace más difícil. En general, si no se desea que los materiales se pierdan después del derribo del edificio, es necesario proyectar pensando en el reciclaje. En este sentido, un primer aspecto es procurar que el ensamblaje de los materiales se debe realizar de manera que puedan separarse fácilmente sin tener que destruirlos necesariamente (un ejemplo podría ser la utilización de un mortero relativamente débil que permita separar los ladrillos para su reutilización). Otra opción es la utilización de materiales válidos para el reciclaje (como los metales), en vez de materiales difíciles de reciclar (como muchos plásticos). Y, por último, garantizar que se elaboran los planos y documentos necesarios para que las personas encargadas de la demolición sepan cómo deberán realizar el trabajo.



4.23 Residuos de obra.

La gran mayoría de los residuos procedentes de la demolición de edificios (sobre el 95 % por peso, o más) son grandes cantidades de materiales inertes, como ladrillo, hormigón y piedra. Estos materiales suelen reciclarse como áridos, aunque los ladrillos y los bloques de piedra también pueden reutilizarse en edificios nuevos, siempre que se puedan separar y limpiar de forma adecuada. Es muy importante evitar que este tipo de residuos se viertan en cualquier parte, ya que, aparte de ser ilegal, constituye un riesgo para las personas, la flora y la fauna.

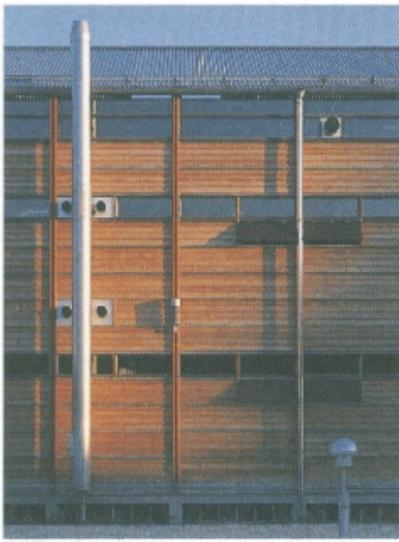
Los elementos más valiosos de un edificio que va a ser derribado son los que se pueden extraer enteros. Pueden ser desde elementos estructurales, como cerchas y vigas, hasta instalaciones interiores, como accesorios y equipos. En la mayoría de las zonas existe un mercado dinámico de elementos de segunda mano para la construcción.

Residuos procedentes de la construcción

Los residuos procedentes de la construcción contienen normalmente muchos tipos de materiales distintos. Muchos de ellos se tratan en otros puntos de este capítulo, donde se ofrecen recomendaciones sobre su reciclaje o eliminación. Suele ser posible proyectar un edificio de manera que se utilicen materiales de tamaño estándar, reduciendo así la mano de obra (cortar y recortar) y los residuos. Las buenas prácticas en obra también son muy importantes para evitar que los materiales resulten dañados. La clave para poder reciclar con éxito reside en la clasificación de los diferentes tipos de residuos desde el principio. Deberían colocarse contenedores separados para los distintos tipos de reciclaje, lo más cerca posible de la zona de trabajo. Los residuos tóxicos (como pinturas, adhesivos y productos químicos) deberían, naturalmente, ser manipulados con precaución y eliminados según las instrucciones del fabricante.

El acceso a la información es fundamental para persuadir a los profesionales a investigar los efectos más amplios de sus prácticas constructivas. Los sistemas de etiquetado y las fuentes de información se tratan en la sección TEMAS; Medio ambiente. Otras formas de evaluar el rendimiento medioambiental de los materiales incluyen:

- *Método del Institut für Baubiologie und Ökologie, Neubauern (Alemania)*
Este instituto ha desarrollado una lista de materiales ordenados en función de su impacto ecológico. Consiste en una clasificación de clases genéricas de materiales según una escala simplificada.
- *Environmental preference method (Método de preferencia medioambiental)*
Método desarrollado en Holanda y ampliamente utilizado. El impacto medioambiental de cada una de las opciones ha sido analizado a lo largo de su ciclo completo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta el tratamiento de los residuos. Los resultados se presentan como una sencilla clasificación de distintas opciones.²⁴
- *Environmental resource guide (Guía de recursos medioambientales)*
Desarrollada por el American Institute of Architects, esta guía proporciona información comparativa práctica sobre el impacto medioambiental de los materiales de construcción, junto con informes sobre su aplicación y estudios de casos.²⁵
- *Green building digest*
Revista mensual que proporciona información medioambiental para la especificación y compra de materiales de construcción. La Ethical Consumers Research Association realiza la investigación y la edición, e incluye clasificaciones de materiales genéricos y análisis medioambientales de las empresas más importantes que fabrican materiales de construcción.²⁶



4.24 Residencia de estudiantes en Windberg, Alemania. Arquitecto: T. Herzog.



4.25

Madera

La madera es un material de construcción que tiene mucho éxito: ligera, resistente, duradera, fácil de trabajar, bella y con una tradición inmemorial y una base sólida de técnicas y conocimientos. También es un recurso renovable, siempre que se utilicen las técnicas de silvicultura adecuadas. Sin embargo, según el Adena/WWF, en la actualidad el comercio internacional de madera constituye la principal amenaza para los bosques del mundo. El tipo y la calidad de los bosques varían enormemente, y las mediciones de superficie forestal son engañosas, porque equiparan los ricos bosques naturales con plantaciones monocultivo. Normalmente, los bosques más antiguos son los más ricos en flora y fauna, y albergan especies raras y autóctonas. También contienen la mayor proporción de árboles maduros y, por tanto, son los más atractivos para las empresas madereras. La mayoría de los bosques naturales del mundo están en grave peligro. La desaparición de los bosques tropicales es bien conocida, pero los bosques templados y boreales, incluyendo los pocos bosques primarios que quedan en Europa, también están desapareciendo rápidamente, sobre todo debido a la tala. Las talas ilegales, que desplazan a las poblaciones indígenas para abrir camino a la explotación forestal, son habituales en muchos países.²⁷

No siempre resulta fácil seleccionar madera y productos derivados de ella que procedan de bosques gestionados de forma sostenible. Existen muchos sistemas de etiquetado y afirmaciones de "sostenibilidad", pero la mayoría no han sido comprobados rigurosamente y, por tanto, no tienen ningún valor. Otro estudio realizado por Adena/WWF halló que, de 80 sistemas de etiquetado medioambiental para productos de papel y madera, sólo en 3 casos las afirmaciones que contenían pudieron ser verificadas por medios independientes.

El Forest Stewardship Council (FSC) es un organismo internacional cuya misión es verificar los sistemas de certificación de los bosques gestionados correctamente. Para poder llevar el logotipo del FSC, los sistemas de certificación deben demostrar que la gestión de los bosques respeta los siguientes diez principios:

- cumplimiento de las leyes nacionales e internacionales;
- derechos de tenencia y uso legalmente establecidos y documentados;
- respeto por los derechos de las poblaciones indígenas;
- apoyo a las relaciones con la comunidad y a los derechos de los trabajadores;
- uso eficiente de los variados productos del bosque;
- conservación de la integridad biológica del bosque;
- existencia de un plan de gestión con objetivos a largo plazo claramente especificados;
- realización de procesos de seguimiento y evaluación;
- conservación de los bosques naturales, sin que sean sustituidos por otros usos del suelo;
- gestión y utilización adecuada de las plantaciones para reducir la presión sobre los bosques naturales.

Los productos que llevan el logotipo del FSC son los únicos que deberían aceptarse como procedentes de bosques gestionados de forma sostenible. Las afirmaciones de "sostenibilidad" o "respeto por el medio ambiente" que no hayan sido aprobadas por el FSC deberían tratarse con mucha precaución.

Desde 1998 existen cuatro sistemas europeos de certificación acreditados por el FSC: Skal (Holanda); SGS Forestry QUALIFOR y Soil Association Woodmark (Reino Unido) y el programa de certificación del Grupo de Trabajo sueco del FSC. Otros sistemas están siendo evaluados.²⁸

Aunque la madera proceda de bosques sostenibles sigue ejerciendo un considerable impacto medioambiental debido a la energía que se utiliza durante su extracción, transporte (véase ELEMENTOS; Introducción) y procesado. La madera secada al aire consume menos energía que la secada en hornos.²⁹

Una alternativa a la madera certificada por el FSC (que aún es relativamente difícil de conseguir) es usar madera producida localmente o madera reutilizada de una fuente conocida (como un edificio en demolición). En ambos casos, las ventajas son el menor consumo de energía durante el transporte y la oportunidad de informarse personalmente sobre la procedencia del material.

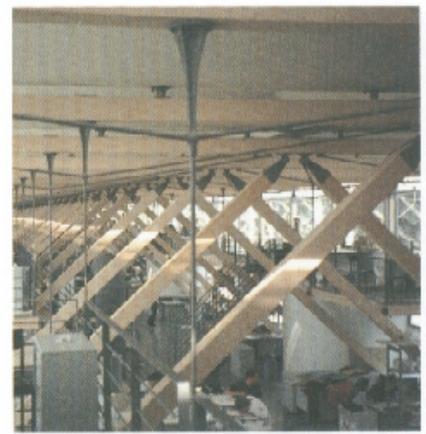
La ejecución meticulosa de los detalles puede alargar la vida útil de la madera dentro del edificio, mientras que la planificación y la selección de los tamaños pueden maximizar la eficiencia y reducir los residuos.

Productos derivados de la madera

La madera es el principal componente de una amplia gama de productos utilizados en la construcción. En la mayoría de los casos, los comentarios que se han hecho sobre la madera también pueden aplicarse a los productos derivados de ella, con la salvedad de que es incluso más difícil comprobar su origen. Muchos productos, como los tableros de partículas o de fibra, o incluso las vigas estructurales sintéticas, utilizan recortes y astillas de madera residuales. Aunque esto no garantiza que la madera provenga de una fuente sostenible, al menos, demuestra que se está utilizando de forma eficiente. La madera contrachapada, sin embargo, utiliza trozos de madera de grandes dimensiones, que probablemente no hayan sido producidos de forma sostenible.

Los otros componentes de los productos derivados de la madera varían mucho. Los paneles, como los enlistonados, contrachapados o de partículas, normalmente utilizan resinas orgánicas como aglomerante. Correctamente fabricadas, estas resinas deberían ser inertes y no producir emisiones al ambiente interior. Si se producen emisiones durante el uso de los materiales, será probablemente durante los primeros días después de la instalación.²⁰

El papel es otro producto que requiere una cantidad importante de madera para su fabricación. Sin embargo, comparado con la cantidad utilizada por sus ocupantes, el papel utilizado en el edificio probablemente no produzca un impacto grave sobre el medio ambiente. El debate sobre los costes y beneficios del papel reciclado todavía no se ha cerrado, pero el papel basado en fibras como el cáñamo y el kenaf en lugar de pulpa de madera, probablemente sea el más sostenible.



4.26 Escuela de Arquitectura, Lyon, Francia.
Arquitectos: Jourda y Perraudin.

Sistemas de certificación acreditados por el Forest Stewardship Council

- Jan-Willem Heezen, Skal, Satationsplein 5, P.O. Bos 384, 8000 AJ Zwolle (Holanda). Tel. +31 38 4226 866. Fax: +31 38 4213063; ska@euronet.nl
- Ruth Nussbaum, SGS Forestry QUALIFOR Programme, Oxford Centre for Innovation, Mill Street, Oxford OX2 0JX (Reino Unido). Tel: +44 1865 201 212. Fax: +44 1865 790441; forestry@sgsgroup.com
- Jim Sandom, Soil Association Woodmark, Bristol House, 46-50 Victoria Street, Bristol BS1 6B (Reino Unido). Tel: +44 117 914 2435/929 0661. Fax: +44 117 925 2504; rfp@gn.apc.org
- Jonas Rudberg, Swedish FSC Working Group, Swedish Society for Nature Conservation, P.O. Bos 4625, Estocolmo, S-11691 (Suecia). Tel: +46 8 702 6513. Fax: +46 8 702 0855; jonas.rudberg@snf.se

Personas de contacto con el Forest Stewardship Council en Europa:

- Geert Lejeune, WWF Belgium v.z.w., Waterlooosteenweg 608, B-1050 Bruselas (Bélgica). Tel: +32 2 340 0955. Fax: +32 2 340 0933; geert.lejeune@wwf.be
- Ms. Anne-Marie Mikkelsen, WWF-Denmark, Ryesgade 3F, DK-2200 Copenhagen (Dinamarca). tel: +45 35 36 3635. Fax: +45 31 39 2062; a.mikkelsen@wwf.dk
- Mr. Harri Karjalainen, WWF-Finlandia, Lintulahdenkatu10, 00500 Helsinki (Finlandia). Tel: +358 9 7740 100. Fax: +358 9 7740 2139. Email: harri.karjalainen@wwf.fi
- Mr. Tom Roche, IWFA: Irish Woodworkers for Africa, Bury Quay, Tullamore, Co. Offaly (Irlanda). Tel/Fax: +353 506 23557. woodlife@iol.ie. <http://www.iol.ie/~woodlife/>
- Ms. Gemma Boetekees, FoE Netherlands: Vereniging Mileudefensie, Damrak 26, 1012 LJ Ámsterdam, postbus 19199, 1000 GDÁmsterdam (Holanda). Tel: +31 20622 1366. Fax: +31 20627 5287; gemma@milieudefensie.nl
- Mr. Pierre Hauselmann, Av. S.-Reymondin 30, CH 1009 Pully (Suiza). Tel: +41 21 728 1387. Fax: +41 21 728 1324. Email: phauselm@cyberlab.ch
- Ms. Hannah Scrase, Unit D, Station Building, Llanidloes Powys, Wales SY18 6EB (Reino Unido). Tel: +44 1686 413 916. Tel/Fax: +44 1686 412176; hannah@fsc-uk.demon.co.uk

Recursos en Internet:

- Oficina central del FSC: <http://www.fscoax.org>
- Campaña de WWF: <http://www.panda.org/forests4life/index.htm>

Paja y otras fibras vegetales

La paja consiste en tallos de las plantas de los cereales, como el trigo, la avena, la cebada, el centeno y el arroz, que quedan una vez cosechado el grano. Puede no parecer un material muy adecuado para la construcción, pero su aceptación ha ido aumentando rápidamente debido a su amplia disponibilidad, su bajo impacto medioambiental y sus excelentes propiedades de aislamiento: las balas de paja proporcionan un grado de aislamiento térmico de 0,012 W/mK aproximadamente. La paja puede utilizarse en la construcción de diversas formas. Se emplea en distintas proporciones como aglutinante en adobe y tapial de adobe (véase MATERIALES; Tierra). Desde la invención de la empacadora a finales del siglo XIX, las balas de paja se han utilizado como bloques de construcción para muros con un nivel muy alto de aislamiento. Esta práctica comenzó en Nebraska (Estados Unidos), donde aún quedan en pie algunos de los primeros edificios con muros de balas de paja. Más recientemente, esta técnica ha tenido éxito en otros países. La experiencia indica que los problemas relacionados con la humedad y los insectos pueden solucionarse satisfactoriamente a través de un buen proyecto; el fuego no constituye un riesgo, porque la paja densamente comprimida y empacada no arde. En algunos edificios, las propias balas soportan el peso de la cubierta; en otros, se utilizan simplemente como relleno de una estructura. Los muros suelen asegurarse mediante varas de hierro o bambú que atraviesan las balas, y luego se revisten con un enlucido de yeso por dentro y por fuera.

