

Reducción de la insostenibilidad mediante la rehabilitación urbana

Mariano Vázquez Espí

Madrid, 25 de mayo de 2010

Índice

1. Introducción	2
2. Sostenibilidad / Insostenibilidad	2
3. Insostenibilidad ligada a la edificación	5
3.1. Coste energético durante el uso	7
3.2. Coste energético de fabricación	8
3.3. Durabilidad de la construcción	8
3.4. Coste global del alojamiento	8
4. El proyecto de rehabilitación	10
4.1. Caracterización climática	10
4.2. Evaluación del soporte	11
4.3. Estrategias básicas para el confort térmico	12
4.3.1. Aislamiento e inercia térmicos	12
4.3.2. Captación solar	13
4.3.3. Refrigeración y ventilación pasivas	14
4.4. Instalaciones activas	14
4.5. Materiales	15
4.5.1. Recursos energéticos durante la fabricación	16
4.5.2. Otros impactos durante la fabricación	17
4.5.3. Discusión de casos: aluminio, madera	18
5. Algunas propuestas sobre el marco institucional	20
5.1. El estómago del arquitecto	20
5.2. El alojamiento como servicio público integral	22
6. Imágenes	23

1. Introducción

La hipótesis principal que intentaré explorar es sintéticamente la siguiente:

La rehabilitación urbana debiera ser la estrategia prioritaria para reducir la insostenibilidad actual asociada al funcionamiento de nuestros edificios; y debería anteponerse a nuevos desarrollos urbanos, incluso si estos pudieran considerarse muy eficientes o ecológicos.

Para ello, repasaré primero el propio concepto de insostenibilidad. En segundo lugar cuantificaré el coste energético del alojamiento y cómo pueden contribuir a disminuirlo distintas estrategias de gestión del parque inmobiliario. En tercer lugar, enumeraré los principales aspectos a tener en cuenta en el proyecto de rehabilitación de edificios en relación con lo anterior, priorizándolos.

2. Sostenibilidad / Insostenibilidad

No sé si la elección del término *sustainability* fue afortunada (el francés *durabilité* me gusta mucho más). Pero en cualquier caso las características que se pretende describir deben quedar claras.

Nuestra mirada debe fijarse en los ecosistemas no-artificiales, en los que cabe destacar las siguientes características:

- **Uso de materiales.**
 - La mayor parte de las **materias primas** y de los **materiales** empleados son abundantes y fácilmente accesibles (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, calcio, hierro, etc).
 - Los **productos elaborados** se emplean en general en ciclos cerrados, *no habiendo propiamente ni recursos ni residuos*: el residuo de una especie es un recurso para otra. (Las excepciones son raras y los pocos ciclos abiertos han dado lugar a la acumulación de ‘residuos’ en yacimientos minerales, típicamente petróleo, gas natural, minerales de hierro, etc. Estos yacimientos deben ser considerados los primeros “vertederos controlados”).
 - Lo anterior es posible porque los productos elaborados son materiales reactivos que pueden transformarse (combinarse o degradarse) con relativa facilidad durante el metabolismo. No hay apenas productos *persistentes*. (La propia atmósfera terrestre, a diferencia de la de Venus o Marte, es muy reactiva y químicamente inestable. Y conviene recordar que la atmósfera actual es una de las creaciones más notables de la evolución de la vida sobre el planeta.)
 - El metabolismo biológico tiene lugar a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente y las exigencias de pureza para los materiales son pequeñas.
- **Fuentes de energía.** La mayor parte de la energía empleada es una fracción de la radiación solar que nos llega cada día, una fuente renovada y accesible. La mayor parte de este consumo se dedica a la renovación y circulación de las **materias primas**: desalación y circulación de agua, dispersión de gases, etc. La fotosíntesis representa en realidad una pequeña fracción del consumo total, dedicada a la síntesis de **productos elaborados in situ**, sin apenas transporte.

- **Evolución hacia la estabilidad.** Debido a que tanto la radiación solar como los materiales del planeta están disponibles en cantidad limitada, los ecosistemas no-artificiales, tras una fase corta de desarrollo y crecimiento mediante la que definen su **identidad** tienden a la estabilidad, renovando una cantidad de biomasa constante y manteniendo en lo posible esa identidad.

En contraposición, los ecosistemas industrializados contemporáneos, operan de un modo bien distinto:

- **Uso de materiales.**
 - La mayor parte de las **materias primas** se extraen con esfuerzo de yacimientos agotables de difícil acceso (cobre, mercurio, plomo, arsénico, cadmio, uranio, combustibles fósiles, etc), para lo cual se dispersan en el ambiente una amplia variedad de subproductos contaminantes.
 - La síntesis de **productos elaborados** opera en general en ciclos abiertos, consumiéndose recursos y produciéndose residuos: muchos elementos químicos, subproductos sin utilidad de las reacciones, son dispersados por doquier.
 - Muchos de los productos elaborados y de los residuos producidos son compuestos **persistentes**, poco reactivos, que por tanto se acumulan en el ambiente al no poder ser procesados por los ecosistemas no-artificiales. Por encima de cierta concentración, tales compuestos persistentes resultan **tóxicos** (por ejemplo, el mercurio o el plomo).
 - El metabolismo industrial opera frecuentemente a temperaturas elevadas y requiere reactivos con un alto grado de pureza.
- **Fuentes de energía.** Actualmente, la mayor parte de la energía empleada proviene de la combustión de **materias primas** (carbón, petróleo, gas natural, uranio, plutonio); dando lugar a la dispersión contaminante de los productos de la combustión: CO₂, radiactividad, etc. La mayor parte del consumo energético se emplea en elaborar y transportar a larga distancia **productos elaborados**. Por ejemplo, del orden de un tercio del consumo mundial de energía primaria se emplea para transportar la propia energía en forma de electricidad.
- **Crecimiento sostenido.** Debido a que, actualmente, la cantidad anual de **materia prima** extraída puede aumentarse sin más que aumentar el consumo de recursos empleados para ello, no opera (de momento) un límite insuperable en la cantidad de recursos disponibles. Y en consecuencia la Revolución Industrial dio pie a un crecimiento sostenido de la población humana.

Sin embargo, debe notarse a este respecto la hipótesis bastante plausible de que estemos cerca de alcanzar el denominado *peak oil*, es decir, el punto a partir del cual los nuevos descubrimientos de yacimientos de petróleo representan cantidades menores que el que se consume —el *peak oil* estaba previsto hace cincuenta años en torno a 2000, y nuevos estudios recientes lo sitúan en torno a 2012.

Ciertamente, los ecosistemas artificiales no operan sólo según el esquema ‘industrial’ (por ejemplo, nosotras mismas, las personas humanas, seguimos operando según el metabolismo biológico), tratándose más bien de ecosistemas híbridos que operan entre ambos extremos.

Pero las diferencias entre el **metabolismo biológico** y el **metabolismo industrial** y, sobre todo, la paulatina industrialización de los ecosistemas artificiales, han originado nuevos impactos ambientales negativos (y han agravado otros), impactos que pueden resumirse en *doce problemas* fundamentales que amenazan de forma creciente la precaria estabilidad de nuestras sociedades.

Podemos describirlos en cuatro grupos principales.

■ **La destrucción de recursos renovables** incluye:

1. La destrucción de ecosistemas no artificiales fotosintéticos
2. El agotamiento de pesquerías
3. La pérdida de diversidad biológica
4. La destrucción de la fertilidad en suelos cultivados por erosión, salinización, agotamiento de nutrientes, o acidificación. Por ejemplo, en España en los últimos años, la mayor causa de erosión del suelo es, con gran diferencia, resultado de su urbanización.

■ **La utilización creciente de recursos limitados y agotables** afecta a:

5. Los combustibles fósiles
6. El agua dulce
7. La producción fotosintética: actualmente nos apropiamos de más de la mitad del producto de la fotosíntesis, contribuyendo además a la pérdida de biodiversidad en los propios ecosistemas agrícolas: actualmente el cultivo de tan sólo una docena de plantas domésticas ocupa el setenta por ciento de la superficie cultivable en el mundo.

■ **Contaminamos el entorno** de tres formas:

8. con residuos químicos sólidos o en solución
9. introduciendo especies “foráneas” como efecto colateral del transporte de recursos y productos elaborados
10. y vertiendo todo tipo de gases en la atmósfera, causando problemas bien conocidos como el cambio climático (gases con efecto invernadero), la destrucción de la capa de ozono, lluvias ácidas, etc.

■ Y en cuanto a la propia **población humana** hay dos problemas graves y relacionados:

11. su crecimiento absoluto
12. y el crecimiento sostenido del impacto ambiental *per capita* (que además es muy distinto según grupos sociales, ciudades, países y continentes). Este impacto es la otra cara de la insultante disparidad de rentas y poder adquisitivo entre distintos grupos humanos.

Con ocho de estos problemas las sociedades humanas han lidiado en el pasado, cosechando éxitos, pero también fracasos. Los cuatro señalados son nuevos, nos pertenecen en exclusiva. Otra novedad importante es que los doce problemas se han ‘globalizado’: afectan a todo el planeta, aunque su origen causal esté localizado en las denominadas ciudades globales.

Los doce problemas se influyen entre sí (e incluso se solapan). Pero los doce requieren una respuesta urgente e individual. Cualquiera de ellos, por separado, amenaza por sí solo a la vida de cientos de millones de personas.

La construcción y disfrute de edificios y ciudades tiene efecto directo de diversa importancia sobre siete de ellos.

La transición desde la actual sociedad industrial hacia una nueva cultura menos insostenible requiere reconvertir el metabolismo artificial imitando en lo posible el metabolismo biológico. Esta deseable transición es difícil por varias causas, entre las que cabe destacar una fundamental: la existencia de fuertes incentivos económicos para perseverar en el actual *status quo*. Mientras no esté prohibido contaminar y no haya que pagar por la contaminación producida, resultará más beneficioso monetariamente emplear máquinas de combustión (sustituyendo mano de obra humana) que cualquier otra alternativa; se mejora así la denominada «productividad del trabajo» y el crecimiento económico, mientras que se continúa consumiendo recursos agotables y agravando los doce problemas descritos. El desarrollo o crecimiento económico tiene así como contrapartida inevitable el deterioro ecológico.

La actual estructura de los incentivos monetarios, lo que podríamos denominar “marco institucional del mercado”, parece estar cambiando pero si es así, lo hace de un modo desesperantemente lento. Para contrarrestar su efecto con rapidez tan sólo contamos con la posibilidad democrática de modificar ese marco institucional que alberga al supuesto ‘libre’ mercado. Tales modificaciones pueden ser igualmente monetarias (impuestos y multas sobre la contaminación, en la línea de las establecidas por el protocolo de Kioto), pero resultarán más claras reglas que vayan prohibiendo las formas más escandalosas de contaminación y despilfarro. Todavía mejores serían aquellas modificaciones del marco institucional que supusieran un incentivo monetario a favor de disminuir el consumo de recursos agotables.

