



DESECHOS



INNOVACIÓN



ENERGÍA



SALUD Y BIENESTAR



AGUA

SEGUNDA EDICIÓN
REVISADA Y AMPLIADA

ARQUITECTURA ECOLÓGICA

UN MANUAL ILUSTRADO

FRANCIS D. K. CHING
CON IAN M. SHAPIRO



USO DEL SUELO
Y ECOLOGÍA



TRANSPORTE



CONTAMINACIÓN



GESTIÓN



MATERIALES

Editorial GG, SL

Via Laietana 47, 3.º 2.ª, 08003 Barcelona, España. Tel. (+34) 933 228 161

www.editorialgg.com

ARQUITECTURA ECOLÓGICA
UN MANUAL ILUSTRADO

SEGUNDA EDICIÓN REVISADA Y AMPLIADA

FRANCIS D. K. CHING
CON IAN M. SHAPIRO

Título original: *Green Building Illustrated*, segunda edición publicada por John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (Nueva Jersey), 2020.

Edición a cargo de Moisés Puente
Diseño de la cubierta: RafamateoStudio

2ª edición ampliada, 2024

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

La Editorial no se pronuncia ni expresa ni implícitamente respecto a la exactitud de la información contenida en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

© de la traducción: Carlos Jiménez Romera y Marta Rojals
© John Wiley & Sons, Inc., 2014, 2021
Todos los derechos reservados. Traducción en lengua castellana según acuerdo con John Wiley & Sons, Inc. Hoboken (Nueva Jersey).
y para esta edición:
© Editorial GG, SL, Barcelona, 2015, 2024

Printed in Spain

ISBN: 978-84-252-3404-0

Depósito legal: B. 8940-2024

Impresión: Gráficas 94, Sant Quirze del Vallés (Barcelona)

ÍNDICE

Prólogo	vii
1 Introducción	1
2 Principios básicos.....	13
3 Normas y estándares.....	27
4 Contexto, emplazamiento y clima.....	43
5 Forma construida y biomímesis.....	69
6 Elementos externos al edificio.....	89
7 Envolverte exterior	101
8 Espacios sin acondicionar	133
9 Envolverte interior	147
10 Zonificación y compartimentación térmica.....	159
11 Iluminación, cargas de enchufes y otras instalaciones eléctricas.....	169
12 Agua caliente y fría.....	185
13 Calidad del ambiente interior.....	197
14 Climatización.....	217
15 Energías renovables.....	237
16 Proyectos de energía neta cero y ejemplos prácticos.....	245
17 Materiales	253
18 Ejecución y presupuesto	271
19 Control de calidad.....	281
20 Conclusiones.....	303
Glosario	309
Bibliografía	313
Índice	316

Nota

En este libro se utilizan las referencias a los puntos cardinales consideradas desde el hemisferio norte. Invitamos a los lectores del hemisferio sur a que establezcan las respectivas correspondencias.

PRÓLOGO

La arquitectura ecológica es un campo relativamente nuevo cuyo objetivo es reducir sustancialmente el impacto medioambiental de los edificios, sin que dejen de proporcionar un entorno saludable a sus ocupantes. Este libro pretende introducir el tema de la arquitectura sostenible y explorar una serie de conceptos fundamentales del proyecto y de la construcción sostenibles, con el objetivo de que sirva de manual tanto para los estudiantes como para los profesionales de la arquitectura.

Esta segunda edición incluye un análisis más amplio de los edificios de energía cero y cero emisiones de carbono, con estudios de caso y otros contenidos sobre el proyecto y construcción de este tipo de edificios en diferentes países del mundo. También se han añadido orientaciones para el proyecto básico de edificios de alto rendimiento y material adicional sobre costes de construcción y medidas de ahorro, prestando especial atención a las soluciones para rebajarlos y reducir a la vez las emisiones de gases de efecto invernadero, como el diseño estratégico de la forma del edificio y una iluminación adecuada, entre otras. Esta segunda edición también incluye una nueva sección sobre biomímesis y diseño biofílico, normas y estándares actualizados y más información sobre la electrificación de los edificios mediante tecnologías como las bombas de calor. Finalmente, se trata más ampliamente la cuestión de la ubicación geográfica en relación a los proyectos sostenibles, con ejemplos prácticos de diferentes zonas y condiciones climáticas. A pesar de estos cambios, proyectar y construir edificios sigue consistiendo en llevar a cabo una serie de elecciones al empezar el proyecto, en evaluar las distintas opciones durante el proceso del mismo, en asumir ciertas decisiones junto al cliente y en trasladar dichas elecciones a los dibujos o ejecutarlas en la fase de construcción. Por ello, en este libro hemos intentado plasmar una amplia diversidad de alternativas para abordar el proyecto y la construcción de edificios ecológicos.

El libro comienza explorando los objetivos de la arquitectura ecológica y definiendo en qué consiste un edificio ecológico, teniendo siempre en cuenta que el objetivo en este caso es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que conlleva la construcción y mitigar los impactos cada vez mayores del cambio climático. También aporta diferentes normativas, estándares y guías que definen con más detalle los requisitos asociados a la arquitectura ecológica.

En él se realiza una exploración metódica del proyecto ecológico, desde un enfoque estructurado "de fuera adentro": del emplazamiento y su entorno, pasando por las diversas envolventes del edificio, para acabar con el análisis de los aspectos medioambientales de la iluminación o los sistemas de calefacción y refrigeración. En este recorrido se exploran distintos temas transversales, como el ahorro de agua o materiales, la calidad medioambiental interior o el uso de energías renovables.

Los temas relacionados con la energía se han planteado desde la diversidad de principios físicos cuya combinación recibe cada vez con más frecuencia la denominación de "ciencia de la construcción." Por ejemplo, los principios básicos de transferencia de calor se aplican al cálculo y a la reducción de las pérdidas térmicas. Los aspectos de la iluminación se exploran en relación con el consumo energético y la interacción con las personas y la ergonomía. Los principios de la dinámica de fluidos sirven como base para tratar fenómenos como el efecto chimenea en los edificios. Los principios de la termodinámica se aplican a la generación y a la distribución eficiente de calor o frío dentro del edificio y a la aplicación de recursos eficaces asociados a la temperatura, con el fin de reducir el consumo de energía.

Tanto las ilustraciones, que explican con detalle todos estos principios, como el texto conforman un manual para el proyecto y la construcción de edificios ecológicos. Presenta también una serie de buenas prácticas lo suficientemente flexibles como para que los arquitectos puedan encajar los principios de la arquitectura ecológica en sus encargos. Las ilustraciones también intentan transmitir este carácter integral y plasmar la amplia gama de opciones posibles para desarrollar una arquitectura ecológica.

Por último, el tema del control de calidad se aprovecha para explorar cómo el proyecto y la construcción pueden lograr de manera efectiva los objetivos de la arquitectura ecológica.

Recomendamos al lector que considere los distintos métodos tratados en este libro como herramientas para el desarrollo de sus proyectos. No es imprescindible que un edificio incorpore todos los temas que aquí se tratan para que pueda ser considerado ecológico. En todo caso, el libro plantea los aspectos generales, ya que es difícil cubrir todos los enfoques, métodos y productos que están surgiendo en la actualidad para mejorar los aspectos ecológicos de los edificios. Por el contrario, el foco del libro se centra en las herramientas y en las estrategias generales que sirven de fundamento al proyecto y a la construcción de edificios ecológicos de altas prestaciones.

AGRADECIMIENTOS

Respecto a esta segunda edición, quiero expresar mi agradecimiento a Luna Oiwa por sus investigaciones de un gran número de temas especializados; a Evan Hallas por sus conocimientos sobre inspecciones técnicas de edificios ecológicos, en especial sobre puentes térmicos; a Tamar Shapiro-Tamir por su labor en los estudios de caso de edificios de cero emisiones netas y a Noa Shapiro-Tamir por la documentación sobre dichos estudios y por los mapas de datos meteorológicos. Respecto a la edición original de este libro, agradecer a Florence Baveye los esquemas de investigación y conceptualización, y a Marina Itaborai Servino las tareas de comprobación y cálculo. Zac Hess y Daniel Clark hicieron una segunda revisión de estos cálculos. Un agradecimiento especial a Roger Beck por animarme a escribir este texto hace cuarenta años y por revisar el manuscrito cuarenta años después. También agradezco las revisiones realizadas por Mona Azarbayjani, de la University of North Carolina en Charlotte, y Jonathan Angier, funcionario del Departamento de Aguas de la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) de Estados Unidos. Otras personas que han revisado el manuscrito y aportado comentarios de valor incalculable han sido mi esposa Dalya Tamir, mi hija Shoshana Shapiro, Susan Galbraith, Deirdre Waywell, Theresa Ryan, Jan Schwartzberg, Daniel Rosen, Shira Nayman, Ben Myers, Bridget Meeds y Courtney Royal. Gracias también a Lou Vogel y Nate Goodell por la información sobre licitaciones, a Javier Rosa y Yossi Bronsnick por su ayuda en materia de estructuras, y a Umit Sirt por su asesoría en modelos. Gracias a Nicole Ceci por los análisis energéticos iniciales. Gracias a todos mis colegas de Taitem Engineering por las investigaciones, las observaciones y los debates que subyacen en gran parte de lo que se dice en este libro. Gracias a Sue Schwartz por permitirme usar su apartamento en el lago Cayuga para escribir el manuscrito. Gracias a mi familia —Dalya, Shoshana, Tamar y Noa— por su apoyo a lo largo de todo el proceso. Gracias a mi madre, Elsa Shapiro, por ser una fuente cotidiana de sabiduría imprescindible para sacar adelante el trabajo. Y, por último, el mayor agradecimiento de todos al coautor de este libro, Francis D. K. Ching, cuyo trabajo es un gran regalo para el mundo. Mi colega Theresa Ryan lo expresa de un modo mejor: "Nos gustaría vivir en los dibujos de Ching". Las ilustraciones, guías, esquemas de Francis D. K. Ching, así como su colaboración en el diseño editorial, han hecho posible este libro.

Ian M. Shapiro

1

Introducción

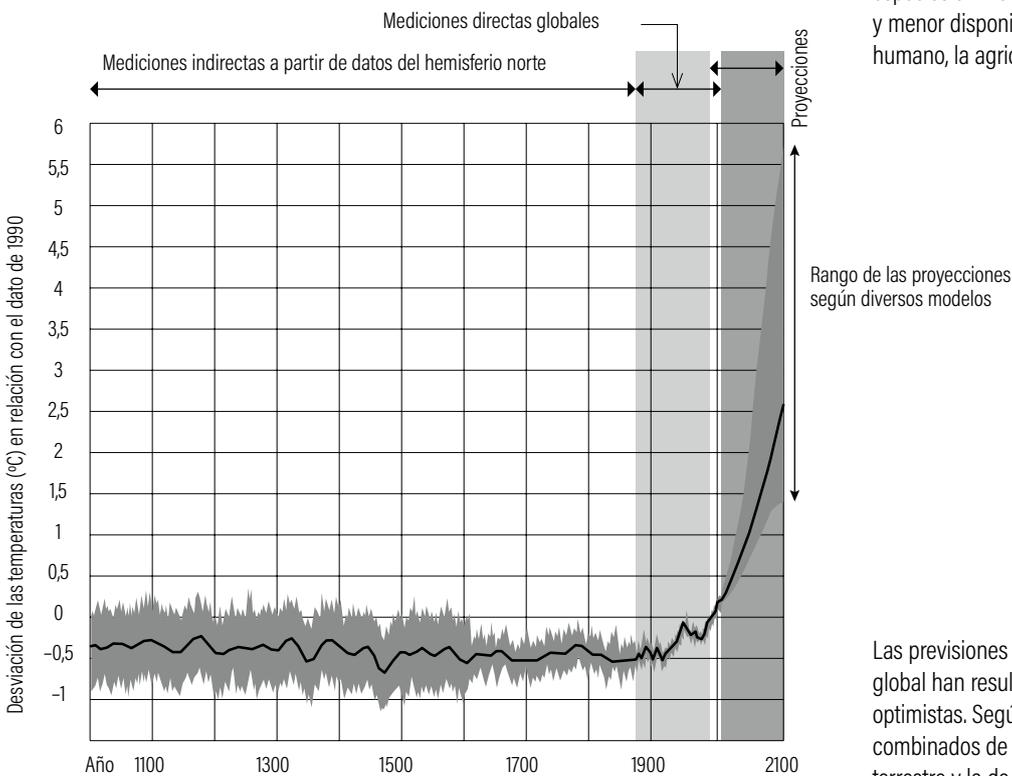
En unos pocos años, las disciplinas del urbanismo, la arquitectura y la construcción se han visto agitadas por el debate de la sostenibilidad y de la arquitectura sostenible. Tanto a la hora de proyectar como a la de construir han tenido que aprender a incorporar nuevos objetivos y estándares e, incluso, un nuevo lenguaje. Para muchos profesionales, la incorporación y el aprendizaje de los medios y los significados de este nuevo lenguaje han supuesto un enriquecimiento de sus capacidades y conocimientos. Otros, sin embargo, siguen desorientados, preguntándose de dónde viene todo esto y cómo ha llegado a ocupar un lugar tan importante en la práctica de la profesión.