La paja y otras fibras vegetales también se utilizan como materia prima para la fabricación de paneles, que pueden tener aplicaciones muy diversas. Las fibras se comprimen a temperaturas muy altas (sobre los 200 °C) y quedan fuertemente ligadas sin necesidad de adhesivos.

Los juncos, la paja y los tallos de otras plantas también se han utilizado tradicionalmente como material para techar. Las cubiertas de paja son atractivas y tienen un bajo impacto medioambiental, pero requieren mucho trabajo y mano de obra cualificada.

El impacto medioambiental de la paja y de otras fibras vegetales acostumbra a ser muy bajo. En su mayoría, se consideran residuos de la agricultura, aunque en algunos casos se pueden cultivar especialmente para la construcción. Enormes cantidades de paja residual se queman (contaminando el aire) o se mezclan con la tierra cuando se labra para mejorar su estructura (una solución más beneficiosa). El principal impacto ambiental de estos materiales es el producido por el combustible que se utiliza para transportarlos. El combustible necesario por kilogramo/kilómetro es superior a la media, debido a la baja densidad del material. Sin embargo, si se obtienen de una fuente local, el impacto medioambiental de las fibras vegetales es bajo.³¹

Tierra

La tierra está compuesta por pedazos de piedra de diferente granulometría (desde pequeños guijarros hasta limo) y de arcilla, el ingrediente activo, o "cola" aglutinadora. Los materiales orgánicos, como los que se encuentran en la capa superficial del suelo, no son recomendables en la tierra que se utiliza para construcción. El otro ingrediente fundamental es el agua. El contenido de arcilla varía mucho de unos suelos a otros: en general, es más probable que la tierra contenga demasiada arcilla (que puede causar grietas cuando se seca), que demasiado poca (que puede hacer que se desmenuce). Para compensar el exceso de arcilla puede añadirse paja o arena; para aumentar la resistencia estructural de la tierra, puede "estabilizarse" con asfalto, cal o cemento.

La tierra fue uno de los primeros materiales de construcción y su uso continúa siendo generalizado. Se ha calculado que, en la actualidad, un tercio de la humanidad vive en casas hechas de tierra.³² La tierra puede obtenerse libremente casi en cualquier lugar y su impacto medioambiental es prácticamente nulo; su extracción es fácil, el transporte y procesamiento son mínimos y deshacerse de ella no podría ser más sencillo.

La tierra se utiliza en la construcción de diversas formas. La más sencilla consiste en hidratarla y añadir otros ingredientes levantando muros a mano, sin ningún tipo de moldes o formas. En los países anglófonos, esta técnica se conoce como *cob*. En los climas soleados, la tierra se moldea para formar adobes, que a veces se comprimen de forma mecánica y se secan al sol; este método pudo haber surgido en Oriente Medio en torno al año 10000 a. de C., y todavía se utiliza en muchas partes del mundo. La tierra también puede introducirse en moldes in situ y comprimirse manual o mecánicamente para otorgarle mayor resistencia; es una técnica



4.27 Construcción de tapial, México.

que se denomina tapial. Los moldes suelen ser de madera o metálicos, pero se han utilizado incluso neumáticos. La dureza, resistencia y durabilidad del tapial pueden llegar a ser similares a las del hormigón, dependiendo del grado de compresión. Otro método con una larga tradición es el geltaftan, que consiste en llenar de leña un edificio y utilizarlo como un horno para cocer cerámica, de forma que el propio edificio seque y se endurezca durante el proceso. Los muros de tierra pueden tener un grosor de un metro o más, o pueden ser tan estrechos como una estructura comparable de ladrillo u hormigón.³³

Incluso si los muros no se construyen de tierra, puede apilarse en torno al edificio (como una berma) o sobre él (en una cubierta vegetal); la tercera alternativa es enterrar el edificio. En todos estos casos, la tierra proporciona aislamiento e inercia térmica. Lo más novedoso en la construcción de casas semienterradas son las cuevas artificiales excavadas en la tierra, de las que ya existen ejemplos en varios países de Europa.

La tierra no es un aislante especialmente eficaz. Su conductancia varía según el grado de humedad y su densidad; en el caso de un bloque compacto puede ser de 0,33 W/mK, mientras que si la tierra está suelta y húmeda, la conductancia puede ser de 2 W/mK.³⁴ Sin embargo, es un excelente acumulador térmico. El coste adicional de la estructura necesaria para sostener una cubierta vegetal probablemente quede compensado por el ahorro que conlleva la utilización de un aislante barato como es la tierra.

La tierra es un material flexible e indulgente. Por ejemplo, su contenido de arcilla puede variar entre un 10 y un 25 %, aunque los adobes recuperados de viejos edificios en Estados Unidos contenían porcentajes que iban de 0 al 32 %.³⁵ Sin embargo, como sucede con todos los materiales de construcción, las técnicas de la construcción con tierra son específicas para ese material, y es aconsejable dejarse asesorar por un experto.

Piedra

La piedra es la base de la arquitectura tradicional en muchos lugares, y continúa siendo ampliamente utilizada. Es especialmente útil debido a su elevada masa térmica, su resistencia, durabilidad (que depende de su dureza) y belleza. La piedra no es un material renovable, pero es abundante, aunque algunos tipos de piedra son escasos y ciertas zonas carecen de piedra de calidad para la construcción. El proceso para la extracción de piedra de las canteras es perjudicial para el medio ambiente, por tanto, la utilización de piedra recuperada de otras construcciones evitará ese impacto. Sin embargo, el impacto medioambiental más importante que produce la piedra es probablemente el transporte. La solución natural y tradicional para este problema es utilizar tierra obtenida en las inmediaciones. Esto también permite que el arquitecto se mantenga informado sobre el impacto del proceso de extracción.

La piedra fabricada y la piedra sintética se utilizan a veces como alternativas menos costosas a la piedra natural, sobre todo como revestimiento para bloques de hormigón. El proceso de fabricación de estos materiales requiere mucha energía, y su impacto ambiental global es probablemente similar al del hormigón.

Cemento y hormigón

Cemento

Cemento es un término general utilizado para referirse a agentes aglomerantes cuyos ingredientes incluyen cal (óxido de calcio). El tipo de cemento más ampliamente utilizado en Europa es el cemento portland. Para fabricarlo, se mezclan carbonato de calcio (normalmente en forma de piedra caliza), silicatos (de arena, arcilla o ceniza volátil, un subproducto de las centrales eléctricas de carbón) y pequeñas cantidades de ingredientes como mineral de hierro o de aluminio, y todo ello se quema a temperaturas de hasta 1.500 °C. El resultado es una mezcla de compuestos químicos de calcio, silicio y oxígeno, con algo de hierro y aluminio; la mezcla exacta determina las propiedades del cemento. Posteriormente se le añade un 5 % de yeso (sulfato de calcio). Debido a las altas temperaturas que se requieren, el proceso consume mucha energía. Además, la reacción química que permite obtener cal a partir del carbonato de calcio (calcinación) emite dióxido de carbono.

La cantidad total de CO₂ emitida durante la producción de cemento dependerá de la eficiencia del horno y del tipo de combustible utilizado. Un cálculo aproximado³⁶ sugiere que la producción de un kilogramo de cemento libera 1,1 kg de CO₂. El 60 % de esta cantidad proviene de la combustión del combustible fósil, y el 40 % restante



4.28 Muro de barro en Berlín, Alemania.



4.29 Ornacina de piedra, Irlanda.



4.30 Villa Rotonda, Italia.
Arquitecto: Andrea Palladio.

del proceso de calcinación. El aspecto positivo es que algunos combustibles residuales, como aceite usado de vehículos, residuos peligrosos y neumáticos pueden quemarse de forma más segura en los hornos de cemento debido a las altas temperaturas. Sin embargo, esto depende de la aplicación de métodos adecuados de seguimiento y control, y todavía provoca cierta inquietud.³⁷

Otro tipo de impacto medioambiental debido a la producción de cemento está relacionado con la naturaleza alcalina de su polvo. Cuando se libera en el aire o en el agua (por ejemplo, al lavar los equipos) puede constituir un riesgo para el medio ambiente, ya que el agua alcalina es tóxica para los peces y otros tipos de vida acuática. Sus cualidades corrosivas también pueden perjudicar la salud de los trabajadores.³⁸

No existe ninguna forma de clasificar el cemento según el grado de respeto medioambiental que demuestre su producción, así que la principal estrategia del arquitecto ecológico debería ser minimizar la cantidad utilizada. Un diseño cuidadoso puede ser de gran ayuda, por ejemplo, cuando se utilizan pozos de cimentación u hormigón prefabricado. Una gestión eficaz de la obra puede evitar que la mezcla de cemento sea superior a la requerida y se tenga que tirar. Además, la cal y la ceniza volátil pueden sustituirse por cemento en algunas aplicaciones (véase la sección siguiente).

Hormigón

El hormigón, principal destinatario final del cemento, contiene un 12-14 % de cemento y cantidades variables de agua (6-7 %), arena (25-35 %) y grava, piedra machacada u otro árido (48-53 %). Cuando se mezcla el hormigón, un 15-35 % del cemento puede sustituirse por ceniza volátil.³⁹

El uso eficiente del agua se trata en otra sección de este libro. La arena y la grava son recursos no renovables que se extraen de una cantera o se obtienen mediante dragado, causando un impacto importante sobre el medio ambiente local. Aunque aún quedan numerosos recursos de este tipo sin explotar, muchos de ellos no se utilizarán debido a consideraciones medioambientales. Además, la piedra machacada requiere energía adicional para ser triturada. Para reducir la extracción y el transporte de estos materiales, pueden utilizarse áridos reciclados o reutilizados y residuos industriales (incluso hormigón machacado) en la preparación de la mezcla. El transporte de estos productos constituye probablemente su mayor impacto ambiental. Sin embargo, la parte más importante de las emisiones globales de dióxido de carbono debidas al hormigón (el 85 %) se generan durante la producción de cemento.

Otro gran problema medioambiental asociado con el uso del hormigón es su eliminación. El hormigón representa aproximadamente la mitad de todos los residuos procedentes de la construcción y la demolición. Puede triturarse para ser utilizado como árido, pero su reutilización es poco habitual.

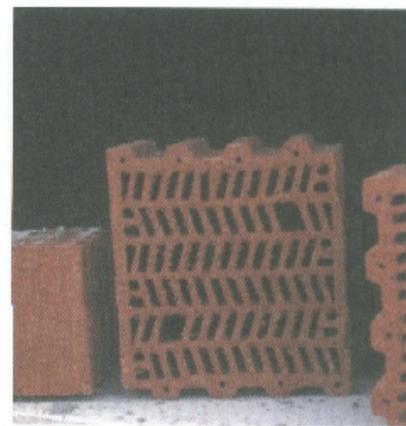
El impacto ambiental por kilogramo de los bloques de hormigón es prácticamente el mismo que el de otras formas de hormigón, pero, como es necesario curarlos antes de que puedan ser utilizados, y esto se realiza por medio de una alta presión, el consumo de energía total es mayor.⁴⁰

Existen tipos especiales de hormigón, como el hormigón aireado, que incluye polvo de sulfato de aluminio en la mezcla. El sulfato de aluminio reacciona con la cal y produce gas de hidrógeno, que forma burbujas en el hormigón. A pesar de que el sulfato de aluminio aumenta el impacto medioambiental del proceso, debido a las grandes cantidades de energía que requiere su producción, el hormigón aireado tiene una relación resistencia/peso más alta. Por tanto, el impacto medioambiental global de una estructura determinada será probablemente inferior al de una estructura similar de hormigón convencional.

Los bloques aislantes compuestos contienen una espuma aislante entre capas de hormigón. En este caso, el principal motivo de preocupación es el uso de agentes espumantes en el material aislante como los clorofluorocarbonos (CFC) e hidrocliclorofluorocarbonos (HCFC), que destruyen la capa de ozono. Otro posible problema es la dificultad de reciclar o reutilizar estos bloques compuestos al final de la vida útil de la estructura, porque el hormigón no puede separarse de la espuma aislante.

Ladrillo, azulejo y otros materiales cerámicos

Los productos de cerámica, como el ladrillo, el azulejo y los sanitarios se fabrican mediante la cocción de arcilla a altas temperaturas. La arcilla es un material muy abundante, aunque no renovable. Su extracción puede suponer un impacto perjudicial sobre el medio ambiente local, pero el principal impacto medioambiental de la cerámica se debe al combustible que se consume durante el proceso de cocción. La energía que se utiliza en este proceso varía, pero un horno típico necesitaría sobre 2,75 MJ/kg para fabricar ladrillo y algo más para cerámica vidriada.⁴¹ Si se asume que se utiliza una mezcla de combustible sólido, petróleo, gas y electricidad en el proceso de cocción, las emisiones de CO₂ rondarán los 0,33 kg por kW/h. Esto significa que las emisiones de CO₂ correspondientes al ladrillo son de unos 0,25 kg de CO₂ por kilogramo de ladrillo, lo que supone sólo una cuarta parte de las emisiones de CO₂ del cemento portland; sin embargo, si tenemos en cuenta que el hormigón contiene un 12-14 % de cemento, el resultado final es que el ladrillo normalmente produce el doble de emisiones de CO₂ por kilogramo que el hormigón. Por tanto, el ladrillo es uno de los materiales que se utilizan en grandes cantidades en la construcción que más energía consume. Una alternativa es la reutilización de los ladrillos, y en muchos lugares ya existe un floreciente mercado de ladrillos usados.⁴²



4.31

Vidrio

El vidrio se produce a partir de arena silicea, carbonato de sodio y sulfatos, todos ellos materiales no renovables pero abundantes. El proceso de fabricación requiere una gran cantidad de energía y emite aproximadamente 2 kg de CO₂ por kilogramo de vidrio producido. Sin embargo, la masa real de vidrio en la mayoría de los edificios es relativamente pequeña. Se ha calculado que una casa de tres habitaciones contiene unos 100 kg de vidrio, comparados con las más de 25 t de hormigón (el principal material estructural).⁴³ Por tanto, el impacto medioambiental del vidrio queda compensado con creces por su influencia sobre la iluminación natural y el rendimiento térmico. Normalmente, el vidrio es reciclable, pero en realidad sólo una pequeña parte de él se recicla.



