Tema 4

Edificando la crisis: entorno construido y medio ambiente

Objetivos

- Conocer el impacto ecológico de los edificios en los que vivimos y trabajamos
- Identificar las resistencias culturales, económicas y organizativas para hacer más sostenible el entorno construido
- Distinguir entre procesos y productos en el diseño del entorno construido, y analizar la naturaleza social de los procesos de diseño
- Apreciar el conocimiento tradicional de la interacción entre clima y construcción
- Identificar el aprovechamiento pasivo de la energía solar en la arquitectura bioclimática
- Describir cómo podría ser una «construcción verde» realmente sostenible, regenerativa

4.1. ¿POR QUÉ NO VIVIMOS EN CASAS «VERDES»?

"La vivienda está *tirada*", dice Mark. "Sólo tenemos que aplicar la tecnología que ya tenemos". Mark es Mark Levine, miembro del Lawrence Berkeley National Laboratory de California, y uno de los autores del capítulo del →IPCC sobre reducción de gases de efecto invernadero. Lo que está *tirado* es reducir nada menos que un tercio de las emisiones actuales de gases de efecto invernadero, aplicando la tecnología de eficiencia energética disponible a la construcción y renovación de viviendas y oficinas. ¿Cuánto costaría? *Menos que cero*. Los ahorros obtenidos en la factura de la luz, del gas, etc. en un solo año harían ya rentables muchas de las innovaciones.

Sólo hay un problema: todo esto ya lo sabemos desde hace décadas y se ha hecho muy poco.

> Sabemos que hoy se pueden diseñar los edificios para que funcionen con menos de la mitad de la energía del edificio norteamericano medio sin coste adicional. La información de diseño necesaria para conseguir esto está disponible libremente. Fue desarrollada en los años 70 y 80 junto con proyectos de demostración que se construyeron y evaluaron entonces[..] Desde entonces, se han diseñado y construido numerosos edificios de todo tipo con consumos anuales de energía y emisiones de CO_2 de un 50 a un 75 por ciento inferiores a la media norteamericana, ilustrando aún más que esta magnitud de reducción es fácilmente alcanzable (Mazrias, 2003).

Si la tecnología es conocida, relativamente sencilla, y su coste bajo o nulo, ¿por qué no se ponen en práctica todas estas mejoras? En este tema recorreremos algunos de los factores que dificultan la adopción de criterios proecológicos en el diseño, construcción, mantenimiento y desmantelamiento de los edificios en los que vivimos y trabajamos.

Además del interés que esto tiene por sí mismo, el caso del entorno construido ilustrará varios de los *leitmotiv* de la asignatura. Frente a una lectura de los problemas social-ecológicos basada en la conciencia y la moral, veremos factores de organización económica, incentivos mal alineados, la dificultad de la difusión de procesos innovadores, la formación y la interacción entre distintos profesionales, etc. Frente a la tentación de las soluciones mágicas, veremos en detalle cómo una excelente idea en el terreno de la construcción verde, la acreditación LEED del Green Building Council, puede tener consecuencias negativas, o al menos no cumplir adecuadamente su misión de orientar el diseño arquitectónico hacia la sostenibilidad.

También destacaremos la capacidad de adaptación a las condiciones climáticas locales que muestran las tradiciones constructivas de lugares como el Mediterráneo o el Medio Oriente. La arquitectura →bioclimática comparte con la vernácula la apuesta básica del aprovechamiento de la energía solar para calentar (y enfriar) los edificios de forma *pasiva*. Por último, nos plantearemos otra manera de entender la sostenibilidad desde el diseño *regenerativo* del entorno construido.

4.2. LOS CIMIENTOS DE LA MITAD DEL PROBLEMA

¿Cuánto gastan nuestros edificios? El arquitecto Edward Mazrias, impulsor de la iniciativa *Architecture 2030*, ha calculado que el 50 por ciento de todo el gasto energético está ligado a los edificios en que vivimos y trabajamos. Si le parece demasiado, póngase a sumar: calefacción, aire acondicionado, iluminación, ascensores, ventilación; también la parte del gasto de transporte de los materiales y equipos de construcción, y la energía y materiales consumidos por la industria de la edificación. Dependiendo del país y su clima (y de sus tipos y estándares de urbanismo, vivienda y construcción), se trata sin duda de entre un 40 y un 50 por ciento del impacto antropogénico en el medio. Reducir la

huella ecológica global pasa necesariamente por reducir todos estos capítulos de gasto de recursos. Y hay razones para que nos preocupemos especialmente de nuestro entorno construido.

Para empezar, lo que construimos hoy nos acompañará durante mucho tiempo (en el tema 8 entenderemos esto como un «atrapamiento coevolutivo»). En el gráfico 4.1 de la página 90 puede comprobarse que la inmensa mayoría de las viviendas en España fueron construidas hace décadas. Las decisiones que tomemos sobre nuestras oficinas, fábricas, centros comerciales y viviendas son acumulativas, muy difíciles de reconducir, y tienen consecuencias a muy largo plazo. Como los antiguos galeones que traían la plata de América, cuesta mucho más cambiar el rumbo de lo edificado que otros factores de nuestra huella ecológica. El parque de vehículos, por ejemplo, se renueva en mucha mayor proporción que el de viviendas. La edad media de los automóviles en España era en 2007 de 8.4 años, frente a los casi 39 de los hogares.

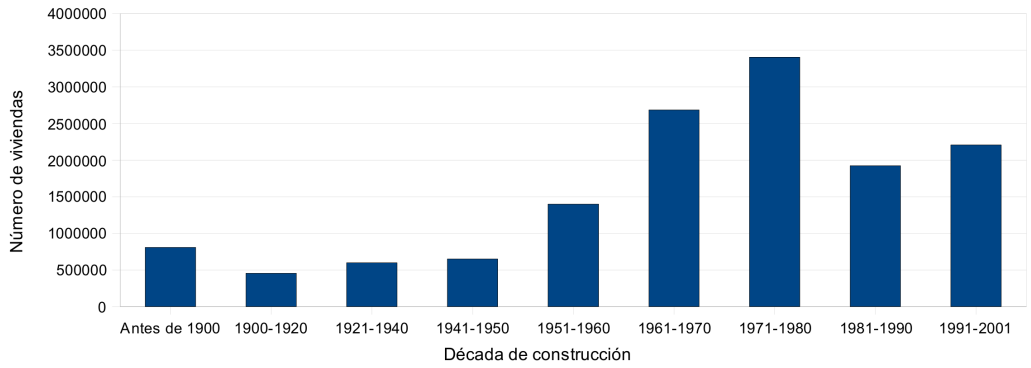

Figura 4.1 – Viviendas en España por década de construcción (Censo 2001)

También *dónde* construimos tiene consecuencias a largo plazo en las pautas de transporte que cristaliza. El «sueño americano» de los suburbios y →exurbios, de casas cada vez más grandes en lugares cada vez más lejanos del centro de las ciudades, depende básicamente del automóvil para ser viable, y hace inservibles las redes de transporte público. Cuanto más se impone una «trama urbana» dispersa, con pocos habitantes por km^2, nos hacemos más insostenibles, y hacemos más rígida

nuestra sociedad para futuras adaptaciones a escenarios climáticos y energéticos distintos.