La coyuntura económica de ahora mismo, con la crisis financiera y de consumo, sería una buena oportunidad para intentar una transición. Desafortunadamente, lo que hasta ahora vemos es la aplicación de recetas keynesianas clásicas: inversión pública en nuevas infraestructuras —hagan o no falta— y subsidios a la industria y a las finanzas. Se pierde así la oportunidad de ensayar lo que podríamos denominar *ecokeynesianismo*, es decir, inversión pública pero con la vista puesta en la reducción de la insostenibilidad. Por ejemplo, todo el dinero público que se gastara en España en nuevas infraestructuras podría emplearse en la limpieza manual de ecosistemas (montes, ríos, vertederos incontrolados, etc): a parte de no crear nuevos sumideros de recursos (debido al coste de mantener las infraestructuras en uso) se crearían mayor número de empleos a igual de gasto público.

3. Insostenibilidad ligada a la edificación

Una crítica frecuente respecto a la industria de la construcción suele señalar como negativo su relativo ‘atraso tecnológico’, resumido en la relativa falta de éxito a la hora de *industrializar* sus procesos básicos. Desde el punto de vista de la sostenibilidad se trata de una crítica no muy atinada, aunque apunta certeramente a una diferencia importante respecto a otras industrias.

La arquitectura, tal y como se describe en los tratados clásicos de VITRUVIO o ALBERTI, puede tener características cercanas al metabolismo biológico: uso de materias primas fácilmente accesibles

y potencialmente renovables (madera, piedra), que son biodegradables o no son tóxicas; uso de energía solar (iluminación diurna, inercia térmica).

Esta circunstancia cambió de forma drástica con el Movimiento Moderno, cuando precisamente se perseguía la *industrialización* mediante dos transformaciones principales.

- En primer lugar, la incorporación de nuevos materiales más *mecanizables* y en cuya producción podía sustituirse buena parte de la mano de obra por combustión. Los ejemplos típicos son el cemento, el acero y el aluminio. A los que se han ido añadiendo otros ‘éxitos’ menos espectaculares como la piedra en losas de muy pequeño espesor o los tableros de fibra de madera, y todo tipo de productos prefabricados.
- En segundo lugar, el recurso a instalaciones y máquinas de todo tipo, movidas por combustión directa o, mejor aún, por electricidad. Los ejemplos típicos son el acondicionamiento de aire (ventilación, calefacción y refrigeración, la “respiración exacta” propiciada por LE CORBUSIER); la iluminación artificial durante 24 horas; la ciudad del automóvil, en la que la proximidad deja de ser una limitación.

De este modo, nuestras ciudades y edificios se convirtieron paulatinamente en máquinas que, desde que se ponen en marcha, devoran recursos y contribuyen a agudizar algunos de los doce problemas antedichos.

Muchos de los desarrollos urbanos posteriores a la Segunda Guerra Mundial quedaron ligados en su operar al metabolismo industrial, sumándose a la corriente principal del desarrollo. El éxito fue, de todas formas parcial, debido a que el coste de producir viviendas con las tecnologías propias de una nave espacial hubiera sido monetariamente insoportable, de suerte que el recurso a técnicas tradicionales siguió representando una fracción importante del esfuerzo constructor: las estructuras siguen manteniéndose erguidas de forma pasiva (aunque la levitación magnética es técnicamente posible); los edificios siguen contando con alguna inercia térmica y son potencialmente captadores de energía solar útil (a veces, muy a pesar de los deseos del proyectista de las instalaciones de refrigeración); las ventanas no han podido ser sustituidas en las viviendas como elemento fundamental de relación con el ambiente exterior (aunque su función ha desaparecido en la práctica en muchas oficinas).

Como en el caso de cualquier artefacto, un edificio o una vivienda nos ofrecen un determinado servicio o bien, alojamiento en este caso, por el tiempo que duren en uso. El consumo de recursos agotables asociado al disfrute del bien debe tener en cuenta todo el ciclo de producción, mantenimiento y deconstrucción de la vivienda.

El consumo ligado al uso (calefacción, iluminación, etc) puede contabilizarse como una media anual. Los consumos ligados tanto a la fabricación como a la posterior deconstrucción, tienen lugar una sola vez, y para repercutirlos anualmente deben ser repartidos a lo largo de la duración del edificio. De ahí que la **durabilidad** de la construcción aparezca como una variable crítica. Una vida larga reduce la importancia relativa de los costes de fabricación y deconstrucción, hasta hacerlos marginales; y al contrario, una vida breve puede tornarlos de mayor importancia que el consumo durante el uso.

El consumo de recursos y los impactos negativos tanto durante la construcción como durante el uso son muy diversos, en concordancia con los doce problemas antedichos.

Un análisis realista debería incluir el consumo de materiales agotables (incluyendo combustibles) y agua dulce, así como los impactos por contaminación directa e indirecta (en yacimientos o procesos industriales); y la destrucción de suelo fértil. Sin embargo, actualmente se acepta (como solución práctica provisional) limitar el análisis a los costes energéticos, es decir, al consumo de combustibles (lo que no incluye, por ejemplo, todas las emisiones contaminantes). Además, se carece de información contable estándar, de suerte que hay que aceptar una cierta incertidumbre que obliga a leer las cifras como órdenes de magnitud razonables (y poco más).

3.1. Coste energético durante el uso

La cantidad total de energía durante el uso de una vivienda depende de varios factores: clima de la localidad, tipo de edificio, tamaño de la vivienda, poder adquisitivo, grado de equipamiento, etc. Este consumo en Europa supone una fracción importante del consumo global (puede representar un tercio del total en algunos países). Y frecuentemente, con ese consumo no se obtiene un alojamiento completamente confortable debido a la inadecuación de los diseños: por ejemplo, son bien conocidos los problemas de falta de confort térmico (calefacción insuficiente, sobrecalentamiento o sobreenfriamiento).

¿En qué se usa esa energía? La respuesta obviamente depende sobre manera de los factores antedichos. A pesar de esa enorme variedad de situaciones, puede estimarse que, como media, la mitad del consumo se dedica a *intentar* mantener el confort higrotérmico de la vivienda (climatización, entendida como el conjunto de calefacción, ventilación y refrigeración). El siguiente uso en importancia, entre un tercio y un quinto del total, corresponde a los electrodomésticos (incluyendo la iluminación). Y en tercer lugar, entre un cuarto y un sexto del total, quedaría la producción de agua caliente. Como hipótesis de trabajo podemos fijar las proporciones 50, 25, 16 %, al objeto de poder estimar los posibles ahorros.

El diseño del edificio puede influir notablemente tanto en el coste de la climatización como en el del agua caliente. Sólo en menor medida puede influir en el consumo de electrodomésticos o en el de la cocina. Un buen diseño bioclimático que incluya aislamiento, y sistemas pasivos y activos de aprovechamiento solar podría reducir a la mitad el coste del acondicionamiento y al 30 % el del agua caliente, de manera que resulta factible y realista pensar que el consumo total durante el uso pudiera reducirse a 2/3 del actual. En todo caso, la reducción del coste de la climatización es lo prioritario, aunque sin olvidar que cualquier ahorro es bienvenido. En particular, hay que prestar atención a no aumentar la ineficiencia al incorporar ‘nuevas’ tecnologías sólo en apariencia más eficientes, por ejemplo, aparatos eléctricos como bombas de calor y cocinas vitrocerámicas.

3.2. Coste energético de fabricación

También aquí nos encontramos con una fuerte variación según el tipo de edificio, su grado de equipamiento, etc. Una horquilla abarcadora puede situarse entre 2.000 y 8.000 MJ/m² de superficie construida.

El reparto de ese coste entre los distintos capítulos es importante para poder estimar el coste de la rehabilitación según su intensidad.

Es importante observar que entre el 50 y el 70 % del coste de fabricación se dedica a elementos que pueden ser de gran durabilidad y que pueden calificarse como pasivos, es decir, no ocasionarán costes adicionales durante el uso del edificio (aunque su diseño condiciona por siempre la forma del edificio y su relación con el entorno).

3.3. Durabilidad de la construcción

¿Cuánto dura un edificio? Depende tanto de la calidad de su concepción como del empeño y la inteligencia puestos en su conservación. Las normas técnicas suelen suponer implícitamente 50 años de vida, una duración modesta comparada con la antigüedad de algunas construcciones de sólida factura. En España, de no haberse cortado de raíz el último *boom* inmobiliario, se podría estimar una duración estadística de unos 30 años, que sería el plazo que, al ritmo de construcción durante el *boom*, se hubiera tardado en construir un número igual al de las viviendas existentes.

La durabilidad del edificio está determinada por el elemento que menor durabilidad tenga, aunque esta limitación puede ser superada con pequeñas operaciones de sustitución en algunos casos (siempre que tal cosa haya sido prevista y sea posible). Con los conocimientos actuales, técnicamente parece factible alcanzar 100 años de vida útil, excluyendo elementos de menor importancia como revestimientos (pinturas, etc).

3.4. Coste global del alojamiento

A la hora de enjuiciar el coste global del alojamiento hay que tener en cuenta las siguientes variables críticas: edad del edificio, grado de confort alcanzado y durabilidad (real o potencial).

En el caso de alojamientos que no pueden calificarse de confortables (en menor o mayor medida) su coste es difícil de establecer, puesto que no puede evaluarse en términos energéticos el impacto del disconfort de sus habitantes y la pérdida de calidad de vida a que da lugar. En este caso nos encontramos con un *umbral* más que con un coste, un umbral que separa las situaciones aceptables de aquellas que no lo son y que requerirían urgentes medidas rehabilitadoras.

La edad del edificio influye claramente en el consumo anual por uso: desde la SGM, las sucesivas normas técnicas han ido elevando los estándares y las exigencias, propiciando diseños más confortables y, a la vez, más eficientes.

En los edificios existentes, el análisis concreto puede hacerse con datos menos inciertos pues la información está a mano: los habitantes pueden evaluar el grado de confort de los alojamientos (que puede comprobarse mediante medidas *in situ*) y el consumo real durante el uso puede cuantificarse a través de la facturación de las empresas suministradoras de energía. De hecho, con esa información se podrían realizar análisis de edificios o barrios e identificar los casos de mayor despilfarro y/o mayor

disconfort, sobre los que debería actuarse prioritariamente. La información está ahí, esperando ser explotada de forma sistemática. La actual coyuntura de crisis sería una buena oportunidad para acometer este tipo de estudios. Sin embargo, el interés de las autoridades es casi inexistente.

Por mi parte, me contentaré con cuantificar algunas situaciones de referencia a partir de las estimaciones anteriores, limitándome a comparar alojamientos *confortables*.

Lo que muestra este ‘paisaje’ hipotético es un orden de prioridad muy claro:

1. Lo imprescindible es aumentar la eficiencia durante el uso, lo que apunta a intensificar el uso de todas las técnicas bioclimáticas, tanto pasivas como activas, así como a mejorar la eficiencia de las instalaciones de combustión a la vez que se limita su uso a lo imprescindible.
2. Si hay oportunidad, hay que aumentar la durabilidad, lo que resulta tanto más importante cuanto mayor eficiencia durante el uso se haya conseguido, pues es entonces cuando el coste de fabricación comienza a dejar de ser marginal, y el aumento de durabilidad es la forma más directa de reducir su repercusión anual.
3. Y si aún es posible hacer más, hay que disminuir los costes de fabricación conservando tanto la durabilidad como la eficiencia en el uso obtenidas con anterioridad.

La cuestión más importante es cómo disminuir el despilfarro energético en el parque ya construido, y esta cuestión es mucho más urgente que la construcción de nuevo alojamiento eficiente (‘ecológico’, ‘bioclimático’, etc).

