

El uso demasiado frecuente e inapropiado de las palabras sostenibilidad e innovación, hace que se conviertan en cajones sin significado. Si ambos se consideran y persiguen como valores, entonces en el proyecto arquitectónico asumirán un papel determinante las emisiones, energía, confort y reciclabilidad.

ENVOLVENTES ARQUITECTÓNICAS:

NUEVA FRONTERA PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL.

¿CUÁLES MODELOS Y CUÁLES APLICACIONES?

Por: CLAUDIO VARINI

METROPOLIS, AMBIENTE Y DESIGUALDAD EN AMÉRICA LATINA. EL MODELO DEL PROGRAMA DE ACELERACIÓN DEL

Fecha de recepción: 12 / diciembre / 2008

Fecha de aceptación: 02 / marzo / 2009



Palabras clave:
Arquitectura sostenible,
Innovación,
Envolvente arquitectónica,
Fachadas ventiladas,
Cubiertas ventiladas.

Key Words :
Sustainable architecture,
innovation,
architectural surround,
ventilated facades,
ventilated decks.

RESUMEN: El uso demasiado frecuente e inapropiado de las palabras sostenibilidad e innovación, también en el medio en el que vivimos, hace que se conviertan en cajones sin significado. Si ambos se consideran y persiguen como valores, entonces en el proyecto arquitectónico asumirán un papel determinante las emisiones, energía, confort y reciclabilidad.

La envolvente constituye el subsistema clave para contener, controlar clima y consumos energéticos como interfaz pasiva. Agregando funciones activas podemos también producir energía y generar condiciones de confort utilizando simplemente elementos que captan la luz natural y aprovechan el aire. Eso implica, técnicamente, agregar funciones a la envolvente incrementando su complejidad.

Entran en juego las políticas energético-ambientales, las problemáticas de desarrollo tecnológico e innovación, la aceptación del mercado, las metodologías de desarrollo de nuevos productos/servicios, de modelos de control de calidad y eficiencia, implicando una radical revisión de los procesos proyectuales productivos y constructivos.

Abstract: The frequent and inappropriate use of the words sustainability and innovation in the environment in which we live, make them meaningless boxes. If both are regarded and followed as values, then in the architectural design the emissions, the power, the comfort and the recyclability will assume a key role. The surround constitutes the key subsystem to contain, control climate and energy consumption as a passive interface. By adding active functions it is also possible to produce energy and generate comfortable conditions by simply using elements that capture natural light and air. Technically it means bonding functions to the surround, increasing its complexity. Come into play the energy-environmental policies, the problems of technological development and innovation, market acceptance, the methodologies for developing new products / services, quality control models and efficiency, involving a radical revision of the productive and constructing design processes.



AFUERA, ADENTRO Y ALGO DE POR MEDIO



La envolvente, más y mejor que los demás subsistemas constructivos, representa la síntesis completa entre calidad, desempeño e imagen del sistema edificio.

A menudo la literatura técnica utiliza referencias biológicas como metáforas de un sistema complejo y articulado como el de las envolventes arquitectónicas ya que comparten funciones y comportamientos. La pertinencia al utilizar términos como pieles, cáscaras, pieles dobles, es reconocible de inmediato si observamos que cada organismo, al igual que cada construcción, tiene una consistencia física y responde de forma pasiva o activa al entorno con el cual se relaciona.

Al respecto, en especial por lo que se refiere a las connotaciones de sostenibilidad, cabe perfectamente la definición de Leibniz de cuerpo no solamente como entidad definida por dimensiones sino por una masa sujeta a fuerzas y “capaz de realizar o sufrir una acción”; con esta definición el filósofo anticipa en pleno las tendencias actuales en la arquitectura contemporánea.

Por consiguiente toda arquitectura puede reconocerse dentro de la definición leibniziana al ser una entidad física puesta en un ámbito determinado y, por lo tanto, sujeta a diferentes condiciones, acciones, interacciones y coacciones tanto externas como internas. Estos últimos factores convierten la arquitectura en un escenario donde se presentan acciones; condición necesaria para su reconocimiento y medición es la presencia continua de parámetros identificables y cuantificables mediante gradientes.

La envolvente ya no es entonces un paramento que responde, con su masa, al requisito primario de contener y proteger un espacio interior, sino un sistema complejo, objeto de exploración y desarrollo que se ha enriquecido y afinado a punto de concentrar funciones pasivas y activas capaces de ser determinantes para el confort, el impacto ambiental y el consumo energético de una construcción.

La acepción de “campo” en el ámbito arquitectónico implica la presencia de condiciones que de-

finen un espacio vital alrededor del cual y en el cual se manifiestan acontecimientos/acciones capaces de intervenir sobre el cuerpo mismo.

El cuerpo y sus componentes no son inertes o indiferentes a las condiciones de campo pero pueden responder a ellas pasiva o activamente según las características propias de la materia y de las funcionalidades del organismo que lo constituye. Para que sean posibles la reactividad y/o la actividad del cuerpo físico, organizado como una máquina o como una estructura organizada, debemos considerar el desempeño general propio de un sistema (ej.: envolvente) y el desempeño específico de sus componentes (ej.: superficie de revestimiento, soportes, anclajes, recámaras, aislantes, impermeabilizantes, etc.) en términos de coordinación, complementariedad y compatibilidad.

Este artículo toma en cuenta una parte específica del cuerpo arquitectónico, las envolventes, es decir aquellos elementos físicos que establecen el primer límite

Modelo de fachada ventilada activa en ladrillo para fachadas y cubiertas con módulos fotovoltaicos a concentración integrados

(© arq. Claudio Varini)

entre un campo exterior y los campos internos constituidos por espacios habitables o utilizables. Las envolventes arquitectónicas se configuran, hoy en día, como sistemas siempre más complejos ya que son numerosos los materiales que pueden conformarlas, los sistemas constructivos, las funciones que se atribuyen al sistema y a sus componentes. La complejidad de acciones a las que una envolvente está sujeta y los requisitos a los que debe responder no permiten una denominación unívoca. El espectro posible de sustantivos –envolventes, fachadas, cubiertas, cerramientos, revestimientos, *rainscreens*, pieles (...)– o adjetivos –estratificados, activos, pasivos, híbridos, en seco, ligeros, pesados, funcionalizados, pantallas, ventilados, estructurales, verticales y horizontales, inclinados, interactivos (...)– hace evidentes solo algunos de sus atributos ya que cada término incluye y excluye. La cuestión todavía no es solo terminológica, más bien es de significado ya que, por su misma articulación y complejidad, va mucho más allá de las simples funciones de incluir, de retener, de filtrar, de incluir y de excluir.