La sostenibilidad se funda en la promesa de durabilidad: edificios con una larga vida útil, formas renovables de energía y comunidades estables. La arquitectura ecológica es una forma de convertir en realidad estas promesas.

En paralelo a las promesas de la sostenibilidad, incluso exigiendo su cumplimiento, tenemos el recordatorio permanente por parte de los científicos sobre los riesgos medioambientales que, por otra parte, nuestras propias observaciones no cesan de confirmar. En todo caso, si dejamos de ignorar dichas amenazas y empezamos a enfrentarnos a ellas en un trabajo colectivo y desarrollando estrategias para superarlas, descubrimos un potencial de actuación enorme. En última instancia, esta puede ser la principal promesa de la sostenibilidad: el valor para afrontar los desafíos medioambientales y para encontrar formas de superarlos.



1.01 La visión de la Tierra desde el espacio ha enfatizado la fragilidad de la vida en el planeta, como la fotografía tomada por la sonda *Voyager I* en 1990. El astrónomo Carl Sagan describió la Tierra como un pálido punto azul, "el único hogar que conocemos" (Fuente: NASA).



1.02 Variaciones de la temperatura superficial de la Tierra entre el año 1000 y el 2100 (Fuente: IPCC).

Afrontar los desafíos medioambientales

Diversas crisis medioambientales nos están obligando a que reevaluemos cómo planificamos, proyectamos y construimos los edificios. La contaminación atmosférica y de las aguas que resulta del uso de los combustibles fósiles, las consecuencias de los accidentes nucleares y los efectos incipientes, pero potencialmente devastadores, del cambio climático apuntan a la necesidad acuciante de reducir el consumo de energía. De igual modo, las diversas enfermedades que sufren las personas expuestas a productos químicos tóxicos nos obligan a reexaminar su uso intensivo, especialmente como materiales de construcción.

Una cuestión particularmente preocupante es el cambio climático. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), que cuenta con más de 1.300 científicos de todo el mundo, ha llegado a la siguiente conclusión: "El calentamiento global es inequívoco, como ponen de manifiesto el aumento observado en las temperaturas medias globales de la atmósfera y de los océanos, el deshielo creciente y el ascenso del nivel medio de los océanos". Según el IPCC, el impacto del cambio climático ya ha comenzado y solo puede esperarse que empeore. Las consecuencias del cambio climático también comprenden fenómenos atmosféricos extremos, como un incremento de la actividad de los ciclones y los huracanes, olas de calor cada vez más frecuentes, intensas y duraderas; reducción de la superficie cubierta de hielo; mayor incidencia de las inundaciones costeras y continentales; cambios en la distribución de especies animales y vegetales; pérdida de biodiversidad y menor disponibilidad de agua potable para el consumo humano, la agricultura y la generación eléctrica.

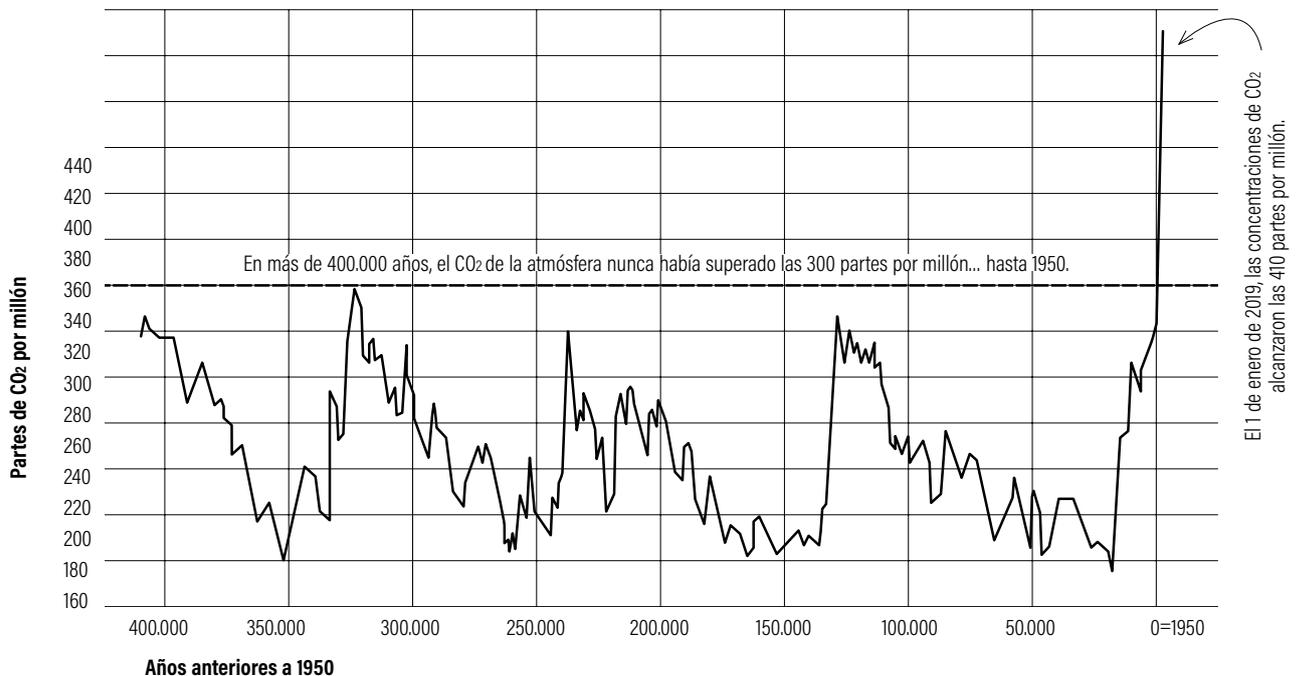
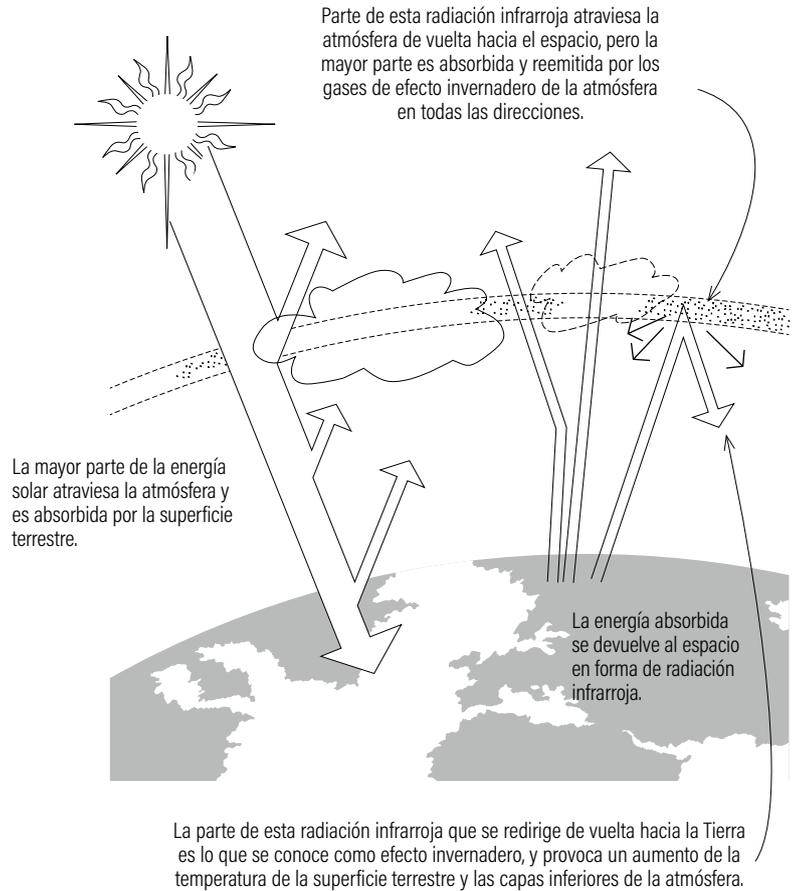
Las previsiones iniciales del IPCC sobre el calentamiento global han resultado ser bastante precisas e incluso optimistas. Según su informe más reciente, los datos combinados de la temperatura media global de la superficie terrestre y la de los océanos indican un calentamiento real de aproximadamente 0,4 °C entre 1990 y 2010, superando los 0,25 °C que se habían previsto originalmente para el mismo período.

1.03 El efecto invernadero.

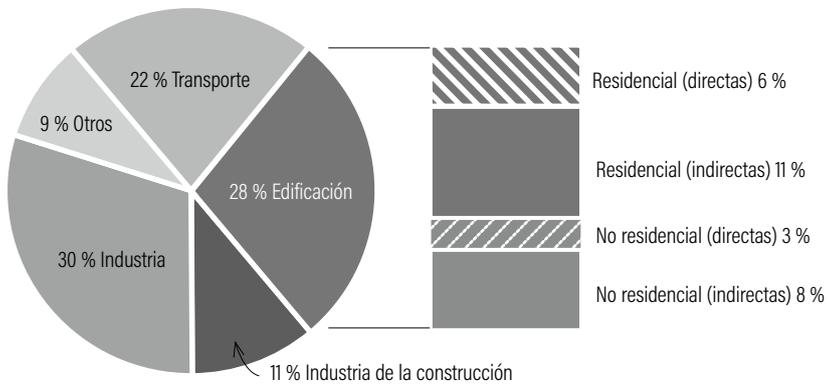
La principal causa del cambio climático es el aumento en la atmósfera de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) generados por actividades humanas como la deforestación, cambios en los usos del suelo y, especialmente, la quema de combustibles fósiles. Estos datos han sido reconocidos por instituciones científicas de todos los países industrializados del mundo.

Los gases de efecto invernadero —que tienen como componente principal el vapor de agua, pero también pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y dióxido de nitrógeno (N₂O)— son emisiones que se emiten a la atmósfera y que actúan como bloqueadores térmicos, absorbiendo calor y distribuyéndolo en todas las direcciones. La parte de esta radiación que retorna a la superficie terrestre es conocida como "efecto invernadero", y sirve para mantener la temperatura de la superficie y de la capa inferior de la atmósfera en torno a los 15 °C, requisito que posibilita la vida en el planeta. Sin este efecto invernadero de carácter natural no sería posible la vida tal como la conocemos en la Tierra.

Sin embargo, con el comienzo de la Revolución Industrial, el uso de combustibles fósiles en cantidades cada vez mayores ha contribuido a concentraciones crecientes de dióxido de carbono, metano y dióxido de nitrógeno en la atmósfera, intensificando el efecto invernadero natural y contribuyendo a un calentamiento global y al actual cambio climático.

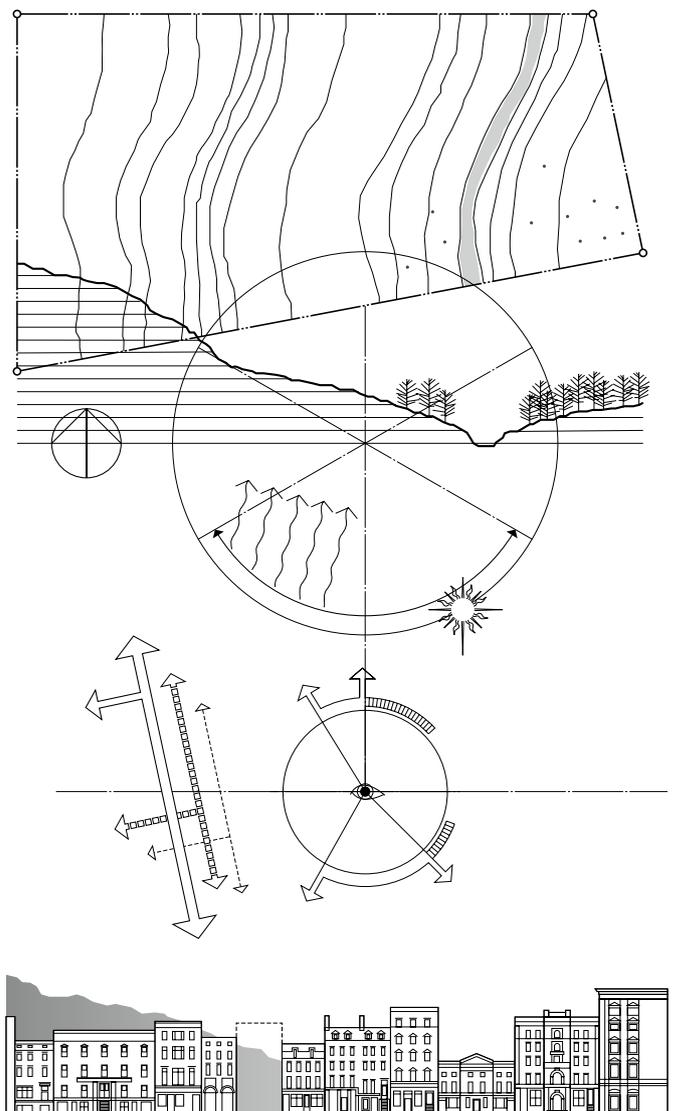


1.04 Muestras atmosféricas contenidas en los casquetes polares y mediciones directas en los tiempos más recientes demuestran que el CO₂ de la atmósfera ha aumentado desde la Revolución Industrial. (Fuente: NOAA).