¿Cuál será la mejor estrategia para paliar el despilfarro energético y/o el disconfort de los edificios construidos hasta la fecha, sobre todo aquellos con anterioridad a los años 70? Las dos alternativas extremas son la demolición y sustitución por el libre mercado o los programas de rehabilitación con apoyo público (esto es, programas planificados).

En el primer caso, la pura sustitución, debemos contabilizar el coste energético de la demolición y del abatimiento o descontaminación de los residuos producidos. Nótese a este respecto que la mayor fracción de residuos sólidos en España la constituye precisamente los que resultan de la demolición y construcción de edificios. Puesto que no hay datos muy fiables sobre el particular habremos de contentarnos con estimar el coste de demolición y abatimiento de residuos como una fracción del coste de fabricación: si consideramos un tercio, el coste conjunto se situaría en unos 4.000 MJ/m² de superficie sustituida/construida. Si es el libre mercado quien lidera la operación, debemos contentarnos, en cuanto a la durabilidad, con los ritmos de sustitución de edificios que el propio mercado impone, que en el caso de España se situaron en torno a los 30 años durante el pasado *boom*.

En el segundo caso, una rehabilitación intensa, que permitiera dar solución a todas las carencias en cuanto eficiencia del diseño original, pero que conservara el soporte básico del edificio, costaría no más que la mitad de la fabricación de un edificio nuevo, es decir, 1.500 MJ/m² (incluyendo las demoliciones limpias que fueran necesarias). La ventaja de un programa planificado de rehabilitación es que puede fijarse de antemano la durabilidad, realizando la operación fuera del mercado inmobiliario. También cabe considerar que en un programa semejante se aumenten las exigencias en cuanto al consumo durante el uso, propiciando un uso más intenso de técnicas bioclimáticas que en el libre mercado. En relación con esto, hay que notar que la normativa disponible no es de mucha ayuda: generalmente se concibe con la vista puesta en la nueva construcción (es decir, en el crecimiento económico), y las

referencias a la rehabilitación o no existen o son fórmulas decorosas para cubrir el expediente. El CT no es una excepción.

La estrategia de rehabilitación ecológica considerada es realista: supone que empleará en la fabricación la mitad de recursos que una nueva edificación y que sólo conseguirá reducir un 25 % del consumo durante el uso respecto a la edificación convencional. Aún con supuestos tan prudentes, la rehabilitación ecológica permitiría resolver los problemas de despilfarro o disconfort de la edificación existente con un 53 % del coste energético que cabe asignar a la nueva vivienda construida en España durante el último *boom*. Por tanto, que la rehabilitación ecológica ofrezca alojamiento de calidad con menos coste con que lo pueda ofrecer la nueva construcción es una hipótesis realista (y permite responder a los retos que el protocolo de Kioto supone para la Unión Europea).

Ciertamente, la nueva construcción podría ofrecer edificios energéticamente eficientes e incluso hacerlo con mayor facilidad que la rehabilitación, al poder partir de un proyecto urbano más idóneo en cuanto a condiciones de soleamiento y captación de energía. Sin embargo, lo que importa son las distintas políticas edificatorias en que la nueva construcción y la rehabilitación se insertan. Así, la nueva construcción en España, ligada a un mercado de libre competencia, puede fabricar edificios que en teoría podrían alcanzar una vida útil larga, de 100 años o más; pero que se alcance realmente esa vida útil depende de la evolución del mercado. El fenómeno es similar a la *obsolescencia programada* de otros productos, piénsese en ordenadores o teléfonos móviles, que son sustituidos por nuevos modelos de forma anticipada, sin agotar su vida útil, y aumentando con ello la repercusión global de sus costes de fabricación: por esta y otras causas, por ejemplo, toda la mejora en eficiencia energética en automoción no ha conseguido siquiera estabilizar el consumo de combustible ligado al transporte, que sigue aumentando en Europa. Las políticas de rehabilitación, por el contrario, apuntan de forma intrínseca a la reutilización y al reciclaje, de forma que hacen posible la disminución real del consumo de recursos necesarios para el alojamiento.

4. El proyecto de rehabilitación

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el proyecto de rehabilitación debe atenerse a las prioridades anteriormente señaladas, por este orden: consumo durante el uso, durabilidad, y coste de fabricación. Y dada la estructura habitual del consumo energético durante el uso, todo debe empezar por la caracterización climática de la localidad en la que se realiza el proyecto.

4.1. Caracterización climática

Para cada localidad concreta, debe caracterizarse el clima por sus temperaturas y humedades relativas extremas a lo largo del año. Especial mención debe hacerse de los intervalos diarios de temperatura tanto en invierno como en verano, que dan cuenta de la posibilidad de calentamiento y refrigeración pasivos.

Así mismo debe establecerse con la mayor precisión posible el régimen de vientos según las estaciones, que orientará sobre las posibilidades de ventilación y refrigeración pasiva.

En las ciudades grandes como Madrid no basta en general con los datos meteorológicos: debido a la isla de calor hay que tener en cuenta su efecto que, en general, puede suavizar las condiciones invernales y agudizar las estivales.

Situando los datos climáticos de temperatura y humedad relativa sobre los diagramas de OLGAY y GIVONI es posible vaticinar qué es necesario para corregir el disconfort climático, y cuáles estrategias bioclimáticas pueden emplearse y en qué medida serán suficientes para alcanzar el confort o, por el contrario, si necesitarán complemento de instalaciones de combustión.

Puesto que se apostará por una vida útil grande (100 años, por ejemplo) hay que tener en cuenta que el cambio climático *ya está aquí* y que sus efectos son ya imparables (incluso contando con que el protocolo de Kioto sea cumplido y complementado en el futuro con nuevas reducciones en las emisiones de gases ‘invernadero’). Por ejemplo, las predicciones del IPCC, disponibles por países, vaticinan en Madrid temperaturas máximas estivales 3,5°C superiores a las series históricas para dentro de 50 años (7°C para dentro de 100).

Y ese en apariencia ligero incremento de temperatura supone, en términos del confort estival, un cambio sustancial que puede requerir estrategias diferentes para lograr una climatización adecuada. En este sentido, la durabilidad no tiene que ver tan sólo con la durabilidad física de los materiales, también con que las soluciones de diseño climático adoptadas para el clima actual lo sigan siendo durante toda la vida útil del edificio rehabilitado (una tarea novedosa, inédita en el pasado de la arquitectura). En este sentido, conviene recordar que la temperatura media anual en la última glaciación sólo era 5°C inferior a la actual. Y ahora, probablemente, vamos a experimentar un cambio ligeramente superior pero en un instante geológico.

Todos estos estudios, dado su carácter genérico para cada localidad, debieran ser acometidos por la administración pública local (municipal o provincial).

4.2. Evaluación del soporte

La evaluación del edificio que se pretende rehabilitar debe prestar atención especial a los siguientes aspectos:

- Estado y durabilidad potencial de los elementos del edificio. Asegurar la durabilidad requiere que la estructura y los cerramientos que no sean objeto de reforma se encuentren en perfecto estado. En otro caso, será necesario evaluar la conveniencia de su rehabilitación específica, o de la demolición del edificio para sustituirlo.
- Consumos energéticos reales y grado de satisfacción (confort) de sus actuales habitantes. Esta evaluación permitirá identificar en que aspectos el edificio es ineficiente (por consumo y/o disconfort excesivo).
- Estado y rendimiento real de las instalaciones de combustión.
- Posibilidades de soleamiento, ventilación e iluminación pasiva

4.3. Estrategias básicas para el confort térmico

El diseño para el confort térmico en la rehabilitación sigue las mismas pautas genéricas que para la nueva edificación. Todo el conocimiento acumulado en las últimas décadas por la arquitectura bioclimática es directamente aplicable. Sin embargo, existen particularidades. Son aquellas derivadas del hecho de que los nuevos elementos han de añadirse a los que se conservan, de suerte que no hay completa libertad ni en el orden de ejecución ni en la disposición de los nuevos elementos.

4.3.1. Aislamiento e inercia térmicos

Antes que nada quisiera recordar que el aislamiento térmico de la superficie exterior de un edificio determina la cantidad de energía pérdida o ganada por conducción. Si se desea una temperatura interior constante, ese flujo desde o hacia el exterior tiene que ser compensado mediante un flujo en sentido contrario, aportado por las instalaciones de climatización. Si el edificio sólo cuenta con aislamiento (una situación teórica, imposible en la práctica) ambos flujos varían acompasadamente con la temperatura exterior, de forma que la climatización debe trabajar a la máxima potencia cuando la temperatura exterior es extrema.

Pero cualquier edificio cuenta con capacidad de almacenar temporalmente calor, con inercia térmica. Puesto que se trata de un almacén temporal, la mayor o menor inercia no altera en absoluto la cantidad total de calor que se pierde o gana, pero sí altera el flujo temporal. Con mucha inercia, los flujos caloríficos se amortiguan y dejan de seguir el compás de la temperatura exterior, permaneciendo prácticamente constantes. Es la inercia térmica la que hace posible aprovechar de forma pasiva la radiación solar en invierno (o el frescor nocturno en verano), cuyo máximo valor se da durante el día, cuando resulta menos necesario. Ese calor solar puede encontrar acomodo en la masa del edificio y dejar sentir sus efectos durante la noche, fría.

La inercia térmica también contribuye a que los sistemas de climatización activos no tengan que responder de inmediato a la variación de la temperatura exterior, lo que permite reducir su potencia nominal (aunque, la cantidad total de energía que ha de gastarse no varíe en absoluto, salvo en lo que se refiere a la influencia que la inercia puede tener en captar energía solar de forma pasiva, algo que no es sencillo de evaluar a grandes rasgos).

Por tanto, en general, mucho aislamiento significa en principio menor consumo de energía pero no necesariamente una temperatura interior constante y, en consecuencia, no necesariamente confortable. Los fenómenos de sobreenfriamiento o sobrecalentamiento en los modernos sistemas de acondicionamiento se deben, si es que el sistema funciona correctamente, a una inercia térmica insuficiente.

Como regla práctica, un buen aislamiento debe estar acompañado por inercia térmica, la cual se puede visualizar como la fracción pesada del edificio abrigada por el aislamiento de la superficie exterior.

En rehabilitación, dependiendo de la edad del edificio, su aislamiento será generalmente inadecuado respecto a los estándares actuales. Así que, en general, una de las operaciones básicas será modificar la transmitancia térmica (o coeficiente de transmisión térmica, $W/m^2/^\circ C$) de los paramentos exteriores, muros y cubiertas.

En el caso de muros que se conservan en todo su espesor, sólo hay dos posiciones para el nuevo aislante: las caras interna o externa. Ambas presentan ventajas e inconvenientes.

- **En la cara exterior**, el aislante envuelve toda la masa del edificio que contribuirá de esta forma a la inercia térmica global, con efectos beneficiosos en el caso de viviendas permanentes. Se eliminan además todos los puentes térmicos. Pero hay que resolver los encuentros con los bordes de los vanos (puertas y ventanas): la mayor dificultad está en los casos en que la carpintería se enrasa con la cara interior de la fachada (lo que depende del clima y la latitud). Y hay que dotar al aislante de un recubrimiento eficaz de cara a su durabilidad.
- **En la cara interior**, se pierde como masa térmica la fachada del edificio. El uso del edificio es difícil durante la ejecución de la obra, aunque ésta es mucho más sencilla, salvo por la solución que se dé para evitar puentes térmicos en el engarce con forjados y paredes interiores (lo que puede resultar complicadísimo o imposible).