El modelo al que se hace referencia para clasificar las envolventes arquitectónicas es por una parte eminentemente funcional; por otra, conformativo o connotativo. En la literatura especializada están presentes modelos “clásicos” de clasificación vinculados a una o más funciones atribuibles a la estructura del sistema envolvente; con la especialización de las funciones y el siempre más frecuente recurso a soluciones compuestas o estratificadas se considera más apropiada la referencia a clasificaciones menos convencionales que identifican calidades propias de materiales tecnológicamente innovadores para agrupar las tendencias en acto en la industria más creativa; según estos criterios podemos entonces clasificar: envolventes de desempeño superior, multidimensionales, reconnotadas, recombinadas, inteligentes, transformables y de interfaz.

Estas clasificaciones se originan con la idea de materialidad que constituye uno de los principales focos de atención de este trabajo. Es precisamente a partir de estos supuestos que se desarrolla el aspecto creativo de las envolventes orientadas a la sostenibilidad.

Pero, ¿en qué consiste esta acción creativa? En términos sencillos puede definirse como la integración de funciones activas que van a sumarse a las funciones pasivas de tal manera que, no solamente la envolvente permite el confort interno oponiéndose o mitigando condiciones climáticas externas desfavorables, sino que permite aprovechar recursos energéticos renovables (por ejemplo, la luz y el sol) para reducir la dependencia de fuentes energéticas contaminantes e incrementar la vida útil de la construcción.

LOS CAMPOS Y

LOS LÍMITES

El término genérico “envolvente” se acepta generalmente en arquitectura para definir el diafragma (y todos sus componentes funcionales que se interponen entre el campo abierto –exterior– y lo encerrado –interior–). Por lo tanto, por envolvente no se entiende solo una película, una membrana o genéricamente una simple superficie sino un sistema congruente de elementos técnicos y de unidades tecnológicas funcionales capaces de operar y/o sufrir una acción.

CONTENER Y

CONTROLAR

Se parte del supuesto de que las principales funciones de la envolvente son las de delimitar físicamente dos entornos (externo e interno) donde el primero es determinado por las condiciones climáticas naturales y/o inducidas que deben ser filtradas y controladas de modo de permitir que el ámbito interior responda a requisitos fundamentales de confort, seguridad y pleno disfrute. Estos requisitos no pueden estar satisfechos por un solo material o por un elemento simple, sino que exigen generalmente la aportación de soluciones específicas de mayor o menor complejidad.

Sobre estos temas existe una amplia literatura y se remite a esta para eventuales profundizaciones. En concreto se considerarán los siguientes aspectos:

- ☞ Enfoque ecoenergético proactivo;
- ☞ Ahorro energético;
- ☞ Confort climático;
- ☞ Integración entre envolventes verticales, horizontales e inclinadas.

Modelo de fachada ventilada activa en ladrillo para fachadas y cubiertas con módulos fotovoltaicos a concentración integrados
(© arq. Claudio Varini)



Respecto a estos puntos el enfoque predominante de la tecnología aplicada a la arquitectura es el de una visión pasiva, donde el "sufrir una acción" lleva a soluciones proyectuales tendientes a la optimización y a la mejora continua del desempeño respondiendo a acciones externas no deseables. En otros términos, la visión "pasivista" busca mediar entre condiciones externas notables o previsible y los requerimientos de los usuarios interviniendo sobre parámetros medibles como temperatura, emisión acústica, etc. La envolvente deberá modificar los gradientes paramétricos (acústico, térmico, de permeabilidad visual, etc.) presentes en los campos que delimita de tal manera que los valores registrados en el interior del espacio arquitectónico se mantengan dentro de rangos definidos de confort o, en su defecto, reduciendo la necesidad de aportaciones, por ejemplo, de máquinas térmicas en presencia de condiciones climáticas extremas.

Por lo tanto la envolvente arquitectónica representa uno de los más complejos sistemas que componen la construcción. La complejidad de las cuestiones a abordar hace que un acercamiento disciplinario pueda ser reductivo ya que específicos requerimientos tecnológicos, estéticos, de visibilidad y detectabilidad (ej., de patologías), de mantenimiento, inspeccionabilidad y de comunicación abarcan conocimientos interdisciplinarios; por tanto, el aporte de diferentes componentes profesionales. Comenzar de la definición de "cuerpo" para llegar a la de "organismo" no es gratuito o accidental ya que no es posible separar las componentes de desempeño, estéticas o comunicativas en cuanto integradas en el mismo sistema. Es precisamente este el ámbito que ve el mayor esfuerzo de la investigación, ya que es imprescindible considerar tanto la relación con el entorno como la economía de la gestión, el bienestar de los usuarios y la imagen de la misma envolvente. No debemos todavía ilusionarnos

pensando que finalmente la complejidad de la envolvente implica soluciones satisfactorias para los proyectistas. En un contexto, como el actual, donde la visibilidad adquiere siempre mayor importancia, son los mismos clientes (o inversionistas) los que exigen se comunique su propia sensibilidad, su toma de conciencia, su filosofía. Por esta razón la mayor inversión por implementar soluciones de fachada y/o cubierta ambientalmente amigables debe hacerse visible, como un manifiesto, una declaración pública donde la envolvente adquiere connotaciones comunicativas y emblemáticas. El fenómeno en sí no es nuevo; recuérdese, por ejemplo, como los Médicis, señores cultos de la Florencia renacentista, no aprobaron, para su palacio, el proyecto del mejor arquitecto del tiempo, Pippo de ser Brunellesco, porque mostraba a la ciudad demasiado lujo, mientras que ellos querían mostrar a su ciudad la imagen discreta de una cultura sobria y refinada.





LAS ENVOLVENTES Y EL AIRE

¿COMPLEJIDAD DE FUNCIONES COMO COMPLEJIDAD DE SISTEMA?

Pero, frente a una evidente complejidad de funciones, valores y significados, ¿pueden darse respuestas satisfactorias sin recurrir a un sistema de envolvente complejo? ¿Podrían incluirse una serie de funciones en una sola envolvente todo-en-uno? Las anteriores son obviamente preguntas retóricas ya que muros en piedra o ladrillo han constituido por milenios respuestas de envolventes todo-en-uno en virtud de las propiedades de los materiales y por las posibilidades que ofrecían las técnicas constructivas tradicionales. También hoy en día envolventes en ladrillo o en hormigón, generalmente connotados por una notable masa, asumen funciones portantes, de aislamiento acústico, de aislamiento e inercia térmica, de barrera física, etc.

Entre tipologías de fachadas realizadas con un solo material pueden mencionarse la mampostería de ladrillos o adobe, de piedra cortada, a *opus incertum*, de tapia pisada. Modelos más complejos utilizan estructuras porticadas en madera o bambú integradas con superficies hetero-

géneas para mejorar el comportamiento termoacústico de la envolvente; a tal propósito se recuerdan, a puro título de ejemplo, el bahareque, el *fachwerk* y diferentes tipos de envolvente vegetal. La referencia a modelos históricos no le apunta solamente a recordar un pasado remoto, más bien a identificar los conceptos de arquitectura, proyectada o vernácula, que pueden ser implementados en proyectos de innovación.