1.05 Porcentaje de emisiones globales de CO₂ por sector.
(Fuente: *Informe Global 2018* de la AIE)

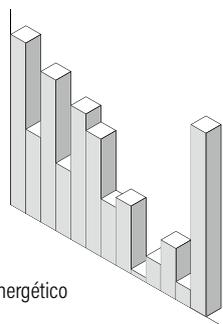
Los datos de la Agencia Internacional de la Energía indican que el sector de la construcción es el responsable de casi el 40 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Lo más relevante en cualquier discusión en torno al proyecto sostenible es que la mayoría de estos consumos energéticos no pueden atribuirse a los materiales o al proceso de construcción, sino al propio uso y mantenimiento de los edificios, como la calefacción, la climatización o la iluminación. Esto implica que, para reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el uso y el mantenimiento del edificio a lo largo de su vida útil, es preciso proyectarlo adecuadamente, teniendo en cuenta su localización y su uso para incorporar estrategias de calefacción, climatización, ventilación e iluminación eficientes. Sin embargo, a medida que se reduzca el consumo de energía operativa (de uso) de los edificios, también será necesario prestar más atención a la reducción de la energía incorporada en los materiales constructivos.



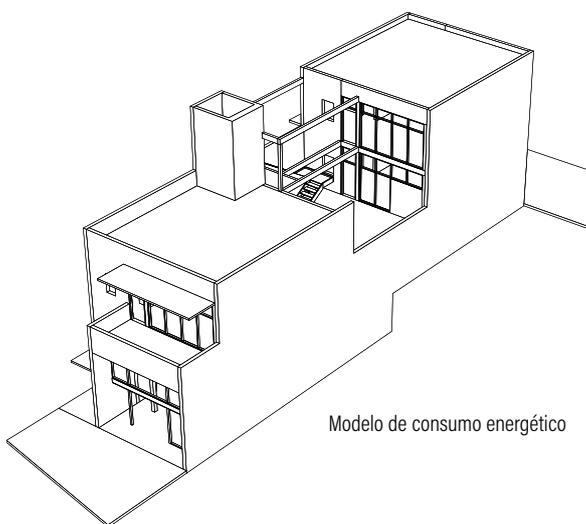
1.06 Los edificios adecuadamente ubicados y proyectados en función de la eficiencia energética también pueden reducir las emisiones de carbono en otros sectores, por ejemplo, disminuyendo la energía necesaria para fabricar y transportar los materiales de construcción o para que los usuarios accedan al mismo. Además, los beneficios potenciales de reducción en el futuro del consumo energético pueden entenderse como una compensación al incremento de la inversión inicial que requiere reducir las emisiones de carbono.



Termografía de infrarrojos



Objetivos de ahorro energético



Modelo de consumo energético

1.07 Cada año surgen nuevos enfoques, herramientas y productos que ofrecen vías para reducir el consumo de energía y de materiales en los edificios.

Nuevos datos, nuevos riesgos, nuevas oportunidades

A medida que, durante las últimas décadas, han ido conociéndose datos sobre el cambio climático y otros riesgos medioambientales, la investigación, tanto formal como informal, en el campo de la arquitectura ha ido ofreciendo avances sobre cómo funcionan los edificios, qué fallos pueden tener desde un punto de vista medioambiental y, lo más importante, cómo puede evitarse que se produzcan tales problemas. Las múltiples crisis medioambientales y las demandas convergentes que han planteado, así como los datos relativamente nuevos acerca del rendimiento ecológico de los edificios y las posibilidades de proyecto sostenible, ofrecen oportunidades para enfocar el proyecto arquitectónico desde nuevos ángulos. El campo de la arquitectura ecológica es joven y ofrece infinitas posibilidades. Plantea nuevas formas para proyectar y construir mejorando la eficiencia energética y el ahorro de recursos, reduciendo el uso de materiales tóxicos y mejorando también los costes financieros.

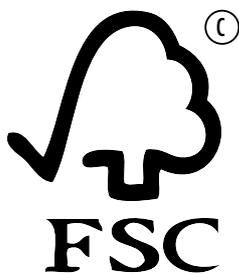
En cualquier caso, existen numerosos riesgos y obstáculos a los que hay que enfrentarse en el desarrollo de una arquitectura y una construcción ecológicas. Resulta tentador dejarse llevar por los nuevos productos o enfoques que presumen de ser ecológicos pero que, en la práctica, resultan tan poco eficaces o tan costosos que acaban limitando las inversiones en otras mejoras más razonables. Nuestro desafío consiste en utilizar el sentido común y rechazar los enfoques más anecdóticos, espectaculares o ineficaces, sin dejar de estar abiertos a cualquier idea o herramienta potencialmente válida. Hay una necesidad urgente tanto de análisis crítico de cualquier idea nueva como de flexibilidad para adaptarse a un cambio que se está produciendo de un modo muy acelerado.

El proyecto de edificios ecológicos no puede enfocarse exclusivamente añadiendo nuevos elementos a los edificios para hacerlos más ecológicos. Si bien aumentar el aislamiento térmico mejorará, sin duda, su eficiencia energética, y añadir paneles fotovoltaicos reducirá la dependencia de fuentes no renovables de energía, puede ganarse mucho más a través de un proyecto razonable que no sea simplemente aditivo, sino más integrado y orgánico. Por ejemplo, pueden utilizarse superficies más reflectantes en los acabados interiores para reducir la necesidad de iluminación artificial sin que afecte a los niveles de iluminación. Podrían utilizarse formas arquitectónicas más compactas que reduzcan la superficie de contacto con el exterior, obteniendo menores consumos energéticos para la misma superficie construida que en el caso de edificios con formas más complejas.

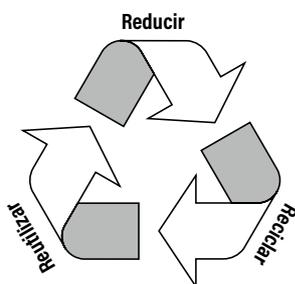
Teniendo en cuenta la naturaleza estética del proyecto, también podemos preguntarnos qué efectos puede tener el proyecto ecológico en la belleza del entorno construido. Afortunadamente, no es necesario sacrificar la belleza por la ecología. Los edificios ecológicos pueden desafiar las nociones convencionales de belleza, pero también son una oportunidad para reevaluar dichas nociones, reexaminar cómo definimos la belleza de los edificios y explorar la belleza de nuevas formas arquitectónicas.



Logotipo oficial del
US Green Building Council



Logotipo oficial de Consejo de Administración
Forestal (Forest Stewardship Council)



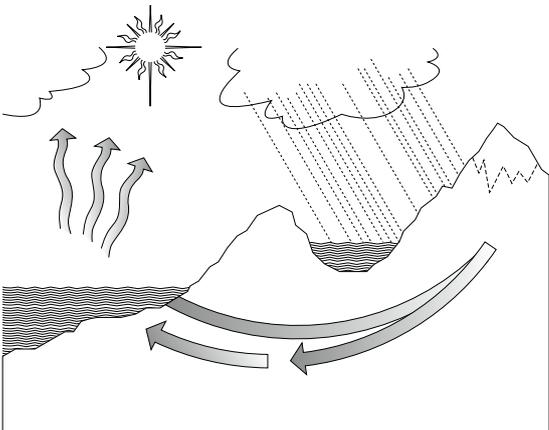
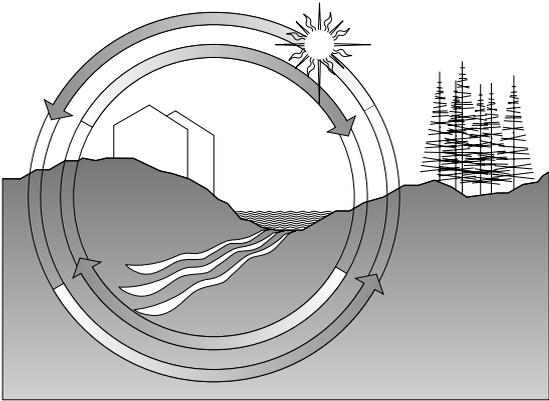
¿Qué es un edificio ecológico?

La cuestión de qué es un edificio ecológico se plantea de forma permanente a lo largo de este libro. Esta pregunta se formula de diversas maneras: ¿es ecológico un edificio que es más ecológico de lo que podría haberlo sido?, ¿lo es aquel que cumple cierta normativa medioambiental?, ¿lo es el que tiene un impacto mínimo o nulo sobre el medio ambiente o la salud humana?, ¿son los edificios ecológicos una moda pasajera?, ¿siguen siendo ecológicos los edificios ecológicos con el paso del tiempo?

La respuesta a estas preguntas aún está en proceso de evolución. Algunos edificios certificados conforme a alguno de los estándares existentes de arquitectura ecológica han resultado ser, de hecho, grandes consumidores de energía, o más contaminantes en otros ámbitos. Por el contrario, se han construido edificios de consumo energético nulo, o casi nulo, que, sin embargo, no podrían ser certificados como ecológicos por ninguno de los sistemas de certificación existentes. Esto no quiere decir que pongamos en cuestión el rendimiento medioambiental de todos los edificios certificados como ecológicos. Los estándares y los sistemas de certificación han contribuido de forma indiscutible al avance del proyecto sostenible, y continuarán haciéndolo, pero aún queda un largo camino por recorrer para que dichas certificaciones garanticen un alto grado de eficiencia energética o un bajo nivel de contaminación.

Paralelamente a la cuestión de qué es un edificio ecológico, existe otra similar, aunque muy distinta: ¿qué es un edificio "más ecológico"? En muchos campos específicos del proyecto arquitectónico pueden compararse los diversos enfoques planteando cuál de las distintas soluciones aportadas es la más ecológica. Esto no implica defender un enfoque de pequeñas mejoras incrementales; el objetivo general sigue siendo aproximarse al concepto de un edificio significativamente ecológico, pero, a la hora de tomar una decisión concreta de proyecto, puede resultar útil preguntarse si un determinado enfoque es "más ecológico", al margen de que cumpla determinado estándar o sistema de certificación.

1.08 Símbolos de materiales, procesos y prácticas ecológicos.



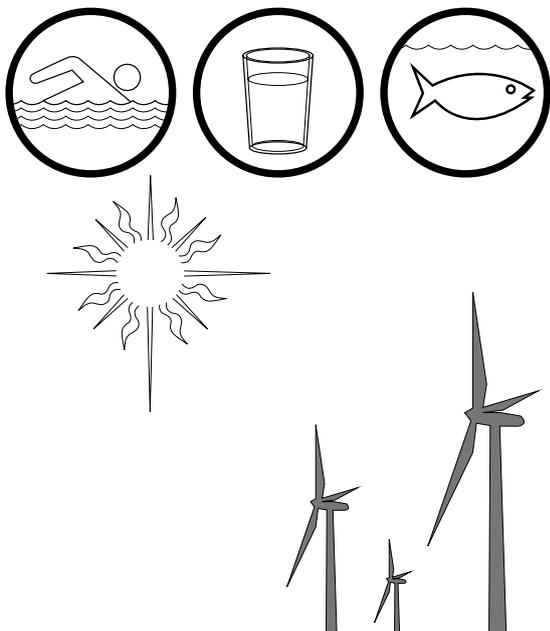
Objetivos de la arquitectura ecológica

Son numerosos los objetivos que justifican la planificación y el proyecto de edificios ecológicos.

Tal vez los más ampliamente aceptados responden a la degradación medioambiental:

- Mitigar el calentamiento global mediante el ahorro energético, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Minimizar el impacto medioambiental resultante de la extracción de carbón, gas natural y petróleo, así como los derrames accidentales; la remoción de suelos por la minería de carbón y la contaminación asociada a la fractura hidráulica para la extracción de gas natural.
- Reducir la contaminación del aire, del agua y de los suelos.
- Proteger las fuentes de agua potable.
- Reducir la contaminación lumínica que puede perturbar los ecosistemas nocturnos.
- Proteger los hábitats naturales y la diversidad biológica, en especial las especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Evitar la conversión innecesaria e irreversible de suelos agrícolas a usos no agrícolas.
- Proteger la cobertura del suelo y reducir el impacto de las inundaciones.
- Reducir el uso de vertederos de basura.
- Reducir el riesgo de contaminación nuclear.