4.32

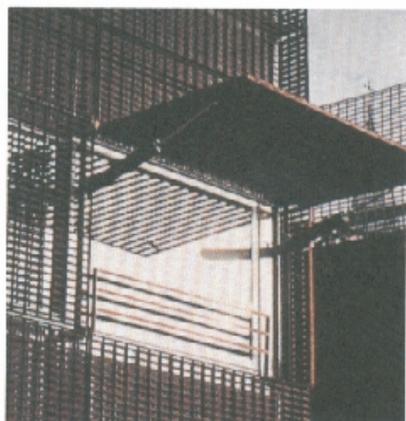
Metales

Los metales se obtienen a través de la minería, que suele ser perjudicial para el medio ambiente local debido a la alteración física a gran escala del terreno y a las emisiones tóxicas. La mayoría de las minas requieren una rehabilitación muy costosa después de su cierre para que el terreno pueda ser aprovechado para otros usos. El proceso de extracción de metal del mineral suele requerir grandes cantidades de energía, pero no existen cifras exactas sobre estos procesos, y los cálculos aproximados varían considerablemente. Por ejemplo, según la publicación *Architects' Journal* (1995), la energía incorporada del acero es de 63 MWh/m³ y la del aluminio de 195 MWh/m³ (no se indica la fuente de estos datos). Sin embargo, según el *Environmental code of practice*, publicado por la Building Services Research and Information Association (BSRIA), las cifras son 103 MWh/m³ para el acero y 75,6 MWh/m³ para el aluminio.⁴⁴ Resulta imposible hacer un cálculo fiable de las emisiones debidas a la extracción de los metales a partir de los datos existentes.

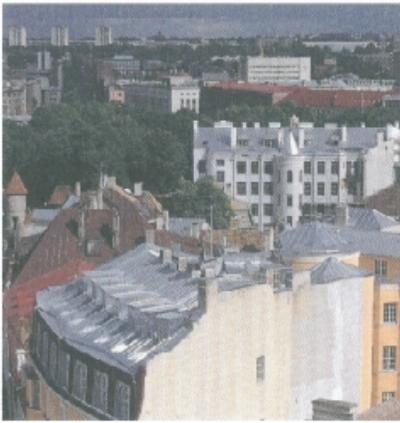
Aunque los metales son un recurso no renovable, suelen ser reciclables. Los residuos procedentes de la construcción y de la demolición deberían clasificarse para facilitar su reciclaje, dado que el coste de reciclar residuos sin clasificar es mucho mayor. En principio, los metales podrían recuperarse incluso de entre los residuos sin clasificar y, por tanto, es poco probable que lleguen a desaparecer por completo. Su reciclaje supone un ahorro considerable de la energía utilizada en el proceso de extracción, aunque, una vez más, no existen datos concretos. El contenido de material reciclado de un metal no siempre es fácil de calcular, pero supone una forma relativamente fiable de medir su impacto medioambiental.

Aluminio

El aluminio se extrae de la bauxita, mediante electrólisis de este metal. El proceso requiere mucha energía y, por consiguiente, produce un gran impacto medioambiental. Sin embargo, el aluminio es reciclable y el proceso de reciclaje sólo requiere aproximadamente el 5 % de la energía que consume la electrólisis. Es un material muy duradero y resistente a la corrosión, aunque debería evitarse su contacto con ácidos, álcalis y otros metales.



4.33.
Arquitecto: Jean Nouvel.



4.34 Cubiertas de cinc en Talin, Estonia.

Cobre

El cobre es un material muy utilizado en cubiertas, paneles de revestimiento, elementos decorativos, tuberías y cables. Tiene propiedades biocidas que lo hacen adecuado para usos exteriores, pero da lugar a escorrentías tóxicas. Las tuberías de cobre todavía se utilizan para el suministro de agua, aunque han sido prohibidas en algunos lugares (como Suecia) y, en general, están siendo sustituidas por tuberías de plástico. El cobre es muy duradero, resistente a la corrosión y se puede reciclar con facilidad.

Plomo

El plomo es un material muy tóxico y un potente veneno por acumulación, por ello, su uso en edificios debería evitarse. También es un material muy escaso pero con amplias posibilidades de reutilización.

Acero

El acero es el metal más ampliamente utilizado en la construcción. Su proceso de producción requiere mucha energía. El reciclaje de la chatarra de acero es habitual, aunque no resulta tan fácil como en el caso de otros metales. El acero no es resistente a la corrosión, por tanto, en muchos casos se le aplican tratamientos con pintura u otros revestimientos que impidan su oxidación; el impacto de estos productos debería considerarse por separado.

Cinc

El cinc suele utilizarse como recubrimiento de otros metales. La naturaleza del proceso de revestimiento (galvanización) hace que el cinc y el metal queden estrechamente ligados, de forma que ninguno de ellos será fácil de reciclar. Este proceso suele requerir el uso de una solución de cromato, que es muy tóxica y, además, consume mucha energía. Sin embargo, la galvanización es una forma muy eficaz de prolongar la vida útil del acero y otros componentes metálicos. El cinc también se utiliza en forma de láminas, y para muchas aplicaciones constituye una alternativa menos tóxica que el cobre.

Pinturas, adhesivos, conservantes, sellantes y productos de limpieza

Las pinturas, los adhesivos, los conservantes, los sellantes y los productos de limpieza abarcan una gama muy diversa de sustancias. Normalmente sólo están presentes en los edificios en cantidades muy pequeñas, pero su efecto sobre el medio ambiente puede ser desproporcionado. Aunque su proceso de fabricación suele incluir el uso de petróleo y gas como combustibles, y también como materias primas, las emisiones de CO₂ y otras sustancias relacionadas con los combustibles fósiles no constituyen un grave problema medioambiental en este caso, debido a las pequeñas cantidades que se utilizan en comparación con otros materiales.⁴⁵

Las emisiones tóxicas durante su fabricación, uso y eliminación son más preocupantes. Estos productos deben tratarse como residuos tóxicos y eliminarse de la forma correspondiente. Además, si no se utilizan con la debida precaución, pueden afectar gravemente a la calidad del aire interior, un tema que cada vez preocupa más a los proyectistas, sobre todo porque cada día los edificios son más herméticos y aumenta el uso de disolventes orgánicos, equipamiento de oficina y ventilación artificial. Los distintos aspectos relacionados con la calidad del aire interior se tratan más detalladamente en la sección TEMAS; Salud.

Pintura

La pintura contiene un disolvente (la "base"), agentes aglutinantes, materiales de relleno y aditivos, como pigmentos, secantes, pulidores y antiespumantes. Cada uno de estos ingredientes puede ser perjudicial para la salud y el medio ambiente. Algunos pigmentos, por ejemplo, incluyen metales pesados potencialmente dañinos, como plomo, cadmio y cromo.⁴⁶

Aunque no se encuentran con facilidad para algunas aplicaciones, las pinturas de base acuosa son más recomendables desde el punto de vista medioambiental que las que contienen hidrocarburos orgánicos, que pueden ser peligrosas para la salud de pintores y ocupantes. La mayoría de las pinturas basadas en hidrocarburos utilizan resina alquídica como aglutinante. La pintura aglutinada con resina alquídica de alto contenido en sólidos es más recomendable que la pintura alquídica tradicional, porque contiene menos disolventes orgánicos. Las pinturas "naturales" se componen normalmente de ingredientes de origen biológico que se degradan de forma natural; sin embargo, estas pinturas siguen utilizando disolventes orgánicos, como el aguarrás, y suelen ser más caras y menos eficaces que

las convencionales. Las pinturas acrílicas son de base principalmente acuosa y contienen sólo un 10 % o menos de disolventes orgánicos, pero suelen contener conservantes perjudiciales. En todos los casos, las pinturas de alto brillo requieren más disolventes que las de acabado mate.

La ecoetiqueta de la Unión Europea y otros sistemas nacionales de etiquetado ecológico (NF Environnement en Francia, Blue Angel en Alemania, Sticking Milieukeur en Holanda y White Swan en los países nórdicos) incluyen sistemas de certificación para pinturas menos perjudiciales para el medio ambiente. Los estándares varían de un lugar a otro, y en ninguno son muy altos, pero escoger pinturas que lleven una de estas etiquetas es una buena forma de reducir en alguna medida el impacto medioambiental.⁴⁷

Adhesivos

El impacto medioambiental más preocupante de estas sustancias es la emisión de compuestos orgánicos volátiles por los adhesivos basados en disolventes orgánicos y por los endurecedores, como los utilizados en los sistemas de resina epoxi. Los adhesivos que utilizan disolventes orgánicos deberían aplicarse con precaución y en lugares bien ventilados, o evitarse por completo y sustituirse por adhesivos de base acuosa o sistemas mecánicos de fijación. El uso generalizado de adhesivos puede dificultar el desmontaje del edificio y el reciclaje o la reutilización de sus componentes.

Conservantes para madera

Los conservantes para madera se comercializan con formatos muy diversos: pinturas, barras, pastas e incluso humo. Sus ingredientes activos varían desde los relativamente suaves hasta los muy tóxicos, e incluyen compuestos basados en cobre, cromo, arsénico, cinc, boro y flúor, así como creosota, pentaclorofenol, dieldrina, lindane, óxido de estaño tributilico y permetrina.

Los efectos sobre la salud de los trabajadores de la madera están bien documentados y demuestran que la mayoría de estos compuestos son, en cierto grado, perjudiciales para la salud.

El deterioro de un edificio es normalmente el síntoma de un defecto de construcción o de una acumulación de humedad, no el inevitable resultado del paso del tiempo. Cada fuente de humedad debería compensarse con un medio de eliminarla. Suele ser posible evitar por completo el uso de conservantes si se ejecutan correctamente los detalles, se selecciona una madera duradera y se aplica y mantiene una capa protectora cuando sea necesaria. La utilización de implantes sólidos para conservar zonas vulnerables concretas (como las juntas de los marcos de puertas y ventanas) es más aconsejable que un tratamiento general (véase tabla 4.3).

Tabla 4.3 Conservantes clasificados de menos a más perjudiciales para el medio ambiente

Menos perjudiciales	<ul style="list-style-type: none">• boratos• compuestos de amonio cuaternario, jabones de cinc, azoles• cromo-cobre-boro (CCB), cinc-cobre-fluoruro (CCF)
Más perjudiciales	<ul style="list-style-type: none">• cromo-cobre-arsénico (CCA), improsol (bifluoruro), creosota.⁴⁸

(Anink, 1996)

Los boratos son los conservantes menos dañinos para el medio ambiente, aunque causan filtraciones cuando están húmedos. Si van a estar en contacto con el agua, pueden necesitar combinarse con un tratamiento impermeabilizante.

Los conservantes siempre deberían ser aplicados por técnicos cualificados.

Sellantes

Debido a su flexibilidad y facilidad de aplicación, los compuestos sellantes se utilizan de forma generalizada para sellar juntas, grietas y otros huecos; incluso podría decirse que se utilizan en exceso. Existe una amplia gama de productos, desde cintas y otros sólidos hasta fluidos, que pueden ser plásticos o elastoméricos. Como el de cualquier otro material constructivo, el impacto medioambiental del sellante debería sopesarse teniendo en cuenta su durabilidad, pues cuantas más veces sea necesario sustituirlo, mayor será el impacto.

En general, los sellantes se utilizan en pequeñas cantidades y su impacto medioambiental no es excesivo. Conviene evitar sobre todo los sellantes que utilicen productos químicos perjudiciales para la capa de ozono (CFC y HCFC) durante el espumado; los selladores de poliuretano (PUR) y de cloruro de polivinilo (PVC), que ejercen un impacto medioambiental considerable (véase MATERIALES; Productos sintéticos); y los selladores que contengan disolventes orgánicos, como los selladores acrílicos de base no acuosa.

Productos de limpieza

Una parte del proceso de construcción en la que no se suele pensar mucho es la limpieza del edificio una vez finalizada la obra y antes de su ocupación. El responsable de esta limpieza es normalmente el contratista, pero suele subcontratarlo a empresas especializadas que quizás no sean conscientes de los esfuerzos que se han realizado previamente para garantizar la construcción de un edificio saludable. Deberían especificarse productos de limpieza biodegradables y no tóxicos.

Productos sintéticos

Los productos sintéticos se fabrican por medio de diversos procesos químicos, principalmente a partir del petróleo. También es posible, aunque menos frecuente, producirlos a partir de recursos renovables derivados de plantas; en este caso se denominan bioplásticos o biosintéticos. Los procesos de craqueo y polimerización mediante los que se fabrican los productos sintéticos pueden generar la emisión de materiales orgánicos al ambiente. También se emplean otros aditivos, como cloro y cianuro, que pueden desprender gases tóxicos. La fabricación de productos sintéticos sólo consume una pequeña proporción del petróleo del mundo. Ese proceso requiere una cantidad relativamente grande de energía, aunque los cálculos varían mucho, de 50 a 100 MJ/kg. Sin embargo, las cantidades utilizadas en el proceso de construcción son normalmente pequeñas, y esto significa que su energía incorporada no es excesivamente preocupante.

Muchos productos sintéticos no son fácilmente biodegradables, con el consiguiente problema de eliminación de residuos a largo plazo. Por otra parte, cuando sí se degradan, o cuando son destruidos o dañados por el fuego, la radiación de rayos ultravioleta u otros agentes, los productos que resultan en algunos casos (no en todos) constituyen un peligro debido a su toxicidad. En algunos casos es posible su reciclaje, pero sólo cuando entran en un proceso de clasificación de residuos.

Los productos sintéticos son extremadamente útiles para muchas aplicaciones; suelen ser impermeables, flexibles y poco costosos. En la mayoría de los casos, su utilidad compensa el impacto ambiental que ejercen, pero debe considerarse cuidadosamente la forma de eliminarlos, porque su naturaleza no biodegradable puede causar problemas. Sin embargo se ha puesto seriamente en duda la conveniencia de utilizar el PVC.⁴⁹

Betún

El betún se utiliza ampliamente en las cubiertas y en la impermeabilización de edificios. Se produce a partir de fracciones residuales de la destilación del petróleo. En teoría, es reciclable, siempre y cuando no esté contaminado por otros materiales, que no es habitual. El betún suele mezclarse con polvo de roca o ha sido aplicado sobre tela, fibra de vidrio o poliéster para formar mástique, paneles o tejas. No genera problemas medioambientales durante su utilización, pero es necesario tomar precauciones para garantizar la salud y la seguridad de los trabajadores durante la aplicación de betún o asfalto caliente.

EPDM

Las láminas de EPDM (monómero propileno dietilénico) se utilizan en las cubiertas planas, para revestir depósitos y para cubrir juntas. El EPDM se produce por medio de la galvanización y la posterior vulcanización de los monómeros de etileno, propileno y dieno; en el proceso se utilizan varios disolventes orgánicos, que pueden causar daños medioambientales si se liberan. No se puede reciclar, aunque es posible degradarlo y producir un relleno de calidad inferior.