El impacto del entorno construido no se limita al gasto energético, aunque éste es el capítulo más importante. La producción de residuos sólidos derivados de la edificación se sitúa en torno a un tercio del total. La ocupación y desplazamiento de hábitats naturales es otra de las grandes fuentes de impacto ambiental de nuestro propio hábitat de cemento y acero.

4.3. ¿QUÉ SIGNIFICA «CONSTRUIR VERDE»?

Uno de los primeros edificios en conseguir la acreditación *Platino* del programa LEED (véase la sección 4.6 de este tema en la página 105) fue el Centro Philip Merrill (en adelante CPM) de la Fundación Bahía Chesapeake (Annapolis, Maryland). ¿Qué hace que sea un paradigma de «construcción verde»?

Solar y orientación. La primera tarea de un edificio «verde» es reducir su impacto en el territorio. El CPM ocupa el lugar en el que se situaba la piscina del hotel Bay Ridge Inn y la casa de baños. La situación del edificio consigue una orientación óptima respecto de la radiación solar, y el mejor ángulo para aprovechar los vientos predominantes para la iluminación natural y la ventilación.

Pozos geotérmicos. A una profundidad de 100 metros, la tierra en ese punto del planeta mantiene una temperatura constante de 12 grados. El Centro reduce en un tercio su factura energética apoyando la calefacción en invierno y la refrigeración en verano mediante el bombeo y circulación de agua a esta profundidad.

Ventilación natural. Una serie de sensores informan a los trabajadores de que pueden abrir sus ventanas para aprovechar el clima exterior

para ventilación, y se abren automáticamente las ventanas de las buhardillas.

Menor gasto eléctrico. Gracias a a la orientación solar y la ventilación natural, durante un tercio del año no son necesarios los sistemas de calefacción y refrigeración.

Energía solar. Parte de la electricidad empleada se genera mediante paneles solares, que también calientan parte del agua empleada en el circuito sanitario.

Aislamiento en los paneles estructurales. Los paneles empleados en paredes y techos tienen en el centro una capa de espuma aislante de 10 a 15 centímetros de espesor, lo que reduce la demanda energética.

Captura de agua de lluvia. En el tejado se captura el agua de lluvia para su uso en el riego, extinción de incendios, lavabos, deshumidificación, etc. El consumo de agua es un 92 por ciento inferior al de un edificio convencional, reduciendo el uso de agua subterránea o municipal, y casi elimina la escorrentía hacia la bahía y los arroyos cercanos.

Compostaje de residuos humanos. Los retretes no utilizan agua, y conducen los desechos a una zona de compostaje, de donde emergen como humus tras una fermentación de tres años.

Menos COVs. Los barnices y pinturas empleados contienen bajas o nulas cantidades de compuestos orgánicos volátiles, lo que contribuye a una buena calidad el ambiente interior.

Hábitat. El entorno del CPM se ha mejorado mediante la plantación de miles de árboles y arbustos nativos, humedales, e incluso una barrera costera de moluscos. Durante la construcción, se plantaron 130 árboles, y se talaron 8.

Biofiltros y paisajismo con especies nativas. La zona de tránsito y aparcamiento de automóviles está ligeramente inclinada, y conduce el agua de lluvia mezclada con aceites pesados y restos de combustible a un biofiltro de retención, donde se tratan las toxinas por la acción de este pequeño ecosistema. Las plantas empleadas en el ajardinado son nativas, y eliminan la necesidad de fertilizantes, pesticidas y riego.

Materiales reciclados y renovables. Los paneles y suelos son de corcho, cuya recolección en períodos de siete a nueve años no supone la muerte del árbol. El bambú, empleado en las escaleras y suelos del *hall*, también puede recogerse en períodos de tres a cinco años. Techo y muros emplean paneles de acero reciclado Galvalume. El cerramiento del techo contiene un 78 por ciento de lana mineral y celulosa recicladas, y los paneles internos provienen en su totalidad de fibra de madera reciclada y recuperada. Las vigas, columnas y cerchas[1] están hechas de Parallam[2]. El resto de la madera del edificio (cubiertas, contrachapados) está certificada por el Forest Stewardship Council (→FSC) o de otros bosques gestionados sosteniblemente.

Plan de transporte. Se incentivan las formas sostenibles de desplazamiento por parte de los ocupantes del CPM, mediante espacios para bicicletas, duchas y vestuarios; disponibilidad de bicicletas propias para desplazamientos cortos (a centros comerciales); carga gratuita de baterías de coches eléctricos; incentivos para compartir coches; un coche de empresa híbrido poco contaminante; videoconferencias y teletrabajo para reducir desplazamientos; y comidas y desayunos en el Centro.

El centro Philip Merrill reúne buena parte de los rasgos de un edificio de alto rendimiento: gran bienestar con poco gasto energético y de materiales. Existen muchas soluciones constructivas que impulsan este rendimiento. Podemos distinguir en ellas, como en muchas de las aproximaciones a la sostenibilidad, un enfoque centrado en la tecnología (*hi-tech*) y otro que busca la eficiencia en soluciones *pasivas*.

Éstas últimas son especialmente interesantes. Tomemos como ejemplo la calefacción solar pasiva, la forma más eficiente de proporcionar calor a un edificio. Normalmente (dependiendo de la latitud y otras condiciones climáticas), la cantidad de energía solar que recibe una vivienda es más que suficiente para mantener los niveles térmicos interiores necesarios para sus habitantes, siempre que se gestione adecuadamente el aislamiento y la inercia térmica; es decir, la cantidad de calor que pueden conservar los cuerpos que componen el edificio –como sus muros– y la velocidad con la que lo ceden o absorben, y que dependerá de la masa, el tipo de material y su calor específico, y su conductividad térmica). Las soluciones solares pasivas, si se incluyen en el diseño inicial, tratan de aprovechar esta energía, de modo que no suponen costes adicionales, y sin embargo reducen los costes de mantenimiento y equipamiento →HVAC.

De forma muy genérica, el aprovechamiento solar térmico para edificios tiene dos elementos: una alta exposición solar en la fachada sur, con materiales transparentes como el cristal o el plástico que permiten la entrada de la radiación solar, más un material que absorbe y almacena el calor para su uso posterior. Un ejemplo de muy bajo coste de este sistema son los muros hechos de botellas de agua (recordemos que el calor específico del agua es muy alto, de 1 Kcal/Kg ^{o}C), que almacenan el calor diurno para irradiarlo por la noche (de la misma manera que la inercia térmica del mar atempera el clima costero).

En los países del sur, sobre todo en verano, la ganancia de energía térmica solar es precisamente lo que hay que evitar. Para ello, lo más sencillo es emplear parasoles horizontales sobre los dinteles de los huecos. En invierno, cuando los rayos solares tienen una baja inclinación, la luz penetra por los huecos (como las ventanas); en verano, el ángulo de los rayos sobre el parasol impide que penetre la radiación directa y que la vivienda o la oficina se sobrecaliente.