1.09 Mitigación de la degradación medioambiental a través de la conservación, la reducción de emisiones y vertidos contaminantes, y la protección del agua, de los hábitats y de los recursos naturales.



1.10 Mejora de la salud medioambiental y económica.

Los objetivos de la arquitectura ecológica también contemplan la mejora de las condiciones de confort y la salud de las personas:

- Mejorar la calidad del aire en ambientes interiores.
- Mejorar la calidad del agua servida.
- Mejorar el confort térmico.
- Reducir la contaminación acústica.
- Mejorar el ánimo de las personas.

Puede considerarse que algunos de ellos tienen una naturaleza económica:

- Reducir los costes energéticos.
- Mejorar la productividad.
- Generar empleos ecológicos.
- Mejorar el atractivo comercial.
- Mejorar las relaciones entre las personas.

Otros objetivos pueden considerarse políticos:

- Reducir la dependencia de los recursos fósiles situados en otros países.
- Mejorar la competitividad nacional.
- Evitar el agotamiento de combustibles no renovables, como el petróleo, el carbón o el gas natural.
- Reducir la presión sobre la red eléctrica y el riesgo de cortes de suministro.

Algunas personas consideran que en los objetivos de la arquitectura ecológica deben contemplarse algunos de carácter social:

- Seguir prácticas laborales más justas.
- Facilitar el acceso a las personas discapacitadas.
- Proteger a los consumidores.
- Proteger las zonas verdes.
- Preservar los edificios históricos.
- Proporcionar viviendas asequibles.

Algunos objetivos reflejan las necesidades específicas del espíritu humano:

- Expresar la conexión y el profundo amor hacia la Tierra y la naturaleza.
- Confiar en uno mismo.
- Satisfacer las inquietudes estéticas.



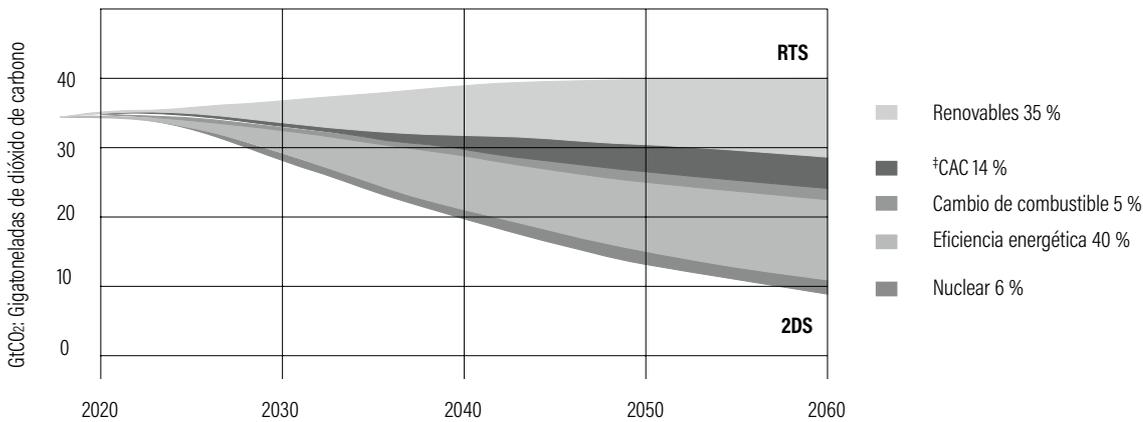
1.11 Respuesta a los objetivos sociales.



Algunos objetivos no se definen explícitamente, pero representan algunas de nuestras necesidades menos nobles, como la búsqueda de estatus o prestigio.

Con independencia de cómo se agrupen los objetivos citados, se plantea un debate permanente y legítimo sobre cuáles deben ser dichos objetivos y cómo deben priorizarse. En la mayor parte de los casos, la construcción de edificios ecológicos da respuesta a uno o varios de estos objetivos de una forma armónica. Sin embargo, hay casos en los que pueden producirse conflictos entre dos o más de estos objetivos, y su resolución exige aclarar qué es más importante para nosotros como seres humanos.

A la vista del consenso prácticamente unánime entre la comunidad científica en lo que se refiere a las consecuencias del cambio climático y su impacto, que ya se está mostrando, como la modificación de la distribución de especies animales y vegetales, las inundaciones más frecuentes de las tierras bajas o la reducción de los casquetes polares, el foco principal de la arquitectura ecológica se centrará en la reducción del consumo energético y de las emisiones de carbono asociadas.



1.12 Reducción global de emisiones de CO₂ por área tecnológica en los escenarios RTS a 2DS (Fuente IAE).

Las reducciones de emisiones de CO₂ acumuladas en los sectores de la industria, la construcción y el transporte se deben en su mayor parte a las tecnologías energéticamente eficientes, lo cual subraya la importancia de la eficiencia energética como el "combustible principal" para lograr el escenario 2DS. Por lo tanto, reducir el consumo energético y las emisiones de carbono relacionadas sigue siendo vital en la forma en que planificamos, proyectamos y construimos los edificios.

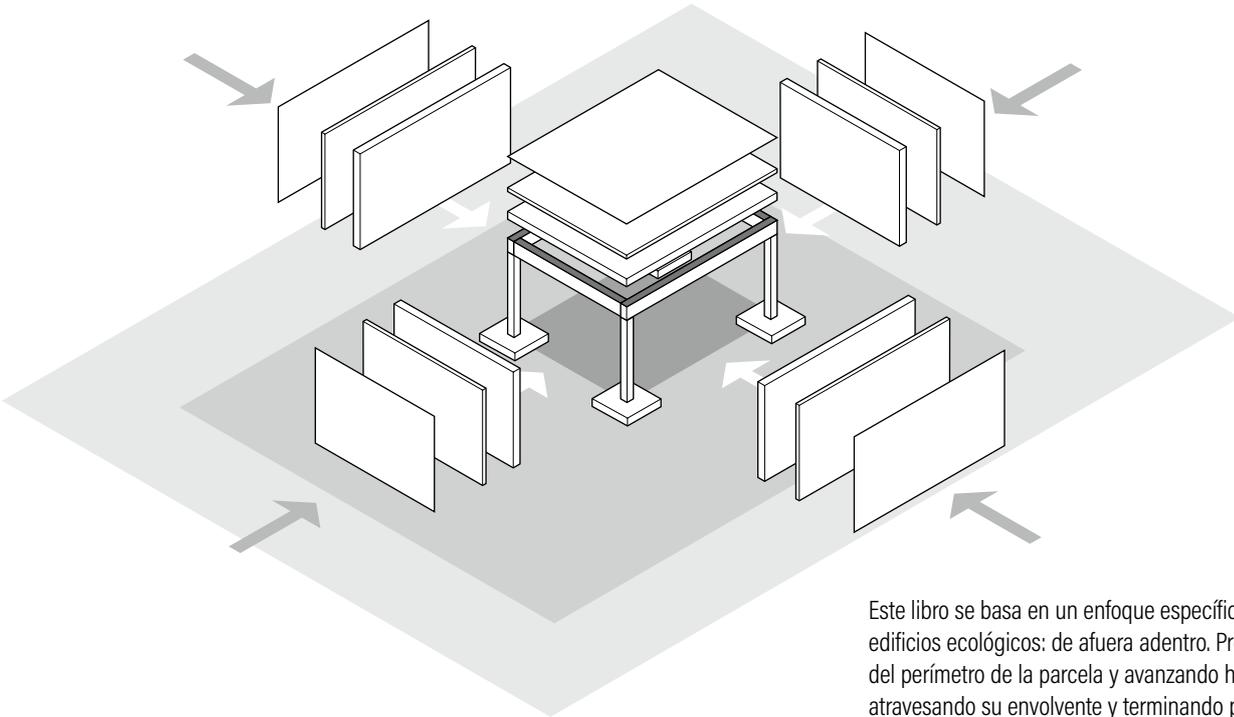
*RTS (Reference Technology Scenario): Escenario Tecnológico de Referencia (en condiciones normales).

‡2DS (Two Degree Scenario): Escenario de reducción de las emisiones de carbono para limitar el aumento de la temperatura global a 2 °C.

‡CAC: Captura y almacenamiento de CO₂

Aproximaciones a la arquitectura ecológica

En el proyecto y la construcción de edificios ecológicos suele ser útil aplicar el sentido común. Pueden cuantificarse los costes en lo que se refiere a la eficiencia energética y el uso del agua de la mayor parte de las tecnologías y soluciones disponibles, lo cual facilita el proceso de toma de decisiones. Los materiales tóxicos están identificados y se conocen relativamente bien, de modo que puede evitarse su uso. El sentido común puede también resultar muy útil a la hora de responder a algunos de los problemas más complejos, evaluar la conveniencia de nuevas tecnologías, prevenir los bloqueos creativos a la hora de elegir entre una multitud de opciones, o afrontar incertidumbres o indeterminaciones en relación con los objetivos de la arquitectura ecológica.



1.13 Proyectar de afuera adentro añadiendo capas de aislamiento y protección.

Este libro se basa en un enfoque específico para proyectar edificios ecológicos: de afuera adentro. Proyectar partiendo del perímetro de la parcela y avanzando hacia el edificio, atravesando su envolvente y terminando por su núcleo central tiene distintas ventajas. Si se van añadiendo capas de protección y se garantiza la integridad y la continuidad de cada una de ellas pueden reducirse significativamente las necesidades energéticas. Mediante este método, la acumulación de mejoras de carácter ecológico permite reducir los costes de la construcción, haciendo posible que los edificios no solo consuman menos energía, agua o materiales, sino que su construcción resulte además más económica.

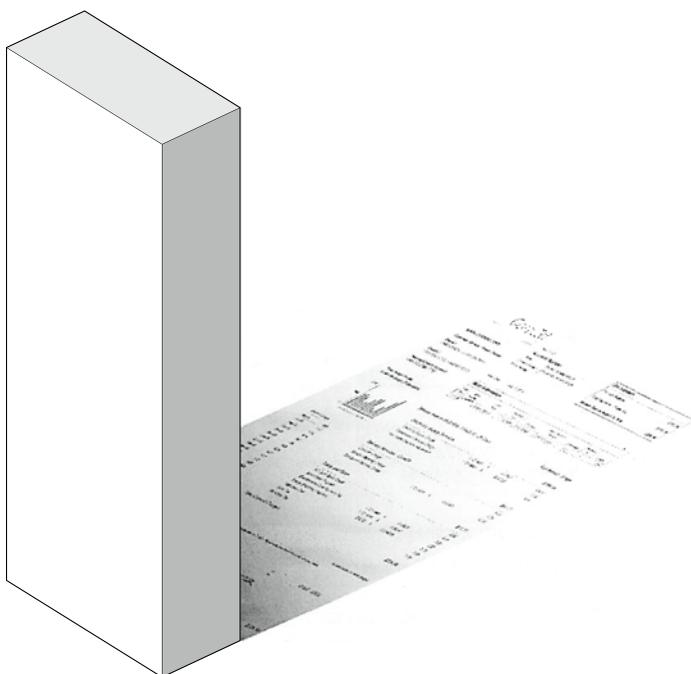
Sobre la base de algunos notables avances recientes de la ciencia de la construcción, este libro se centra en las estrategias de proyecto de edificios ecológicos, más que en cumplir determinados requisitos definidos por una normativa, estándar o sistema de certificación específico. En cualquier caso, el objetivo es que los principios y los métodos que se presentan sean lo bastante sólidos como para cumplir, e incluso superar, los requisitos que plantean los códigos, las normativas y los estándares actualmente existentes, así como para ser aplicables a todo tipo de edificios, ya sean viviendas de madera o rascacielos de hormigón y acero.

Generalmente, los diversos estándares de proyecto y construcción sostenible son compatibles con el enfoque que sugerimos de proyectar de afuera adentro. Sin embargo, varios de estos estándares calculan el ahorro energético respecto de un hipotético edificio de referencia o se centran en el consumo energético por unidad de superficie en planta, tomando la forma arquitectónica como algo dado. Los estándares de arquitectura ecológica tienden a no poner en cuestión la forma de la planta o el volumen. En el proyecto de afuera adentro todo se cuestiona, incluso la planta y el volumen del edificio.

Algunos métodos para proyectar edificios ecológicos plantean un proyecto específico, invierten en mejorar algunos aspectos de la construcción (muros más gruesos con mayor aislamiento, más herméticos, ventanas energéticamente más eficientes o sistemas de calefacción de alta eficacia) con objetivos concretos de ahorro energético, por ejemplo, un 10, 20 o 30 % de ahorro respecto a un edificio convencional. Aunque este enfoque es perfectamente válido, puede mejorarse mediante otro complementario, como no proyectar un edificio tradicional mejorado, sino un nuevo tipo de edificio que satisfaga las mismas necesidades humanas pero cuyo objetivo sea utilizar una cantidad significativamente menor de energía, a ser posible un consumo neto nulo, sin perder de vista los costes.