EPS (poliestireno expandido) y poliestireno extruido

El poliestireno se utiliza como aislante y para acristalamiento. La producción de poliestireno conlleva algunas emisiones de estireno y otros compuestos orgánicos moderadamente perjudiciales. El proceso de soplado mediante el que se expande el EPS utiliza pentano (un disolvente orgánico ligeramente tóxico). En algunos casos, todavía se utilizan CFC y HCFC en el proceso de soplado del poliestireno extruido.

Notas:

¹ Talbott, John L., *Simply build green: a technical guide to the ecological houses at the Findhorn Foundation ecological village project*, Findhorn Foundation Development Wing, Findhorn, 1993.

² Mazria, Edward, *El libro de la energía solar pasiva*, Editorial G. Gili, Ciudad de México, 1983.

³ Esbensen Consulting Engineers, *Energy comfort 2000*, dossier informativo, 5, 1998.

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ Rocky Mountain Institute, "Windows", en *Home energy briefs*, 2, 1997; www.rmi.org/hebs/heb2/heb2.html

⁷ *Ibid.*

⁸ *Energy efficient lighting in offices* (folleto), BRECSU-OPET/DG XVII, 1993.

⁹ *The sun's joules*, CREST, 1998. <http://solstice.crest.org/renewables/SJ/index.html>

¹⁰ www.ises.com

¹¹ Waterwiser, www.waterwiser.org

¹² Van der Ryn, Sim, *The toilet papers: recycling waste and conserving water*, Ecological Design Press, Sausalito, 1995.

¹³ *Ibid.*

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ www.ises.com.

¹⁶ *Small-scale cogeneration in non-residential buildings*, ICIE/DG XVII, 1992.

¹⁷ CIENE, *Natural cooling: mid-career education package*, 1994.

¹⁸ *Natural and low energy cooling in buildings* (folleto), CRES/DG XVII, 1994.

CRES, 1994.

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ *Sustainable building sourcebook*, Austin Green Builder Programme, Austin, 1998.

www.greenbuilder.com/sourcebook; *Progressive architecture*, 4, 1985.

²¹ Viljoen, A., "Low-energy dwellings and their environmental impact", en *European directory of sustainable and energy efficient building*, James & James (Science Publishers), Londres, 1997.

²² *Ibid.*

²³ Whitelegg, John, *Transport for a sustainable future: the case for Europe*, John Willey & Sons, Nueva York, 1993.

²⁴ Véase: Anink, David; Boonstra, Chiel; Mak, John, *Handbook of sustainable building: an Environmental Preference Method for selection of materials for use in construction and refurbishment*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.

²⁵ Demkin, Joseph A., American Institute of Architects (eds.), *Environmental resource guide*, John Willey, Nueva York, 1996.

²⁶ *Green building digest*, ACTAC, Mount Pleasant, Liverpool, 1994.

www.panda.org.

²⁷ Forest Stewardship Council. <http://www.fscoax.org>

²⁸ *Green building digest*, ACTAC, Mount Pleasant, Liverpool, 1995.

²⁹ *Ibid.*

³⁰ *Environmental building news*, West River Communications, 1993; www.ebuild.com

³¹ Schumann y Sinha, "Earth building today", en *Architects' journal*, 1994.

³² *Ibid.*

³³ CIBSE, *Guide*, volumen A, 1986.

³⁴ Earth Architecture Centre Internations, EACI, 1998. www.earthbuilding.com/eaci-FAQ.html

³⁵ *Environmental building news*, op. cit.

³⁶ *Green building digest*, op. cit., 1995.

³⁷ *Environmental building news*, op. cit.

³⁸ Anink, David, op. cit.

³⁹ *Green building digest*, op. cit., 1995.

⁴⁰ *Environmental impact of materials*, publicación especial del CIRIA, 116, 1995.

⁴¹ *Green building digest*, op. cit., 1995.

⁴² Howard, Nigel, "Energy in balance", en *Building services journal*, 1991.

⁴³ Citado en Viljoen, A., op. cit.

⁴⁴ Howard, Nigel, op. cit.

⁴⁵ *Green building digest*, op. cit., 1995; Anink, David, op. cit.; *Environmental impact of materials*, op. cit.

⁴⁶ *Green building digest*, op. cit., 1995.

⁴⁷ Anink, David, op. cit.

⁴⁸ Greenpeace, *PVC: toxic waste in disguise*, 1992; *Building the future: a guide to building without PVC*, 1996.

Bibliografía complementaria

- Baker, N., "Light and shade: optimising daylighting design", en Lewis, O.J.; Goulding, J.R., (eds.). *European directory of sustainable and energy efficient building* (publicado anualmente desde 1993), James & James (Science Publishers), Londres, 1995.
- *Solar thermal systems in Europe* (folleto informativo), ERG/ESIF, 1998.
- *Small-scale cogeneration in non-residential buildings*, ICIE/DG XVII, 1992.
- *Delighting in buildings*, UCED-OPET para DG XVII, 1995.

Sobre metales

- *Environmental impact of materials*, publicación especial del CIRIA, 116, 1995.
- *Going green. The green construction handbook* (investigación de Ove Arup and Partners), J T Design Build Publication, Bristol, 1993.

Sobre productos sintéticos

- *Green building digest*, ACTAC, 1995-1997.
- Anink, David; Boonstra, Chiel; Mak, John, *Handbook of sustainable building: an Environmental Preference Method for selection of materials for use in construction and refurbishment*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.
- *Environmental impact of materials*, publicación especial del CIRIA, 116, 1995.
- *Going green. The green construction handbook* (investigación de Ove Arup and Partners), J T Design Build Publication, Bristol, 1993.

Sobre residuos

- Casado Martínez, N., et al., *Architectural and environmental teaching*, DG XI, 1996.

Sobre efectos medioambientales de los materiales de construcción

- *Environmental assessment of buildings*, BRECSU/Comisión Europea, DG XVII, 1995.
- *Sustainable building sourcebook: supplement to the green builder program*, Environmental and Conservation Services Department, Austin, 1993. www.greenbuilder.com/sourcebook/SourcebookContents.html
- *Environmental building news*, West River Communications, 1993. www.ebuild.com.
- Pearson, David, *El libro de la casa natural*, Integral, Barcelona, 2000.

5. Evaluación

Introducción

Los propietarios, usuarios, proyectistas, autoridades y público evalúan los edificios propuestos o realizados desde el punto de vista de confort, funcionalidad, coste, estética y muchos aspectos de su rendimiento. La evaluación del rendimiento medioambiental es necesaria para un proyecto de calidad. En la fase de proyecto pueden considerarse las alternativas y elegir la mejor solución. El arquitecto suele evaluar el rendimiento medioambiental desde la energía, la luz natural, el confort interior, la ganancia o pérdida de calor y los materiales. Puede ser útil la utilización de simulaciones para realizar esta evaluación, y resulta indispensable en edificios grandes o complejos. El seguimiento del edificio terminado puede suponer la evaluación del confort, la energía, el agua consumida y los residuos producidos. Esta sección del libro proporciona recomendaciones sobre los métodos de evaluación medioambiental.

Herramientas para la evaluación del proyecto

Las herramientas para la evaluación del proyecto pueden ser manuales o informáticas. Algunas se asocian con decisiones estratégicas tempranas; otras prevén el rendimiento de propuestas detalladas. La tabla 5.1 indica el tipo de herramienta más adecuada para la evaluación de distintos aspectos. En muchos casos, herramientas simples o de nivel intermedio pueden proporcionar el análisis requerido. Muchas de ellas son gratuitas o tienen un coste mínimo. Para utilizar las herramientas más complejas puede necesitarse personal con una formación específica, familiarizado con la realización de estudios de simulación. Una empresa pequeña que no cuente con ese tipo de personal puede contratarlo a asesores especializados.

Tabla 5.1 Las herramientas de proyecto y la evaluación medioambiental

• T -Evaluación temprana, • I - Evaluación intermedia, • D - Evaluación detallada

Herramientas de diseño:	Plano	Cálculo manual	Cálculo informático	Maqueta a escala	Simulación por ordenador
Aspecto:					
Aislamiento		• T	• I		• D
Sombras	• T			• T	• I/D
Rendimiento térmico		• T	• I		• D
Iluminación natural		• T	• I	• T	• D
Ventilación		• T	• I		• D
Infiltración		• T	• I		• D
Confort			• T		• D
Fábrica edilicia		• T	• I		• D
Instalaciones		• T	• I/D		• D
Consumo energético		• I		• D	
Rendimiento total					•D

Introducción

Herramientas para la evaluación del proyecto

Recepción de datos
Precisión y validación
Selección y uso

Evaluación del impacto ambiental total

Rendimiento medioambiental total del edificio

Crterios de Construcción Ecológica para Viikki
BREEAM: Método de Evaluación Medioambiental del Building Research Establishment

Coste del ciclo de vida

Los aspectos medioambientales están interrelacionados, es decir, unos pueden afectar directa o indirectamente a otros y al rendimiento global. El objetivo es lograr un equilibrio óptimo. Ninguna herramienta de evaluación puede hacerlo de forma automática, porque la mayoría responden a cuestiones concretas. La evaluación forma parte de un proceso iterativo, que requiere experiencia en el proyecto y las herramientas adecuadas.

Por ejemplo, para conocer el rendimiento de distintos tipos de muros, el arquitecto debe seleccionar los materiales y las dimensiones y, obtener las características termofísicas de cada alternativa. Debe introducir los datos de cada tipo de construcción y calcular los resultados. Es entonces cuando puede comparar los datos y seleccionar la mejor opción. Si la herramienta contiene una base de datos de materiales o construcciones similares a los que se comparan, será necesario introducir menor cantidad de datos.

El formato de los datos de salida varía considerablemente. Las herramientas más sencillas suelen proporcionar sólo un esquema de los datos, que funcionan como indicadores para el proyecto y que pueden ser muy valiosos desde el punto de vista estratégico. La variedad de datos aumenta con la complejidad del sistema. Normalmente, las herramientas de análisis energético proporcionan los datos en términos de requisitos energéticos o pérdidas o ganancias de calor por unidad de superficie. Las herramientas más sofisticadas permiten que el usuario diseñe el formato de los datos a su medida, y proporcionan una variedad de datos que se pueden seleccionar (como temperaturas, índices de confort y niveles de luz).

Recepción de datos

Datos climatológicos

Son muchos los factores que afectan al rendimiento energético del edificio: altitud, latitud, longitud, topografía del suelo y estructuras circundantes, microclima local, etc. La temperatura exterior es un requisito básico para la mayoría de las herramientas que analizan aspectos relacionados con el consumo de energía; los valores pueden requerirse en términos de horas, días o meses. Otros datos necesarios pueden ser la velocidad y la dirección del viento, la radiación solar y la humedad. Se han realizado esfuerzos para desarrollar series de datos meteorológicos estándar para cada zona, pero su uso aún no está generalizado en la práctica profesional.

Geometría del edificio

Las herramientas más sencillas sólo aceptan paramentos verticales y ventanas, suelos horizontales y cubiertas planas, inclinadas o a dos aguas. Sin embargo, a medida que aumenta la sofisticación de las herramientas, acostumbra a aumentar también la complejidad del modelo geométrico que aceptan.

La orientación es importante, sobre todo en lo que se refiere a la radiación solar y al viento. En estudios más detallados, también es importante el control de las zonas. Muchas de las herramientas más sencillas sólo tienen en cuenta "zonas únicas", y el modelo representa todo el edificio como un único espacio. Esto suele ser suficiente para análisis sencillos e intermedios de edificios domésticos, pero es restrictivo para otros usos.

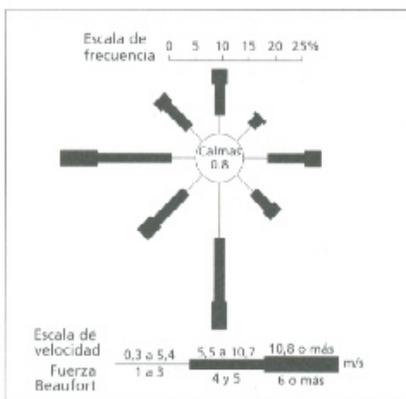
El elemento más importante de los datos geométricos es probablemente la descripción del material de construcción. Las herramientas más avanzadas suelen incluir bases de datos con las propiedades de los materiales comunes, como componentes individuales o como elementos constructivos típicos (muros, ventanas, etc.).

Cálculos estándar

Existen muchos métodos teóricos de cálculo para estudiar aspectos como el uso o consumo de energía, la iluminación, la iluminación natural, la ventilación, la infiltración, los costes de funcionamiento, etc. Es muy importante que se utilice un método aceptable según los estándares nacionales o europeos. Las diferencias entre métodos comparativos suelen ser insignificantes, pero algunos organismos reguladores requieren la utilización de estándares concretos, sobre todo para demostrar que se cumple la normativa sobre construcción.

Instalaciones

Muchas herramientas intermedias o cualificadas ofrecen una amplia variedad de sistemas para describir las instalaciones de un edificio. Sin embargo, para realizar un estudio detallado de las instalaciones quizás sean más apropiadas las herramientas específicas.



5.1 Diagrama de la rosa de los vientos.

Diseño asistido por ordenador (CAD)

Algunas aplicaciones de CAD incluyen herramientas para construir modelos tridimensionales, que permiten que el arquitecto estudie la distribución de la luz.

Se están intentando integrar las herramientas de diseño y el CAD de forma que se puedan intercambiar datos en un formato común, lo que ofrecería al usuario un único sistema de diseño con aplicaciones CAD incorporadas. Un ejemplo de ello es el modelador ZIP, utilizado por varias herramientas de diseño para permitir la introducción de datos geométricos de forma gráfica. Normalmente, se construye el modelo geométrico dentro del programa de CAD y, cuando está terminado, se importa al programa de análisis energético en un archivo con un formato determinado, habitualmente DXF o DWG.

Algunos sistemas permiten construir maquetas tridimensionales de los edificios mediante programas de visualización realista, y pueden combinarse con bases de datos y otros programas.

Precisión y validación

Los resultados de una herramienta de proyecto nunca son exactos, pues el modelo en el que se basa la herramienta incluye suposiciones y aproximaciones y, sólo hasta cierto punto, constituye una representación simplificada del edificio. Incluso los cálculos más detallados muestran distintos grados de error comparados con los obtenidos en un entorno de pruebas físico. Además, es poco frecuente que los resultados reales se correspondan exactamente con los cálculos. Por ejemplo, la pérdida de calor a través de la fábrica del edificio puede ser hasta tres veces superior al coeficiente K previsto, a causa de defectos en la construcción. En tercer lugar, los usuarios pueden utilizar la herramienta de forma incorrecta debido a una mala comprensión de su funcionamiento. A pesar de estas fuentes de error, muchas herramientas proporcionan la precisión suficiente para que el arquitecto pueda trabajar.