Uno de los elementos típicos de la arquitectura bioclimática, de gran sencillez y eficacia, es el muro Trombe[3]. Se trata de colocar un vidrio simple o doble, a unos 10 cm. de separación, delante de un muro de

hormigón u otro material de alta inercia térmica[4] (pintado de color oscuro por su cara exterior). Por efecto invernadero, el vidrio evita pérdidas de calor del muro al exterior, creando una cámara de aire caliente que circula por convección por dos aberturas situadas en la parte superior e inferior del muro (de día funciona por convección de aire y por la noche por radiación del calor acumulado en el muro). En verano se refrigera el interior abriendo un tiro en la parte superior del vidrio y cerrando la abertura superior en el muro.

Hemos visto una serie de principios bastante sencillos cuya aplicación reduce de manera considerable el gasto energético de los edificios, que son conocidos desde hace décadas (de hecho, muchos de ellos son aplicados por la arquitectura tradicional desde hace siglos o milenios). Sin embargo, pocos diseños hacen un uso sistemático de éstas y otras soluciones constructivas para reducir su factura energética y su uso de materiales. ¿Por qué?

4.4. BARRERAS A LA EFICIENCIA

El sector de la construcción pierde sistemáticamente muchas oportunidades de conseguir productos (casas, oficinas) mucho más eficientes, con bajo o nulo coste. Vamos ahora a ver algunas de las razones por las que esto es así. Muchos de estos elementos están interrelacionados: por ejemplo, el que la construcción de un edificio sea el resultado del trabajo de actores que no se comunican entre sí puede llevar a que el equipamiento de aire acondicionado o calefacción sea de peor calidad, o a que esté sobredimensionado, lo que redunda en peores rendimientos.

4.4.1. Incentivos contradictorios

En la mayoría de los edificios, el promotor y constructor es distinto del ocupante. Pueden darse casos más complicados, en los que el constructor tiene un contrato con un promotor que arrienda el edificio a una empresa que a su vez lo alquila a los ocupantes finales. Piense un momento lo que esto significa en términos de sus intereses respectivos a la hora de diseñar y construir el edificio.

¿Qué consecuencias tiene esto para la sostenibilidad del diseño y construcción del edificio? Pues que los intereses de constructor y ocupantes (y de los demás intervinientes) *no coinciden*. Pensemos en una oficina. Para el constructor es preferible ahorrar costes en el diseño, los materiales, la edificación; pero sobre todo le interesa ahorrar tiempo. Cuando antes acabe este edificio, antes podrá llevar sus recursos productivos a otro solar, y menos salarios pagará. Sin embargo, para el ocupante sería bueno que el edificio gastara la menor cantidad de energía posible, y especialmente (ver sección 4.6) que su calidad ambiental *interior* fuera la mayor posible.

En economía esta diferencia entre los intereses de unos y otros agentes se denomina problemas «principal-agente». Pero no son estos los únicos incentivos «perversos», que van en sentido contrario al ecológicamente deseable. Imaginemos un equipo de arquitectos, ingenieros, ambientólogos y otros profesionales (geólogos, por ejemplo) que trabajaran de manera integrada, como veremos enseguida. Su propuesta final es un edificio basado en un diseño *pasivo*, es decir, que para su calefacción, acondicionamiento, iluminación y ventilación aprovecha la luz solar, el viento, la vegetación y otros recursos naturales existentes en el lugar de construcción. Gracias a ello, deciden no instalar un gran sistema de calderas, bombas, tuberías, válvulas y ventiladores, de un coste muy alto. Ahorran así un buen dinero tanto al constructor como al usuario final. Sin embargo, en ese mismo momento, su remuneración se reduce notablemente.

¿Por qué? La remuneración que percibe el equipo de diseño (un estudio de arquitectura asesorado por ingenieros, por ejemplo) suele ser un porcentaje del *coste total* del edificio. Si este último se reduce por un mejor (y más trabajado) diseño, el resultado puede ser que los responsables cobren *menos*.

¿Podrían modificarse estos incentivos contradictorios de los intervinientes en la construcción? Sí. Los «honorarios basados en el rendimiento»[5], hacen que el equipo de diseño de arquitectos e ingenieros vincule parte de sus honorarios a los ahorros obtenidos en la factura energética. Cuanto más eficiente sea el edificio, más cobrarán los diseñadores. A primera vista, parece una de esas soluciones en las que ganan todos (*win-win*). Sigamos con otras razones por las que la construcción se resiste a ser «verde».

4.4.2. Cada edificio es único... y es caro

La construcción se distingue de otras industrias por la naturaleza física de sus procesos y productos. El ensamblaje de los componentes del edificio se realiza, en la mayor parte de los casos, en el propio solar. Pocos procesos combinan la localización espacial de producción y producto de la construcción. Por otra parte, cada edificio ha de diseñarse específicamente para el solar y el cliente concreto (o al menos así debería hacerse, para aprovechar al máximo las oportunidades locales de ahorro, asociadas a la orientación, localización, configuración geológica, etc.).

Este carácter «único» de cada edificio ha llevado a un bajo nivel de estandarización en los procesos de diseño y producción de los edificios, y a una falta de economías de escala. Los productos de la edificación requieren capitales muy grandes, por lo que cada cliente suele participar pocas veces en el mercado de la vivienda o de edificios corporativos. Esto impide el aprendizaje que en otros mercados lleva a los clientes a conocer mejor sus demandas y las posibilidades de diseño disponibles.

4.4.3. Características de la industria de la construcción

La industria de la construcción se caracteriza por un altísimo nivel de subcontratación, un predominio de pequeñas y medianas empresas, y alta temporalidad en los contratos, por un lado, y un bajo nivel de inversión en I+D y en formación. Muchos proyectos son el producto de uniones temporales de empresas (las conocidas como U.T.E.s). Todas estas condiciones dificultan la difusión de tecnología y procesos constructivos avanzados, y determinan procesos constructivos fragmentados y regulados por contratos y prácticas mal coordinados.

4.4.4. Financiación y presiones de tiempo

La financiación es la clave de la organización actual del sector de la construcción. En la práctica, muchas grandes empresas del sector son en realidad financieras que delegan en un árbol de subcontratas las tareas de la edificación propiamente dicha. Muchas de las fuentes de financiación pública y privada generan presiones de tiempo; por ejemplo, el cierre de ejercicios fiscales, períodos electorales con las prisas para la inauguración oficial, etc. Estas presiones impiden que se dedique el cuidado necesario al diseño y la coordinación entre agentes constructivos (clientes, arquitectos, abogados, trabajadores, verificadores de instalaciones, suministradores, *project managers*, etc.)

4.4.5. Desatención a los costes del ciclo de vida

El coste de un bien tan longevo como un edificio resulta de sumar su coste de adquisición al de mantenimiento (y desmantelamiento). Sin embargo, las decisiones suelen estar guiadas por un indicador de coste por unidad de superficie, que no tiene en cuenta el ciclo de vida del equipamiento. A menudo se desechan opciones energéticamente eficientes,

a pesar de que su →tasa de retorno es superior al coste del capital para el cliente.