Los edificios dejan una marca de su eficiencia medioambiental a través de las facturas de los consumos de los suministros, una marca que se acumula a lo largo de los años. Cada vez se valoran más los edificios en función de esta marca, gracias a la existencia de bases de datos *on-line* que hacen un seguimiento del consumo energético de edificios concretos y realizan comparaciones del mismo entre distintos tipos de edificio. Ya ha comenzado el juicio de la historia, que juzgará con mayor dureza aquellos edificios que desperdician energía, especialmente si presumen de ser ecológicos. La buena noticia es que cada vez son más accesibles las herramientas para proyectar y construir edificios energéticamente eficientes; el reto está en aplicarlas correctamente.

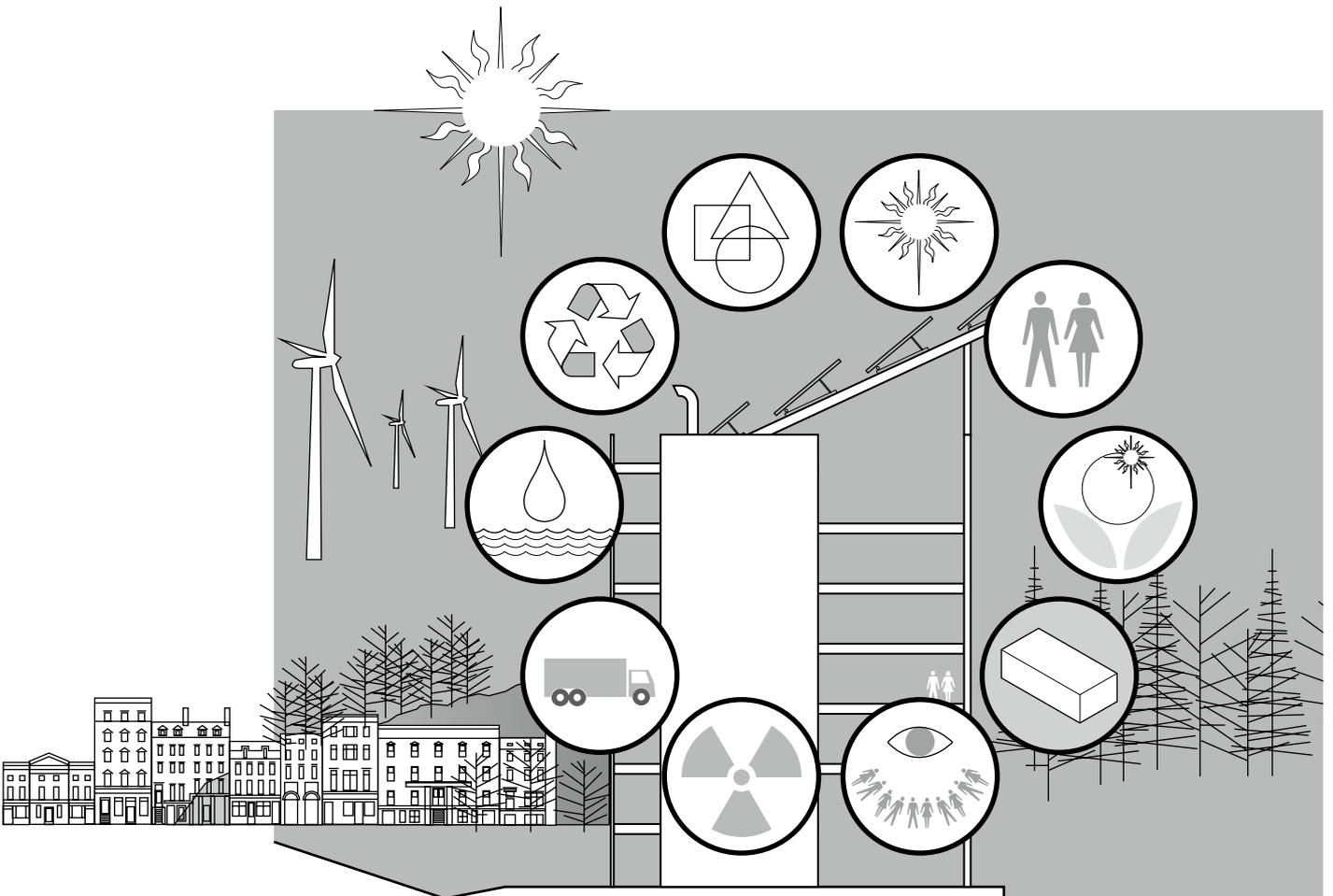
La forma y la función arquitectónicas deben responder ahora a un nuevo requisito: el rendimiento. Además de satisfacer las necesidades de sus usuarios y de resultar atractivos a la vista, el intelecto y el espíritu, un edificio debe tener un buen comportamiento energético a lo largo de toda su vida útil, consumir menos energía y materiales sin dejar de proporcionar un alto grado de confort y unas condiciones adecuadas que garanticen la salud de las personas. Por una parte deben añadirse una serie de restricciones en el proyecto del edificio y, por otra, existe la oportunidad de lograr mejores resultados, hacer mejor el trabajo y evitar la construcción de edificios que derrochen energía y sean poco saludables.



1.14 Puede trazarse el consumo energético de un edificio a partir de las facturas de consumo de suministros.

Invitamos al lector a unirse a la exploración de edificios con el menor impacto medioambiental posible y que utilicen significativamente menos energía, agua y materiales que los actuales. Exploraremos la posibilidad de proyectar edificios con menores costes que los actuales y que ofrezcan mejores condiciones de confort y de salud a sus usuarios. Investigaremos la posibilidad de edificios más integrados con las comunidades humanas y con el mundo natural. Indagaremos la posibilidad de edificios de los que nos podamos enorgullecer.

Y, después, intentaremos hacer realidad todas estas posibilidades.



2

Principios básicos

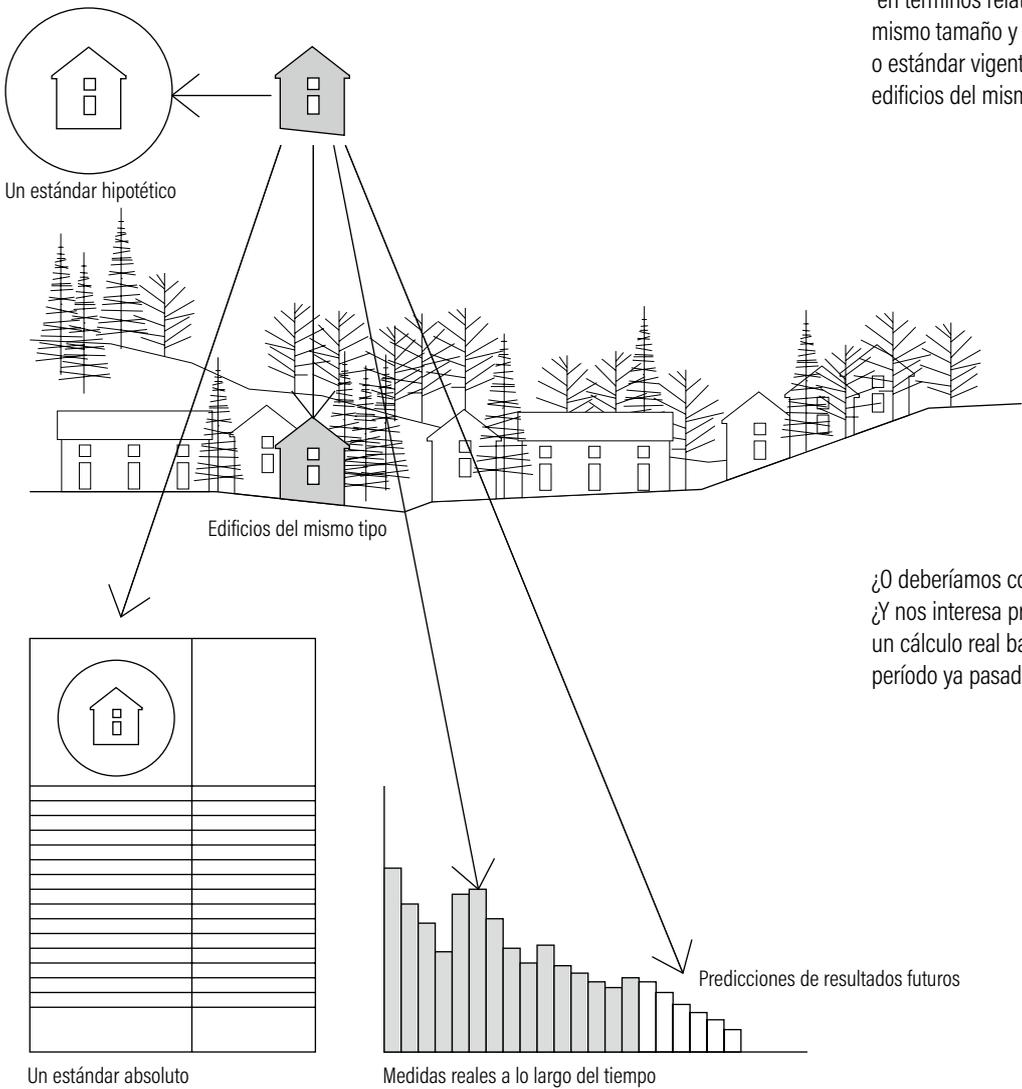
¿Qué es un edificio ecológico? En la introducción examinamos los impactos más significativos de los edificios sobre el entorno natural y defendimos aquellos que mitigan dichos efectos, no solo reduciendo su consumo de agua y energía, sino también reduciendo el volumen de materiales y recursos necesarios para su construcción. Reducir el impacto medioambiental es un objetivo primordial de la arquitectura ecológica.

¿Qué otro factor hace que un edificio sea ecológico? En los debates en torno a la arquitectura ecológica y las diversas normas y estándares, encontramos algunos objetivos ampliamente compartidos que no contribuyen directamente a reducir el impacto medioambiental de los edificios. Algunos de estos objetivos consisten en la mejora de la calidad del aire en los espacios interiores, en proporcionar vistas del entorno o en mejorar el confort térmico. De igual modo, podríamos y deberíamos ampliar el concepto de arquitectura ecológica para incluir el diseño de espacios interiores que beneficien la salud de las personas.

Comencemos con la siguiente definición operativa: un edificio ecológico es aquel que tiene un impacto medioambiental significativamente reducido y que proporciona un ambiente interior beneficioso para la salud de las personas.

No obstante, enseguida afloran otras cuestiones. Cuando decimos "un impacto medioambiental significativamente reducido", ¿cuán significativa debe ser dicha reducción? Y, para saberlo, ¿hay alguna manera de que podamos medir dicho impacto?, ¿y cuál es la referencia que debemos tomar para calcular su reducción?, ¿debemos compararlo en términos relativos respecto a un edificio hipotético del mismo tamaño y la misma forma que cumpla con la norma o estándar vigente?, ¿o debemos compararlo con otros edificios del mismo tipo?

Medir lo ecológico que es un edificio respecto a:



¿O deberíamos compararlo con algún estándar absoluto?
 ¿Y nos interesa predecir el impacto futuro del edificio, o hacer un cálculo real basado en el impacto del edificio durante un período ya pasado?

2.01 ¿Cómo deberíamos medir la ecología de un edificio?

Todas estas preguntas tienen su interés y están en permanente discusión en el ámbito de la arquitectura sostenible. Son preguntas que podremos ir respondiendo poco a poco de la manera más humana: debatiendo y enfrentando argumentos.