La validación de los resultados es importante para confirmar su precisión. Cuando se seleccione un modelo, deberían consultarse las conclusiones de las pruebas o estudios de validación que se hayan realizado. Esto incluye todas las herramientas de CAD, de cualquier nivel, y no sólo los programas más avanzados de simulación.

Selección y uso

Maquetas

Las maquetas a escala del emplazamiento y su entorno, realizadas con cartón u otros materiales, pueden utilizarse para estudiar la insolación y las sombras. Con un simple secador de pelo y un polvo fino, como arena ligera, se pueden identificar las zonas expuestas y protegidas con respecto al viento dominante. Cuando están razonablemente bien construidas, las maquetas interiores pueden mostrar adecuadamente la distribución y los niveles relativos de luz natural.

Cartas solares estereográficas

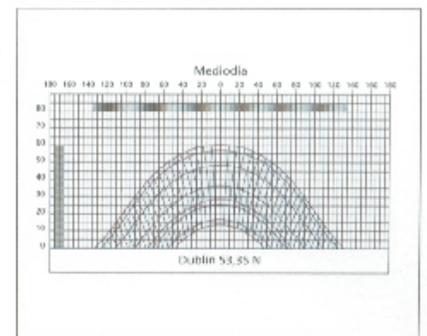
Para evaluar la disponibilidad de luz solar en el emplazamiento es necesario determinar la sombra que producirán los edificios adyacentes y la vegetación. La carta proyecta una vista de la bóveda celeste sobre un plano horizontal. Cada latitud precisa una carta estereográfica específica, que se utiliza para indicar las secciones del cielo que están libres de obstrucciones y, por lo tanto, la importancia relativa de los periodos en los que la luz solar no incidirá.

El método LT

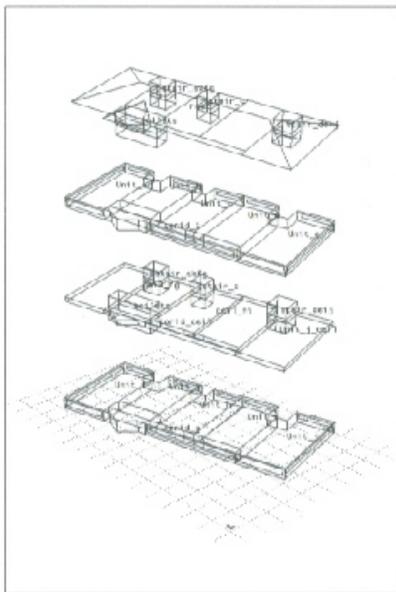
El método LT, disponible en papel y en soporte informático, utiliza curvas de rendimiento energético derivadas de un modelo matemático donde la mayoría de los parámetros tienen valores dados. El usuario sólo puede manipular algunas variables relacionadas con la forma del edificio y la fachada, como la proporción de superficies acristaladas, la relación superficie y volumen, etc. El desglose energético que proporciona como resultado, en términos de calefacción, refrigeración e iluminación, da una idea de la importancia relativa de los distintos componentes energéticos.¹

El nuevo método 5000

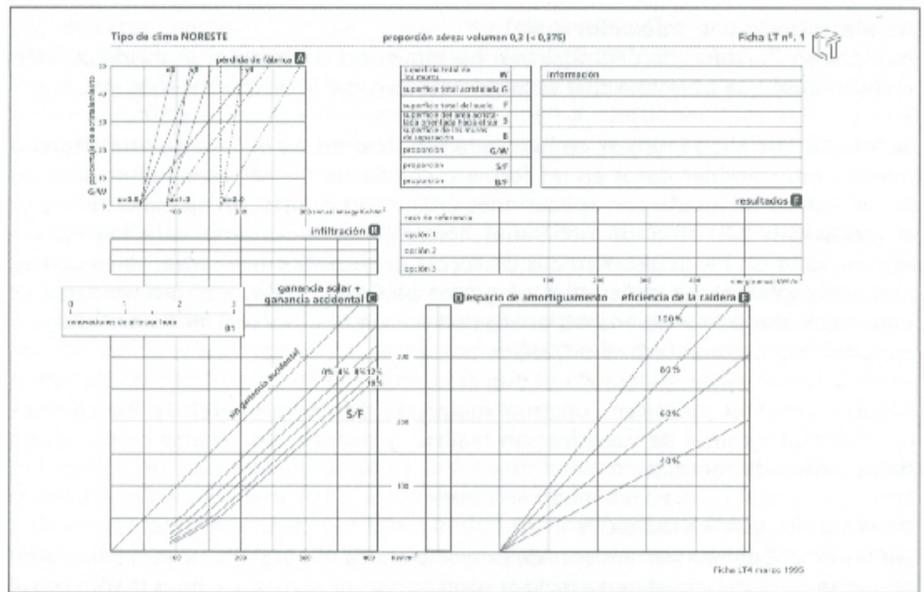
El nuevo método 5000 es una herramienta, también disponible en papel o en soporte informático, que se utiliza para determinar de forma rápida y aproximada el rendimiento de los edificios solares pasivos. Sirve para predecir la calefacción auxiliar necesaria para alcanzar, en un mes determinado, las condiciones de confort adecuadas en edificios calentados únicamente mediante ganancia solar pasiva, así como en edificios que utilizan también otras técnicas. Esto se consigue restando las ganancias y pérdidas de calor (ambas medidas en kWh) durante dicho mes.



5.2 Diagrama de una carta solar estereográfica.



5.4 ESP-r.



5.3 El método LT.

Passport

El método Passport evalúa las necesidades de calor en un edificio residencial. Se basa en el equilibrio energético en régimen permanente de la zona del edificio, permitiendo variaciones externas de temperatura y un factor de utilización que tenga en cuenta el efecto dinámico de la ganancia interna y de la ganancia solar. Algunos de los aspectos más importantes que permite considerar son la utilización libre de la ganancia solar, la calefacción intermitente y la división del edificio solar pasivo en varias zonas.

Lightscape

El sistema de visualización Lightscape combina algoritmos de radiación patentados con una interfaz de iluminación basada en las propiedades físicas de la luz y los materiales.

ESP-r

ESP-r es un entorno de simulación térmica dinámico que puede utilizarse para explorar diversos aspectos (incluyendo la fábrica del edificio, los flujos de masa, las instalaciones ideales y detalladas, etc.) tanto por separado como combinados y en distintos intervalos de tiempo.

Información adicional

- *European resource guide*.² Compilada durante varios años y actualizada cada dos años, con numerosas referencias a herramientas de diseño y otro material relacionado con la energía. Disponible en Energy Research Group, University College Dublin, Richview, Clonskeagh, Dublin 14, Irlanda; fax: +353.1-283 8908; jolivetp@richview.ucd.ie, www.erg.ucd.ie
- *Info Energie: Liste der Software*. Relación exhaustiva (en alemán y francés) de programas desarrollados internacionalmente con detalles de contacto para cada herramienta de diseño. Bundesamt für Energiewirtschaft, CH-3003 Bern, Suiza; fax: +41.31-352 7756.
- *Guidance on selecting energy programmes*. Publicación de la industria de la construcción y la Computing Association, con información detallada para ayudar a seleccionar programas informáticos relacionados con la energía en el Reino Unido. CICA, Guildhall Place, Cambridge CB2 2QQ (Reino Unido); fax: +44.1223-62865.
- *BSRIA. Software for building services: a selection guide*. Información valiosa sobre una amplia gama de programas informáticos, muchos de ellos relacionados con la energía. Building Services Research and Information Association, Old Bracknell Lane West, Bracknell, Berkshire RG12 7AH, Reino Unido; fax: +44.1344-487575
- *Interior lighting calculations: a guide to computer programs*, Informe 16/98 publicado por el Building Research Establishment, Garston, Watford WD2 7JR, Reino Unido; fax: +44.1923 664 098. Pretende ser una herramienta para que los proyectistas puedan seleccionar los programas adecuados para realizar cálculos de iluminación interior; no se centra en programas individuales, sino en los aspectos comunes a todos ellos y en los algoritmos subyacentes.

Evaluación del impacto ambiental total

Los procedimientos para evaluar el impacto medioambiental de los proyectos de construcción, ya sean de edificios o de infraestructuras, se han desarrollado como consecuencia de la Directiva 85/337/EEC de la Unión Europea sobre Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) y sus posteriores revisiones. Los umbrales, o criterios, según los cuales deben aplicarse los procedimientos varían entre los distintos países miembros. Cuando un proyecto supera los umbrales para un tipo de construcción determinada, o cuando una autoridad competente requiere una Evaluación de Impacto Ambiental, es necesario elaborar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y ponerla en conocimiento de las autoridades y el público.

Muchos de los tipos de proyectos que se incluyen en la directiva están fuera del alcance normal de los servicios. Incluyen, por encima de distintos umbrales de tamaño, silvicultura, recuperación del suelo, cría de aves y cerdos, acuicultura, minería y proyectos de infraestructuras, como construcción de carreteras, vías ferroviarias, plantas de tratamiento de residuos y otras obras de ingeniería civil. Sin embargo, muchos proyectos industriales, como los relacionados con la industria de productos alimenticios (envasado, enlatado, fabricación de cerveza, elaboración de confituras y almibares, etc.) y otros tipos de industria, así como proyectos de construcción en general (como parques industriales, urbanizaciones residenciales y complejos hoteleros) también están incluidos en la directiva.

El material que debe contener una DIA incluye una descripción del proyecto, las razones por las que se propone y un resumen no técnico. La DIA debe proporcionar la información necesaria para evaluar los principales efectos medioambientales que puede producir el proyecto (ya sean permanentes o temporales, positivos o negativos) sobre el hombre, la flora y la fauna, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje, la interacción entre todos los elementos anteriores, los bienes materiales y el patrimonio cultural. Debe identificar los efectos adversos importantes y describir medidas para evitarlos, reducirlos o compensarlos. Cuando sea relevante, también debe incluir una descripción de los procesos industriales de producción que se llevarán a cabo.

Sin que esto limite el papel del arquitecto en la elaboración de la DIA, su función incluirá el conocimiento de cuándo se necesita una DIA, la información a los asesores especializados y la evaluación del impacto visual, las emisiones de ruido y los flujos de tráfico.

Rendimiento medioambiental total del edificio

En los últimos años se han desarrollado métodos para evaluar el rendimiento ecológico global del proyecto de edificios en varios países miembros. Estos métodos otorgan puntos al proyecto bajo muchos criterios diferentes: por el emplazamiento, el cerramiento, las instalaciones y los componentes. Dos de ellos son:

- **Criterios de construcción ecológica para Viikki**, desarrollado por el Ayuntamiento de Helsinki para el barrio ecológico de Viikki,³ y
- **BREEAM 98 para oficinas: un método de evaluación medioambiental para edificios de oficinas**, desarrollado desde 1990 por el Building Research Establishment en Reino Unido.⁴

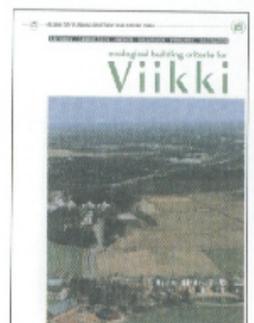
Criterios de construcción ecológica para Viikki

Introducción

El método Criterios de Construcción Ecológica para Viikki define niveles ecológicos mínimos para construir y evaluar el rendimiento ecológico de un proyecto. Estos niveles mínimos se determinan para que puedan aplicarse con un coste adicional razonable. Cumpliendo los criterios también se consigue ahorrar durante el uso del edificio.

Los criterios examinan el proyecto desde distintas perspectivas. La contaminación es el factor más importante, y se reduce construyendo de forma más eficiente y utilizando materiales duraderos y reciclables. Los recursos naturales se conservan construyendo mejor y menos, y utilizando materiales renovables y reciclables. La salud se mejora creando un microclima exterior favorable, así como condiciones interiores saludables. La diversidad natural se realza dejando la mayor parte posible del terreno sin construir y permitiendo el acceso de la población animal a la zona. Si está previsto que la zona se destine posteriormente a la agricultura, debe preverse la futura demolición del edificio.

Agradecemos al Ayuntamiento de Helsinki que nos haya permitido incluir fragmentos de *Ecological building criteria for Viikki*. El material presentado en este libro es un resumen de los criterios utilizados, para que el lector pueda apreciar el alcance



de los temas que abarca este método de auditoría medioambiental. El material completo puede solicitarse a: Helsinki City Planning Dept. Publications, Kansakoulukatu 3, FIN-00100 Helsinki, Finlandia; Tel: +358 9 16914460; Fax: +358 9 16914484; elina.wiberg@ksv.hel.fi

Contaminación

La carga de emisiones al aire o al suelo y la cantidad de residuos no reciclables generados por el edificio no deben sobrepasar los valores aprobados. Estos valores se calculan por m² bruto de la superficie del suelo. Los contaminantes atmosféricos, como los óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, son emitidos principalmente como resultado del consumo de energía. Las cantidades de todas estas emisiones muestran una correlación con el consumo de energía; por este motivo, sólo se establecen límites para el CO₂, cuyas emisiones, establecidas para el edificio de referencia durante un periodo de 50 años son 400 kg/m², tienen en cuenta la producción de los materiales de construcción, 50 años de funcionamiento y las emisiones causadas por el mantenimiento del edificio. Las emisiones del emplazamiento quedan fuera del alcance del análisis.

La cantidad de agua residual se calcula a través del consumo durante la ocupación del edificio. Normalmente, existe una correlación directa entre el agua que entra y el agua residual. Los sistemas de recirculación y purificación reducen ambas en el mismo grado. La correlación no es tan directa, por ejemplo, si el agua de lluvia se utiliza directamente como agua doméstica sin recirculación. El consumo del edificio de referencia es de 160 l/habitante/día. Los sistemas de reducción del consumo deben incluirse en los planos de las instalaciones sanitarias y la reducción debe medirse durante el período de seguimiento a través de contadores remotos, específicos para cada vivienda, que controlan el agua caliente y fría sin recirculación. El manual de mantenimiento que debe tener cada edificio explica el uso correcto de los dispositivos de ahorro de agua.

Los residuos de construcción se miden en kg/m² de la superficie bruta del suelo, pero no incluyen la tierra sobrante. La cifra calculada para el edificio de referencia es de 20 kg/m². La cantidad puede reducirse, por ejemplo, clasificando los residuos de construcción, utilizando materiales precortados y empleando equipamiento reutilizable. Las reducciones en las cantidades de residuos se indicarán en las especificaciones del edificio.

La carga de residuos sólidos durante la ocupación del edificio se mide a través de la cantidad de residuos mixtos. La cantidad establecida para el edificio de referencia es de 200 kg/habitante/año. Las reducciones (posiblemente a través de la clasificación de residuos, con un espacio adecuado asignado) se muestran en el plan de gestión de residuos y se controlan durante el período de seguimiento.

La contaminación puede reducirse seleccionando preferentemente aquellos materiales que cumplan los requisitos de la etiqueta ecológica de la Unión Europea o de los países nórdicos. La utilización de estos materiales se incluirá en las especificaciones.

