

Pablo Farfán Manzanares  
Arquitecto especialista en construcción ecológica y autosuficiencia energética.  
FARFÁN Estudio – Bioarquitectura  
[www.farfanestudio.es](http://www.farfanestudio.es)

## Energía y vivienda en el siglo XXI

### Principios fundamentales

#### ¿Que es la energía?

Según el diccionario de la RAE

Energía: (Del lat. *energĭa*, y este del gr. *ἐνέργεια*).

- 1. f. Eficacia, poder, virtud para obrar.
- 2. f. Fís. Capacidad para realizar un trabajo. Se mide en julios. (Símb. E).
  - ~ atómica o ~ nuclear.
    - 1. f. La obtenida por la fusión o fisión de núcleos atómicos.
  - ~ cinética.
    - 1. f. Fís. La que posee un cuerpo por razón de su movimiento.
  - ~ de ionización.
    - 1. f. Fís. energía mínima necesaria para ionizar una molécula o átomo.
  - ~ potencial.
    - 1. f. Fís. Capacidad de un cuerpo para realizar trabajo en razón de su posición en un campo de fuerzas.
  - ~ radiante
    - 1. f. Fís. energía existente en un medio físico, causada por ondas electromagnéticas, mediante las cuales se propaga directamente sin desplazamiento de la materia.
    - 2. f. Fís. energía causada por una corriente de partículas, como electrones, protones, etc.

Según Einstein la materia y la energía están relacionadas, la materia es energía muy concentrada en razón de la ecuación de la relatividad  $E=mc^2$ , donde c es la velocidad de la luz 300.000 Km/s.

#### Fuentes de Energía

El Sol, la estrella centro del Sistema Solar, sustenta con su energía todas las formas de vida en la Tierra a través de la fotosíntesis, también determina el clima de la Tierra y la meteorología.

Por medio de la gravedad en su interior los átomos de Hidrógeno se fusionan para formar Helio, expulsando energía en el proceso. Esa energía llega a la superficie de la tierra en forma de radiación electromagnética. El espectro que apreciamos de luz visible es el comprendido entre 0,35 y 0,75 micras.

La palabra clima proviene del griego Klima que significa inclinación y hace referencia a la inclinación con la que se reciben los rayos solares en un lugar según la latitud donde se encuentre y que depende también de la época del año.

Las energías procedentes directamente del Sol son renovables y dentro de este grupo está la eólica, la hidráulica, la solar térmica y la fotovoltaica, así como energía metabólica, procedente de la biomasa de las plantas, las cuales, mediante la fotosíntesis, transforman elementos químicos en moléculas complejas, los enlaces químicos de esas moléculas transmiten la energía solar por la cadena trófica y puede traducirse en alimento o en energía por combustión de esta biomasa, desde la leña a al biogás extraído de los excrementos del ganado.

Otras fuentes de energía ilimitada son la geotérmica, emitida por Núcleo Terrestre, la de rotación y la gravitatoria ejercida por la luna que produce las mareas.

Las energías no renovables se obtienen de la quema combustibles fósiles que almacenan energía prehistórica y de la fisión nuclear de uranio y otros materiales radioactivos que liberan compuestos químicos al ecosistema o residuos radioactivos.

La termodinámica estudia el movimiento del calor en los cuerpos y espacios, la energía se transmite por radiación, conducción o por convección.

### **Energía y metabolismo humano**

Como animal de sangre caliente el ser humano tiene una temperatura constante de 37° independiente mente del entorno o el trabajo físico que esté realizando. Para realizar cualquier movimiento o trabajo consumimos la energía solar que nos aportan los alimentos ingeridos pero solo aprovechamos entre el 20 o 25% de esa energía, el resto se disipa en forma de calor.

Nuestro metabolismo está adaptado a una temperatura entre 20° y 27° y encontramos confortable una humedad relativa de entre 20% y 80%.