4.4.6. Falta de integración

Como veremos con más atención en la sección 4.5, la complejidad de los equilibrios entre características constructivas, equipamientos, confort, entorno, etc., sólo pueden evaluarse adecuadamente en el marco de un equipo de diseño integrado. Sin embargo, la edificación suele ser un proceso *secuencial*, con poca información entre los protagonistas de las distintas fases. Cada una de las decisiones que se van tomando a lo largo de la secuencia va cerrando efectivamente la posibilidad de soluciones coordinadas entre distintos componentes del edificio. Exactamente lo contrario de lo que el descubrimiento de soluciones integradas requiere, como veremos un poco más abajo.

4.4.7. Recortes de los equipamientos

Los ingenieros que se encargan de los equipamientos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire →HVAC suelen llegar los últimos al proceso de diseño/construcción, sin que hayan podido intervenir en las fases previas. A menudo, el presupuesto ya ha superado los costes inicialmente previstos, y también típicamente sin tiempo para replantearse características importantes de la construcción. En estas condiciones pocas veces se corren riesgos, y se recurre a soluciones estandarizadas.

4.4.7.1. Sobredimensionamiento

El sobredimensionamiento del equipamiento →HVAC es uno de los factores que más contribuyen a la ineficiencia energética del entorno construido. El funcionamiento de estos equipos a potencias bajas respecto de su capacidad máxima reduce su eficiencia. Nada menos que un 15 por ciento de la energía que consumen los edificios podría estar causada por estas ineficiencias derivadas de tamaños y potencias excesivas.

¿Por qué están sobredimensionados estos equipamientos? Los ingenieros se protegen así ante futuros incrementos en la demanda de servicios HVAC en el edificio, por un lado, e instalaciones defectuosas o que persigan un fuerte ahorro de costes, por otro, especificando equipos más potentes.

4.4.8. Competición en las ofertas y pérdida de calidad

¿Cómo se escoge al constructor de un hospital o un pabellón universitario? Los procesos de licitación tienden a seleccionar la oferta más barata que cumpla los requisitos genéricos, entre los cuales raras veces se incluyen criterios de eficiencia. Esta situación hace que todos los incentivos se dirijan a reducir costes y a acelerar el tiempo de diseño y construcción.

4.4.9. Verificación del cumplimiento

El último punto del proceso secuencial de la construcción es la verificación de que el edificio responde a los requisitos del cliente (*commissioning*), y su puesta a punto para su ocupación. Servicios y equipamientos cada vez más complejos requieren que los ajustes y adaptaciones al uso real sean más cuidadosas. De nuevo, las presiones de tiempo, la

ausencia de incentivos y la falta de comunicación entre constructores, ingenieros, técnicos y clientes producen importantes ineficiencias e incomodidades.

Muy pocas veces se realizan estudios del rendimiento del edificio tras la llegada de sus ocupantes. Las «evaluaciones post-ocupación», cuando se realizan, muestran a menudo que la relación entre usuarios y diseño sostenible no es sencilla.

4.5. DISEÑO INTEGRAL DE SISTEMAS: LOS PROCESOS SON MÁS DIFÍCILES

Hemos apuntado varias veces que una de las claves principales de un entorno construido más sostenible es que se diseñen de forma *integrada*. ¿Qué quiere decir esto?

El diseño constructivo integrado busca los beneficios sinérgicos entre aspectos muy diversos del diseño, entre disciplinas múltiples: arquitectos, ingenieros de HVAC, iluminación, paisajismo, interiorismo, y también ergónomos o geólogos. El objetivo es obtener altos rendimientos y beneficios múltiples a un coste más bajo que el de todos los componentes juntos. El trabajo conjunto de esta variedad de profesionales en los puntos clave del proceso (sobre todo al comienzo) logra identificar soluciones que en un proceso secuencial se harían «invisibles», y además con costes agregados que pueden ser menores.

El diseño integrado comienza con un análisis de los espacios requeridos, describiendo con detalle sus funciones, ocupación y usos, las necesidades de luz natural y eléctrica, estándares ambientales interiores, necesidades de aislamiento acústico, etc. Se pueden entonces agrupar estos espacios por funciones, por zonas térmicas, necesidades de iluminación y salidas al exterior, etc.

El proceso de análisis y diseño integrado en la construcción incluye diversos elementos:

- Disponer de un nivel de base, por ejemplo, el perfil de rendimiento de uso y coste energético de una instalación típica, similar a la proyectada, que cumple con los códigos de edificación

- Identificar un abanico de soluciones potenciales para el proyecto en curso

- Evaluar el rendimiento de las distintas estrategias individuales

- Agrupar las estrategias con mejor rendimiento en el caso concreto en distintas combinaciones, y volver a evaluar los resultados previsibles

- Seleccionar las estrategias, refinar el diseño, e iterar el análisis de todo el proceso

El diseño integrado no es sencillo[6]. La aproximación típica es la de hacer cambios relativamente menores y desconectados entre sí, que tienen efectos limitados en el rendimiento, y detenerse cuando los costes superan una cierta barrera económica. Pero las oportunidades que ofrece el diseño integrado van más allá, y a menudo consiguen lo que Lovins y Hawken llaman «hacer un túnel en la barrera de costes» (Hawken *et al.*, 1999, esp. cap. 6).

Podemos entender esto con un ejemplo (Hawken *et al.*, 1999, 119-20): una torre de oficinas de Chicago tenía que renovar sus ventanas, y sus enormes sistemas →HVAC. Sin embargo, se propuso la utilización de «superventanas» (vidrio tratado con capas invisibles que reflejan el calor dejando pasar la luz, con un aislante de gas inerte interior para aislar térmica y acústicamente), junto con iluminación y equipamiento de oficina de alta eficiencia. De este modo, se reducía la carga de refrigeración en un 85 por ciento. Se pudo entonces adquirir un equipo de refrigeración tres cuartas partes menor, cuatro veces más eficiente,

y mucho más barato. Con el dinero ahorrado en este equipo se podía pagar varias veces la inversión en «superventanas». Adicionalmente, la factura energética anual se redujo en un 75 por ciento.

> Esto requería *optimizar el edificio completo como un sistema*, no valorar el coste por rendimiento de sus componentes individuales... La clave es la ingeniería de sistemas integrales con una meticulosa atención a los detalles, que a menudo revela más de dos beneficios por tecnología. No es sorprendente que las superventanas tengan diez beneficios de ingeniería y económicos, que incluyen el confort por radiación, eliminación de radiadores bajo las ventanas, conductos menores, mejor defensa ante el ruido y los rayos ultravioletas, ausencia de condensación, mejor iluminación natural, y controles más simples.