Valga puntualizar que, históricamente, las arquitecturas se han realizado preferentemente con recursos autóctonos y soluciones de tipo pasivo. Madera, turba, bambú, hoja de palma, tierra o piedra son materiales relacionados con el entorno natural y explotados en forma magistral respondiendo a criterios todavía válidos aun sin el aporte de tecnologías que permitieran una producción industrial y un desempeño constante.

Cuán importante es la observación de antecedentes históricos lo evidencian algunos ejemplos que se reportan enseguida.

La relación, o mejor: la interacción, entre envolvente y aire puede mostrarse con dos ejemplos: el bahareque y la estructura en mampostería del *zigurrat* de Aqar Qüf.

El bahareque puede definirse como envolvente compleja ya que asocia una estructura con chasis tubular en bambú y revestimiento superficial en tierra o mortero anclado a un soporte de esteras del mismo bambú o malla metálica. Un primer elemento interesante es el sellamiento de las recámaras de aire que permiten al mismo tiempo liviandad y aislamiento térmico, eficiente y para nada caro, aunque con menor inercia térmica con respecto a otros modelos porticados como el citado *fachwerk*; no obstante, tienen mayor masa, por lo tanto inercia térmica, respecto, por ejemplo, al *balloon-frame* y a sistemas derivados de este. Otro elemento de esta tipología de envolvente es la componente estética y —que se me permita el rodeo—, la cual es funcional al discurso general. El bahareque, propio de varios países latinoamericanos, se consolida con la colonización de tierras vírgenes o habitadas por indígenas: era considerado ideal para las casas campesinas y para las casas temporales de ciudadanos ricos —como construcción temporal en espera de que la vivienda definitiva, realizada en adobe o tapia pisada, fuese terminada— por la abundante presencia local de materia prima, por la rapidez de construcción y por su excelente comportamiento estático. Sin embargo, en zonas sísmicas, las casas "permanentes" se derrumbaron o se lesionaron irremediablemente, mientras que las "temporales" en bahareque respondían perfectamente —gracias a su liviandad y al comportamiento elástico— a las sacudidas de los terremotos.

Construcción en
bahareque, Manizales
(www.absolut-colombia.com)

Mampostería de Aqar Qūf.
Son visibles las hiladas con los
ductos para ventilación.



Frente a la contundencia de los hechos, los hogares de clase alta se realizaron con el material "pobre" ocultándolo con superficies con plastes en relieve y coloreados o fijando al mortero chingles o láminas metálicas impresas de producción europea para simular los materiales más preciados. Hechas las debidas proporciones y con todos los "peros" del caso, ya que la componente industrializada estaba solamente en la superficie a la vista, podemos considerar la solución técnica adoptada en Caldas como precursora de soluciones tecnológicas adoptadas actualmente en países industrializados para la contención de los consumos energéticos aproximadamente un siglo después.

Igualmente interesantes son las soluciones técnicas adoptadas en el aparejo en mampostería del *zzigurrat* de Aqar Qūf realizado en Mesopotamia alrededor del 1200 a. C.; también en este caso se trata de una estructura compleja, portante y reforzada, donde los ladrillos en tierra cruda disponen de planos de fluidez con el fin de minimizar los efectos del encogimiento. En este caso el refuerzo vegetal en cañas, sobre un lecho de esteras y el uso de alquitrán como aglutinante (excelente también como impermeabilizante) no permitía la adecuada transpiración de gases generados en su interior, lo que causaba verdaderas implosiones con consiguientes colapsos estructurales. En Aqar Qūf el problema técnico ha sido resuelto por medio de una red de ductos y sifones de ventilación capaces de crear corrientes de aire que reducen la temperatura acumulada por inercia e impiden la concentración de gases calientes generados por la descomposición de los refuerzos vegetales.

Si se observa con atención, ambos casos mencionados demuestran que el aire es un elemento importante en la economía y en el desempeño de la envolvente y cómo la complejidad de los problemas induce a soluciones articuladas pero integradas entre sí. Hoy en día el control térmico de los espacios internos permite la utilización de soluciones tecnológicamente diferentes. Para las condiciones climáticas colombianas son especialmente eficaces las envolventes ventiladas completamente realizadas con componentes industrializados.

En ninguno de los dos casos arriba mencionados se puede hablar de envolventes ventiladas así como hoy se entienden en cuanto el aire en el bahareque es retenido por los diafragmas del bambú o en las recámaras entre las caras pañetadas, sin que se presenten flujos de aire, mientras que en el caso de albañilería del *zzigurrat* hablar de envolvente resulta bastante forzado al ser su masa y espesor de tal magnitud que no pueden compararse con masas y espesores de las envolventes actuales.

El uso del aire, de envolventes estratificadas y de materiales con funciones específicas no pertenece solamente a la tecnología contemporánea ya que también en el pasado fueron utilizados para resolver eficazmente los problemas específicos y complejos, aunque se tratara de soluciones empíricas.

Otros dos ejemplos históricos pueden mencionarse para significar la importancia de los flujos de aire en el control o en el acondicionamiento climático de ambientes internos; ambos pertenecen a la cultura mediterránea.

Las termas romanas disponían de un sistema de calefacción en un espacio subyacente a las piscinas que consistía en un hipocausto, compuesto por *pilæ* que descansaban sobre una losa de tejas *sesquipedales* que a su vez sostenían grandes *bipedales* juntados con mortero con polvo de ladrillo (*cocciopesto*). Los humos de combustión de las calderas circulaban en estas *suspensura* para salir metiéndose en ductos cerámicos verticales de sección rectangular (a partir del siglo primero d. C.) incrustados en paredes maestras; de tal manera se calentaban otros espacios destinados a sauna antes de desembocar en chimeneas puestas en los techos.

Otra aplicación virtuosa del aire es el aprovechamiento de la geotermia. El principio es elemental: se aprovecha simplemente la temperatura constante del subsuelo para intercambiar temperatura con el aire externo muy caliente o frío. Usualmente se realizan ductos que "pescan" aire caliente y lo transportan, por medio de canalizaciones, algunos metros bajo tierra hasta profundidades donde la temperatura es

CONNOTACIONES DE LA

ENVOLVENTE CONTEMPORÁNEA



constante y alrededor de los 14-16 °C para hacerla fluir, una vez refrescada, al interior de las edificaciones por efecto chimenea, mitigando así los efectos de la alta temperatura estival en los espacios interiores (usualmente de las viviendas), para desembocar por la cubierta una vez realizado el intercambio térmico. Se trata de un ejemplo relativamente frecuente en zonas más calientes del Mediterráneo como la isla de Ischia o el Magreb. También aquí el aire es elemento determinante del confort térmico; esta vez no en cámaras selladas sino fluyente para generar condiciones térmicas aceptables en los espacios interiores en presencia de altas temperaturas externas. Por lo tanto el aire es primer, simple y eficaz instrumento de compensación térmica, eficiente y económico.