### **La arquitectura y energía**

*“Los edificios privados tendrán un correcto emplazamiento si desde el principio se han tenido en cuenta la orientación y el clima donde se van a erigir ; porque está fuera de duda que habrán de ser diferentes la edificaciones que se hagan en Egipto de las que se efectúen en España”*

*Vitrubio. Diez libros de Arquitectura, año 25 a.c.*

Las edificaciones requieren energía en según sus fases; primero incorporada para su construcción, más tarde para su uso durante la vida útil y finalmente para su demolición y gestión de los residuos resultantes.

Este capítulo se centrará en analizar como minimizar la demanda de energía durante el uso de los edificios, una demanda que el Consejo Europeo ha estimado que asciende al **40 % del consumo de energía total en la Unión**.

Según datos del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), una casa española consume al año alrededor de 10.000 kilovatios-hora (kWh), que equivalen a 0,85 toneladas de petróleo.

- 1. Calefacción: media anual de 5.000 kWh.
- 2. Electrodomésticos: 2.000 kWh.
- 3. Agua caliente: 2.000 kWh.
- 4. Cocina: 737 kWh.
- 5. Iluminación: 410 kWh.
- 6. Aire acondicionado: 170 kWh

Esta estadística tiene en cuenta el uso estacional del Aire Acondicionado y se refiere solo a vivienda, si sumamos las oficinas, edificios públicos, locales y restaurantes, este consumo aumenta considerablemente sin entrar en la estadística. La prueba es que el pico de demanda eléctrica de verano supera al de invierno en zonas de Andalucía, dato que confirma el informe del Joint Research Centre de la Comisión Europea sobre las tendencias de consumo de electricidad en la UE de 2009, donde se asegura que un 37% de los aparatos de aire acondicionado europeos están en España.

¿Pero, como hemos llegado a sustituir nuestras sistemas constructivos eficientes del pasado por estos electrodomésticos habitables?

**Hormigón armado.** Se atribuye al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para «la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego». Las cualidades mecánicas de este sistema dan la posibilidad de crear nuevas formas, modificando métodos constructivos a escala planetaria aunque manteniendo todavía criterios de diseño capaces de aprovechar al máximo la luz solar.

**Materiales de petroquímicos.** Tras la II Guerra Mundial la industria bélica, que ha desarrollado decenas de **materiales de síntesis** para sustituir a otros naturales y escasos como la madera, el látex o el corcho, se fija en la construcción de viviendas como nuevo nicho de mercado para sus productos procedentes de los residuos del petróleo. Así hacen aparición en nuestras casas decenas de nuevos materiales sintéticos que funcionan como aislantes, sellantes, impermeabilizantes, disolventes, adhesivos o aditivos que hacen olvidar rápidamente las técnicas constructivas tradicionales, abandonado con ellas los principios termodinámicos que llevaban aparejados.

**Arquitectura hermética.** El aire acondicionado es un invento proveniente de la industria cárnica y se empezó a aplicar en espacios para personas en 1925, en el teatro Rivoli de Nueva York pero no es hasta los años 50 cuando se generaliza su

uso doméstico. Con la expansión del uso de aparatos de climatización se empieza a considerar la arquitectura como algo independiente del entorno y se empieza a vivir en **cápsulas herméticas**, despreciando el gasto de energía que implica.

### **Arquitectura bioclimática : Sistemas pasivos de climatización**

La arquitectura bioclimática consigue de la energía renovable y los materiales de su entorno un ambiente confortable, sano y seguro en mediante el diseño de sistemas de climatización pasivos, es decir sin aporte de energía fósil ni complicadas máquinas.

El término pasivo proviene del arquitecto Edward Mazria y de su libro Energía Solar Pasiva publicado en los setenta. En él se analizan los principios de captación, almacenamiento y distribución de energía solar para cada tipo de clima, teniendo en cuenta los cuatro factores principales de la habitabilidad: temperatura, soleamiento, humedad y viento. Sus conclusiones remiten a la arquitectura popular de cada lugar como la mejor adaptada a su entorno.

En los sistemas de climatización pasivos suelen intervenir varios procesos físicos al mismo tiempo. Según su papel con el proceso termodinámico de la vivienda cada elemento puede servir para diferentes usos: Captación, intercambio, almacenamiento, protección estacional, dispersión del calor, ventilación, iluminación...