Charles Kibert (2008, 89-94) propone para el diseño integrado un proceso basado en la *charrette*, un término que viene de la École des Beaux Arts del París decimonónico, en el que los profesores recogían en un carrito los proyectos de los alumnos de arquitectura. Los principios que deberían guiar la *charrette* para el entorno construido serían los siguientes:

- Implicar a todos los participantes desde el comienzo, incluyendo a los usuarios.
- Trabajar simultáneamente y combinando diversas perspectivas profesionales.
- Trabajar en bucles de retroalimentación cortos, aprovechando la creatividad de las sesiones conjuntas, pero facilitando la valoración de la viabilidad de las decisiones de diseño.
- Trabajar con todo el detalle posible, persiguiendo las consecuencias en otras partes del sistema de las decisiones que se toman en una de ellas; trabajar también a distintas escalas.

El esquema colaborativo del diseño mediante *charrette* o similares es muy importante para caminar hacia una edificación ecológica. Debe realizarse al comienzo mismo del proceso: cuando se lleva recorrido el 7 por ciento del proyecto edificatorio, se ha decidido ya el 85 por ciento de las posibilidades constructivas. También son cuatro las fases que Kibert propone para organizar la *charrette*

- Comienzo: identificación de los participantes, y coordinación de las reuniones.

- Investigación, educación, y conceptos básicos: debe preverse y recopilarse toda la información necesaria para la *charrette*, incluyendo datos sobre el programa del edificio, los detalles del solar, costes de energía, tecnologías concretas, etc.

- *Charrette*: tras informar a los participantes de las necesidades del cliente y las nociones básicas de la construcción de alto rendimiento, las reuniones se prolongan durante varios días, con fases de *brainstorming*, evaluación, y retorno de las decisiones de diseño.

- Revisión, ajustes e informe final, que guiará las decisiones de diseño operativas (los proyectos básicos y de ejecución).

Vemos que las dificultades que presenta el diseño «verde» del entorno construido son básicamente sociales, de organización económica y jurídica, más que técnicas. La organización social y cognitiva del diseño y la producción de edificios es la clave para sustituir «cerebro por energía». Parte de estos problemas se derivan de la dificultad de identificar las formas de construcción «realmente» ecológicas. Veremos ahora una propuesta cada vez más exitosa en este sentido: la certificación ecológica de edificios.

4.6. LEED Y LA FRUTA AL ALCANCE DE LA MANO

¿Cómo podemos saber si un edificio es «verde»? ¿Cómo pueden saber los implicados en su diseño y construcción, y los futuros usuarios, si se ha conseguido un diseño adecuado en diversas dimensiones como la eficiencia energética, el uso de materiales o la gestión hídrica? Los programas de certificación de edificios evalúan y orientan a la vez a los arquitectos e ingenieros sobre estas cuestiones.

Uno de los más importantes es el LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), aunque existen otros como BREEAM o el Golden Globes, o el más ambicioso de todos, el Living Buildings. Su objetivo es producir edificios que ahorren recursos, reduzcan costes y emisiones en su funcionamiento, reduzcan el calentamiento climático, mejoren la duración y el valor de mercado de los edificios, no dañen la capa de ozono, protejan la salud de los ocupantes, y mejoren la productividad de los trabajadores. El año 2006 más del 2 por ciento de los edificios comerciales y oficiales en construcción en Estados Unidos estaba registrado en el sistema LEED.

¿Cómo trata de lograr esto? LEED ofrece una lista de ítems en los que los diseñadores pueden mejorar el rendimiento del edificio en cinco categorías (ver cuadros 4.1 -página 108- y 4.2 -página 109-):

- territorio: situación y orientación del edificio en un solar
- consumo de energía
- gestión del agua
- calidad ambiental interior
- materiales de construcción

Pagando una tasa, y cumpliendo los prerrequisitos, se puede evaluar el edificio, acumulando puntos en cada una de estas categorías. Por ejemplo, si se consigue evitar que vaya a los vertederos el 50 por ciento de los materiales de desecho del proceso de construcción, se obtiene un punto. Si se evita que lo haga el 75 por ciento, se consigue otro punto más. Si el ajardinamiento y el paisajismo en general no emplea agua potable, u otras fuentes de agua natural superficiales o subterráneas, se obtiene otro punto.

Con 26 de los 69 puntos posibles, se alcanza la categoría de «Certificado LEED». Entre 33 y 38, se alcanza la de Plata; entre 39 y 51, la de Oro. Por encima, la de Platino, que pocos edificios del mundo alcanzan. De modo que si un cliente quiere asegurarse de que el edificio que encarga responde a su vocación ecológica, puede especificar en sus condiciones que los encargados de su construcción deben conseguir un LEED Plata, por ejemplo.

En los cuadros 4.1 y 4.2 de la página 108 y 109 el lector puede ver el listado[7] de todos los créditos y prerrequisitos LEED de nueva construcción en su versión 2.2 (existen criterios específicos para renovaciones o viviendas individuales, entre otros).

Es especialmente interesante el apartado de Calidad Ambiental Interior, en relación con la discusión sobre incentivos que veíamos más arriba. Los gastos de una empresa en la energía consumida por los edificios que ocupan suelen estar en el 1 por ciento respecto de sus gastos en personal, lo que puede hacer que esté «bajo el radar» de los gestores empresariales. Sin embargo, una de las variables fundamentales para su salud económica es la productividad de estos empleados, que está íntimamente ligada a la calidad del ambiente de sus oficinas y otros espacios. Por ejemplo, se observan reducciones del 20 al 40 por ciento en el absentismo laboral (asociado muchas veces, en forma de estrés y enfermedades respiratorias, a la baja calidad del ambiente interior).

La idea del LEED es excelente... en principio. Ha conseguido situar la construcción verde en un lugar preeminente de la industria de la construcción norteamericana. Los problemas de LEED son en parte similares a los que presenta todo proceso burocratizado, que fuerza realidades muy diversas a acomodarse a un mismo procedimiento. Un edificio en Alaska no se enfrenta a los mismos desafíos climáticos que otro en Arizona, donde ecológicamente la gestión hídrica debería contabilizarse en un número mayor de créditos. Los costes de la certificación pueden suponer entre un 1 y un 5 por ciento del coste total, lo que en muchos casos significa el abandono del proceso por los constructores.

Otros problemas del LEED son más importantes, y van a la raíz misma de la lógica de la certificación ecológica. Es muy posible que el equipo de diseñadores comience a centrarse obsesivamente en la obtención de créditos, perdiendo de vista su valor ambiental real. ¿Por qué?

> Porque existe el prestigio de conseguir una evaluación LEED alta; puede permitirte lograr tu reputación como empresa verde. Dado que la certificación LEED es costosa y requiere tiempo, unos pocos créditos «con trampa» puede valer su peso en oro LEED[8].

Por otro lado, aunque un sistema de puntos facilita enormemente la certificación, lleva también a situaciones paradójicas. Un arquitecto señalaba que «en un edificio reciente, recibimos un punto [LEED] por gastar 1.3 millones de dólares en un sistema de recuperación de calor que ahorraría 500.000 dólares al año en energía. También conseguimos un punto [LEED] por instalar un espacio para dejar las bicicletas que costó 395 dólares».