En general, y desde el exclusivo punto de vista del ahorro energético es preferible la primera solución. La decisión es importante cuanto más exigentes sean las condiciones estivales y siempre que la variación diaria de temperaturas pueda aprovecharse para la refrigeración pasiva. Si no es el caso y si, además de las fachadas, el edificio cuenta con una buena masa interior (estructura y/o compartimentación pesadas), podría tener en cualquier caso suficiente inercia térmica con el aislante por el interior y la decisión no resulta crucial, desde el punto de vista térmico.

4.3.2. Captación solar

La captación de la radiación solar diurna a través de vidrios representa la solución histórica a los problemas de calefacción invernales, y profundiza en la vieja regla de Sócrates acerca de los pórticos meridionales en las casas-patio griegas. Su análogo estival, consiste en la solución de abrir el edificio al frescor nocturno para cerrarse durante el día. En el hemisferio norte, en torno a latitudes medias, es la orientación sur la que permite conjugar ambos aspectos, resultando compatible la captación solar invernal con la protección solar estival.

En rehabilitación, frecuentemente uno se encuentra con edificios, o con viviendas dentro de un edificio, sin esa orientación.

La captación solar puede ser posible todavía mediante la disposición de galerías acristaladas oblicuas a la fachada, buscando el sur; o incluso remozando completamente la fachada, plegándola para buscar esa orientación. Aquí el ingenio del proyectista y la búsqueda formal y constructiva son cruciales. Aunque también resultará crucial que la autoridad municipal que vigile el cumplimiento de las ordenanzas sepa lo que está en juego y, o bien pueda interpretarlas con flexibilidad, o bien directamente las modifique.

4.3.3. Refrigeración y ventilación pasivas

Cuando las condiciones estivales sean extremas puede recurrirse, si la morfología del edificio lo permite sin grandes obras interiores, a chimeneas solares. Su funcionamiento es, en principio, simple: el calor captado en el extremo superior de la chimenea calienta el aire en su interior que asciende por gravedad (al hacerse más ligero con la temperatura). El flujo de aire que se establece permite una cierta capacidad de arrastre del aire en los espacios habitados, que a su vez pueden tomar el aire de sótanos o espacios umbríos en el caso de la refrigeración. Las chimeneas también pueden servir como ventiladores en primavera y en invierno. El conocimiento de los habitantes o de las personas a cargo del edificio resultará crucial, pues según las condiciones hay que abrir o cerrar conductos en las instalaciones más flexibles y ambiciosas.

Las chimeneas solares profundizan en la tradición de los patios de ventilación del XIX, muy mal llamados patios de luces, pues luz de calidad es lo único que no pueden suministrar.

4.4. Instalaciones activas

Frecuentemente, incluso cuando la forma edificada haga posible emplear todos los recursos de diseño bioclimático apropiados al clima de la localidad, quedará por cubrir el confort en las situaciones extremas de invierno y verano, y para ello habrá que recurrir a instalaciones activas.

Y antes de pensar en paneles solares, conviene llamar la atención sobre los importantes ahorros que pueden conseguirse mediante pequeñas operaciones de reforma de instalaciones existentes. Por ejemplo, las instalaciones tradicionales de calefacción central frecuentemente originan problemas de sobrecalentamiento en una parte de las viviendas de un edificio. Pero la respuesta razonable de aquellas personas que cierran los radiadores no está incentivada monetariamente al serles repercutido un coste fijo, pues en general carecen de contadores individuales (habitualmente, en tales casos, el radiador permanece encendido, y las ventanas abiertas). En estos casos, los flamantes desarrollos domóticos, que actualmente se desperdician en subir y bajar automáticamente persianas y tonterías semejantes, bien pudieran emplearse en dotar de contadores individuales del consumo de calefacción, incluso en aquellos circuitos donde un único contador tradicional es imposible de instalar. La experiencia disponible muestra que la simple repercusión monetaria del consumo real de cada vivienda frena el despilfarro de la calefacción central y aumenta su rendimiento real.

En el caso de nuevas instalaciones, el método para evaluar las distintas alternativas disponibles es similar al empleado para el propio edificio. La instalación ha de suministrar, a lo largo de su vida útil, un servicio que podemos medir en términos energéticos (energía útil para calefacción o refrigeración, energía útil en agua caliente, etc). Y para ello, en general, se consumirán recursos tanto durante su fabricación como durante su uso.

Sin embargo, tradicionalmente se ha excluido en el cómputo del rendimiento de las instalaciones el coste energético de su fabricación y de la materia prima (energía) con la que funcionan (coste ambiental del transporte, de la fabricación de las infraestructuras, etc).

Pero bajo la perspectiva de la insostenibilidad, la vida útil de una instalación puede ser crucial, por las mismas razones que ya examinamos al considerar globalmente el edificio.

En consecuencia, una certificación energética de las instalaciones que resultara estable y útil para comparar unas con otras requeriría hacer disponible la siguiente información en el momento del proyecto:

- Rendimiento de operación del aparato, suministrada por el fabricante y certificado por la administración competente (Industria). Esta información está sólo parcialmente disponible en la actualidad: las certificaciones y homologaciones al uso consideran generalmente el máximo rendimiento del aparato, en condiciones óptimas de uso, una situación poco frecuente en el uso real.
- Energía incorporada en la fabricación del aparato, suministrada por el fabricante y certificada por la administración competente (Industria). Se carece por completo de esta información, salvo las estimas realizadas en investigaciones académicas.
- Vida útil de operación del aparato, ya sea en tiempo de operación ya sea en energía primaria consumida durante ese tiempo, suministrada por el fabricante y certificada por la administración competente (Industria). Igual que en el caso anterior se carece por completo de información, lo que resulta especialmente grave en caso de aparatos de corta vida, como muchas bombas de calor con una vida útil inferior a los diez años.
- Rendimiento global de la red de suministro de energía, aportado por la administración competente (Medio Ambiente, Economía y/o Industria). No existe una información clara al respecto.

Sin esa información, las decisiones de proyecto, por bien intencionadas que quieran ser, serán inciertas en un cierto grado, y en el peor de los escenarios, desencaminadas respecto al objetivo de minorar el consumo energético.

En el caso español, tuve la oportunidad de realizar una clasificación, parcial y provisional, de las diferentes instalaciones disponibles para calefacción, refrigeración y agua caliente. Fueron cuatro las dimensiones analizadas:

- rendimiento global durante el uso, producto del rendimiento del propio aparato y del rendimiento de la red energética de la energía final utilizada (electricidad, gas, etc)
- emisiones de gases con efecto invernadero
- polución urbana (emisiones de SO₂, NO_x y partículas sólidas).
- emisiones tóxicas (monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles)

Debido al carácter multidimensional de la clasificación, las distintas instalaciones se agrupan en clases de equivalencia (no puede decirse que una instalación sea peor o mejor que ninguna otra de su clase), y en el árbol se muestra cuándo una instalación es peor que otra de una clase superior.

4.5. Materiales

La tercera prioridad era reducir el coste de fabricación, lo que requiere analizar los consumos e impactos asociados a la propia fabricación de los materiales que empleamos.

4.5.1. Recursos energéticos durante la fabricación

Si nos limitamos a considerar el coste en energía de combustión, el indicador más popular ligado a la fabricación es la *energía incorporada* en los materiales. Contabiliza toda la energía de combustión que fue necesario consumir hasta que el material aparece a pie de obra. Obviamente es una propiedad que depende del tipo de material pero también de la eficiencia de los procesos empleados durante la fabricación, y por tanto su valor puede evolucionar con el tiempo.

Una vez asignados valores de energía incorporada a los materiales a emplear en el proyecto, basta con multiplicar por la cantidad de material empleado para confeccionar nuestro presupuesto energético. (Se trata en esencia de un presupuesto con similar estructura al presupuesto monetario: basta sustituir el precio de los materiales simples por su energía incorporada. Los mismos programas informáticos, convenientemente alimentados con datos energéticos, servirían para realizar ambos presupuestos, aunque hasta la fecha ninguna empresa del ramo ha visto interés en ofrecer tales herramientas.)

A mi entender las tablas de energía incorporada que circulan son, con bastante frecuencia, utilizadas incorrectamente para asignar el carácter ‘verde’ a aquellos materiales con poca energía incorporada, tildando de ‘contaminantes’ a los que incorporan mucha.

Sin embargo, no debemos olvidar que empleamos los materiales para obtener algún servicio o función constructiva; que para cada servicio o función podemos elegir entre varios materiales alternativos y que la cantidad necesaria de cada uno dependerá de su adecuación a la función a desempeñar, lo que depende a su vez de otras propiedades físicas (conductividad térmica, capacidad calorífica, resistencia). Si las propiedades físicas de un material son notables, pueden compensar una gran energía incorporada, pues a fin de cuentas la cantidad de material para una determinada función puede ser pequeña.

Así, para los soportes de un edificio convencional, los costes energéticos del acero, del hormigón armado o de los bloques de tierra compactada (tierra estabilizada con cemento) presentan costes energéticos similares aunque la energía incorporada de partida sea muy diferente.

Del mismo modo, el coste energético de cada unidad de aislamiento térmico es muchísimo menor en los materiales aislantes típicos, aunque en su fabricación la energía incorporada específica puede ser muy alta.

Dentro de los distintos materiales aislantes, el coste energético por unidad de aislamiento térmico (resistencia térmica) es significativamente menor en materiales que no son derivados del petróleo.

Además de lo anterior, hay que tener en cuenta la durabilidad, pues si la durabilidad de los materiales alternativos es muy diferente, una durabilidad elevada puede compensar, igualmente, una gran energía incorporada.

Y para completar el panorama (y complicarnos la vida), no debemos olvidar la reciclabilidad, que vuelve a introducir una posible compensación de consumos energéticos altos durante la fabricación *por primera vez* de los materiales.

4.5.2. Otros impactos durante la fabricación

El consumo de energía de combustión no es ciertamente la única medida importante para evaluar la insostenibilidad asociada a los materiales y a la fabricación de los edificios, aunque se trata de una dimensión a la que se otorga gran importancia.

Otros impactos importantes provienen del trasiego de otros materiales que es imprescindible para obtener el material realmente útil. Ese trasiego comienza en los propios yacimientos, en los que la proporción entre la mena y la ganga es extraordinariamente variable.

Este trasiego de materiales es esencialmente proporcional a varios tipos de impactos entre los que cabe destacar:

- Impacto directo sobre el territorio y el paisaje en la minería a cielo abierto
- Residuos producidos, que en ocasiones son altamente tóxicos.
- Alteración del sistema hidrológico, pudiendo dar lugar a contaminación persistente de ríos y acuíferos.

Cada posible impacto esta asociado a cada material útil y su intensidad es muy variable.

La atención debe centrarse preferentemente en los metales (cobre, plomo, molibdeno, paladio, platino, zinc, oro y plata) por varias razones: presentan con diferencia el mayor trasiego por unidad de material útil, los residuos producidos (asociados a la separación del metal) suelen ser tóxicos, y muy frecuentemente alteran y contaminan los acuíferos.