Ecología relativa y absoluta

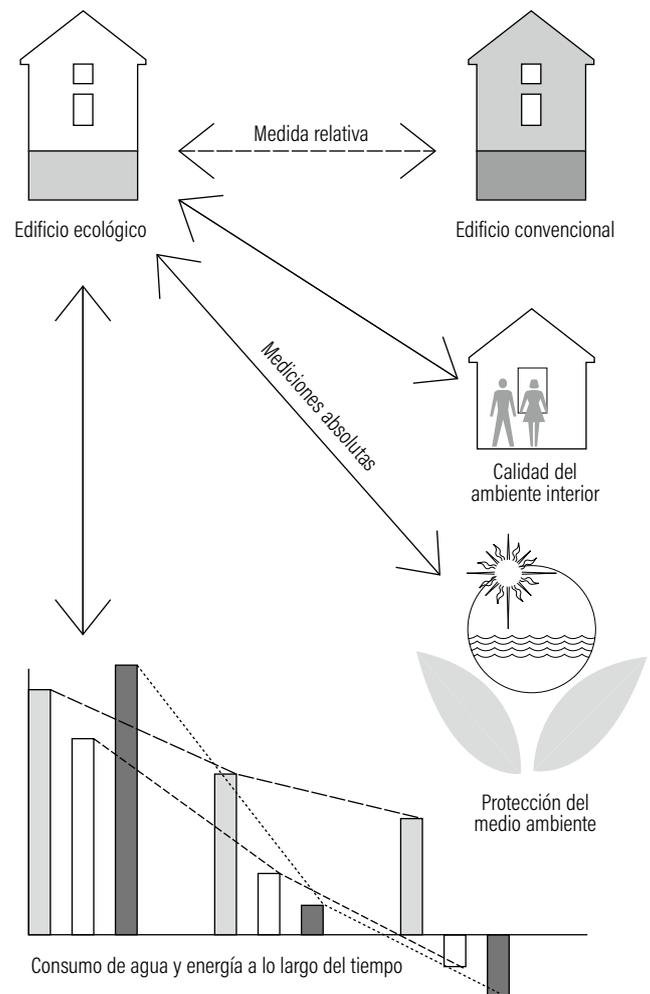
En lo que se refiere a qué referencia base debería utilizarse, podemos avanzar mucho si comparamos una propuesta de edificio ecológico con otro edificio hipotético del mismo tamaño y forma que hubiera sido proyectado y construido sin ninguna "característica ecológica", pero sin dejar de cumplir las normativas y las prácticas convencionales de la construcción. Llamemos a esta forma de comparación "enfoque relativo para el proyecto de edificios ecológicos". El objetivo aquí consiste en obtener un impacto medioambiental significativamente menor y mejores condiciones para la salud de las personas que en un edificio hipotético similar, proyectado sin prestar atención a las "características ecológicas". Sin embargo, cada vez es más importante medir el impacto medioambiental y las condiciones de salud en términos absolutos, y definir los objetivos específicos de consumo de agua o energía por unidad de superficie del edificio, o incluso alcanzar el objetivo de un consumo neto nulo de agua o energía.

En el tema del agua o la energía resulta de vital importancia tener en cuenta los usos previstos del edificio, que guiarán muchas decisiones y definirán los estándares que es necesario aplicar. También se da un consenso creciente en torno a la necesidad de calcular los consumos reales de agua y energía, con el fin de no depender exclusivamente de las predicciones.

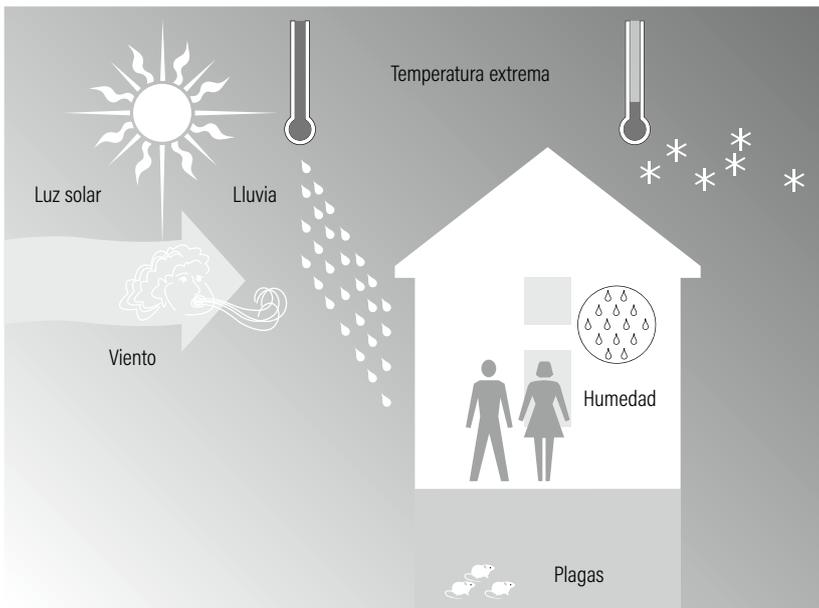
Otros temas como la conservación de materiales o la calidad ambiental de los interiores son algo más complicados de definir y cuantificar que el consumo de agua y energía; sin embargo, se han logrado avances para conseguir un consenso sobre en qué consiste ser ecológico en estos ámbitos y, a partir de ahí, cómo pueden medirse las mejoras en relación con estos objetivos.

La respuesta a la pregunta de qué es un edificio ecológico continuará cambiando y evolucionando en paralelo a nuestros propios estándares sobre qué impactos medioambientales son aceptables y qué niveles de salud son deseables. De hecho, para proyectar y construir un edificio ecológico hay que seguir preguntándose constantemente qué es un edificio ecológico y seguir buscando respuestas consensuadas a dicha cuestión.

Proyectar y construir un edificio ecológico es un enorme desafío. Se requieren miles de decisiones para completar un único edificio buscando un equilibrio entre programa, forma, calidad, costes, normativa y calendario de ejecución. Un edificio ecológico presenta desafíos incluso más difíciles, con restricciones añadidas y a menudo objetivos de rendimiento difíciles de cumplir. El desafío último consiste en proyectar y construir un edificio ecológico —que se comporte adecuadamente en función de las necesidades de sus usuarios, que no deteriore el medio ambiente y que ofrezca condiciones saludables— que, además, tenga un precio asequible dentro del presupuesto del cliente. Para afrontar un desafío de esta envergadura, podemos definir unos principios generales que pueden guiarnos y ayudarnos a gestionar cómo hacerlo.



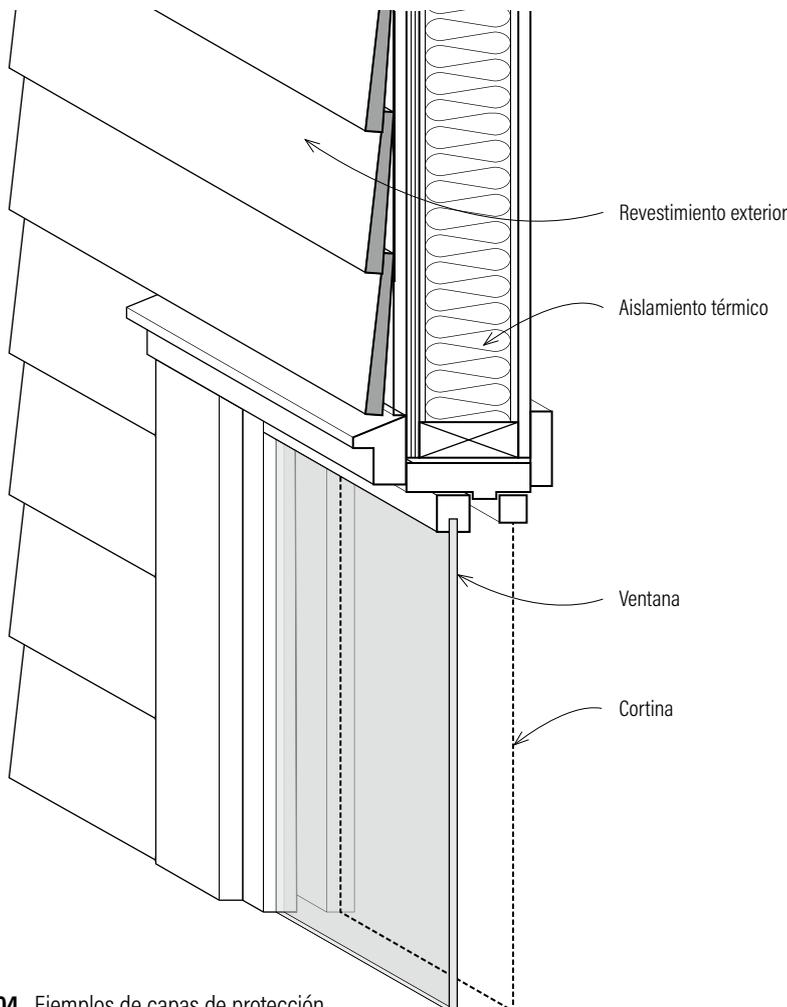
2.02 Ecología relativa frente a ecología absoluta.



Cargas y capas

Los edificios protegen a sus usuarios de una diversidad de elementos del exterior, a los que denominaremos cargas. Estas cargas son, en cierta medida, tensiones o presiones tanto para los edificios como para nuestras vidas cotidianas, y unas de las más significativas son las temperaturas extremas, la razón por la que calentamos o refrigeramos los edificios. Hay otras cargas al margen de las temperaturas extremas para las que también demandamos protección: los vientos, la lluvia y el sol. Buscamos protección también de la radiación solar ultravioleta, que puede provocar cáncer de piel y deteriorar obras de arte o materiales de construcción. Algunas cargas tienen efectos más sutiles, como la humedad, que puede poner en riesgo la salud de las personas y la integridad del patrimonio. Algunas cargas son sencillas, como la oscuridad; otras son seres vivos —insectos, roedores, pájaros u otros animales— y otras resultado de la actividad humana: el ruido o la contaminación atmosférica o lumínica.

2.03 Tipos de cargas.



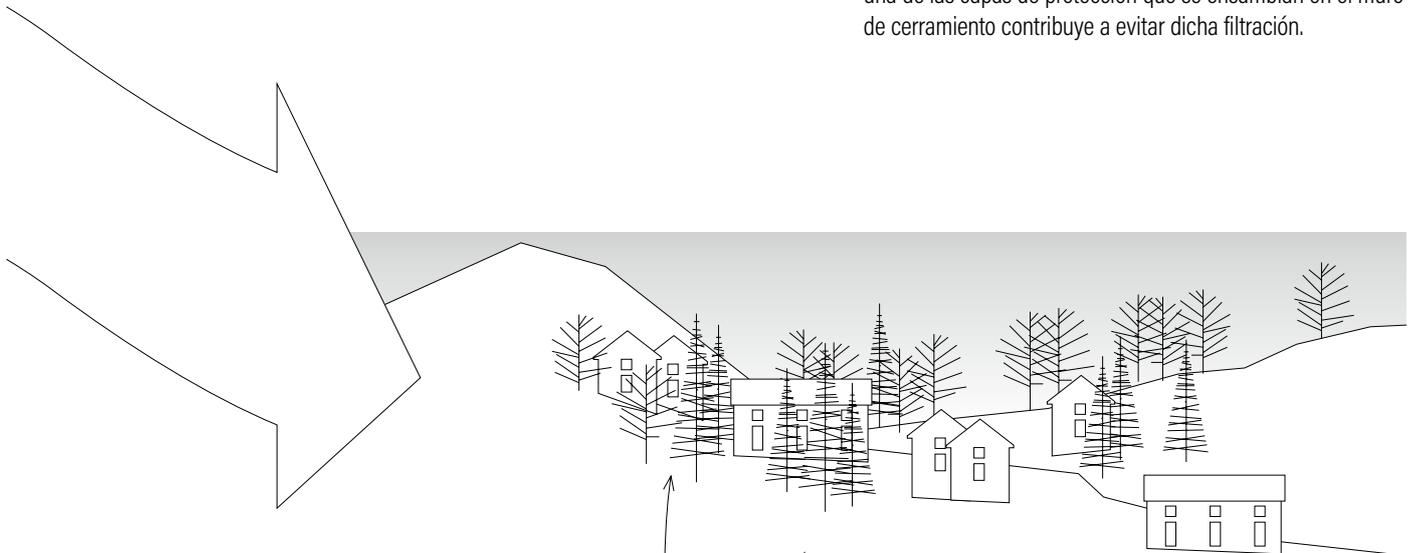
2.04 Ejemplos de capas de protección.

Los edificios son importantes para nosotros porque constituyen el medio en el que vivimos, trabajamos, enseñamos, aprendemos, compramos y nos reunimos para actividades o eventos sociales. También reconocemos el papel fundamental de los edificios a la hora de protegernos de muchas de las inclemencias de nuestro mundo.

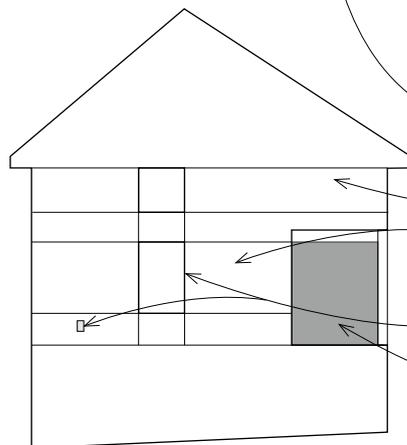
Denominamos "capa de protección" a aquellos componentes del edificio que nos protegen de las cargas. El aislamiento térmico de un muro es una capa de protección que sirve para moderar el impacto de las temperaturas extremas, al igual que el revestimiento exterior de un edificio es una capa de protección que asegura la estanquidad frente al viento o la lluvia, y sirve como barrera frente a los efectos de la radiación ultravioleta y otras cargas.

Algunas capas de protección están pensadas para ser selectivas, y permiten el paso de ciertos elementos deseables al tiempo que filtran otras cargas. Por ejemplo, las ventanas permiten el paso de la luz e impiden que entre el aire caliente o frío, mientras que las mosquiteras permiten el paso del aire fresco pero lo impiden a los insectos.