La eficacia de soluciones históricas y/o vernáculas no implica su automática transferibilidad a las arquitecturas contemporáneas. A la masa se prefieren soluciones más livianas que implican menores costos energéticos en fase productiva, en cimientos, en mano de obra, menores tiempos de construcción, menor impacto ambiental, mayor flexibilidad, etc.

La elección de una envolvente puede ser muy fácil si se tienen en cuenta solamente aspectos formales o económicos (en términos de puro costo); es más difícil si entran en juego factores más complejos como la economía en el ciclo de vida y los aportes al confort térmico y acústico de la construcción. En este segundo caso la toma de decisiones debe tener en cuenta una serie de factores heterogéneos que se pueden sintetizar/simplificar de la siguiente manera:

- ☞ Para los *arquitectos* son trascendentes las funciones de relación visual y de imagen.
- ☞ Para los *arquitectos* y los usuarios son fundamentales las funciones de seguridad (*safety + security*), de relación social y el confort de los espacios internos.
- ☞ Para los *tecnólogos* priman los aspectos de desempeño, protección, energéticos, etc.
- ☞ Para los *ingenieros estructurales* la envolvente permite colocar u ocultar columnas, vigas y pantallas.
- ☞ Para todo *proyectista, instalador y técnico energético* la atención se concentra en los servicios y en el desempeño que la envolvente puede proporcionar y las posibilidades de mantenimiento en el ciclo de vida.
- ☞ Para los *constructores*, en la envolvente se concentra una serie de elementos técnicos, materiales y aparatos.

Resulta evidente que el sistema “envolvente” presenta la mayor complejidad estructural y funcional que cualquier otro; por esta razón proyectarla implica conocimientos multidisciplinarios y una congruencia que permite sumar las cualidades de sus componentes para dar respuestas satisfactorias a instancias heterogéneas.

Las soluciones convencionales de envolventes se orientan hacia las funciones de protección y de revestimiento; paralelamente se están abriendo camino soluciones diversificadas





Envolventes que permiten diferentes microclimas internos. Earthpark (Iowa). Arq. Nicolas Grimshaw. (arriba); Eden Project, Cornwall (GB). Arq. Nicolas Grimshaw. (abajo) [www.grimshaw-architects.com]

TENDENCIAS

Se asiste, hoy como nunca, a una atención de industria y diseñadores hacia las envolventes; por una parte, se emprende la vía de un desarrollo tecnológico que abre posibilidades funcionales y expresivas; por otro lado, principalmente hacia una explosión morfológico-compositiva que incluye los materiales, tradicionales y no, partes en movimiento, colores cambiantes, soportes para comunicaciones como si la arquitectura se hubiera convertido en un elemento de escenografía urbana sin necesariamente reflejar la función misma de la construcción ni evidenciando la que, en la primera mitad del siglo XX, el debate arquitectónico definía como “verdad constructiva”. Precisamente cuando la envolvente se concibe como elemento teatral urbano, la arquitectura se convierte en objeto donde la seudocreatividad formalista a menudo disocia interior y exterior, estructura portante y portada. En este caso la envolvente arquitectónica se concibe como elemento de impacto y comunicación, y no necesariamente responde a una lógica estrictamente funcionalista orientada a principios de coherencia y congruencia. Se llega así a la ostentación de arquitecturas como elementos de escenario urbano que recuerdan las máquinas del teatro barroco por la movilidad de algunas partes, por su capacidad de modificarse, de sugerir, de sorprender.

o innovadoras donde los componentes externo e interno colaboran entre sí de forma estática o dinámica optimizando el desempeño y permitiendo operaciones de mantenimiento más fáciles y rápidas.

La tendencia del desarrollo tecnológico –orientado a una creciente complejidad funcional, asociada a mayores requerimientos de calidad– y del lenguaje arquitectónico –siempre más orientado hacia la imagen– contribuyen al incremento de la importancia de la envolvente. La proposición dialéctica de materialidad e inmaterialidad constituye la base de los esfuerzos expresivos, comunicativos y de desempeño que tienen en común, por ejemplo, los proyectos de arquitectos como Gehry y Hadid, Coop Himmelblau y Daniel Libeskind, Foster y Piano, Herzog de Meuron y Murcutt.

La apropiada proyectación y realización de las envolventes implica una visión multidisciplinaria y sinérgica. La investigación orientada al incremento del desempeño en términos de aislamiento/control termoacústico, de equipamiento, de rapidez de instalación, de liviandad, de duración, de manutención, sustitución y modificación en el ciclo de vida de la construcción,

de flexibilidad de uso de los componentes de sistema, de reciclaje de sus componentes, continúa siendo objeto de incesante desarrollo hacia nuevos conceptos, uso de nuevos materiales, atribución de funciones no convencionales.

Otro aspecto trascendental es el de la sostenibilidad entendida no en términos de respuestas pasivas sino como superficies activas, que se hace presente en especial por lo que se refiere a la reducción del consumo energético, de descontaminación y de producción directa de energía de fuentes renovables.

Menos difuso, pero de gran impacto, es el uso de las envolventes como instrumento de comunicación mediática, constituyendo la superficie externa una pantalla que transmite imágenes y mensajes que cambian permanentemente como una time square a la enésima potencia.

Frente a fenómenos actuales y en continuo desarrollo existe un gran interés de los proyectistas que, frente a una realidad tecnológica fluida y en rápida evolución, a menudo lejana de los conocimientos disciplinarios, limita las posibilidades de aplicación y el camino hacia arquitecturas sostenibles.

La fachada se convierte entonces en un elemento de comunicación, mediático y, entre los distintos materiales posibles (materias plásticas, acero cor-ten, chapas microperforadas, madera tratada o natural, aluminio, titanio, piedras, compuestos, etc.), el vidrio adquiere un valor trascendental tanto para las posibilidades que ofrece al diseñador como para su desempeño alimentado por una industria muy atenta a explotar y evolucionar sus características y propiedades.

En el amplio espectro de materiales posibles, el vidrio es quizás el que mejor asimila distintos caracteres especiales, lo cual lo hace muy dúctil (por espectro de usos), capaz de ser transparente y opaco, iridiscente e intermitente, sujeto a diferentes tratamientos cromáticos, al ser también portante y equipable, seguro y duradero, térmico y acústico, autolimpiante y soporte para componentes fotosensibles.



LOS MODELOS DE REFERENCIA



Envolventes con subsistemas naturales y mixtos de control de luz y temperatura interna. Aeropuerto de Barajas, terminal 4, Madrid (E). Arq. Lamela y Richard Rogers. (Fotos: C. Varini)

La envolvente arquitectónica como superficie rígida y delgada se ha enriquecido en los últimos años de nuevas connotaciones, hoy cada vez más globales e integradas. Este enriquecimiento de potencial gráfico y funcional ha desatado la creatividad de los arquitectos donde la superficie externa llega también al biomorfismo o a la interacción morfológica sin discontinuidad entre cubiertas y fachadas. Gracias a las actuales posibilidades que nos ofrecen las tecnologías se asiste con mayor frecuencia a una separación lingüística (la función primaria de la edificación) y física (con estructuras dilatadas y ensambladas en seco) de la superficie arquitectónica exterior hasta convertirla en un sistema cada vez más complejo y autónomo respecto al resto de los sistemas que componen la arquitectura, como es frecuente verlo, por ejemplo, en obras de Gehry.