La toxicidad de los residuos de la minería metálica es provocada por la presencia en ellos de sustancias de variable persistencia: cobre, arsénico, cadmio, zinc, sulfuro de hierro (produce ácido sulfúrico).

La acumulación de estos residuos en contenedores sin estanqueidad asegurada se convierte en una fuente persistente de contaminación para la cuenca hidrográfica, y en el peor de los casos puede dar lugar a catástrofes como la padecida en el Coto de Doñana en España (fueron recurrentes en EEUU).

Aunque los problemas de contaminación asociados a los yacimientos metálicos son bien conocidos desde el siglo XIX, la implantación de normas de limpieza, recuperación y restauración de yacimientos es relativamente reciente. Estas normas son difíciles de cumplir en los países desarrollados en razón a su elevado coste monetario y a la baja continuada de los precios de los metales, habiendo dado lugar a quiebras fraudulentas y al traslado de las actividades mineras a países en desarrollo, con normas o autoridades más benevolentes, en donde los procesos de contaminación continúan.

Estos impactos son *invisibles* para el consumidor final que, en su alojamiento, a lo más que alcanza a ver es el material ya elaborado, en particular metales brillantes y relucientes en las oficinas *high-tech*, poco sospechosos de haber resultado contaminantes.

Una primera aproximación cuantitativa a todos estos tipos de impactos consiste en medir el trasiego total de materiales (excluida el agua dulce) necesario por cada unidad de producto final.

Los materiales útiles finalmente obtenidos pueden ser tóxicos en sí mismos y, salvo en el caso de venenos fulminantes, la toxicidad solo se conoce tras un cierto tiempo de uso. Esta última característica se debe a una razón fundamental (entre otras):

- La propia tolerancia de los seres vivos frente a las sustancias tóxicas requiere que la concentración en el ambiente supere un cierto umbral para que la toxicidad se manifieste; sólo entonces podemos tomar cartas en el asunto aunque si el material tóxico es persistente permanecerá en el ambiente por mucho tiempo después de que cese su producción y uso. El ejemplo clásico es el plomo: incorporado a las gasolinas desde los años veinte, sólo ha sido eliminado de ellas recientemente; y se sigue usando en la munición para la caza, en pinturas, y en muchos otros compuestos que acaban dispersos por el ambiente.

Muchos productos sintéticos, especialmente plásticos, incorporan sustancias tóxicas bien conocidas (ftalatos, cloro, etc). Su presunta inocuidad se debe a que la matriz plástica actúa de hecho como un vertedero controlado: así, el policloruro de vinilo (PVC) constituye uno de los más grandes vertederos controlados de cloro. Su posible toxicidad puede aparecer en cuanto tales ‘vertederos’ pierdan su condición de controlados, ya sea por usos en condiciones insospechadas, por transformación y reacción con otras sustancias, o por envejecimiento prematuro.

Otro material vital cuyo consumo esta asociado a la fabricación es el agua limpia. El consumo en este caso consiste principalmente en su contaminación, y la producción de agua residual. En la tabla puede observarse como algunos ‘nuevos’ materiales presentan una fuerte intensidad en este consumo, caso de la fibra de carbono.

4.5.3. Discusión de casos: aluminio, madera

Como se ha visto, la elección de un material para satisfacer una función constructiva está lejos de ser un tema sencillo. No basta con un único indicador de calidad (como podría ser el coste energético de cada material según su desempeño) pues son varias las dimensiones a evaluar. Además, no siempre existe información disponible sobre cada una de ellas. Para ilustrar las dificultades analizaré dos materiales de uso común, el aluminio y la madera.

El aluminio presenta una energía incorporada específica unas 6 veces mayor que el acero (tanto si trata de material virgen como reciclado), lo que le ha acarreado la fama de material muy contaminante. Sin embargo, es tres veces más ligero que el acero, y es prácticamente inoxidable de manera que es prácticamente ‘eterno’; por tanto, no es evidente que no pueda sustituir al acero en determinadas funciones.

En lo que se refiere a su uso estructural en edificios, resulta un material muy flexible (tres veces más que el acero) cuando se emplea toda su resistencia, que es ligeramente inferior. En conjunto, su uso estructural en vigas requiere un volumen unas cuatro veces superior al acero, de forma que, a pesar de su mayor ligereza, el coste energético estructural de vigas sería unas ocho veces superior al del acero. Ese sobrecoste sólo podría ser compensado por su mucha mayor durabilidad. La pregunta a contestar sería ¿por qué no se usa el aluminio en las estructuras de los edificios? Probablemente, porque las condiciones de una estructura en un edificio no plantean problemas de oxidación extremos, de manera que el acero (y otros materiales estructurales) siguen siendo preferibles al aluminio.

El aluminio estructural sí se usa, y mucho, en aviación y automoción, es decir, en estructuras que han de moverse y en las que se exige un pequeño peso propio de la estructura a la vez que no se requiere una gran rigidez. Para estos casos, una estructura pesada de acero supone un importante sobrecoste durante su uso. Pero en edificios, la estructura portante es pasiva, sólo interesa su coste de fabricación.

El aluminio también se usa, y con bastante frecuencia en España, en forma de carpinterías metálicas, donde ha desplazado casi completamente al acero. Para esta función, los requisitos estructurales son muy moderados en comparación con la facilidad de modelado (extrusionado o laminación) o la durabilidad, lo que explica ese desplazamiento.

Entre los metales, el aluminio presenta el mayor potencial de ahorro mediante el reciclaje. Ello es debido a que partiendo de aluminio reciclado se evita la reducción del mineral base (bauxita, ley 23%) que, con mucho, representa el mayor consumo específico de energía durante la producción de aluminio virgen. Sin embargo, este potencial está lejos de realizarse, pues el reciclaje estuvo durante una década estabilizado en torno al 25–30% del consumo anual de aluminio, y la extracción de bauxita es todavía muy elevada y sigue aumentando.

Debido al cada vez más frecuente tratamiento superficial del aluminio sin alear (lacados, pinturas, etc), el reciclaje del aluminio no está exento de algunos problemas en cuanto a toxicidad: habitualmente los residuos superficiales se eliminan por combustión con producción de gases tóxicos lo que requiere el uso de filtros especiales en las plantas de reciclaje.

Otro problema radica en la diversidad de calidades del aluminio virgen (sobre todo en cuanto a su pureza). Normalmente la recogida de chatarra de aluminio no incluye la clasificación por calidad, de forma que el aluminio proveniente de reciclaje se destina, fundamentalmente, a la producción de aluminio de baja calidad, usualmente en forma de aluminio fundido (piezas de automoción). En consecuencia, es bastante difícil asegurar que los perfiles extrusionados usados en carpintería provengan en su mayor parte de aluminio reciclado.

En conclusión, y a pesar de su ‘mala fama’ como material intensivo en energía, desde *un punto de vista teórico*, el uso de carpintería de aluminio reciclado podría recomendarse dada la importante reducción de la energía incorporada debida al reciclaje y la alta durabilidad del metal: a fin de cuentas, una buena carpintería de aluminio puesta hoy en una ventana bien podría seguir cumpliendo su función el siglo que viene (si es que el edificio aguanta tanto tiempo).

Sin embargo, hay dos cuestiones realistas a considerar. Por un lado no puede asegurarse que la fabricación del aluminio extrusionado se haga a partir de aluminio reciclado por los problemas antedichos. Y por otro, lo que se observa en España es que las ventanas de aluminio entregadas con las viviendas de nueva planta suelen ser sustituidas en un plazo breve, entre diez y veinte años, de manera que su durabilidad potencial no se aprovecha, y la fuerte inversión energética inicial no se ve finalmente compensada. (Estas carpinterías, prontamente desechadas, son elementos habituales de la infravivienda de las periferias de las grandes ciudades españolas, lo que demuestra en la práctica su durabilidad teórica.) En consecuencia, resulta arriesgado recomendar el uso del aluminio en términos generales, más allá de cada caso concreto.

Pero en cualquier caso, ya se ve que *a priori* tampoco puede calificarse como un material que siempre es muy contaminante: todo acaba dependiendo de que como sea su ciclo de vida, de como lo usemos.

El caso de la madera es en cierto sentido contrapuesto al del aluminio. Se trata de un material intrínsecamente renovable, cuya transformación requiere un consumo de energía muy pequeño, bastante ligero y cuyas propiedades físicas aunque a veces modestas son suficientes para propiciar su uso en una enorme variedad de funciones constructivas distintas: como material estructural, como revestimiento de suelos y paredes, como material de carpintería. Su durabilidad no es muy grande en climas y entornos agresivos, pero el coste de mantenimiento no resulta elevado con técnicas adecuadas bien conocidas. De hecho, es hasta cierto punto reciclable: por ejemplo, en España, las

piezas estructurales son recicladas para carpintería, siendo el resultado muy apreciado en términos monetarios. En cualquier caso, es biodegradable, de forma que no origina residuos de importancia.

Su desventaja más reconocida es su escasa resistencia al fuego, muy acusada cuando el perímetro de la pieza es pequeño, debida entre otras cosas a tratarse de un material combustible. Esta desventaja, si se resuelve, le convierte en un sumidero de CO₂, importantísima ventaja que se añade a las anteriores.

Pero quizás su principal desventaja radica paradójicamente en tratarse de un material renovable, cuyo consumo por encima de su producción es responsable de la destrucción de los ecosistemas forestales del planeta. Esta característica es, en principio, invisible para el consumidor final que, difícilmente, puede percatarse de cuándo está usando madera procedente del renuevo anual de su bosque de procedencia, o del último árbol de una selva tropical única. En consecuencia, aunque en teoría el uso de madera sería absolutamente recomendable, se trata de una recomendación que, una vez más, no puede hacerse más allá de un caso concreto. Aquí, sin embargo, la creación relativamente reciente de un organismo de certificación como el Consejo de Administración Forestal (FSC, por sus siglas en inglés), hace posible una recomendación general para toda madera certificada con ese sello, cuyos objetivos y organización son públicos y dignos de confianza.

5. Algunas propuestas sobre el marco institucional

5.1. El estómago del arquitecto

Cuando trabajaba hace años como proyectista de estructuras, mis honorarios se fijaban esencialmente como una fracción pequeña del presupuesto estimado para la estructura. Paralelamente, como investigador en la universidad, mi área de interés era precisamente la optimización de estructuras: cómo destilar soluciones para el mismo problema estructural cada vez más eficaces y menos costosas.

Debido a esa doble actividad, acabé en más de una ocasión dedicando tiempo y esfuerzo a optimar la estructura que estaba proyectando, con el resultado paradójico de que cuanto menos costosa resultaba la estructura, más tiempo había dedicado a obtener los mismos honorarios, lo que desde el punto de vista de la economía de mi gabinete de proyectos no tenía ningún sentido. En mi caso particular, fue el interés científico el que hizo soportable esa situación contradictoria durante un cierto tiempo.

No creo que en estos años la situación haya cambiado mucho (aunque la realidad es más compleja). Buscar alternativas que reduzcan costes y consumo de recursos no recibe con esa regla de facturación tan común ningún incentivo monetario. Y no cabe extrañarse de que en la actividad profesional común, el interés por el diseño de edificios eficientes sea la excepción y no la regla. Una excepción que aparece en raras ocasiones por peculiaridades biográficas del proyectista.