Un principio de proyecto ecológico consiste en utilizar múltiples capas para mejorar la eficacia de la protección frente a las distintas cargas. Por ejemplo, la filtración de aire es decisiva para las cargas de calefacción y refrigeración de los edificios. Los burletes y otras barreras contra el aire resisten mejor la filtración por viento si este antes ha disminuido su velocidad gracias a la presencia de árboles u otras barreras contra él; dicho de otro modo, los árboles pueden servir de manera eficaz como capa de protección. De igual modo, si el muro está bien sellado, especialmente en los bordes de los huecos y en las cajas de las instalaciones, es más difícil que se produzca filtración de aire, ya que cada una de las capas de protección que se ensamblan en el muro de cerramiento contribuye a evitar dicha filtración.



Otro principio del proyecto ecológico consiste en trabajar del exterior al interior del edificio a través de diversas capas de protección. En este ejemplo puede recurrirse al espectro completo de capas de protección frente al viento y la filtración de aire, como son:

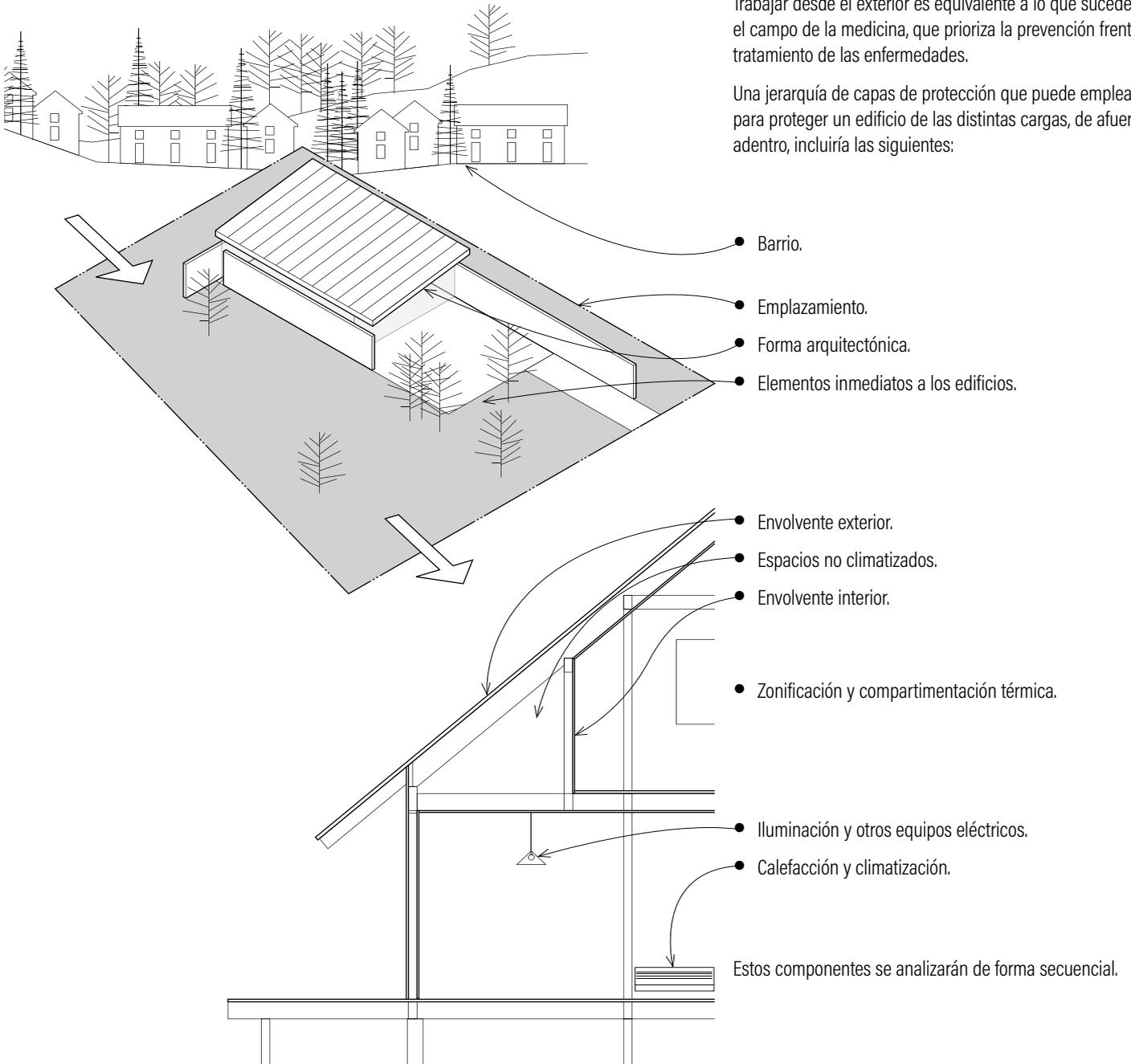


- Elegir una localización resguardada del viento.
- Utilizar árboles, cercas y edificios adyacentes como barreras contra el viento.
- Instalar sistemas continuos de revestimiento.
- Utilizar aislamientos que resistan el movimiento del aire.
- Sellar las juntas exteriores de los muros, especialmente los bordes de los huecos y cajas de instalaciones.
- Disponer un vestíbulo sin calefacción como elemento de amortiguación.

2.05 Protección contra el viento y la entrada de aire.

Comenzar en el entorno más alejado del edificio y avanzar hacia su interior es una forma de resolver los problemas cerca de su fuente, en lugar de intentar resolver los síntomas. Si el síntoma es el frío que provocan las corrientes de aire, podría resolverse con calefacción, algo sencillo pero ineficiente. Resolver el problema en la fuente implica reducir las cargas de viento y prevenir la filtración mediante un enfoque estructurado con múltiples capas de protección. Trabajar desde el exterior es equivalente a lo que sucede en el campo de la medicina, que prioriza la prevención frente al tratamiento de las enfermedades.

Una jerarquía de capas de protección que puede emplearse para proteger un edificio de las distintas cargas, de afuera adentro, incluiría las siguientes:



2.06 Jerarquía de las capas de protección.

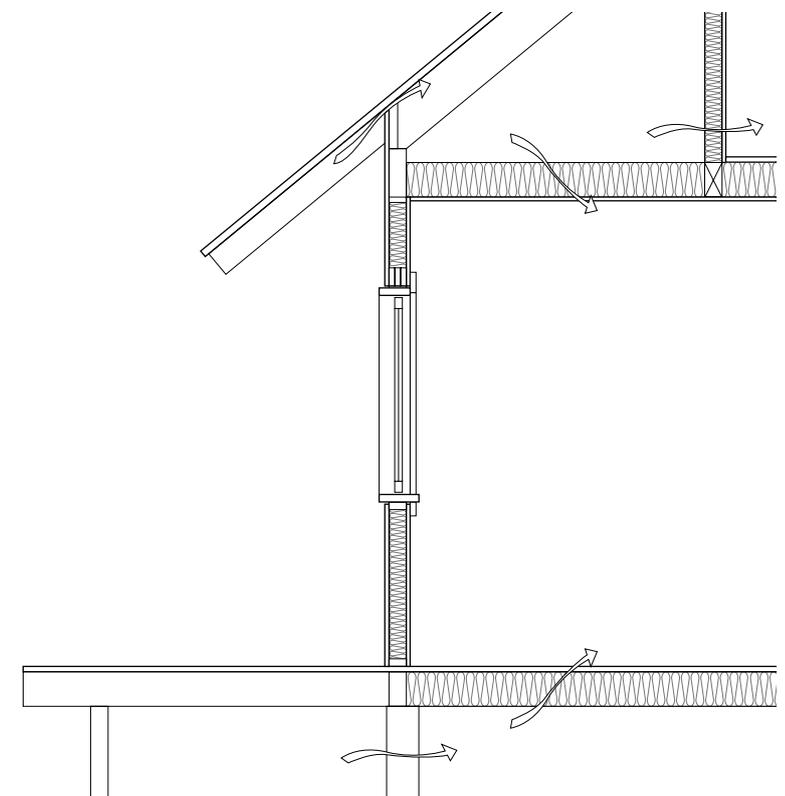
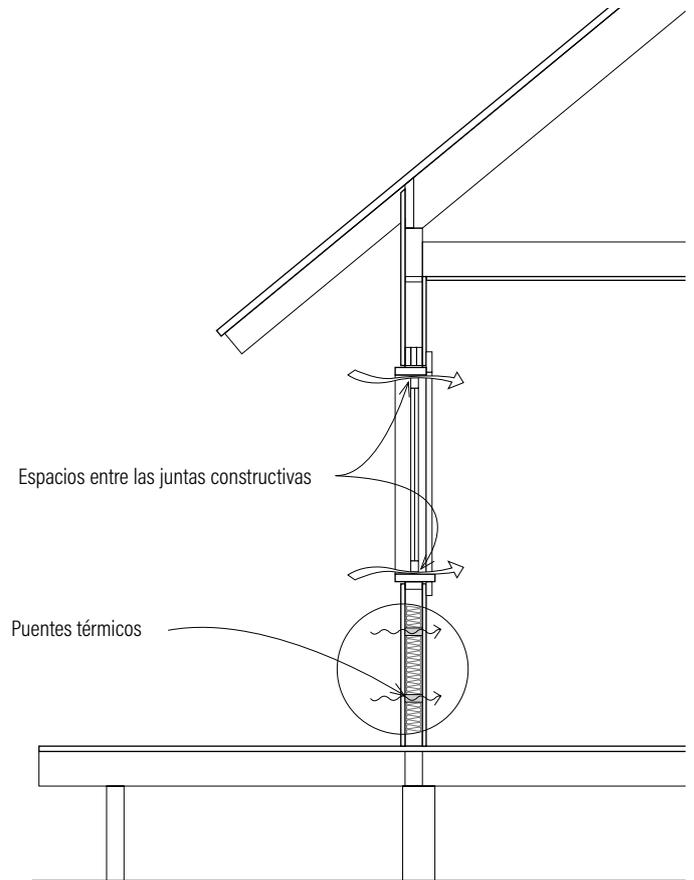
Continuidad

Otro principio del proyecto ecológico no solo reside en proyectar capas de protección fuertes y robustas, sino también en asegurar la continuidad de cada una de ellas. La continuidad de la envolvente térmica del edificio ha cobrado una gran importancia en los últimos años, pues estas capas quedan debilitadas cuando se interrumpen o son discontinuas. La mayor parte de los edificios convencionales contienen muchas discontinuidades de este tipo. Por ejemplo, los desvanes de los edificios con cubiertas a dos aguas tienen discontinuidades en diversos elementos, como rozas sin aislar, cajas de instalaciones sin sellar, chimeneas, *shunts* y conductos de ventilación, así como ventanas con filtraciones.

Los huecos o espacios vacíos no son el único tipo de discontinuidades que puede sufrir el aislamiento térmico. Las discontinuidades también pueden producirse por la existencia de puentes térmicos, materiales conductores que penetran o interrumpen el aislamiento térmico en la junta de un muro con un forjado. Por ejemplo, los conectores de madera o metal de un muro entramado pueden actuar como puentes térmicos, permitiendo que el calor se cuele por el muro.

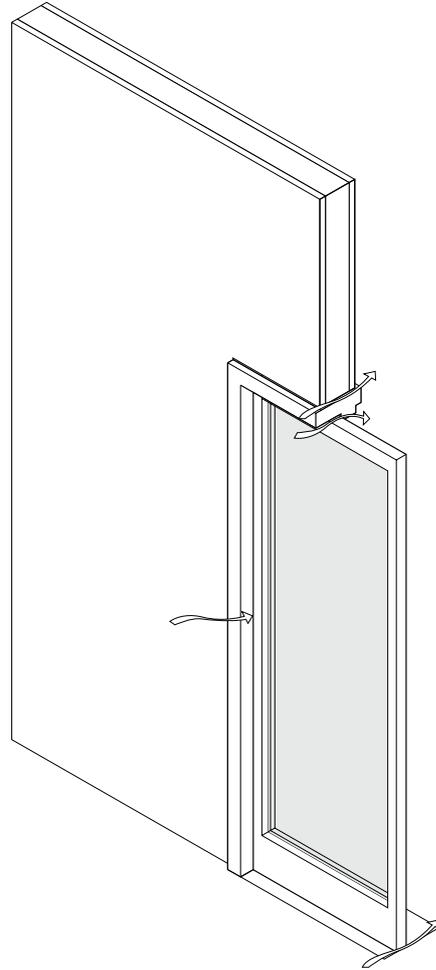
Los muros y los forjados con aislamiento térmico expuesto en una de sus caras son casos típicos de una capa de protección débil. Por ejemplo, a menudo los forjados sanitarios o por encima de sótanos sin calefacción tienen el aislamiento térmico en su parte inferior sin ningún tipo de protección; este problema también se da en los áticos, donde el aislamiento aplicado sobre falsos techos y paredes carece de protección y puede moverse o dañarse. Incluso en el caso de que el aislamiento térmico se mantenga en su posición, el aire puede circular alrededor del propio aislamiento y alcanzar la cara fría de las divisiones interiores, aumentando las pérdidas térmicas de los espacios con calefacción.