Uno de los factores más importantes, y más difíciles de tratar, es el modelado energético, un problema que el Código Técnico de la Edificación español también debe enfrentar. Como hemos visto más arriba, cada edificio es esencialmente único, de modo que para saber qué tanto por ciento de energía estamos ahorrando debemos compararlo con un

edificio imaginario equivalente, situado en el mismo solar y con la misma superficie, en el que se ha aplicado el mínimo exigido por el código de la edificación vigente.

Pero ¿qué significa equivalente? La tarea de averiguarlo se delega en una simulación de *software* (CALENER en el caso español, ASHRAE 90.1-2004 en el caso de LEED-NC v.2.2), que muestra el rendimiento comparativo de este «edificio virtual de base» frente al resultante del diseño propuesto. Estas simulaciones operan como una «caja negra», y cuando están en juego hasta 10 puntos LEED, pueden perder su función principal de orientar el diseño.

Criterios de puntuación del LEED v. 2.2 (primera parte)

- **Parcelas Sostenibles (14 Puntos Posibles)**: Prevención Contaminación Actividades Construcción (Requerido); Selección de la Parcela; Densidad Desarrollo y Conectividad Comunidad; Redesarrollo Suelos Industriales Contaminados; *Transporte Alternativo*: Acceso al Transporte Público| Almacén Bicicletas y Vestuarios| Vehículos Baja Emisión y Combustible| Capacidad de Aparcamiento; *Desarrollo de la Parcela*: Proteger o Restaurar el Hábitat| Maximizar el Espacio Abierto; *Diseño de la Escorrentía*: Control de Cantidad| Control de Calidad; *Efecto Isla de Calor*: No-Tejado| Tejado; Reducción de la Contaminación Lumínica
- **Eficiencia en Agua (5 Puntos Posibles)**: *Jardinería Eficiente en Agua*: Reducción del 50 % | Uso No Potable o Sin Riego; Tecnologías Innovadoras en Aguas Residuales; *Reducción del Uso del Agua*: Reducción del 20 %| Reducción del 30 %
- **Energía y Atmósfera (17 Puntos Posibles)**: Prerrequisito 1 Recepción Principales Sistemas Energéticos del Edificio; Prerrequisito 2 Mínima Eficiencia Energética; Prerrequisito 3 Gestión de los Refrigerantes Principales; Optimizar la Eficiencia Energética (de 1 a 10 puntos posibles); Energía Renovable In Situ (de 1 a 3 puntos posibles); Recepción Mejorada; Gestión Mejorada de los Refrigerantes; Medición y Verificación; Energía Verde

Cuadro 4.1 – Criterios LEED, primera parte

En definitiva, LEED puede llevar al diseñador a seleccionar sistemáticamente la «fruta más fácil de coger», los puntos más baratos en términos de complejidad de procedimiento de verificación, diseño e inversión,

perdiendo de vista en el proceso, al menos en parte, el objetivo ambiental de la certificación.

Criterios de puntuación del LEED v. 2.2 (segunda parte)

- **Materiales y Recursos (13 Puntos Posibles)**: Prerrequisito 1 Almacenamiento y Recogida de Reciclables (Requerido); *Reutilización Edificio*: Mantener 75% Muros, Suelo y Tejado Existente| Mantener 95% Muros, etc. | Mantener 50% Elementos Interior No-Estructurales; *Gestión Residuos Construcción*: Desviar 50% del Vertedero; | Desviar 75% del Vertedero; *Reutilización de Materiales*: 5%| 10%; *Contenido en Reciclados*: 10% (post-consumidor + 1/2 pre-consumidor); 20%; *Materiales Regionales*: 10% Extraídos, Procesados y Fabricados en la Región| 20% Extraídos etc.; Materiales Rápidamente Renovables; Madera Certificada
- **Calidad Ambiental Interior (15 Puntos Posibles)**: Prerrequisito 1 (Requerido) Mínima Eficiencia CAI; Prerrequisito 2 (Requerido) Control del Humo de Tabaco Ambiental (HTA); Seguimiento de la Entrada de Aire Fresco; Aumento de la Ventilación; *Plan de Gestión de Construcción CAI*:, Durante Construcción| Antes de Ocupación; *Materiales de Baja Emisión*: Adhesivos y Sellantes| Pinturas y Recubrimientos| Sistemas de Moquetas| Madera comp. y Prod. Fibras Agr.; Control Fuentes Interiores Prod. Químicos y Contaminantes; *Capacidad de Control de Sistemas*: Iluminación| Confort térmico; *Confort Térmico*: Diseño| Verificación; *Luz Natural y Vistas*: Luz Natural en el 75% de los Espacios;| 90% de los Espacios
- **Proceso de Innovación y Diseño (5 Puntos Posibles)**: Innovación en el Diseño (hasta 4 puntos); Profesional Acreditado en LEED
- **Totales del Edificio: 69 Puntos Posibles**

Cuadro 4.2 – Criterios LEED, segunda parte

4.7. EL CLIMA DE LA TRADICIÓN

Uno de los *leitmotiv* de la asignatura es que la adaptación al espacio local es una de las bases de la sostenibilidad. Las formas de vida y consumo que no tienen en cuenta el clima, el suelo, la relación con los ecosistemas cercanos, no pueden ser por definición sostenibles. Las tradiciones en el vestido, la vivienda o la alimentación codifican en parte el

resultado de estas adaptaciones a las condiciones del entorno cercano. La preocupación por la sostenibilidad ha reafirmado el valor de este conocimiento local, muchas veces despreciado como incompatible con la modernización.

El delirio de los recursos infinitos se hace evidente al comparar los paisajes de casas unifamiliares de California (o en muchos lugares del Mediterráneo español), techados con colores oscuros, con las casas encaladas de los pueblos blancos de Andalucía o las islas griegas. La diferencia de temperatura causada por la ganancia solar de estos techos de albedo muy bajo supone hasta un 60 por ciento del gasto en electricidad.

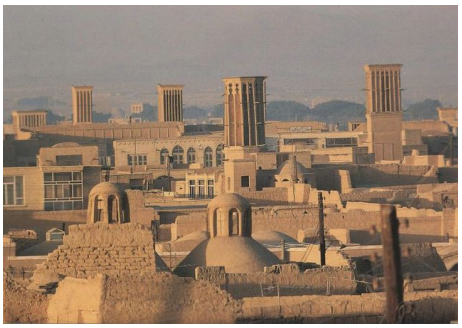

Figura 4.2 – El paisaje de la ciudad iraní de Yazd es conocido por sus torres «atrapavientos», los *bâdgir*

Las tradiciones arquitectónicas son un depósito de soluciones adaptativas al entorno. En el ardiente clima del sur de Irán, las «torres atrapavientos», los *bâdgir* hacen circular una corriente de aire continua desde la zona de alta presión a barlovento hacia la zona a sotavento de la casa.

> Aunque enfriado por las paredes laterales del conducto, el aire puede estar aún más caliente que el aire del interior de la habitación, pero su movimiento ayuda a la evaporación de la perspiración en la superficie de la piel, y así a la reducción de la temperatura corporal. La circulación se logra mediante pasillos a los que se dirige el aire de salida. Para ayudar

al proceso de enfriamiento, pueden colocarse recipientes de agua en el conducto a su entrada a la habitación, o esteras mojadas[9](Oliver, 2007, 141).