La situación es peor aún, pues este incentivo opera no sólo sobre los proyectistas, los promotores y empresas se guían con aún más intensidad por ese interés. Debido a ello, construimos más viviendas de las que necesitamos, tuberías y conducciones para más agua de la que hay (caso del trasvase Tajo/Segura), calzadas para más tráfico del existente, etc. La ganancia está en lo que cueste la obra inaugurada, no en el servicio prestado.

Pero si realmente esperamos que nuestras sociedades enfrenten de forma práctica (y no sólo teórica) su actual insostenibilidad tendremos que contar con mecanismos que generalicen la eficiencia en el uso de los recursos de forma prácticamente espontánea.

De lo contrario podemos dar la batalla por pérdida de antemano.

Imagínense que un proyectista cobrara por su trabajo un pequeño tanto fijo para cubrir los costes de edición del proyecto final, y un tanto variable fijado como porcentaje de los ahorros que su edificio, una vez ya en uso, fuera capaz de generar respecto de un estándar de referencia fijado en el momento del encargo, que equivaldría a algo así como la ‘mejor tecnología disponible’. O bien, alternativamente, el proyectista cobraría sus honorarios contra la entrega del proyecto como hasta ahora, pero en el caso de que su edificio resultará despilfarrador por encima del estándar de referencia, vendría obligado a ir devolviendo cantidades proporcionales al despilfarro. Sospecho que habrá fórmulas más atinadas pero en la misma línea de las dos anteriores, es decir, ligar los honorarios del proyectista al desempeño de su obra durante su uso (y no sólo durante su inauguración como hasta ahora), hacer responsable y/o participe al proyectista de las consecuencias de lo que proyecta (más allá de la responsabilidad civil actual que sólo abarca fallas de tipo estructural o constructivo).

En un contexto semejante no creo que dejaran de existir los arquitectos o ingenieros, pero sin duda se generalizaría el interés por la realidad física de sus obras y su impacto sobre el ambiente, y probablemente disminuiría significativamente la preocupación por cuestiones puramente lingüísticas.

Hojeando por enésima vez el VITRUVIO descubrí que, una vez más, mi idea no era nueva. Escuchen sus propias palabras:

Se dice que en Éfeso, ciudad grande y célebre de Grecia, existió promulgada por los antiguos una ley dura, pero no injusta, por la que se obligaba al arquitecto, cuando se encargaba de dirigir una obra pública, a fijar el coste a que podría ascender, y aceptada la cantidad del coste, quedaban hipotecados todos sus bienes ante el magistrado hasta que estuviera totalmente terminada la obra. Acabada ésta, si el coste había respondido a lo estipulado, quedaba el arquitecto libre y era premiado con decretos honoríficos; y aun si el coste hubiera excedido una cuarta parte más de la apreciación hecha, la diferencia se pagaba del dinero público y el arquitecto no quedaba sometido a pena alguna; pero si se había gastado más de esa cuarta parte, el exceso se abonaba con cargo a los bienes del arquitecto hasta terminar la obra. Ojalá los dioses inmortales hiciesen que esta ley se hubiera promulgado también entre el pueblo romano. . .

5.2. El alojamiento como servicio público integral

Cuando Thomas Edison comenzó a vender electricidad facturaba a sus clientes por el número de lámparas instaladas, y sin tener en cuenta siquiera el tiempo en que estuvieran encendidas. La razón de tal proceder era práctica: en aquel momento no existía todavía un contador de la electricidad consumida. Mientras que duró tal situación, la empresa de Edison era la primera interesada en aumentar la durabilidad y la eficiencia de las lámparas que comercializaba, pues su beneficio empresarial crecía parejo con ese aumento.

La situación duró pocos años. Desde que la empresa de Edison instaló contadores a sus clientes, su interés por la optimización de las lámparas decayó. Su beneficio ya no dependía de la eficiencia de las lámparas que ahora vendía. Por el contrario, cuanto más ineficientes fueran mayor sería, en principio, su facturación. Edison había pasado de suministrar un servicio final (la iluminación) a vender simplemente energía y lámparas, productos intermedios para obtener el servicio, y sus incentivos y áreas de investigación variaron de acuerdo con ese cambio.

La idea de comercializar servicios finales ha sido recuperada en los últimos años por Jeremy Rifkin y otros autores. La venta de servicios internaliza en la propia empresa la eficiencia global del proceso y lo liga a su beneficio monetario, y como resultado surge un vigoroso incentivo monetario para la búsqueda de la eficiencia y la disminución del despilfarro.

¿Cabe pensar en términos semejantes en el caso del alojamiento? ¿Qué fórmulas de gestión de la propiedad o el alquiler permitirían que ofrecer un alojamiento confortable con el menor consumo de recursos recibiera un incentivo monetario a través del beneficio obtenido?

Dar respuesta a estas cuestiones contribuiría a la rehabilitación más importante que tenemos pendiente, a saber, la propia reforma de nuestro metabolismo industrial.

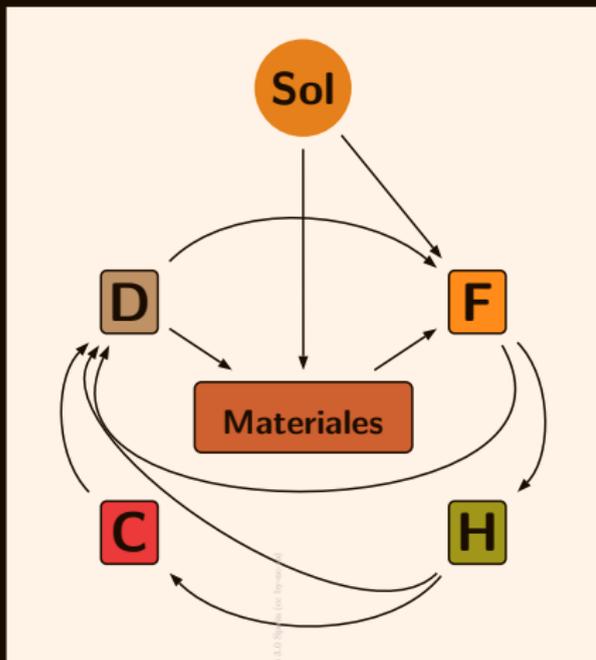
Insostenibilidad y rehabilitación de edificios

Mariano Vázquez Espí

Madrid, 25 de marzo de 2009.

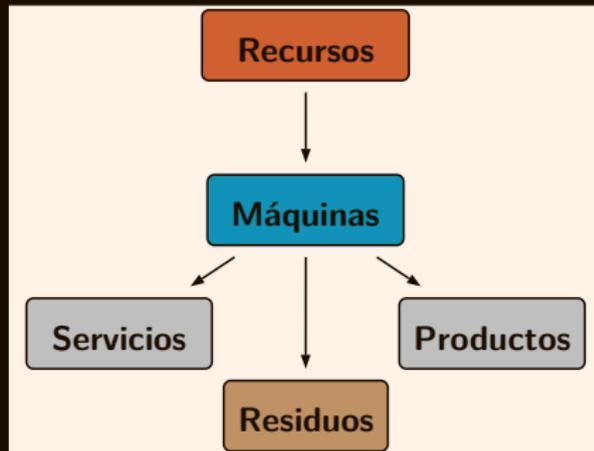
- ¿Qué es la insostenibilidad?
- Coste energético del alojamiento
- La insostenibilidad desde el proyecto de rehabilitación

Sostenibilidad / Insostenibilidad



Metabolismo biológico

Metabolismo 'industrial'

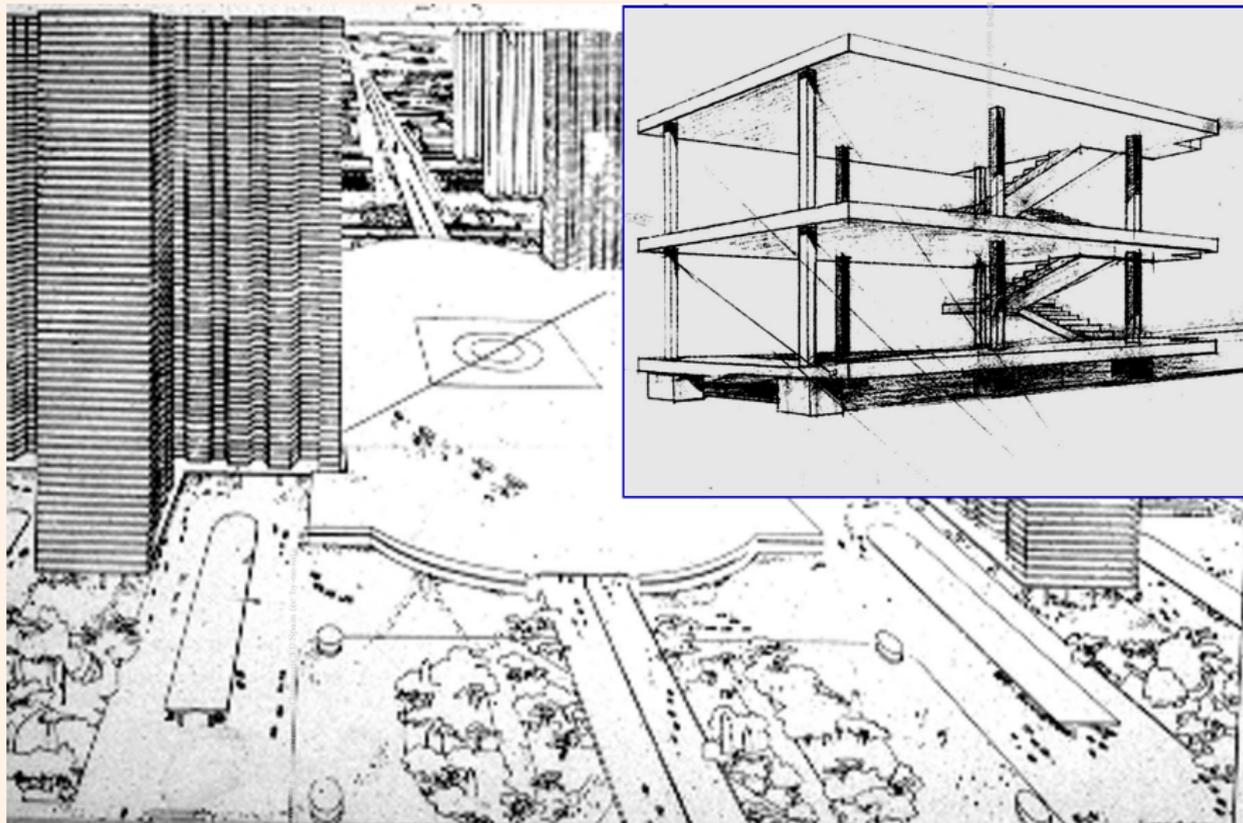


Sostenibilidad / Insostenibilidad



Fuentes: Diamond (2005), elaboración propia.