Para definir envolventes en función de su nivel de complejidad se prefiere utilizar referentes naturales. Por una parte se plantean superficies envolventes de mayor sencillez, como las cáscaras, generalmente revestimientos monocapa rígidos; son

resistentes y de pequeño espesor, protegen frutos, semillas y animales (huevo, concha, caparazón). La forma redondeada o corrugada les confiere alta resistencia mecánica; normalmente son aislantes e impermeables y pueden ser cerradas, selladas o abiertas. Aunque existen cáscaras estratificadas, como en el caso de la almendra—que presenta una estructura intermedia reticular—, normalmente realizan una acción primaria como estructura resistente adiabática minimizando los intercambios entre interior y exterior. Por analogía se pueden asimilar las cáscaras a estructuras masivas polivalentes que han caracterizado las envolventes hasta el siglo XIX y también gran parte de las envolventes (en ladrillo y concreto) contemporáneas.

Como modelo para las envolventes ventiladas se prefiere más bien hacer referencia a la piel por su carácter multifuncional; es fotosensible, termorreactiva y protege los órganos internos a los que se adhiere. La superficie externa (epidermis) es un tejido sin vasos formado por células planas o altas y estrechas; está compuesta por





células endurecidas (queratina) y tiene función resistente, puede secretar sustancias, absorberlas y transmitir impulsos. Su función primaria es pues la de recepción selectiva de acciones exteriores; asocia a funciones eminentemente pasivas, de defensa y protección, aquellas activas de autoprotección (con la secreción de sustancias grasas), compensación térmica (con la contracción o dilatación por efectos térmicos). La piel es, además, capaz de transmitir estímulos eléctricos (en caso de contacto directo con otros cuerpos). Es natural la pregunta ¿qué tiene que ver todo eso con fachadas y cubiertas?

Se puede reconocer, en la piel, la función mecánico-térmica de conducción (vasos) y motores (músculos de los pelos) que mantienen temperaturas de confort interno y favorecen el intercambio térmico; estas son las características que se encuentran también en las envolventes ventiladas y en las dobles pieles donde la circulación del aire, detrás de la superficie de revestimiento, permite el control de la temperatura, absorbiendo, emitiendo o evacuando calor. Las recámaras ventiladas son especialmente eficientes en condiciones de irradiación solar directa y altas temperaturas ambientales.

La capa adiposa del *hypoderma* asume las funciones de aislamiento térmico y de reserva energética que en la envolvente reviste(n) la(s) capa(s) termoaislante(s).

El modelo referencial de envolvente que se considera más apropiado a las características climáticas presentes en el territorio colombiano, en función de la relación costo-desempeño, de las tecnologías disponibles, de cultura arquitectónica, de recursos materiales, económicos y de infraestructura existente es el de envolventes ventiladas con materiales cerámicos.

Fachadas y cubiertas ventiladas se configuran como una superficie rígida y delgada que responde a específicas tareas (resistencia mecánica, protección, transpiración) y puede ser integrada con sistemas de captación energética, de compensación térmica y de aislamiento térmico y acústico (en condiciones extremas).

La posibilidad tecnológica de autoprotección, en las envolventes arquitectónicas, se da no solo por capas endurecidas o impermeables sino aún más eficazmente por películas fotocatalíticas, mientras que la capacidad de recibir radiaciones y transmitir la electricidad es

propia de toda instalación fotovoltaica.

En términos de reactividad y de capacidad de control selectivo del paso de luz, se recuerda el Instituto del Mundo Árabe que presenta en fachada una serie de diafragmas metálicos, similares por su funcionamiento a los de las cámaras fotográficas y de televisión, capaces de cerrarse y abrirse en función de la intensidad de la luz. Los sensores fotosensibles que permiten estos movimientos son similares a los bastones y a los conos, que integran la retina en el ojo, en función de la luz incidente.

Otras soluciones reactivas son las de los *climate sensitive buildings* que son capaces de activar meca-

nismos para el control del confort y la reducción de los consumos energéticos. Al primer caso pertenecen las soluciones de los cristales electrocrómicos, capaces de modular el acceso de luz al interior de los espacios para mantenerla en condiciones óptimas.

Resulta inmediata la analogía con la estructura de la piel más que con la de una envolvente simple como una cáscara.



¿QUÉ HACER PARA QUE SOSTENIBILIDAD E

INNOVACIÓN NO SEAN CAJONES SIN SIGNIFICADO?

Entender el entorno natural como recurso y no como problema puede parecer obvio, pero constituye la base de una visión proactiva de una arquitectura ambiental y energéticamente consciente. En primer lugar es oportuno remarcar que el término “sostenibilidad”, así como la palabra “innovación”, hace parte del *márquetin mediático*, es decir de lo que vende, que suena bien, de lo que se habla mucho, de lo que se entiende poco y que se aplica aún menos.

El envolvente arquitectónico, por su misma connotación de interfaz, es el elemento arquitectónico que determina en gran parte el confort de los espacios interiores protegiendo y/o interactuando con un entorno –artificial o natural– del lugar de implantación de la arquitectura.

Para definir la posibilidad y la capacidad de las envolventes arquitectónicas de brindar el confort e interactuar con el entorno es oportuno hacernos preguntas como:

- ☞ ¿Pueden los materiales de construcción y los sistemas constructivos asumir funciones activas para reducir el impacto ambiental de los edificios?
- ☞ Admitiendo que sí: ¿es factible un sistema de envolvente capaz de integrar funciones básicas como la estanqueidad al agua y el control de ruido y temperatura con funciones que permitan la captación energética, el mejoramiento de las condiciones ambientales en términos de integración arquitectónica?
- ☞ ¿Es posible desarrollar tecnologías capaces de permitir un largo ciclo de vida y la capacidad de mejorar en el tiempo su eficiencia de acuerdo con el desarrollo de la ciencia y de la tecnología?



Entendiendo que el espectro de complejidad de los tres requisitos anteriores puede preocupar a algunos lectores, se considera oportuno y conveniente mencionar cuáles son los caminos que la tecnología de la arquitectura está emprendiendo. En el campo de las envolventes arquitectónicas se pueden definir siete ejes de desarrollo de la investigación en términos de sostenibilidad energético-ambiental:

1. Reducción del impacto ambiental de las construcciones con un sistema eficiente y multifuncional de envolventes en materiales cerámicos.
2. Atribución de funciones ambiental y energéticamente activas a fachadas y cubiertas.
3. Integración estética entre envolventes y colectores solares para la producción de energía renovable.
4. Análisis de las expectativas de los *stakeholders* respecto de las innovaciones tecnológicas.
5. Transferencia de tecnologías avanzadas a materiales cerámicos tradicionales.
6. Incremento de la vida útil de las construcciones.