Recursos naturales

Es posible conseguir un consumo más moderado de recursos naturales construyendo menos, de forma duradera y reciclable, y utilizando recursos naturales renovables. La reducción del consumo de energía ahorra combustibles fósiles, recursos no renovables.

El consumo de combustibles fósiles se mide por medio de la energía primaria total utilizada: la calefacción (incluyendo agua caliente) y la energía eléctrica consumidas durante la ocupación; la energía incorporada de los materiales, y la energía necesaria para el mantenimiento del edificio durante 50 años. Los cálculos tienen en cuenta la energía perdida en los procesos de producción. La cantidad de energía destinada a calefacción en el edificio de referencia es de 160 kWh/m², calculada utilizando el programa informático Motiwatti. El seguimiento se hace mediante contadores remotos específicos para cada vivienda. El consumo eléctrico total de referencia es de 45 kWh/m² por año. Si el consumo de energía eléctrica conlleva reducciones significativas en el consumo total de energía, pueden no aplicarse los requisitos mínimos.

El consumo de energía primaria del edificio de referencia es de 37 GJ/m² en 50 años. El consumo de energía primaria se mide utilizando el programa BEE.

Flexibilidad de la planta, uso de los espacios comunes y multifuncionalidad de los espacios

El aumento de la densidad de las zonas residenciales puede ejercer un impacto importante en el uso de los recursos naturales. Una distribución en planta satisfactoria para un número reducido de residentes, pero que permita el crecimiento de la familia sin cambios significativos, puede ser útil para distintas situaciones, permitiendo el ahorro de recursos naturales y una mayor densidad si fuera necesario. Si se potencia el uso de espacios compartidos, ciertas funciones, como lavar y secar la ropa o darse una sauna, pueden dejar de formar parte de los pisos individuales. Los espacios multiusos permiten que las zonas de trabajo y de servicios estén más cerca de las viviendas y se reduzca la necesidad de transporte. Si se solicita, el grupo de cooperación local realiza esta evaluación.

Salud

El clima interior debe ser cómodo y saludable. Los objetivos en cuanto al clima interior, las obras y los acabados se establecen según la Clasificación de Clima Interior, Construcción y Acabados 95, elaborada por la Sociedad Finlandesa para el Clima y la Calidad Interiores. El cumplimiento de los criterios se muestra en las especificaciones.

La prevención de los riesgos de humedad se indica en los documentos de diseño. El Departamento de Regulación de la Construcción de Helsinki evalúa los riesgos de humedad si se solicita.

Para alcanzar niveles aceptables de aislamiento acústico, se recomienda respetar las normas recientes (propuesta del Ministerio del Medio Ambiente, 1996). El cumplimiento de los criterios se muestra en las especificaciones.

El grupo de cooperación local evalúa la insolación y la distribución del emplazamiento, si se solicita.

La vida diaria de los habitantes puede hacerse más cómoda si se aumenta la diversidad de las viviendas y se crean planos de planta alternativos.

Biodiversidad natural

La vegetación natural del emplazamiento y las zonas circundantes determina la selección de la vegetación. Las soluciones que incorporan una amplia gama de especies e incluyen variedades domésticas crean una diversidad natural duradera. Los microorganismos y la flora deberían poder intercambiar genes con el entorno natural mediante corredores naturales. También debería ser posible que ciertos animales (conejos, ardillas, pájaros, etc.) viviesen en la zona. Debería aprovecharse la mayor cantidad posible de agua de escorrentía limpia (no procedente de la superficie de las carreteras, por ejemplo) en el propio emplazamiento, sin drenaje.

La zona circundante se compone de campos reservados para el cultivo de una única especie. Dado que no es posible fomentar el desarrollo de la población de plantas existente, el sistema de puntos está adaptado a las condiciones específicas de Viikki. El grupo de cooperación local evalúa la vegetación y el tratamiento de las aguas de escorrentía si se solicita.

Producción de alimentos

La solución permite continuar produciendo alimentos, aunque se necesita utilizar compost y agua de lluvia. El emplazamiento debería poder dedicarse de nuevo a la agricultura en una fase posterior.

VIKKI: El método de evaluación Pimwag

Contaminación (10)

Tipo	Puntos disponibles	Desviación de la referencia	Máx.	Puntuación	(x10/10=) PIMWAG
CO ₂	mínimo	3.200 kg/m ² , 50 años (- 20 %)			
	1	2.700 kg/m ² , 50 años (- 33 %)			
	2	2.200 kg/m ² , 50 años (- 45 %)	2		
Agua residual	mínimo	125 l/habitantes/día (- 22 %)			
	1	105 l/habitantes/día (- 34 %)			
	2	85 l/habitantes/día (- 47 %)	2		
Residuos de obra	mínimo	18 kg/m ² , 50 años (- 10 %)			
	1	15 kg/m ² , 50 años (- 25 %)			
	2	10 kg/m ² , 50 años (- 50 %)	2		
Residuos de los residentes	mínimo	160 kg/vivenda, año (- 20 %)			
	1	140 kg/vivenda, año (- 30 %)			
	2	120 kg/vivenda, año (- 40 %)	2		
Etiquetas ecológicas	mínimo	Sin requisitos			
	1	Revestimientos del suelo, y colas o pinturas interiores y lacas cumplen los criterios			
	2	Revestimientos del suelo, y colas y pinturas interiores y lacas cumplen los criterios	2		

Recursos naturales (8)

Tipo	Puntos disponibles	Desviación de la referencia	Máx.	Puntuación	(x8/8=) PIMWAG
Energía para calefacción	mínimo	105 kWh/m ² por año (- 34 %)			
	1	85 kWh/m ² por año (- 47 %)			
	2	65 kWh/m ² por año (- 59 %)	2		
Energía eléctrica	mínimo	45 kWh/m ² por año + posib. de ajuste local (- 0 %)			
	1	40 kWh/m ² por año (-11 %)			
	2	35 kWh/m ² por año (- 22 %)	2		
Energía primaria	mínimo	30 GJ/m ² , 50 años (- 19 %)			
	1	25 GJ/m ² , 50 años (- 32 %)			
	2	20 GJ/m ² , 50 años (- 46 %)	2		
Flexibilidad/ uso común	mínimo	Solución convencional			
	1	15 % de funciones flexibles o domésticas concentradas en espacios comunes			
	2	15 % de funciones flexibles o domésticas concentradas en espacios comunes y espacios multiusos diseñados para los edificios	2		

Salud (6)

Tipo	Puntos disponibles	Desviación de la referencia	Máx.	Puntuación	(x6/9=) PIMWAG
Clima interior	mínimo	Interior SI, Clase 2 Pureza PL, Clase 1 Pureza de los acabados ML, Clase2			
	2	Clima interior SI, Clase 1 Pureza de los acabados ML, Clase 1	2		
Riesgos de humedad	mínimo 2	Solución convencional adecuada Riesgos de humedad bien controlados	2		
Ruido	mínimo 1	Sin requisitos adicionales Nuevas normas (en preparación)			
	2	Aislamiento sobrepasa claramente las normas	2		
Protección del viento, impacto solar	mínimo 1	Solución adecuada Solución excelente	1		
Alternativas	mínimo 1	Solución convencional 15 % de los pisos con alternativa			
	2	30 % de los pisos con alternativa	2		

Biodiversidad (4)

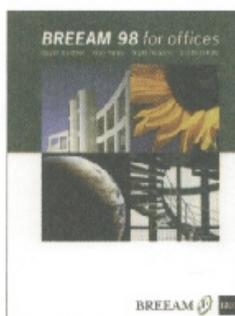
Tipo	Puntos disponibles	Desviación de la referencia	Máx.	Puntuación	(x4/4=) PIMWAG
Plantas	mínimo	Plantas basadas en vegetación identificada			
	1	Vegetación caracterizada por abundancia de especies y múltiples capas.			
	2	El paisajismo ha creado nuevos tipos de vegetación que aumentan la diversidad natural.	2		
Aguas de escorrentía	mínimo 1	Solución convencional Sólo agua del drenaje de los cimientos del edificio			
	2	Agua de lluvia utilizada para crear un ecosistema enriquecido	2		

Producción de alimentos (3)

Tipo	Puntos disponibles	Desviación de la referencia	Máx.	Puntuación	(x2/3=) PIMWAG
Plantas	mínimo 1	Solución convencional 1/3 de los arbustos y árboles plantados son útiles			
	2	Los residentes tienen la oportunidad de cultivar terreno	2		
Capa superficial del suelo	mínimo 1	Utilizada en la zona de Viikki Utilizada en el emplazamiento	1 1		

TOTAL:

Agradecemos al Building Research Establishment que nos haya permitido incluir fragmentos de BREEAM 98 for offices: assessment prediction checklist. El material presentado en este libro es un resumen de los criterios utilizados, para que el lector pueda apreciar el alcance de los temas que abarca este método de auditoría medioambiental. La lista completa, así como otro material relacionado y la publicación *The green guide to specification* del BRE pueden solicitarse a: Construction Research Communications Ltd., 151 Rosebery Avenue, Londres EC1R 4GB, Reino Unido; Tel: +44.171.505 6622; Fax: +44.171.505 6606; crc@constructemap.co.uk.



BREEAM: Método de Evaluación Ambiental del Building Research Establishment

Introducción

El Método de Evaluación Ambiental del Building Research Establishment (Building Research Establishment) se utilizó por primera vez en 1990. El método de evaluación actual, que puede aplicarse a edificios de oficinas nuevos y existentes, se compone de tres partes: núcleo, proyecto y adquisición, y gestión y funcionamiento. Los principales objetivos de la evaluación son:

- otorgar una distinción a aquellos edificios en el mercado que causen un impacto medioambiental reducido;
- promover las buenas prácticas medioambientales en el proyecto, funcionamiento, gestión y mantenimiento de los edificios;
- establecer criterios y estándares que vayan más allá de los requeridos por la ley y las normativas;
- concienciar a propietarios, habitantes, proyectistas y técnicos de los beneficios de construir con un bajo impacto medioambiental,

Paso 1: Completar la lista anotando el número de puntos en la casilla de la columna correspondiente. Las zonas sombreadas indican que ese aspecto no se evalúa en esa columna.

Paso 2: Sumar el número total de puntos en la casilla **Puntuación del Rendimiento del Edificio (PRE)** y transferirlo a la casilla A en la columna **Proyecto y adquisición** o en la columna **Gestión y funcionamiento**, según corresponda. Transferirlo también a la casilla C, más abajo.

Paso 3: Sumar el número total de puntos conseguidos en la columna que se está evaluando (incluyendo la PRE transferida anteriormente) y anotarlo en la casilla B. Transferir esta puntuación también a la casilla C, más abajo.

Paso 4: Calcular la PRE en la casilla C utilizando la escala que se proporciona. El Índice de Rendimiento Medioambiental se mide en una escala del 1 al 10.

Paso 5: Utilizar la casilla D para predecir la clasificación BREEAM, comparando el número de puntos alcanzados con el número mínimo de puntos requeridos en la matriz de clasificación.

Breeam 98 para oficinas: lista de predicción de la evaluación

Gestión

	Puntos	Rendimiento del edificio	Evaluación, proyecto y adquisición	Evaluación, gestión y funcionamiento
Compromiso del cliente de que intentará el funcionamiento eficiente de todas las instalaciones	30			
Política medioambiental de la empresa, que incluya alcance, plan de acción, responsabilidades y personas designadas, objetivos estratégicos y a corto plazo, revisión anual y compromiso de informar sobre resultados de revisiones y rendimiento	30			
Política de compra medioambiental verificable	30			
Sistema de gestión medioambiental verificable	30			
Manuales de funcionamiento del edificio disponibles	30			

Salud y bienestar

La situación de las torres de refrigeración permite un fácil acceso para limpieza/mantenimiento, o no existen torres de refrigeración	6			
Medidas tomadas para minimizar el riesgo de aparición de <i>Legionella</i>	6			
Al menos el 30 % de las ventanas son practicables	6			
Sin humidificación por vapor	6			
Tomas de entrada/salida de aire colocadas a un mínimo de 10 m de distancia entre sí para minimizar recirculación y evitar fuentes importantes de contaminación exterior	6			
Los sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica introducen un mínimo del 30 % de aire puro, o se proporcionan aberturas de ventilación	6			
Al menos el 80 % del área para alquiler neta recibe iluminación natural adecuada	6			
Persianas controlables para evitar deslumbramiento	6			
Balastos de alta frecuencia instalados en las luminarias generales	6			

Breeam 98 para oficinas: lista de predicción de la evaluación

Salud y bienestar

	Puntos	Rendimiento del edificio	Evaluación, proyecto y adquisición	Evaluación, gestión y funcionamiento
La iluminación cumple las especificaciones acerca de niveles recomendados del British Council for Offices	6			
Controles de iluminación relacionados con espacios de circulación e iluminación natural y zonificados para proporcionar controles separados para grupos	6			
Todos los espacios de trabajo tienen vistas exteriores	6			
Controles locales de temperatura en zonas de oficinas	6			
Torres/sistemas de refrigeración cumplen HSG70 y TM13, o no existen torres de refrigeración	6			
Evaluaciones de confort térmico realizadas en la fase de diseño y utilizadas para decidir instalaciones adecuadas	6			
Niveles de ruido ambiente inferiores a: <ul style="list-style-type: none"> • 40 dB LaeqT en oficinas pequeñas • 45 dB LaeqT en oficinas grandes 	6			
Política para implementar planes de mantenimiento: calefacción/refrigeración; ventilación/humidificación; iluminación; agua caliente doméstica	6			
Estudios de seguridad del suministro de agua caliente doméstica y medidas adecuadas para minimizar riesgos. Si el edificio tiene menos de tres años, diseñar según TM13	6			
Prohibición de fumar	6			
Planes de mantenimiento que incluyen limpieza a fondo de alfombras y textiles	6			
Recoger y archivar opiniones de los ocupantes	6			
Objetivos para mejorar la satisfacción de los ocupantes	6			