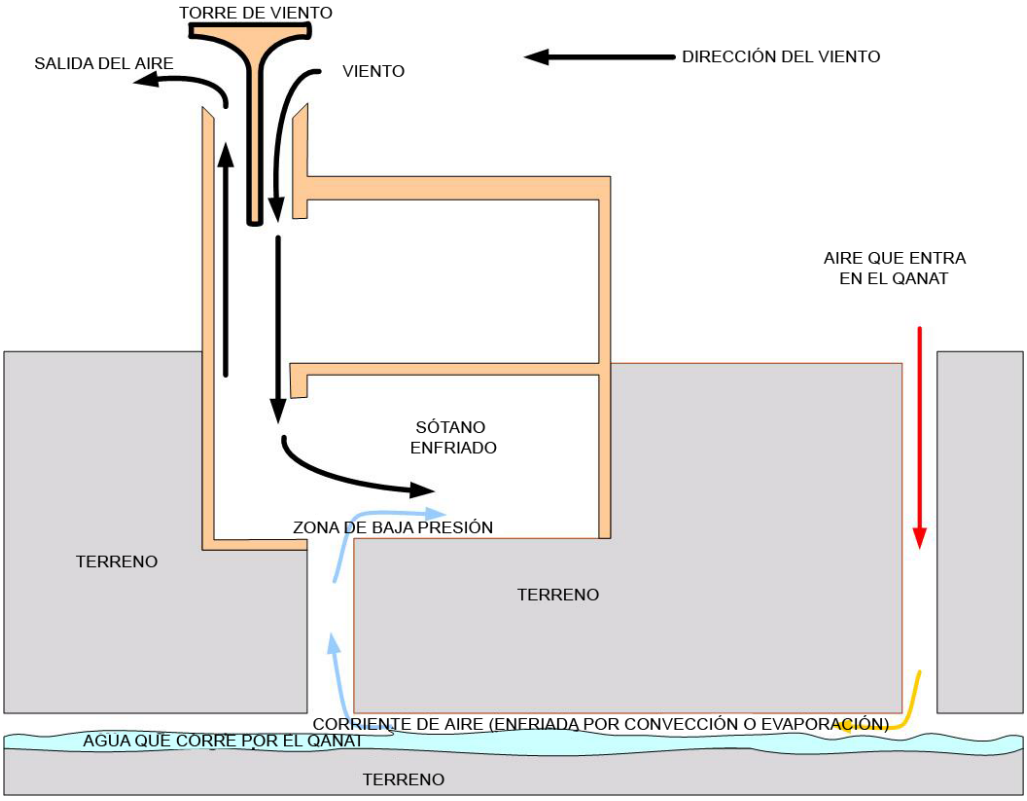

Figura 4.3 – Esquema de funcionamiento del *bâdgir* y el *qanat*

Estas soluciones, en el sentido del diseño integrado, se han incluido de forma exitosa en algunos de los edificios más «verdes» del mundo, como el centro de negocios Sohrabji Godrej en Hyderabad, India, que cuenta con «torres de viento» que por efecto Venturi reducen la temperatura del aire en 8 grados centígrados, haciendo que la carga de los sistemas de refrigeración sea mucho menor.

Existen cientos de ejemplos de estas estrategias adaptativas de la arquitectura vernácula. En zonas climáticas cálidas y húmedas, serán

Figura 4.4 – Cuevas en Capadocia, Turquía

típicas las arquitecturas ligeras, muy ventiladas, con la menor inercia térmica posible y grandes volúmenes interiores. En zonas también cálidas, pero secas, veremos edificaciones compactas, con pocos huecos y paredes gruesas (con alta inercia térmica). En zonas frías se reducen el tamaño y el número de las aberturas. Así, en la región turca de Capadocia, con clima desértico y estepario frío, brutales oscilaciones térmicas diarias y estacionales y un terreno de toba volcánica (roca blanda de trabajo fácil), las cuevas aparecieron como hábitat ideales climáticamente, generando ciudades subterráneas de varios pisos de profundidad, como las que pueden verse en la imagen 4.4 de la página 112.

4.8. MÁS ALLÁ DE LA EFICIENCIA: ¿EDIFICIOS *REALMENTE* SOSTENIBLES?

Para terminar este tema, veremos cómo desde las fronteras más avanzadas de la edificación sostenible se propone precisamente una alternativa a la noción de sostenibilidad, cuya acepción más extendida (derivada del famoso informe Brundtland) consiste esencialmente en la limitación de los daños a los ecosistemas y el consumo de recursos hasta un nivel compatible con el bienestar de las generaciones futuras (pero ¿cuánto bienestar, para cuántas generaciones, con qué niveles de desigualdad dentro de ellas?). Como puede verse en el esquema 4.5, el diseño verde sólo puede ayudarnos a pasar de un enfoque de «contención de daños» a otro de neutralidad respecto del medio («100 % menos malo»). Sin embargo, el horizonte debería ser la co-evolución de todos los participantes, humanos y no humanos, hacia relaciones mutuamente beneficiosas. En términos de diseño, pasaríamos de los sistemas fragmentados a los sistemas integrados, cuyo objetivo último sería incorporar la comprensión de los sistemas vivos en su diseño.

Sin embargo, el arquitecto Bill Reed y su equipo proponen ir más allá de esta noción limitada de la sostenibilidad, con su propuesta de *diseño regenerativo*, «que conceptualiza los proyectos como motores de cambio positivo o evolutivo para los sistemas dentro de los que se construyen. En lugar de considerar cómo minimizar el impacto en el hábitat salvaje y sus corredores ecológicos, por ejemplo, los diseños regenerativos se plantean cómo incrementar la calidad del hábitat» (Haggard *et al.*, 2006).

Las ideas que articulan esta propuesta son cuatro:

Cambio de paradigma: en lugar de considerar un proyecto o un solar como un conjunto de objetos (laderas, escorrentías, viales, edificios, etc.), un diseñador regenerativo los visualiza como sistemas de energía, procesos dinámicos interconectados que estructuran y reestructuran el lugar.