7. Minimización de los costos de mantenimiento y renovación, adaptabilidad al desarrollo tecnológico, incremento de la eficiencia de sistemas energéticos e instalaciones en el ciclo de vida de la construcción.

El primer campo de investigación se orienta al reconocimiento de las *cuestiones y las políticas energético-ambientales* en el presente y en perspectiva futura. Para entender la magnitud del problema son numerosas las estadísticas donde se evidencia que las construcciones civiles consumen más del 40% de la energía total, factor que incide fuertemente sobre la industria de las construcciones y su mercado actual y futuro.

Por consiguiente es oportuno identificar cuáles son los caminos posibles para el *desarrollo tecnológico e innovación* de la industria de la construcción que produce envolventes arquitectónicas en este contexto y cuáles son los *factores capaces de determinar el éxito de sistemas y productos innovadores en el mercado*.

Afrontar las *problemáticas de la innovación y de la aceptación de mercado*

World Nature Fund (WNF), Zeist (Pays-Bas) El edificio fue inaugurado en septiembre de 2006. Los visitantes aprenden “naturalmente” los sistemas de climatización (y, en particular el metabolismo energético del cuerpo humano), la entrada de la luz natural y los materiales apropiados para el interior.

Se observen los pequeños nichos que sirven de nido para las aves que viven en el parque natural adyacente. (<http://www.agrob-buchtal.de>)



representa un reto ulterior ya que en lo específico colombiano las innovaciones son pocas, mejor dicho: nulas. En países que tienen políticas consolidadas y larga trayectoria de investigación e innovación, podemos contar con datos estadísticamente significativos; aparecen unas tasas de fracaso –comercial– considerables, lo cual, sin embargo, no hace desistir de la búsqueda sino que permite afinar los procesos y mejorar la calidad de las propuestas. Algunos de los aspectos imprescindibles son las *metodologías de desarrollo de nuevos productos/servicios, de modelos de control de la calidad y de los procesos de proyecto y productivos*. Independiente del tipo de innovación es imprescindible sondear la posibilidad de *transferencia de tecnologías* (constructivas, energéticas y ambientales) *avanzadas en diferentes realidades* ya que cada contexto so-

cial, económico, cultural, ambiental y tecnológico presenta condiciones características que favorecen, o menos, la implementación de soluciones tecnológicamente innovadoras. El caso de Colombia es emblemático al respecto ya que puede contar con recursos humanos y tecnológicos suficientes, mas no con condiciones culturales, y a veces económicas, que permitan la innovación en el campo de la construcción.

De existir todas las condiciones arriba mencionadas, los estudios teóricos pueden ser transferidos a *un proyecto de diseño industrial y arquitectónico* donde se dé la colaboración de diferentes entidades investigativas y profesionales con la industria para llegar a componentes o sistemas (sean de fachada o de cubierta) innovadores, tecnológicamente avanzados, especialmente eficientes en las regiones más cercanas al ecuador y

posiblemente fundamentados en el uso de materiales cerámicos que en Colombia tienen una consolidada tradición y una aceptación muy alta.

Para favorecer la aceptación del mercado y de la industria presente en el país es oportuno poner especial atención a la integración entre funciones activas y pasivas en una lógica de sistema.

Se hace específica referencia a un sistema integrado (por diseño, modularidad, material y soporte) de componentes que admiten un amplio espectro de configuraciones (superficies verticales e inclinadas, planas y de rotación).

En el ámbito funcional se considera imprescindible considerar la acción del aire y sus efectos sobre el control térmico, del sol para la captación energética fotovoltaica, la autolimpieza y los efectos de la contaminación ambiental.





Envolventes con subsistemas naturales y mixtos de control de luz y temperatura interna. Aeropuerto de Barajas, terminal 4, Madrid (E). Arq. Lamela y Richard Rogers. (Fotos: C. Varini)

2.

ENERGÍA RENOVABLE Y

CONSUMOS ENERGÉTICOS

El desarrollo de las energías renovables y la reducción de los consumos energéticos adquieren hoy una importancia relevante por el alto costo de los combustibles asociado a una creciente demanda, además de recientes prescripciones normativas en especial en los países más industrializados. En los países más *energívoros* y en los más *verdes* la contención de los consumos energéticos ha despertado la atención de la industria, de los proyectistas y de los mismos usuarios que reconocen, en un planteamiento cuidadoso y orientado a la sostenibilidad del proyecto de arquitectura, una vía para conciliar las expectativas hacia una mejor calidad de vida. La inversión en tecnologías que facilitan el bajo consumo energético en el ciclo de vida y la captación energética de fuentes renovables

permiten la gestión apropiada de recursos naturales capaz de extender sus beneficios a largo plazo con costos incrementales reducidos o hasta positivos. Los temas energético y ambiental están hoy en el centro del debate, no solamente arquitectónico, y han asumido, en los últimos años, una dimensión que ha favorecido el desarrollo de investigación aplicada y la transferencia de sus resultados a la industria de las construcciones. Organizaciones internacionales (Naciones Unidas, Unión Europea, etc.), gobiernos nacionales (Japón, Alemania, España, Italia, Estados Unidos, etc.) y regionales están fuertemente comprometidos en la promoción de iniciativas dirigidas al desarrollo de tecnologías “residentes” con profundas repercusiones energéticas y ambientales positivas.

Las políticas que favorecen investigación y transferencia de tecnologías y el involucramiento de centros de excelencia y de industrias fuertemente motivadas permiten un desarrollo coherente capaz de proponer soluciones siempre más eficientes y con costos que se reducen proporcionalmente con la expansión del mismo mercado. Los materiales cerámicos, por ejemplo, constituyen el punto de partida especialmente apropiado en Colombia ya que se trata de materiales cuyos comportamientos son ampliamente conocidos y son parte integrante de la cultura arquitectónica de muchos países donde representan también el material de mayor difusión para la construcción. La atención y, ¿por qué no?, la gratitud hacia un material simple y generoso no constituye todavía un llamado a

los valores del pasado o una alternativa al progresivo desarrollo de soluciones para envolventes que utilizan otros cerámicos, metales o maderas evolucionadas, materiales plásticos compuestos y otros; más bien se considera que, precisamente, las características de los materiales “alternativos” dejan un campo para el desarrollo de soluciones evolutivas e innovadoras en terracota. Gracias a una utilización multimilenaria para techos y fachadas se tiene un preciso conocimiento del comportamiento mecánico y de la duración, de las cualidades acústicas y térmicas, sin olvidar las estéticas. Estas cualidades se hacen tanto más valiosas cuando se analizan el ciclo de vida y las patologías que evidencian los nuevos materiales para envolventes.



93.