Energía

Se predicen las emisiones totales netas de CO ₂ . Se otorgan puntos según la escala siguiente: Emisiones totales netas (<i>seleccionar una</i>):				
• Emisiones de CO ₂ : 160-140 kg/m ² /año	8			
• Emisiones de CO ₂ : 139-120 kg/m ² /año	16			
• Emisiones de CO ₂ : 119-100 kg/m ² /año	24			
• Emisiones de CO ₂ : 99-90 kg/m ² /año	32			
• Emisiones de CO ₂ : 89-80 kg/m ² /año	40			
• Emisiones de CO ₂ : 79-70 kg/m ² /año	48			
• Emisiones de CO ₂ : 69-60 kg/m ² /año	56			
• Emisiones de CO ₂ : 59-50 kg/m ² /año	64			
• Emisiones de CO ₂ : 49-40 kg/m ² /año	72			
• Emisiones de CO ₂ : 39-30 kg/m ² /año	80			
• Emisiones de CO ₂ : 29-20 kg/m ² /año	88			
• Emisiones de CO ₂ : 19-10 kg/m ² /año	96			
• Emisiones de CO ₂ : 9-5 kg/m ² /año	104			
• Emisiones de CO ₂ : 4-0 kg/m ² /año	112			
• Emisiones de CO ₂ : < 0 kg/m ² /año	120			
Contadores individualizados para usos significativos de energía	8			
Contadores privados en áreas de alquiler	8			
Política energética aprobada por la junta directiva y conocida por los empleados	8			
Auditoría energética por lo menos cada 3 años	8			
Difusión trimestral de información sobre consumo y ahorro de energía	8			
Seguimiento de energía/CO ₂ utilizando historial de consumo	8			
Establecimiento de objetivos para energía/CO ₂ utilizando historial de consumo	8			
Pruebas que muestren acercamiento a los objetivos de energía/CO ₂ a lo largo del tiempo	8			
Cifras de consumo real inferiores a las buenas prácticas establecidas	8			
Planes de mantenimiento que incluyan limpiezas regulares de las instalaciones de iluminación y sustitución gradual de luminarias	8			

Breem 98 para oficinas: lista de predicción de la evaluación

Transporte

	Puntos	Rendimiento del edificio	Evaluación, proyecto y adquisición	Evaluación, gestión y funcionamiento
Situación RURAL con conexiones de transporte público típicas	0			
Situación en las AFUERAS DE UN PUEBLO con conexiones de transporte público típicas	16			
PUEBLO/CIUDAD PEQUEÑA con conexiones de transporte público típicas	24			
PUEBLO PEQUEÑO con conexiones de transporte público típicas	32			
CONURBACIÓN URBANA con conexiones de transporte público típicas	48			
NODO DE TRANSPORTE NACIONAL con conexiones de transporte público típicas	64			
Buenas conexiones con el transporte público y restricción de aparcamiento de vehículos en al menos un 20 % del estándar LA	16			
Instalaciones para ciclistas: cobertizos, duchas y vestuarios	8			
Medidas para promover el uso del transporte público desde y hasta el emplazamiento (bonos, préstamos, etc.) y para evitar el uso del automóvil	8			
Medidas para promover el uso del transporte público para desplazamientos de trabajo	8			
Buen acceso al transporte público a 500 m; conexión con el centro urbano local cada 15 min	8			
Buen acceso al transporte público a 500 m; conexión con un nodo de transporte importante cada 15 min	8			

Consumo de agua

Consumo de agua previsto: 20-10 m ³ por persona por año	6			
Consumo de agua previsto: 9-5 m ³ por persona por año	12			
Consumo de agua previsto: < 5 m ³ por persona por año	18			
Contador de agua instalado en todos los suministros	6			
Sistema de detección de pérdidas instalado	6			
Detectores de proximidad instalados	6			
Procedimientos de mantenimiento que incluyen todos los sistemas, grifería, accesorios sanitarios y principales equipos consumidores de agua	6			
Seguimiento del consumo como mínimo cada tres meses	6			

Materiales

Sin amianto, o se ha realizado un estudio y éste se ha eliminado, controlado e identificado.	8			
Espacio específico para almacenar materiales en el edificio o en el emplazamiento, dentro de contenedores, con fácil acceso para su recogida	8			
Elementos principales del edificio evaluados según las especificaciones contenidas en <i>The green guide to specification</i> , de acuerdo con lo siguiente:				
• Al menos el 80% de las especificaciones para los forjados de los pisos superiores (según área) alcanzan un nivel general A	8			
• Al menos el 80% de las especificaciones para los muros exteriores (según área) alcanzan un nivel general A	8			
• Al menos el 80% de las especificaciones para la cubierta (según área) alcanzan un nivel general A	8			
• Al menos el 80% de las especificaciones para las ventanas (según área) alcanzan un nivel general A	8			
La madera para los elementos principales proviene de fuentes gestionadas de forma sostenible	8			
Los paneles de madera especificados utilizan sólo madera que cumple el requisito anterior	8			
Reutilización de > 50% de las fachadas existentes	8			
Reutilización de > 80% de la estructura principal del edificio según el volumen del edificio	8			
Utilización de áridos o mampostería machacada en la estructura, forjados, carreteras, etc.	8			
Política y procedimientos para recoger y reciclar consumibles	8			
Información sobre la presencia de materiales peligrosos disponible para trabajadores y contratistas	8			

Breeam 98 para oficinas: lista de predicción de la evaluación		Puntos	Rendimiento del edificio	Evaluación, proyecto y adquisición	Evaluación, gestión y funcionamiento
Uso del suelo					
El emplazamiento ha sido edificado o utilizado para fines industriales en los últimos 50 años		16			
Si el emplazamiento está "contaminado", se han tomado las medidas necesarias para limpiarlo o contener la contaminación antes de la construcción		16			
Ecología					
El terreno se define como de poco valor ecológico		16			
• El cambio en el valor ecológico del emplazamiento es menor y negativo		16			
• El cambio en el valor ecológico del emplazamiento es neutro		32			
• El cambio en el valor ecológico del emplazamiento es menor y positivo		48			
• El cambio en el valor ecológico del emplazamiento es importante y positivo		64			
Buscar y aplicar el asesoramiento de asociaciones de protección y conservación de la flora y la fauna (AWTC) o de miembros de la AIE		8			
Mantenimiento de árboles de más de 10 cm de diámetro, setos, lagos, arroyos etc. y protección contra daños durante la construcción		8			
Contaminación					
El potencial de destrucción de la capa de ozono del tipo de refrigerante es cero, o no se utiliza refrigerante		14			
Existen sistemas de detección de fugas de refrigerante en piezas o equipamiento de alto riesgo, o no se utiliza refrigerante		14			
Bombeado automático del refrigerante a serpentín o tanques de almacenamiento con valores aislantes, o no se utiliza refrigerante		14			
Ausencia de sistemas de protección contra incendios basados en halón		14			
Los quemadores de las calderas producen los siguientes niveles máximos de NO:					
• Las emisiones son 200–100 mg/kWh de la energía para calefacción generada		14			
• Las emisiones son 99–70 mg/kWh de la energía para calefacción generada		28			
• Las emisiones son 69–40 mg/kWh de la energía para calefacción generada		42			
• Las emisiones son < 40 mg/kWh de la energía para calefacción generada		56			
El acondicionamiento del emplazamiento reduce la escorrentía hacia la red de saneamiento municipal o las corrientes naturales en un 50 %, y existe tratamiento in situ.		14			
Los aislantes especificados evitan sustancias que destruyan la capa de ozono		14			
Política para implementar planes de mantenimiento para los sistemas de calderas y quemadores, incluyendo revisiones regulares de controles y filtros y limpieza.		14			

Sumar puntos alcanzados en cada columna

--	--	--

A

Puntuación del Rendimiento del Edificio (PRE)

Transferir el total de la columna Rendimiento del Edificio a esta casilla. Transferirlo también a la casilla C y calcular el Índice de Rendimiento del Edificio

--

B

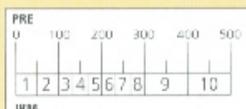
Puntuación total alcanzada (incluye PRE de casilla A)

Transferir esta puntuación a la casilla D y calcular la clasificación final utilizando la matriz dada (sólo Proyecto y obtención o Gestión y funcionamiento)

--

Puntuación del Rendimiento del Edificio (PRE) (casilla A)

Probable Índice de Rendimiento Medioambiental (IRM)



Puntuación final (casilla B)

Probable clasificación BREEAM

- Suficiente
- Bien
- Muy bien
- Excelente

Nº mínimo de puntos necesarios

Evaluación de Diseño y Obtención	Evaluación de Gestión y funcionamiento
200	160
300	280
380	400
490	520

C

D

Coste del ciclo de vida

Introducción

En este momento, muchos de los costes medioambientales de la construcción (como la emisión de gases invernadero, el consumo de recursos finitos como las maderas duras y los metales y la generación de residuos) no se reflejan ni en los costes iniciales de construcción ni en los costes continuados de mantenimiento del edificio. Poco a poco, los impuestos sobre el agua, los residuos y la energía están cambiando esta situación, de manera que los edificios verdes sean cada vez más atractivos desde el punto de vista económico. Para permitir que el cliente evalúe la posible amortización de la inversión inicial en medidas de ahorro de energía o conservación de otros recursos durante la vida útil del edificio, es necesario llevar a cabo un análisis del coste del ciclo de vida.

Coste del ciclo de vida

El objetivo es optimizar el valor de un edificio durante su vida útil, teniendo en cuenta todos sus costes, tanto directos como indirectos, lo que implica decidir cuál será su vida útil razonable. Sin embargo, con el mantenimiento debido, cualquier edificio puede durar casi indefinidamente, por lo que será más fácil asignar una fecha de sustitución a los distintos sistemas y componentes individuales. Por ejemplo, dependiendo de las especificaciones, los materiales de acabado para suelos pueden tener una vida útil hasta su sustitución de desde 10 años (suelos laminados poco costosos) hasta 30 años (entramado de madera dura). Cuando se añaden los costes anuales de funcionamiento y mantenimiento, el cálculo de la vida útil hasta el momento de la sustitución puede ayudar a establecer el coste del ciclo de vida. Para obtener una evaluación medioambiental completa también es necesario atribuir costes a factores medioambientales no considerados de otra forma, como la contaminación o la destrucción de recursos.

La publicación *The green guide to specification: an environmental profiling system for building materials and components*, elaborada por el Building Research Establishment del Reino Unido, establece periodos aproximados de sustitución para una amplia variedad de materiales y componentes de construcción, durante un ciclo de vida del edificio de 60 años, en el que se tienen en cuenta el mantenimiento y la rehabilitación.

Período de amortización y ciclo de vida hasta la sustitución

La forma más sencilla de calcular la rentabilidad de una inversión es determinar el periodo de amortización. El objetivo final es identificar el valor de un componente o de un proyecto de construcción durante su vida útil, para permitir una selección basada en el coste del ciclo de vida. Para evaluar una inversión comercial, se actualiza el valor de los ingresos y gastos futuros a una tasa de descuento adecuada. La tasa de descuento que se utiliza es la tasa de rendimiento real que se requiere de la inversión. Para los consumidores domésticos, esta tasa puede ser la diferencia entre el tipo de interés (después de deducir los impuestos) de los depósitos bancarios y la tasa de inflación. Las tasas varían según el momento y el país, pero con una tasa de inflación del 2 % y un tipo de interés del 5 % (después de deducir los impuestos), la tasa doméstica sería del 3 %. En el sector comercial normalmente se requiere una tasa de rendimiento superior.

Valor actualizado

En el caso de proyectos sostenibles o de bajo consumo energético, es fundamental considerar el coste del ciclo de vida desde el principio. La diferencia entre el coste de construcción y el coste durante el uso es muy importante para el edificio. Por ejemplo, el diseño de una ventana puede tener consecuencias sobre la calefacción, la refrigeración, la ventilación, la iluminación natural, las emisiones de contaminantes, el tamaño de las instalaciones y los costes de mantenimiento.

También es necesario considerar el periodo de amortización. Los periodos que se manejan en distintas organizaciones de los países miembros de la Unión Europea varían considerablemente, desde dos o tres años hasta diez años o más. Algo tan simple como esto tiene consecuencias claras en la evaluación de las estrategias de energía solar. Los clientes con visión de futuro, sobre todo los que serán también residentes, pueden estar dispuestos a aceptar periodos de amortización más largos.

Tabla 5.2 Consideraciones relacionadas con el coste del proyecto:

Costes directos e indirectos: iniciales, ciclo de vida y medioambientales

Iniciales:

Construcción: suministro e instalación Proyecto

Ciclo de vida:

Mantenimiento diario, semanal y anual, incluyendo limpieza, reparaciones y redecoración

Sustitución, incluyendo costes de retirada, eliminación de residuos y sustitución

Coste de funcionamiento de los componentes que consumen energía

Medioambientales:

Destrucción de recursos y contaminación medioambiental

Extracción, fabricación, transporte, uso y eliminación: efectos sobre aire, suelo y agua

Calidad ambiental interior

La tabla 5.2 muestra los distintos tipos de costes que es necesario considerar en la evaluación del coste del ciclo de vida y del coste medioambiental. Aquí no se tiene en cuenta la calidad de los componentes. Por ejemplo, durante 50 años, el coste de un suelo de baldosas de PVC puede ser igual al coste de un suelo de madera dura de alta calidad, pero el arquitecto puede atribuirle un valor extra al placer visual y olfativo que proporciona el componente de alta calidad.

Comparación del coste inicial y el coste del ciclo de vida: ejemplo detallado

Comparación entre una lámpara incandescente y una lámpara fluorescente compacta • Tasa de descuento: 3 % anual • No se incluyen los costes siguientes: • Coste medioambiental de las emisiones adicionales de CO₂ y SO₂; se calcula que serían 750 kg y 8 kg durante la vida útil • Mano de obra necesaria para sustituir las lámparas • Contribución al nivel de calor (ya sea útil o en exceso) de la lámpara incandescente.

	Lámpara incandescente de 100 W	Lámpara fluorescente compacta de 23 W
Coste inicial en €		
Suministro e instalación	1 €	7 €
Coste de funcionamiento:		
1.000 h/año, 0,1 €/KWh	10 €/año	2,3 €/año
Vida útil	1.000 horas	8.000 horas
Comparación del ciclo de vida útil durante 8 años:		
Coste de la inversión inicial	1 €	7 €
Coste de la sustitución		
tasa de descuento: 3 %/año		
Factores:		
Año 1	0,971	
Año 2	0,943	
Año 3	0,915	
Año 4	0,888	
Año 5	0,862	
Año 6	0,837	
Año 7	0,813	
Total	6,29 x 1 €	
Coste de funcionamiento durante 8 años		
Años 1-7, (arriba)	6,229	
Año 8	0,789	
Total	7,018	
	x 10 € = 70,18	x 2,3 € = 16,141
Coste del ciclo de vida total durante 8 años	77,409 €	23,141 €

Cálculo del periodo de amortización de la inversión

Inversión inicial adicional: 6 €

Rendimiento de la inversión durante 8 años, descontado: 77-23 € = 54 € o 6,75 €/año

Periodo de amortización: 11 meses

Notas:

¹ Baker, N.; Steemers, K., *The LT method version 2.0: an energy design tool for non-domestic buildings*, Cambridge Architectural Research, Cambridge, 1995.

² *Mid-career education: solar energy in European office buildings: building economics*, Energy Research Group, University College Dublin, para el Programa Alternar de la Comisión Europea, Dirección General XVII de Energía, 1997. www.erg.ucd.ie/mid-career/mid-career.html

³ VV AA, *Ecological building criteria for Viikki*. Helsinki City Planning Department Publications, 1998.6, 25 de mayo de 1997.