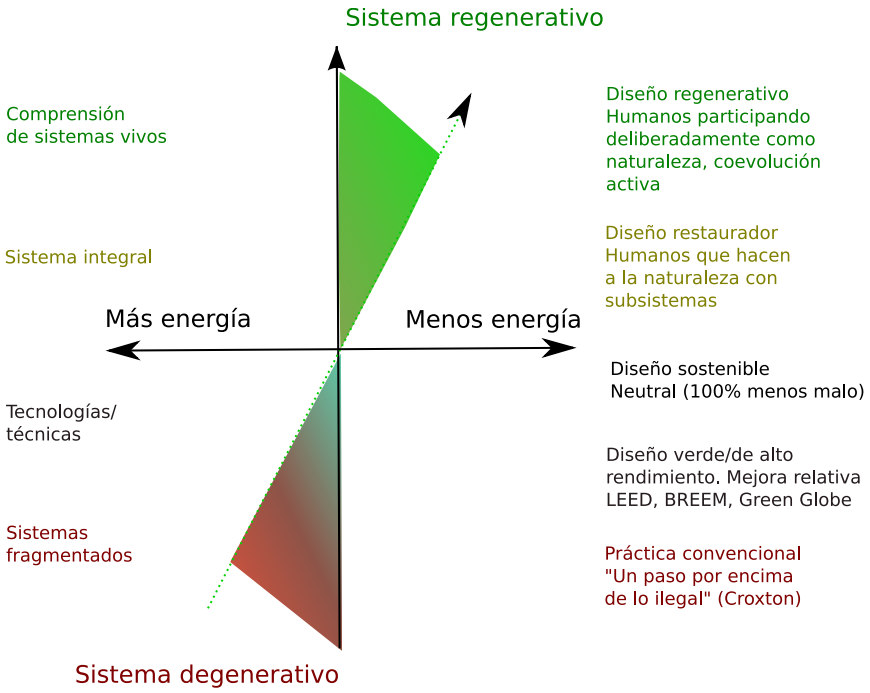

Figura 4.5 – De la degeneración a la regeneración

Ir al núcleo: la comprensión del corazón de un lugar es la base para su regeneración; y este núcleo va más allá de su naturaleza física. Reed y su equipo ponen el ejemplo de su proyecto de restauración de la ribera del río Pojoaque con la tribu del mismo nombre. La mala salud del bosque de ribera, asociada a la del río, era un reflejo de la pérdida de la relación del mismo con la comunidad. «El núcleo del proyecto era construir un fuerte vínculo local, especialmente entre los jóvenes, con la salud del río. [El proyecto ha conseguido] un palpable sentimiento de orgullo y de realizar una contribución significativa entre los jóvenes participantes».

Aprender de la Maestra: la Naturaleza es la maestra del desarrollo regenerativo, generando condiciones óptimas para la aparición y el mantenimiento de la vida. El estudio atento de los ecosistemas proporciona perspectivas fundamentales para el diseño regenerativo.

Sin comprender las pautas de las interacciones presentes, el entorno construido no puede desempeñar una función regenerativa activa.

Construir de acuerdo con el lugar, sin seguir fórmulas: «La infraestructura suele ser el producto de fórmulas ingenieriles adaptadas a las condiciones específicas del lugar. Sin embargo, al partir de las fórmulas, solemos perder oportunidades creativas para usar la infraestructura natural [...] El desarrollo regenerativo usa las particularidades de un lugar concreto como parámetros para determinar el tipo de ingeniería y soluciones de diseño que son apropiadas» (Haggard *et al.*, 2006).

Hemos visto en este tema cómo existen oportunidades para hacer mucho más sostenible nuestro entorno construido, y también que existen enormes barreras organizativas, culturales y sociales para poner estas oportunidades en práctica. Los edificios en los que vivimos y trabajamos son una de las claves de la crisis ecológica; pero precisamente porque nos rodean todo el tiempo, terminan por ser invisibles. Algo parecido sucede con otro de los componentes menos espectaculares de nuestra huella ecológica, cuya importancia queda sin embargo más clara cada día que pasa: los alimentos y la forma en que los producimos. El próximo tema estará dedicado a estas consecuencias social-ecológicas del sistema agroalimentario.

4.9. EJERCICIOS DE IMAGINACIÓN SOCIOECOLÓGICA

Recuerde que para responder a estas preguntas y a estas situaciones debe poner en práctica los argumentos sobre los que hemos trabajado en este tema. Dedíquele algún tiempo a situarse mentalmente en ellas, imaginando incluso detalles concretos o personales, y emplee elementos de apoyo del mismo modo que lo haría en cada situación.

¿Es la construcción tan poco innovadora? ¿Dónde podría localizar, dentro de la web del Instituto Nacional de Estadística, información que le permitiera comparar la inversión en I+D del sector de la construcción frente a otros sectores? ¿Cómo podría transformar el dato absoluto en un indicador comparable?

Enderezando incentivos: el encargo de la Asociación para la Sostenibilidad en la Arquitectura[10] es que prepare un paquete de medidas que corrijan las barreras a la sostenibilidad en la construcción. Diseñe cinco propuestas, intentando que estén coordinadas entre sí.

Arquitectura vernácula y turismo: organice los ejemplos y la estructura de un folleto que le encarga una agencia de promoción del turismo español, en los que se repasa la arquitectura vernácula de diversas regiones y la forma en que solucionan problemas climáticos.

Otros diseños integrados: ¿qué significa la expresión «from cradle to cradle» en el diseño y la ingeniería ecológica?

4.10. PARA SABER MÁS

http://architecture2030.org/ Esta iniciativa propone «transformar rápidamente el sector de la construcción norteamericano y global de ser el que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero a ser un elemento central de la solución a la crisis del calentamiento global. Nuestro objetivo es sencillo: lograr una reducción espectacular de gases de efecto invernadero por parte del sector de la construcción mediante cambios en cómo se planifican, diseñan y contruyen los edificios y urbanizaciones».

http://www.construible.es Portal sobre construcción sostenible. Ver especialmente los apartados «Arquitectura» y «Construcción sostenible».

http://www.spaingbc.org/ Portal del Consejo de la Construcción Verde (los «inventores» del LEED) en España.

BIBLIOGRAFÍA

HAGGARD, Ben; REED, Bill y MANG, Pamela (2006), "Regenerative Development", *Revitalization Magazine*, **n.a.**, n.a.

HAWKEN, Paul; LOVINS, Amory y HUNTER LOVINS, L. (1999), *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, Little, Brown.

KIBERT, Charles J. (2008), *Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery.*, John Wiley&Sons.

MAZRIAS, Edward (2003), "It's the Architecture, Stupid", *Solar Today*, 48–51.

OLIVER, Paul (2007), *Dwellings*, Phaidon.

NOTAS

[1]Armazón que sostiene el peso de un arco o de otra construcción, destinada a salvar un vano, en tanto no está en condiciones de sostenerse por sí misma (DRAE).

[2]El Parallam o PSL (parallel strand lumber) es un producto compuesto por tiras obtenidas por el corte de chapas de madera orientadas en la dirección longitudinal, encoladas y prensadas. La nueva madera reconstituida es un material «optimizado» homogéneo y sin nudos que presenta la misma anisotropía que la madera natural.

[3]O Trombe-Michel, por los apellidos de sus dos inventores, Félix Trombe y Jacques Michel.

[4]Como veíamos anteriormente, el agua es el material más efectivo en estos casos.

[5]PBF, *Performance-Based Fees*.

[6]Quizá el lector haya reconocido en los procesos de diseño integrado una respuesta a un tipo de problemas que ya conocemos: los *wicked problems*.

[7]Tomado de `http://www.spaingbc.org`

[8]Juego de palabras con el nivel LEED Gold.

[9]Es el llamado *qanat*.

[10]Que, por cierto, existe realmente: `www.canalasa.es`.