Insostenibilidad ligada al alojamiento



Insostenibilidad ligada al alojamiento



Insostenibilidad ligada al alojamiento

Contabilidad anual del consumo de recursos:

$$\frac{\text{fabricación}}{\text{vida útil}} + \text{uso} + \frac{\text{demolición...}}{\text{vida útil}}$$

Insostenibilidad ligada al alojamiento

Energía durante el uso

Consumo energético anual por hogar (MJ, 2000)

España	France	UE
37.700	77.500	71.179

Fuente: IDAE (2004)

Consumo de energía de los edificios según el uso (%)

Uso	Emisiones de CO ₂	Energía final	Energía final	Energía primaria
	Edificios UK 1991	Vivienda s 2000	Vivienda s PL 2004	Referencia estándar —
Climatización	48	47,4	71	50
Agua caliente	16	20,4	13	16
Cocina	7	9,6	9	9
Electrodomésticos	29	22,7	7	25

Fuentes: IDAE (2004); Vale et Vale (1991); Andresen et alii (2004); elaboración propia.

Insostenibilidad ligada al alojamiento

Energía de fabricación

Una horquilla para abarcar la disparidad de situaciones puede situarse entre 2.000 y 8.000 MJ/m² de superficie construida.

Proporción del coste de fabricación por capítulos del presupuesto

Estructura	43 %
Albañilería	24 %
Carpintería	11 %
Otros	22 %

Fuente: Mardaras *et* Cepeda (2004)

Insostenibilidad ligada al alojamiento

Coste energético anual del alojamiento

época	vida útil (años)	Repercusión anual				
		fabricación MJ/m ²	uso MJ/m ²	total MJ/m ²		
ca 1955	50	60	500	560	160 %	
ca 1995	30	100	250	350	100 %	
	50	60	250	310	89 %	
	100	30	250	280	80 %	

Se comparan edificios **confortables** con distinta durabilidad. No se incluye el coste de demolición. Se considera el consumo durante el uso correspondiente a edificios de vivienda colectiva de calidad estándar para su época en España. En todos los casos, se ha considerado un coste de fabricación de 3.000 MJ/m².

Insostenibilidad ligada al alojamiento

Consumos anuales de combustibles según estrategias de sustitución

$$\text{Total} = (\text{Fabricación}[\text{+demolición}]) + \text{Uso} \text{ (MJ/m}^2\text{)}$$

Nueva planta a 30 años	Nueva planta a 50 años	Rehabilitación a 100 años	Rehabilitación ecológica a 100 años
383 = 133 + 250 100 %	330 = 80 + 250 86 %	280 = 15 + 250 73 %	203 = 15 + 188 53 %

El proyecto de rehabilitación ecológica

Prioridades:

- disminuir el consumo durante el uso
- aumentar la durabilidad (vida útil)
- disminuir el coste de fabricación

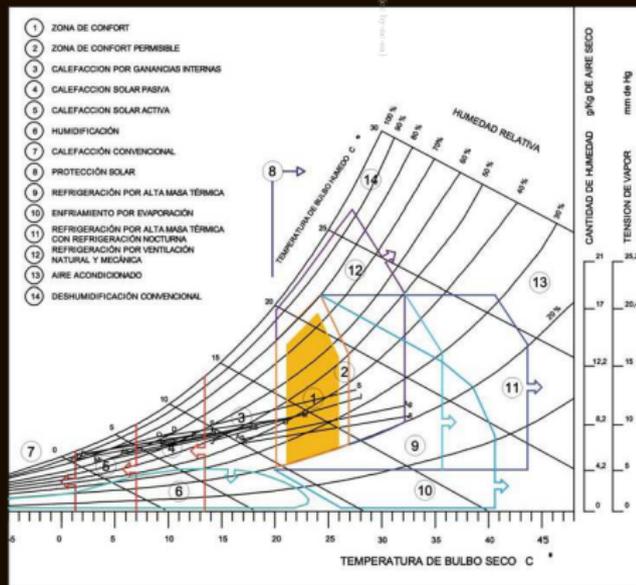
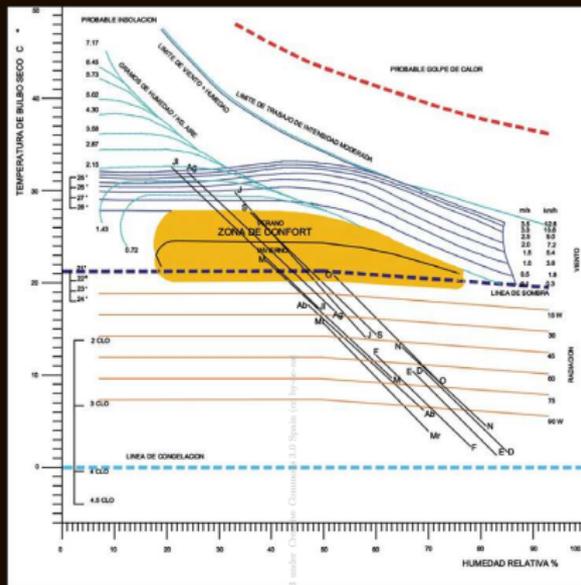
El proyecto de rehabilitación ecológica

Caracterización climática

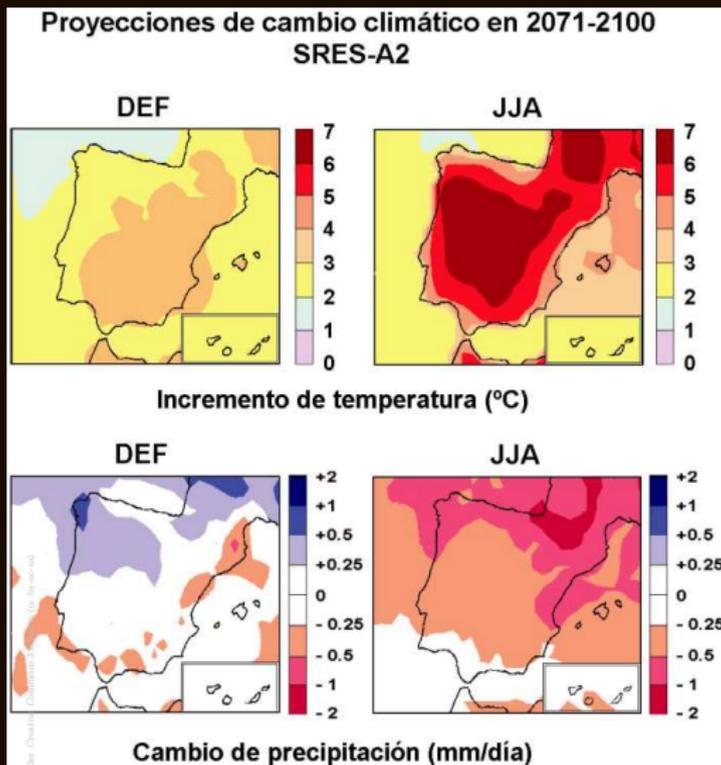
“Olgay”

Madrid (centro)

“Givoni”

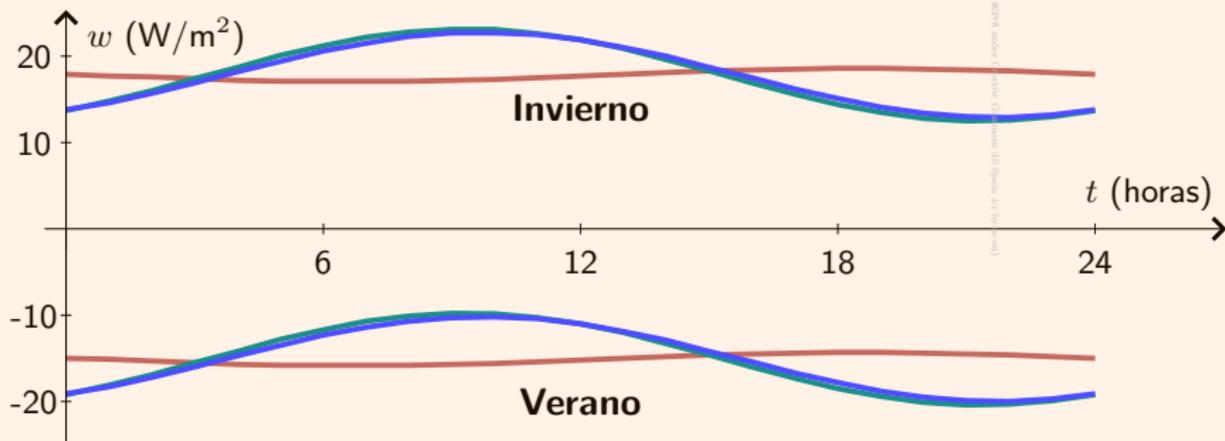


El proyecto de rehabilitación ecológica



Fuente: José Manuel Moreno *et alii* (MMA:OECC 2005)

El proyecto de rehabilitación ecológica



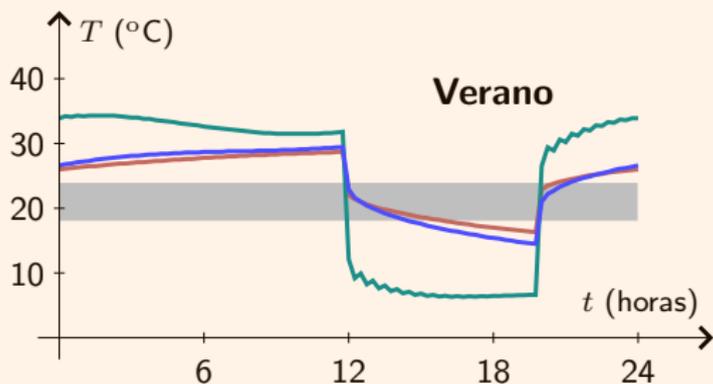
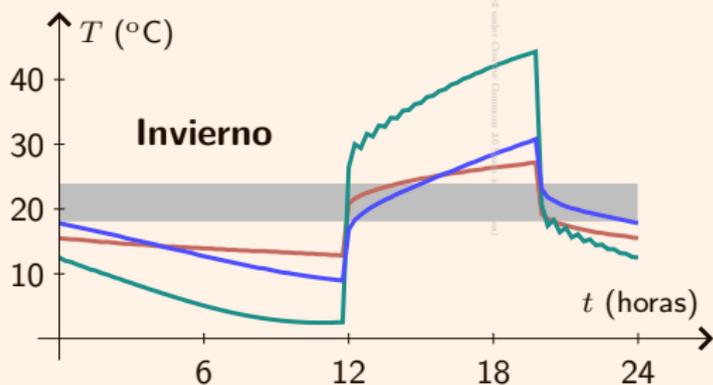
- En los tres muros, el coeficiente de transmisión térmica tiene el mismo valor, y se aporta en cada instante el calor necesario para mantener la temperatura de confort (*utopía domótica*).

- Muro homogéneo grueso. El de mayor inercia y el que demanda equipos de menor potencia.
- Muro fino con aislamiento interior
- Muro fino con aislamiento exterior

El proyecto de rehabilitación ecológica

La franja gris representa la zona de confort.
En este ejemplo, la calefacción (o la refrigeración) se **enciende** entre las 12 y las 20 horas y **no hay confort** en la mayor parte del tiempo.

Con el muro **aislado al interior**, se sufren los peores sobrecalentamientos y subenfriamientos, tanto en verano como en invierno. El muro **grosso sin aislar**, es ligeramente mejor que el **aislado por el exterior**, durante el invierno.