⁴ *BREEAM 98 for offices: an environmental assessment method for office buildings*, Building Research Establishment, Watford, 1998.

⁵ *The green guide to specification: an environmental profiling system for building materials and components*, Building Research Establishment, Watford, 1998.

Bibliografía

General

- AA VV, *A client's guide to greener construction*, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 1995.
- AA VV, *A primer on sustainable building*, Rocky Mountain Institute Green Development Services, Snowmass, 1995.
- Agenda Local 21 y Declaración de Río, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED), Río de Janeiro, 1992.
- Baker, N., *Energy and environment in non-domestic buildings: a technical design guide*, Cambridge Architectural Research, Cambridge, 1995.
- *Best practice guides*, BRECSU Energy Technology Support Unit, Garston, 1993.
- *Declaration of Interdependence for a Sustainable Future*, Congreso de la UIA/AIA, Chicago, 18-21 de junio de 1993.
- Gallo, C.; Sala, M.; Sayigh, A. M. M., (eds.), *Architecture: comfort and energy*, Pergamon, Amsterdam, 1998.
- Givoni, Baruch, *Man, climate and architecture*, Applied Science Publishers, Londres, 1982.
- Goulding, J. R.; Lewis, J. O.; Steemers, T. C., (eds.), *Energy conscious design: a primer for architects*, B. T. Batsford Ltd. para la DG XII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Londres, 1992.
- *Green paper for a European Union energy policy*, Office for Official Publication of the Commission of the European Communities, Luxemburgo, 1995.
- Hawkes, D., *The environmental tradition studies in the architecture of environment*, E & F N Spon, Londres, 1996.
- *International environmental yearbook*, SPA, Madrid, 1993.
- Lewis, J. O.; Goulding, J. R., (eds.), *European directory of sustainable and energy efficient building* (publicado anualmente desde 1993), James & James (Science Publishers), Londres.
- Littler, J.; Thomas, R., *Design with energy: the conservation and use of energy in buildings*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.
- Markus, T. A; Morris, T. N., *Buildings, climate and energy*, Pitman, Londres, 1980.
- *Nuestro futuro común* (informe Bruntland), Comisión Mundial de ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Bruntland, 1987.
- O'Coifagh, E.; Olley, J.; Lewis, J. O., *The climatic dwelling*, Energy Research Group/UCD/James & James (Science Publishers), Londres, 1996.
- Olgyay, Victor, *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* [1973], Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2002².
- Roaf, S.; Hancock, M., (eds.), *Energy efficient building: a design guide*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992.
- Thomas, R., (ed.), *Environmental design: an introduction for architects and engineers*, E & FN Spon, Londres, 1996.
- Woolley, Tom; Kimmins, Sam, et al., *Green building handbook*, Thomson Professional, Londres, 1997.

Tipologías de edificios

- *BREEAM 98 for offices*, Building Research Establishment, Watford, 1998.
- *Case study: offices (case studies for energy-efficient non-domestic buildings)*, Cambridge Architectural Research, Cambridge, 1994.
- *Design guide: colleges (design guides for energy-efficient non-domestic buildings)*, Cambridge Architectural Research, Cambridge, 1994.
- *Design guide: hospitals (design guides for energy-efficient non-domestic buildings)*, Cambridge Architectural Research, Cambridge, 1994.
- *Design guide: schools (design guides for energy-efficient non-domestic buildings)*, Cambridge Architectural Research, Cambridge, 1994.
- *Designing healthy energy efficient office buildings*, folleto elaborado por el Istituto Cooperativo per l'Innovazione (ICIE) en el marco del programa Thermie para la Comisión Europea. Roma, 1995.
- *Energy efficient renovation of houses: a design guide*, NBA Tectonics para el Ministerio del Medio Ambiente, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1986.
- *Energy retrofitting of office buildings* (3 vols.), CIENE/Santamouris, Atenas, 1995.
- Hestnes, A. G.; Hastings, S. R.; Saxhof, B., (eds.), *Solar energy houses: strategies, technologies, examples*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.
- Laing, A.; Duffy, F.; Jauntzenz, D.; Willis, S., *New environments for working* (BR 341), Building Research Establishment, Watford, 1998.

- *Solar architecture resource material: educational buildings*, Architectural Association, Londres, 1994.
- *Solar architecture resource material: residential buildings*, Energy Research Group, UCD, Dublin/James & James (Science Publishers), Londres, 1995.
- *Solar architecture resource material: tertiary buildings*, Université Catholique de Louvain/Architecture et Climat, Lovaina la Nueva, 1994.
- *The green office manual: a guide to responsible practice*, Wastebusters/Earthscan Publications, Londres, 1997.
- *Unlocking the power of our cities: solar power and commercial buildings*, Greenpeace, Londres, 1995.
- Yannas, Simos, *Solar energy and housing design: principles, objectives, guidelines (vol. 2: examples)*, AA Publications, Londres, 1994.

Clima

- Palz, Wolfgang; Greif, Jürgen, (eds.), *European solar radiation atlas: solar radiation on horizontal and inclined surfaces*. Berlín: Springer Verlag, Berlín, 1996.
- Palz, Wolfgang, (ed.), *European wind atlas*, 1989. Departamento de Meteorología y Energía Eólica, Laboratorio Nacional Risø, P.O. Box 49, DK-4000, Roskilde, Dinamarca, para la Comisión de las Comunidades Europeas.
- *Tables of temperature, relative humidity and precipitation for the world: part 3, Europe & the Atlantic Ocean, North of 35° N.*, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1975.

Cerramientos

- *Applications manual: window design*, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Londres, 1987.
- *Heat losses through ground floors (BRE 145)*, Building Research Establishment, Garston.
- Littlefair, P. J., *Designing with innovative daylighting (BRE 294)*, Building Research Establishment, Garston, 1996.
- *Thermal insulation: avoiding risks (BRE 143)*, Building Research Establishment, Garston, 1989.
- *Transparent insulation technology* (folleto), The Franklin Company/ETSU-OPET para la DG XVII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Harwell, 1993.
- *Windows: the key to low energy design*, Energy Comfort 2000, dossier Informativo 5, DG XVII de la Comisión de las Comunidades Europeas, 1988.

Salud

- Curwell, S.; March, C.; Venables, R., *Healthy construction: the Rosehaugh guide to the design, construction, use and management of buildings*, RIBA Publications, Londres, 1990.
- Levin, H., "Best sustainable indoor air quality practices in commercial buildings", en *Environmental building news*, 1993.
- Pearson, David, *El libro de la casa natural* [1989], Integral, Barcelona, 2000.
- Potter, I. N., *Technical note 4/88: sick building syndrome*, Building Services Research and Information Association (BSRIA), Bracknell, 1988.
- Ranson, R., *Healthy housing: a practical guide*, para la Oficina Regional Europea de la OMS, E & FN Spon, Londres, 1991.
- *Sick building syndrome: a practical guide* (informe 4), Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 1989.

Calefacción, ventilación, refrigeración e instalaciones

- Andersen, *Basic aspects of application of district heating* (folleto), CENTEC Energy Centre, para la DG XVII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Copenhague, 1992.
- *Application manual AM3: condensing boilers*, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), 1989.
- Givoni, Baruch, *Passive cooling of buildings: an overview*, Miami, 1980.
- *Guidelines for ventilation requirements in building*. (informe 4), Acción de Colaboración Europea: La Calidad del Aire Interior y su Impacto Sobre el Hombre, DG V de la Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 1992.
- Liddament, A., *A guide to energy efficient ventilation*, Air Infiltration and Ventilation Centre, 1996.
- Liveris, A., (ed.), *Natural and low energy cooling in buildings* (folleto), Centre for Renewable Energy Sources (CRES), para la Comisión de las Comunidades Europeas, Píkermi, 1994.
- Santamouris, M.; Asimikopolous, D., (eds.), *Passive cooling in buildings*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.

Iluminación

- AA VV, *Daylighting as a passive solar energy option* (BR 129), Building Research Establishment, Garston, 1985.
- Baker, N., "Light and shade: optimising daylighting design", en *European directory of sustainable and energy efficient building*, Comisión de las Comunidades Europeas/James & James, Londres, 1995.
- Baker, N., Fanchiotti, A.; Steemers, K., (eds.), *Daylighting in architecture: a European reference book*, para la Comisión de las Comunidades Europeas, James & James (Science Publishers), Londres, 1993.
- Bell, J.; Burt, W., *Designing buildings for daylight*, Building Research Establishment, Garston, 1995.
- *BS 8206: 1992 part 2: code of practice for daylighting*, British Standards Institute, Londres, 1992.
- *CIBSE code for interior lighting*, Chartered Institution of Building Services (CIBSE), Londres, 1984.
- *Energy efficient lighting in buildings*, Building Research Establishment, para la DG XVII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Garston, 1991.
- *Energy efficient lighting in schools*, 1992; *Energy efficient lighting in industrial buildings*, 1992; *Energy efficient lighting in buildings*, 1992; *Energy efficient lighting in offices*, 1993; *Energy efficient lighting practice*, 1994; BRECSU-OPE para la Comisión de las Comunidades Europeas, Garston.
- *Lighting guide LG7: lighting for offices*, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), 1993.
- Littlefair, P. J., *Average daylight factor, a simple basis for daylight design*, Building Research Establishment, Garston.
- McNicholl, A.; Lewis, J. O., (eds.), *Daylighting in buildings*, UCD-OPE para la Comisión de las Comunidades Europeas, Dublín, 1994.

Materiales y Residuos

- Anink, D.; Boonstra, C.; Mak, J., (eds.), *Handbook of sustainable building: an environmental preference method for the selection of materials for use in construction and refurbishment*, James & James (Science Publishers), Londres, 1996.
- *Construction and demolition wastes* (hoja informativa), World Resource Foundation, Tonbridge, 1995.
- *Environmental impact of materials: volume A; summary*, Construction Industry Research and Information Association (CSIRIA), Londres, 1995.
- Goumans, J. J. M.; Van der Sloot, H. A.; Aalbers, Th. G., (eds.), *Environmental aspects of construction with waste material*, Elsevier Science, Ámsterdam, 1994.
- Howard, N.; David, S.; Sinclair, M., *Green guide to specification: an environmental profiling system for building materials and components*, Building Research Establishment, Watford, 1998.
- Talbott, John, *Simply build green*, Findhorn Foundation, 1993.

Energía solar pasiva

- Colombo, R.; Landabaso, A.; Sevilla, A., (eds.), *Passive solar architecture for the Mediterranean area: design handbook*, Joint Research Centre para la DG XII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 1994.
- ECD Partnership, *Solar architecture in Europe*, Prism Press, Londres, 1991 (2 South Street, Bridport DT6 3NQ, Reino Unido).
- Fitzgerald, E.; Lewis, J. O., (eds.), *European solar architecture. Proceedings of a solar house contractors' meeting*, Energy Research Group, para la DG XII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Dublín, 1996.
- Foster, N.; Scheer, H., (eds.), *Solar energy in architecture and urban planning: proceedings of the conference on architecture*, H. S. Stephens and Associates, para la Comisión de las Comunidades Europeas, Bedford, 1993.
- Goulding J. R.; Lewis, J. O.; Steemers, T. C., (eds.), *Energy in architecture: the European passive solar handbook*, B.T. Batsford, para la DG XII de la Comisión de las Comunidades Europeas, Londres, 1992.
- Goulding, J. R.; Lewis, J. O.; Steemers, T. C., *Passive solar resource guide*, Energy Research Group, Dublín, 1994.
- *The passive solar energy book*, Franco Muzzio Editore, Padua, 1980.
- Santamouris, M.; Zold, A., *Fundamentals of passive solar heating*, Central Institution for Energy Efficiency in Education (CIENE), Atenas.

Fuentes de energía renovables

- Böttger, W. O. J.; Schoen, A. J. N., *Building with photovoltaics*, Ten Hagen & Stam, La Haya, 1995.
- Colombo, R.; Gilliaert D.; Landabaso, A., (eds.), *Life cycle cost analysis of solar heating and DHW systems in residential buildings*, Oficina de Publicaciones Oficiales de la Comisión de las Comunidades Europeas, 1991.
- Derrick, A.; Barlow, R. W., McNelis, B.; Gregory, J. A., (eds.), *Photovoltaics: a market overview*, James & James (Science Publishers), Londres, 1993.
- *Energy for the future: renewable sources of energy. Green paper for a community strategy*, Oficina de Publicaciones Oficiales de la Comisión de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 1996.
- Imamura, M.; Helm, P.; Palz, W., (eds.), *Photovoltaic system technology: a European handbook*, H. S. Stephens & Associates, Bedford, 1992.
- Sick, Friedrich, Erge, Thomas, *Photovoltaics in buildings: a design handbook for architects and engineers*, James and James (Science Publishers), Londres, 1996.

Emplazamiento y diseño urbano

- Alexander, Christopher, *A pattern language/Un lenguaje de patrones: ciudades, edificios, construcciones* [1977], Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1980.
- Barton, H.; Davis, G.; Guise, R., *Sustainable settlements: a guide for planners, designers and developers*, University of the West of England/The Local Government Management Board, Bristol, 1995.
- *Climate and site development* (BRE Digest 350, partes 1-3), Building Research Establishment, Garston, 1990.
- *Estate layout for passive solar housing design*, UK Department of Energy Contractors Report, referencia ETSU SI 126, Energy Technology Support Unit, Oxfordshire, 1990.
- Hough, Michael, *Naturaleza y ciudad. Planificación urbana y procesos ecológicos*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2004².
- Littlefair, P. J., *Site layout planning for daylight* (BR 209), Building Research Establishment, Garston, 1991.
- Littlefair, P. J., *Site layout planning for sunlight and solar gain* (documento informativo IP 4/92), Building Research Establishment, Garston, 1992.
- Lynch, Kevin, *Planificación del sitio*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1980.
- *Microclimate and the environmental performance of building*, Building Research Establishment Garston, 1998.
- Rocky Mountain Institute, *Green development integrating ecology and real estate*, Wiley, Nueva York, 1998.
- *Urban energy planning guide*, Energie-Cités, 1994.

Hace dos mil años, el arquitecto romano Vitruvio escribió el primer tratado sobre arquitectura que ofrecía principios y soluciones para los proyectos, constituyendo una suerte de manual de consulta que todavía es un referente en la formación de cualquier arquitecto europeo.

Al igual que aquél, este libro se ha configurado como un manual de referencia para todos aquellos arquitectos conscientes de la importancia de los problemas medioambientales, que desean aprender a proyectar edificios más sostenibles y que, salvo los aspectos señalados en la normativa vigente, todavía no han adquirido conocimientos específicos sobre la materia.

El libro se organiza en cinco secciones que estructuran recomendaciones sobre el proceso del proyecto, los temas que se deben tener en cuenta, las estrategias que se han de adoptar, los elementos que conforman un proyecto sostenible y los métodos y herramientas para la evaluación del impacto ambiental.