2.07 Una capa de protección será débil si tiene muchas discontinuidades, ya sean huecos o puentes térmicos.



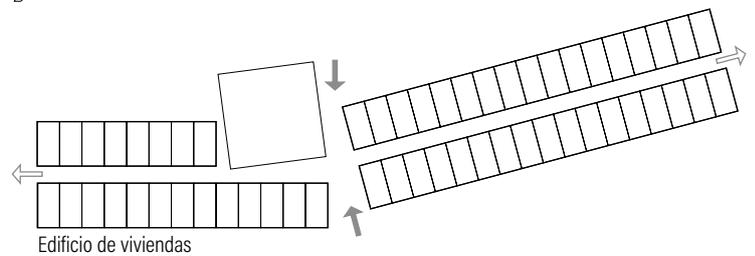
2.08 Un aislamiento térmico expuesto puede debilitar una capa de protección.

2.09 Aunque los muros suelen ser capas de protección robustas, las puertas pueden debilitar esta protección con el paso del tiempo, a medida que se produzcan pequeños descuelgues respecto del marco, o se desprendan o agrieten los diferentes elementos de sellado y aislamiento.

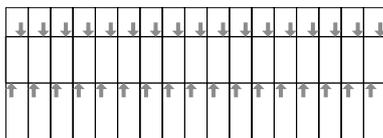
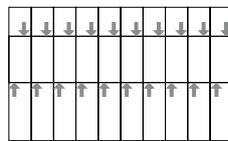


Las capas débiles lo son desde el primer momento. Una capa débil es aquella que puede ser resistente en un principio, pero que se debilita con el paso del tiempo. Una puerta bien aislada, con un buen sellado impermeabilizante, burlete y contrapuerta, puede comenzar ofreciendo una muy buena protección, pero con el tiempo el marco puede descolgarse, se descoloca el burlete, se deforma, se agrieta o desprende el sellado, o la contrapuerta deja de cerrar bien por el fallo de alguna bisagra. Por su propia naturaleza, una puerta y sus juntas son un componente débil, pues el propio uso acaba desgastando y debilitando su función como capa protectora.

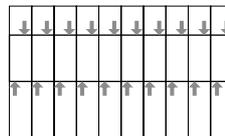
Un muro siempre es más robusto que una puerta, y sirve de capa de protección durante un período más prolongado. Por supuesto, no pueden construirse edificios sin puertas, pero si nos planteamos cuántas puertas exteriores son convenientes, entonces, cuantas menos, mejor. Por ejemplo, un edificio de apartamentos con dos puertas exteriores y un pasillo que dé acceso a cada vivienda tiene muchas menos puertas exteriores que un conjunto de viviendas unifamiliares con uno o dos accesos a la calle cada una.



↓ = Puertas exteriores



Conjunto de viviendas unifamiliares

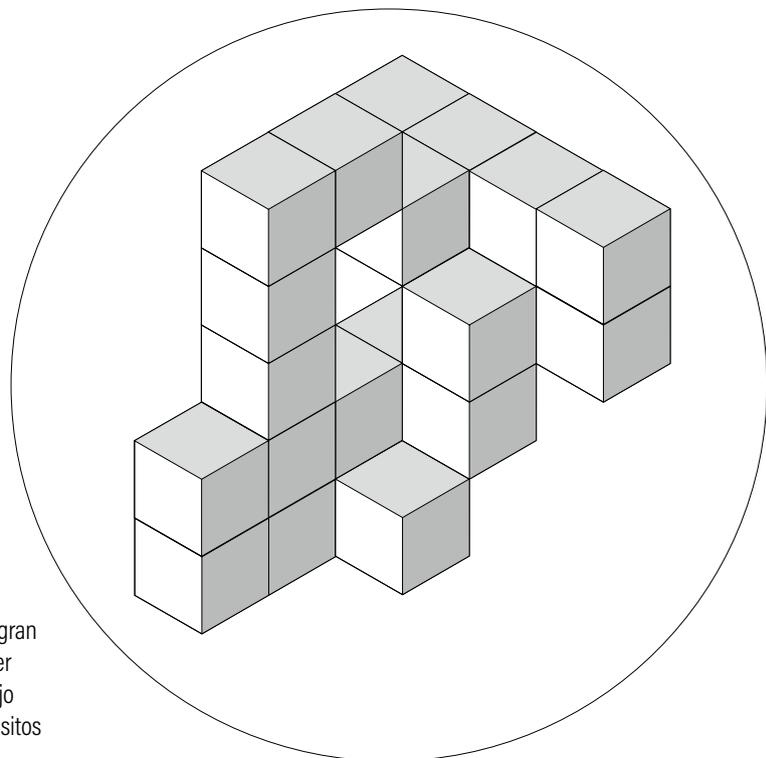
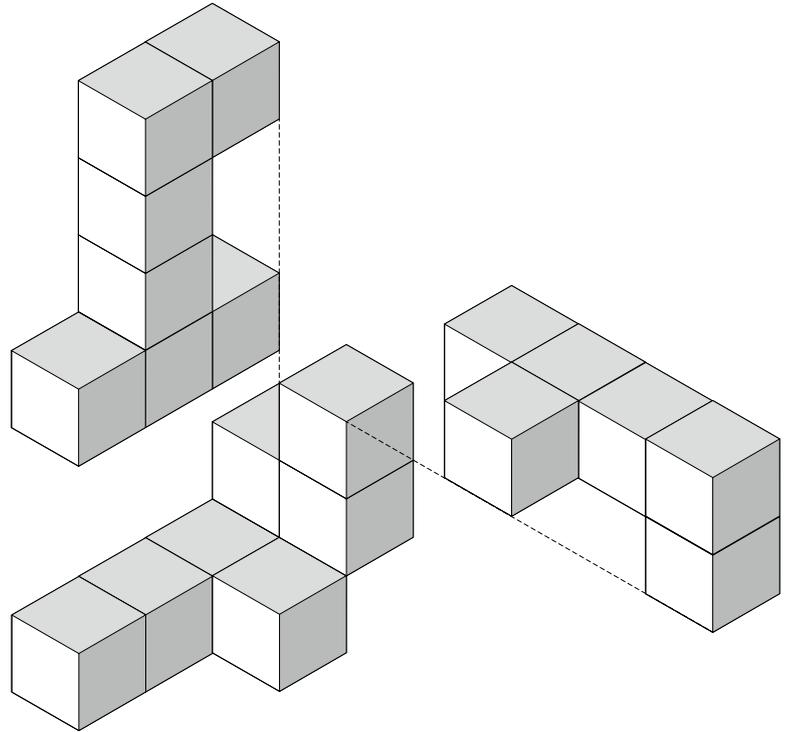


2.10 Comparación entre un edificio de viviendas con pasillos interiores de acceso a cada vivienda y un conjunto de viviendas unifamiliares con accesos independientes a la calle.

Proyecto holístico

Otro de los principios del proyecto ecológico reside en un enfoque holístico, capaz de comprender el edificio y su entorno como un todo y analizar todos los componentes de afuera adentro. La energía se utiliza y se desperdicia de múltiples maneras. Por ejemplo, la energía de calefacción es necesaria puesto que se producen pérdidas de calor por conducción y por filtración a través de la envolvente del edificio, pérdidas en el proceso de distribución y pérdidas en los propios equipos de calefacción. Para minimizar dichas pérdidas debe concebirse el edificio como un todo.

Un edificio concebido holísticamente es aquel en el que todas las pequeñas mejoras se suman para obtener resultados globales significativos. Por sí mismo, un muro hiperaislado de 30 cm de grosor no puede hacer que un edificio sea energéticamente eficiente si sus ventanas tienen una conductividad térmica elevada, si hay constantes filtraciones de aire por las juntas y el desván, o si el sistema de calefacción cuenta con un sistema de distribución del calor ineficaz. A menudo los edificios ecológicos cuentan con un único componente ecológico, aunque muy visible, pero siguen consumiendo una gran cantidad de energía debido a que no se puso la suficiente atención en el edificio como un todo.

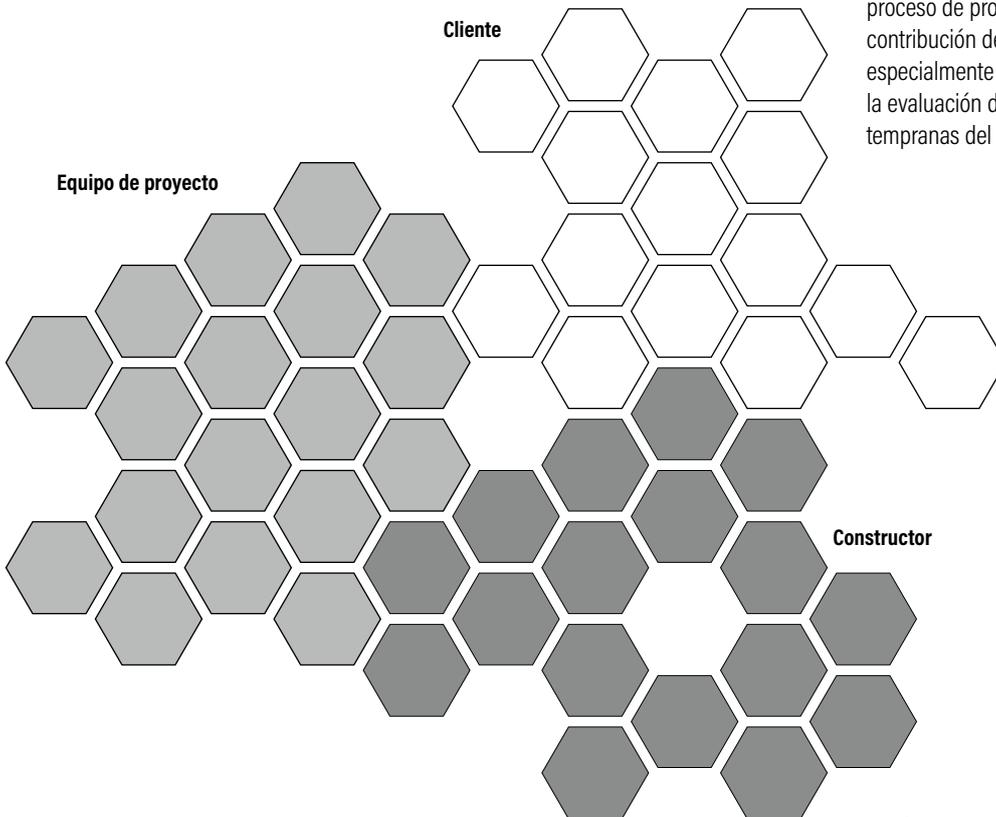


2.11 Al igual que cuando resolvemos un rompecabezas tridimensional, un proyecto ecológico eficaz requiere un gran número de pequeños pasos; cada uno de ellos debe tener presente los intereses del cliente para afrontar el complejo desafío de proyectar un edificio que responda a los requisitos ecológicos y de presupuesto.

2.12 Un proceso integrado de proyecto implica y concierne a una diversidad de agentes y requiere optimizar la comunicación entre el cliente, el proyectista y el contratista.

Proyecto integrado

Una práctica cada vez más común en el ámbito de la arquitectura ecológica es lo que se denomina "proyecto integrado". Esta manera de trabajar implica que todos los participantes en un proyecto —cliente, inquilinos, arquitectos, ingenieros, consultores y contratistas— trabajan conjuntamente desde las primeras fases del proyecto. Este enfoque colaborativo pretende asegurar que todos los agentes contribuyen a mejorar el comportamiento ecológico del edificio y a tener en cuenta la importancia de los puntos de vista, así como las necesidades en todas las fases del proceso de proyecto. El proyecto integrado supone una contribución de gran valor al proyecto de edificios ecológicos, especialmente en lo que se refiere a la incorporación de la evaluación de los costes energéticos en las fases más tempranas del proceso.



En el proyecto de afuera adentro no se pretende restar prioridad a las cuestiones que se tratan en las fases finales del proceso, como la distribución y las especificaciones de los puntos de luz, o de los sistemas de calefacción o climatización. Es esencial tratar todas estas cuestiones desde la fase más temprana posible e ir las cerrando durante el proceso de proyecto.

Es preciso identificar con claridad y con el mayor detalle posible las expectativas del cliente en la fase temprana del proceso de proyecto. Para ello, se identificarán aquellos que espacios que deberían contar con un control de la temperatura y el número de personas que está previsto que utilicen el edificio y en qué momentos. Las decisiones que se tomen en esta primera fase tendrán una gran influencia en las decisiones posteriores, como el tipo de calefacción o climatización que es necesario utilizar, que a su vez influirá en la altura del edificio, o si será necesaria la instalación de una sala de máquinas. El proyecto integrado construye el sentido común y permite que todos los componentes del edificio trabajen conjuntamente y no como piezas aisladas.