El proyecto de rehabilitación ecológica

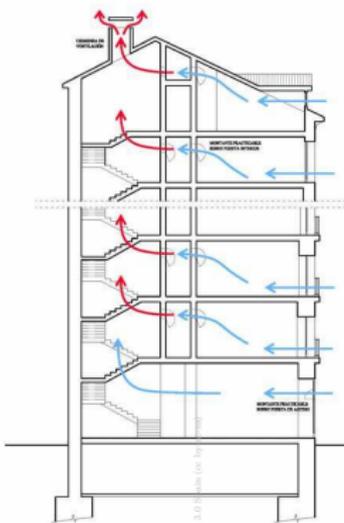


tras la rehabilitación

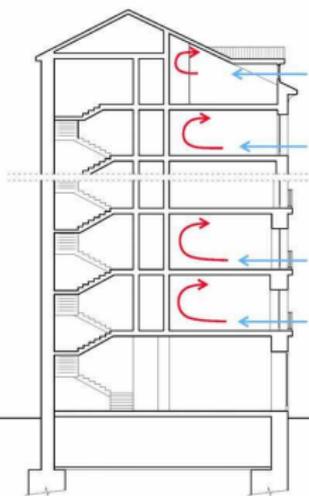


El proyecto de rehabilitación ecológica

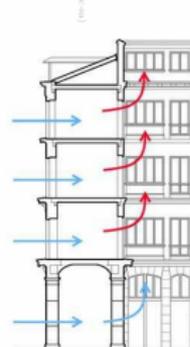
VENTILACIÓN CRUZADA A TRAVÉS DE LA CAJA DE ESCALERA



VENTILACIÓN. SITUACIÓN ACTUAL



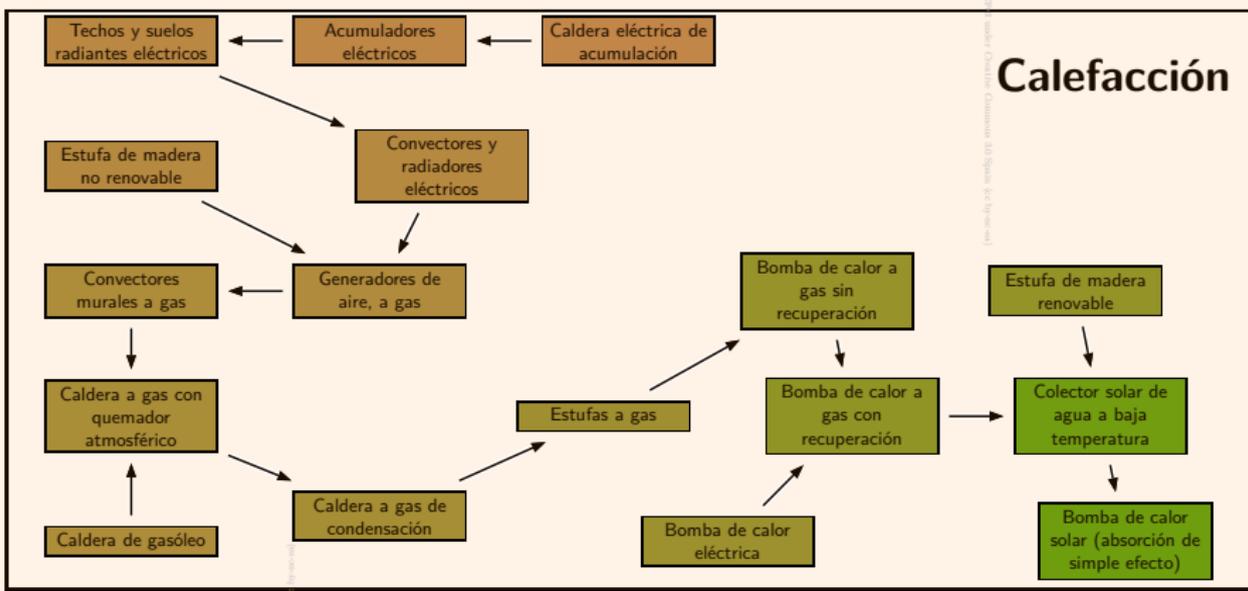
VENTILACIÓN CRUZADA A TRAVÉS DE PATIO



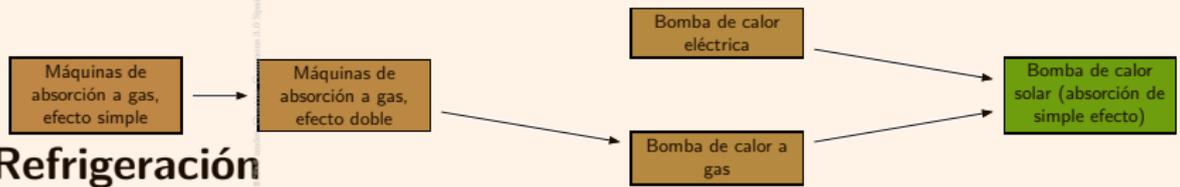
Plan de ejecución de ventilación
 CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA
 REHABILITACIÓN PRIVADA DE VIVIENDAS EN
 MADRID
 M. de Cerdá, M. Vázquez, K. Trabuco, G. Gilman, V. Rosado y M. Barrios
 Instituto Municipal de la Vivienda de Madrid
 Dirección de 2004

El proyecto de rehabilitación ecológica

Copyright © 1996-2010 K2P4F under Creative Commons 3.0 Spain (cc-by-nc-sa)



Refrigeración



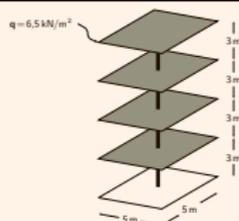
El proyecto de rehabilitación ecológica

Energía incorporada en materiales de construcción

MATERIAL	kWh/kg	MJ/kg	MATERIAL	kWh/kg	MJ/kg
Acero	9–11	32–40	Madera	0,08–0,86	0,3–3
Acero reciclado	2,5–4	9–14,4	Madera (aserrada)	1,58	5,7
Aluminio	53–64	191–230	Madera (tableros)	1,3–6,7	4,7–24
Aluminio reciclado	12–29	43–104	Plástico genérico	20–40	72–144
Arcilla cocida (cerámica)	0,7–5,4	2,5–19	Poliestireno	28–52,5	100–189
BTC (tierra)	0,13–0,4	0,47–1,44	Poliuretano	21–33	74–119
Cemento	2	7	Porcelana	7,5	27
Cobre	20–40	70–140	PVC	19–22	70–80
Hormigón	0,3–0,7	1,1–2,5	Vidrio	4,4–7,3	15,8–26,3
Ladrillo silicocalcáreo	0,5	1,8	Vidrio (en fibra)	8,4	30
			Yeso	0,92–1,25	3,3–4,5

Los valores para materiales *reciclados* corresponden a procesos en los que se recicla *toda la cantidad de material técnicamente posible* con los procedimientos actuales.

El proyecto de rehabilitación ecológica



	Acero en tubos sin protección frente al fuego	Hormigón armado sin encofrado	BTC
Tensión segura (N/mm^2)	180	7,08 277	1,2
Peso (kN/m^3)	78,5	24 78,5	18
Energía incorporada (kWh/kg)	11	0,7 11	0,27
Coste energético (teórico) (kWh/mkN)	0,48	0,24 0,39	0,41

Coste energético por plantas y total (kWh)

4ª	364	480	249
3ª	599	480	440
2ª	833	480	693
1ª	1.069	619	884
Total	2.865	2.059	2.266
Coste energético real (kWh/mkN)	0,59	0,42	0,46

El proyecto de rehabilitación ecológica

Coste de la resistencia térmica

Coste de fabricación de elementos aislantes planos y homogéneos con una resistencia térmica de $1 \text{ m}^2\text{K/W}$ (España).

Material aislante	Peso específico kg/ m ³	Energía incorporada MJ/kg	Conductividad W/mK	Coste de la resistencia térmica MJ/(m ² K/W)
Corcho aglomerado UNE,5.690 (replantado)	150	1,5	0,042	9,45
Lana de Vidrio FVM1	12	30	0,048	17,28
Lana (oveja)	100	15	0,036	52,56
PUR conformado I	32	74	0,023	54,46
EPS I	10	117	0,047	54,99
PUR in situ I	35	85	0,023	68,42
XPS I	20	117	0,036	84,24
Polietileno reticulado	30	103	0,038	117,42

El proyecto de rehabilitación ecológica

Trasiego de materiales kg por kg de material útil (excluida el agua)

Arcilla para cerámica	2,5
Bentonita	8
Carbón	2
Cobre	240-400
Hierro	6
Oro	5.000.000
Petróleo	2
Tierra para compactar	1,33
Yeso	6

Órdenes de magnitud para los procedimientos de extracción más habituales para cada material.

El proyecto de rehabilitación ecológica

**Minería metálica:
contaminación
accidental...**



**... y contaminación
cotidiana.**

El proyecto de rehabilitación ecológica

Consumo de agua dulce para la fabricación de materiales

kg/kg

Acero	46
Acero reciclado	44
Aluminio	750
Aluminio reciclado	49
Fibra de carbono	2.411
Fibra de vidrio	95
Poliuretano	480
PVC	679

El proyecto de rehabilitación ecológica

Deforestación

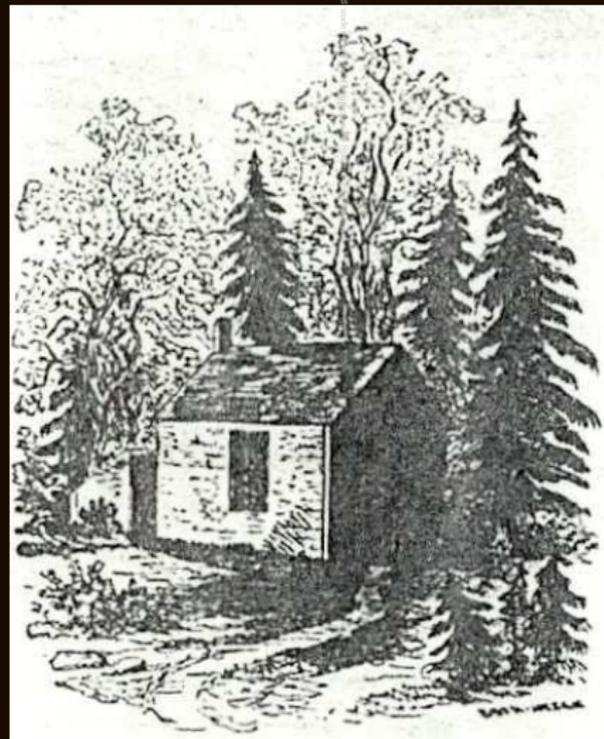


Courtesy Richard Matthew

El estomago del arquitecto



Essai sur l'Architecture. Abbé Laugier



Walden. Henry Thoreau

Insostenibilidad y rehabilitación de edificios

Mariano Vázquez Espí

GIAU+S (UPM)

Grupo de Investigación en Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad

Universidad Politécnica de Madrid

<http://habitat.aq.upm.es/gi>

Edición del 25 de marzo de 2009

Compuesto con *free software*:

GNU/Linux/L^AT_EX/dvips/ps2pdf

Copyleft © Vázquez Espí, 2009

2009-rdlimlru.pdf

v20100525

Este documento pertenece a la
Biblioteca Ciudades para un Futuro Más Sostenible

<http://habitat.aq.upm.es>

Copyright © 1996–2010 BCF+S under *Creative Commons* 3.0 Spain (cc by-nc-sa)