La proposición de *funcionalizar las superficies* se fundamenta en la convergencia de conocimientos y tecnologías desarrolladas en diferentes ámbitos industriales para que las proposiciones de proyecto puedan ser aplicables también a breve término sin intervenir radicalmente en los procesos productivos actuales, sino, más bien, ladeándose a ellos para agregar valor y funciones no convencionales. Se pueden considerar, en efecto, las tecnologías de moldeado consolidadas (extrusión y prensado), y otras de reciente introducción como compatibles a tratamientos y funcionalizaciones no convencionales capaces de mejorar el desempeño, incrementar la vida útil y asegurar un impacto energético-ambiental positivo.

FOTOVOLTAICO

La industria del fotovoltaico puede ya considerarse como madura y existen en el comercio numerosas opciones para la captación de energía solar como para los componentes de instalación.

En la actualidad se necesita más desarrollo en lo que se refiere a:

- ☞ Integración arquitectónica de los sistemas actualmente comercializados, en especial los asociados a otros materiales de construcción que no sean vidrio;
- ☞ Incremento de la eficiencia de sistemas de segunda y tercera generaciones.

La complejidad inherente al desarrollo tecnológico hacia el incremento de la eficiencia, la reducción de los costos y la integración arquitectónica de las funciones activas es evidente tal como la importancia que asume hoy y asumirá en un futuro la cuestión energético-ambiental. En términos proyectuales se pueden detectar recorridos y soluciones de integración arquitectónica con nuevas funcionalidades; se pueden transferir tecnologías desarrolladas para cerámicas, vidrio, materiales de síntesis, donde se obtienen resultados más armónicos y, a menudo, una efectiva integración entre estética y funciones energéticas de las envolventes.

Precisamente la búsqueda de integración no se limita a los solos componentes de sistema sino detectando materiales y soluciones tecnológicas compatibles y apropiadas para construir envolventes flexibles, es decir compatibles con componentes diversificados por materiales, aspecto y funciones. La utilización de metales y vidrio o materiales de síntesis queda vinculada a una visión general de sostenibilidad que acondiciona, en términos de balances económicos en el ciclo de vida, la duración y la eficiencia de los componentes, además de la reciclabilidad. Esta evaluación de análisis de los costos en el ciclo de vida es compleja pero objeto de estudios, precisamente para definir parámetros medibles –aun reconociendo que también en los criterios de medición siempre se dan componentes de subjetividad–, la sostenibilidad de soluciones tecnológicas en términos económicos y ambientales.

La integración en las envolventes arquitectónicas se manifiesta a diferentes niveles, de la superficie cerámica a vista a las subestructuras al control de los flujos de aire, de las instalaciones a los accesorios. En este sentido se ha desarrollado, en la Universidad de Florencia, una labor que propone un sistema de envolvente ventilada con soluciones no convencionales de captación energética derivada del cruce entre valores de eficiencias energéticas y tiempos de vida de las construcciones, entre características de la envolvente y requisitos de las instalaciones.

La transferencia de la función energética a fachadas y cubiertas puede producir un fuerte impacto en todo el sector de las construcciones, del proyecto a la producción, de la construcción a la gestión, pudiendo contar con un mercado potencial capaz de justificar las inversiones en función de una rentabilidad en el ciclo de vida de la construcción fundamentada no solamente en específicos desempeños sino también en la racionalización de los procesos constructivos.

VALORES

Sería miope la actitud de considerar como valores solamente los de mercado y como costos solamente los directos; esta es una visión inmediatista propia de la especulación comercial, que es lícita pero ignora, simplemente, las consecuencias de sus decisiones, un poco como el médico que sana de una gripe al paciente que luego muere por un “efecto secundario” causado por el mismo tratamiento.

Entre los instrumentos y los métodos para la evaluación que considera no solamente los costos comerciales (directos e indirectos) es importante agregar componentes objetivos que permiten cuantificar también el balance energético y de costos a los que da lugar una construcción a lo largo de todo el periodo de vida, desde la producción de los materiales hasta su desecho o reciclaje.

El Life Cycle Assessment (LCA) es un procedimiento para cuantificar objetivamente los consumos (en términos de materiales y energéticos) y las emisiones al ambiente, no solo por lo que se refiere al proceso productivo (energía gris) sino a la vida útil de la construcción además de los costos y de los impactos ambientales generados con la eliminación del material o con su

reciclaje. Esta cuantificación permite definir en términos económicos el impacto en el ecosistema debidos al consumo de recursos y a las emisiones contaminantes. Evaluar consumos y emisiones implica relacionar directamente costos económicos con costos sociales (enfermedades de vías respiratorias, tumores, menor productividad por patologías relacionadas, depauperación ambiental, contaminaciones de aire, suelo y aguas, etc.) de manera tal que sea posible identificar los responsables de contaminaciones y patologías eventualmente generadas, para que asuman las consecuencias –directas e indirectas– de sus acciones.

Herramientas como el LCA deberían convertirse en parámetros imprescindibles de ecodiseño para arquitectos, en instrumentos programáticos y de actuación política para las administraciones públicas. Hasta el momento puede más la retórica que los hechos.

Para realizar un estudio LCA los factores a tener en cuenta son heterogéneos y complejos. Como se sintetiza en el cuadro siguiente es posible todavía reconocer cómo los ecoindicadores consideran cuatro grupos de fenómenos:

4. MATERIAS PRIMAS.

Se puede fácilmente discriminar entre materiales naturales y de síntesis, renovables o no renovables; otro aspecto importante es el impacto sobre el ecosistema donde se produce la explotación. Para hacer una simple ejemplificación se pueden considerar la sustracción de terreno a otras actividades productivas, la afectación al ecosistema natural de las cuencas de los ríos y/o del subsuelo, el consumo de agua y de materia prima, la depauperación de especies vegetales nativas, etc. En segundo lugar es necesario verificar si en los procesos de transformación se producen o utilizan sustancias nocivas para las personas y el ambiente¹.

1. http://www.scienzaegoverno.org/n/004/004_04.htm

MATERIAL	CONSUMO ENERGÉTICO	
	Mj/Kg	KWh/Kg
Aluminio	215,00	59,72
Aluminio reciclado al 30%	160,00	44,44
Neopreno	120,00	33,33
Esmaltes orgánicos ecológicos	100,00	27,78
Esmaltes orgánicos	100,00	27,78
Poliestireno expandido EPS	100,00	27,78
Poliestireno extrudido XPS	100,00	27,78
Cobre	90,00	25,00
Polipropileno PP	80,00	22,22
Polivinilcloruro PVC	80,00	22,22
Polietileno	77,00	21,39
Poliuretano PUR con HCFC	70,00	19,44
Poliuretano con CO ₂	70,00	19,44
Acero reciclado al 20%	35,00	9,72
Fibra de vidrio	30,00	8,33
Arcilla para aparatos sanitarios	27,50	7,64
Aluminio reciclado al 100%	23,00	6,39
Pintura de agua, ecológica	20,00	5,56
Pintura de agua	20,00	5,56
Vidrio plano	19,00	5,28
Acero reciclado al 100%	17,00	4,72
Madera sin formaldehído	14,00	3,89
Madera con formaldehído	14,00	3,89
Cerámica vitrificada	10,00	2,78
Manto asfáltico	10,00	2,78
Fibrocimiento con fibras minerales o vegetales	9,00	2,50
Cemento	7,00	1,94
Fibrocimiento con asbesto	6,00	1,67
Madera laminada	5,00	1,39
Ladrillo-tejas	4,50	1,25
Yeso	3,30	0,92
Madera de clima tropical	3,00	0,83
Madera de clima templado	3,00	0,83
Ladrillos macizos	2,96	0,82
Ladrillos ahuecados	2,86	0,79
Mortero M-40/a	1,34	0,37
Concreto reforzado H-200	1,10	0,31
Concreto reforzado H-175	1,03	0,29
Mortero M-40/a	1,00	0,28
Concreto reforzado H-150		
Arena de río		
Áridos		

Fuente: Universidad de Valencia

- ☞ **EMISIONES.** Emisiones de gas con efecto invernadero, de sustancias dañinas para el ozono, que favorecen la acidificación.
- ☞ **ENERGÍA.** Consumo de energía en la fase de transformación y en todo el ciclo de vida.
- ☞ **DESECHOS.** Residuos sólidos, líquidos o gases en los procesos de producción, construcción y todos los residuos no reciclados que no se recuperan al finalizar la vida de la construcción.

Para reducir el impacto en las construcciones, varios países, en especial europeos, han tomado medidas específicas a fin de favorecer la sostenibilidad en las construcciones civiles. Se recuerdan las principales:

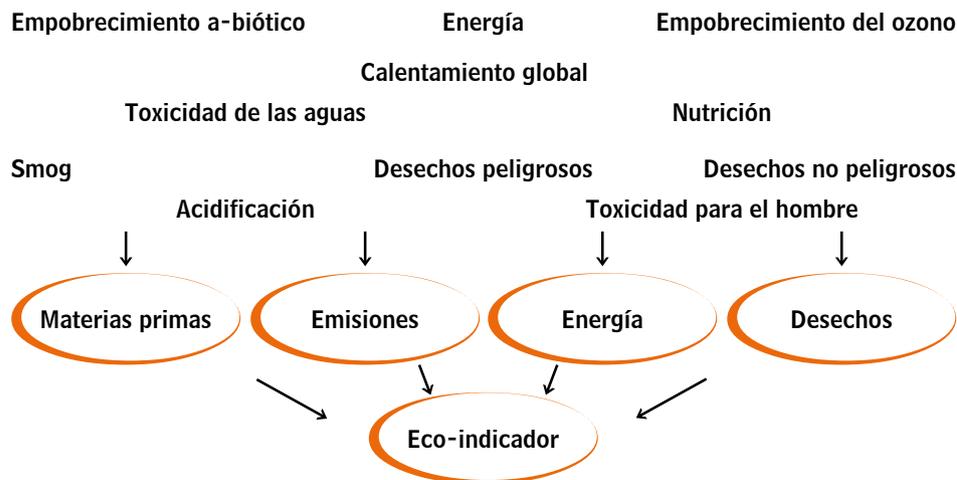
- ☞ Determinar límites para las temperaturas internas (de calefacción y refrescamiento).
- ☞ Inspecciones periódicas para el control y el mantenimiento obligatorio de instalaciones y sistemas *energívoros* con sustitución de aparatos obsoletos.
- ☞ Mejoramiento en la eficiencia de los sistemas de iluminación.
- ☞ Campañas de *audit* energético.
- ☞ Etiquetado de aparatos y componentes.
- ☞ Clasificación energética de las construcciones.

En este marco se considera que las acciones prioritarias para llegar a la sostenibilidad en las construcciones son:

- ☞ Renovación masiva de las envolventes, en especial de las construcciones menos eficientes térmicamente.
- ☞ Gestión controlada del acondicionamiento de aire.
- ☞ Difusión e incentivos a favor del uso de energías renovables.
- ☞ Difusión de sistemas de gestión automática de las construcciones.

Una consecuencia directa de estas políticas es la generación de procesos virtuosos que llevan a modelos como el MRPI para la evaluación del impacto ambiental de los materiales de construcción o a Eco-label basados en LCA como iniciativa del productor.





BIBLIOGRAFÍA

- Benedetti, C. (1994). Manuale di architettura bioclimatica. Rimini: Maggioli.
- Bourdeau, L. (2006). Construction research priorities. En: European Construction Technology Platform conference. Versailles, 21-22 de noviembre de 2006.
- Cardoso, F. Entrepreneurial strategies and new forms of rationalisation of production in the building construction sector of Brazil and France. En: <http://www.ce.berkeley.edu/%7Eetommelein/IGLC-7/PDF/Cardoso.pdf>
- ENEA: Dall'ecobuilding al distretto energetico: la proposta enea per un modello di sviluppo fondato su ecoedifici e generazione distribuita. Atti del Workshop "Dall'ecobuilding al distretto energetico: ricerca e governance verso nuovi modelli di sviluppo". Roma, 19 de diciembre de 2007.
- ENEA: Libro Bianco Energia Ambiente Edificio. Il Sole 24 Ore, Milano, 2004.
- Lukasik Jacques, Constant Van Aerschot. Energy efficiency in buildings. A WBSCD initiative. En: ECTP conference. Amsterdam, 19 de noviembre de 2007.
- Masera, G. (2003). Edifici energeticamente efficienti. Tesis dottorale. Politecnico di Milano.
- Masera, G. Residenze e risparmio energetico. Il sole 24 Ore, Milano, 2004.
- Olgiay, V. (1963). Design with Climate - Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton: Princeton University Press.
- Rogora, A. (2003). Architettura e bioclimatica. Napoli: Sistemi editoriali.
- Rossetti, M. (2000). L'involucro architettonico come macchina energetica: l'integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici e il loro utilizzo come strumento progettuale. Tesi dottorale. Roma: Università La Sapienza.
- Sustainable Building South Europe. Proceedings. Atti della conferenza internazionale. Torino, 2007.
- Technologies clés 2005, l'Observatoire des Technologies Stratégiques (OTS). Paris, 2001.
- Tokamanis, C. (2006). Opportunities in FP7 for the construction sector. En: European Construction Technology Platform conference. Versailles, 21-22 de noviembre de 2006.
- Trivelli, A. (2000). Architettura sostenibile. Tesi dottorale. Politecnico di Milano.
- Turchini, G. (2004). (a cura di): Residenze e risparmio energetico. Il Sole 24 Ore. Milano.
- Working Party on National Environmental Policy: Design of Sustainable Building Policies: Scope for Improvement and Barriers. En: [alarife
ALTA RIFORMA DI ARCHITETTURA](http://www.oilis.oecd.org/olis/2001doc.nsf/Wienke, U. (2005). Aria, calore, luce. Roma: DEI.</p>
</div>
<div data-bbox=)