**Distribución y usos.** La distribución tridimensional de espacios y usos es fundamental para una mayor eficiencia de la vivienda; los espacios colchón, los espacios captadores se hará teniendo en cuenta la incidencia de los vientos, la orientación y la posición estacionaria del sol.

#### **Aislamiento y almacenamiento.**

**Aislamiento resistivo:** Se basa en la oclusión de aire u otros gases en un material para impedir el paso de calor de una cara a otra del elemento, los gases tienen pocos átomos y por tanto transmiten mal el calor.

**Aislamiento reflectivo:** La capa superficial de un cuerpo es decisiva para la absorción o reflexión de las ondas electromagnéticas. A la capacidad de un cuerpo de reflejar más o menos energía radiante llamamos albedo.

**Aislamiento capacitivo:** Es la capacidad de almacenar energía dentro del material, retardando su paso de una cara a otra del elemento. A la capacidad de absorber energía y soltarla al ambiente con cierto retardo la llamamos inercia térmica. En las paredes de una vivienda funciona retardando la entrada de calor en verano y su salida en invierno, de estos tres, además, es el tercero el único que capta de manera pasiva la radiación solar en invierno.

En un clima frío lo más importante es impedir el paso del calor al exterior, con lo que se valorará el coeficiente de transmisión térmica CTT del cerramiento (aislamiento resistivo) mientras que en un clima templado con oscilaciones de

temperatura diarias y mayor radiación solar resulta más eficiente su captación y mantenimiento.

Según Yáñez Paradera: *Mientras que el aislamiento resistivo y el reflectante ofrecen una respuesta casi instantánea a los cambios de temperatura, sin embargo el aislamiento capacitivo tiene una respuesta diferida en el tiempo. Esta modalidad se utiliza en climas con veranos muy calurosos, con gran amplitud térmica a lo largo del día. (Yáñez, 2008)*

**Muros de inercia.** El cerramiento de muro de inercia es de hecho un sistema de climatización pasivo, Actualmente las normativas y estándares de cálculo en la Península Ibérica son adaptaciones y herencias recogidas de otras normativas europeas, diseñadas para otra latitud, con climas más, basándonos en la errónea premisa de que al hacer más frío sus técnicas de aislamiento serán mejores, ignorando por completo el aislamiento capacitivo o inercial, más propio de nuestro clima.

Es importante no obstante tener en cuenta la frecuencia de uso de los espacios, ya que las construcciones con alta inercia han de mantenerse habitadas en invierno para conservar el calor, en caso de uso esporádico tardan en calentarse, factor que ha de tenerse en cuenta.

Se puede masa térmica mediante muros y depósitos de agua, estáticos o distribuidos mediante circuitos cerrados de agua con intercambiadores de calor.

**Huecos.** Las ventanas practicables ubicadas correctamente son los más obvios sistemas de climatización pasiva. Por evidente que esto parezca la ventana fue un avance incorporado por los romanos al que la arquitectura actual ha renunciado parcialmente; edificios de oficinas, centros comerciales e incluso universidades han preferido encapsularse y renunciar a la iluminación y la ventilación natural. La colocación y dimensión correcta de los huecos, las medidas de protección, control y estanqueidad de los mismo es fundamental en la arquitectura bioclimática. La ventilación cruzada, las chimeneas solares y el efecto venturi nos libran del uso de aparatos eléctricos para mover el aire y la luz natural controlada es insustituible para el confort humano.

**Paredes vegetales.** Las envolventes vegetales constituyen un sistema de protección de las construcciones, evitan en verano el sobrecalentamiento de los espacios interiores y las pérdidas energéticas en invierno. Al mismo tiempo, se consigue un descenso de la temperatura de las brisas próximas a los cerramientos, además de aumentar la humedad ambiental debido al proceso de evapotranspiración que realizan las plantas. En lugares fríos con suficiente radiación se utilizarán especies de hoja caduca.

**Techos verdes.** Las cubiertas vegetales combinan su gran inercia térmica, que provoca el efecto cueva, con la regulación de la humedad, la producción oxígeno y la depuración del agua de lluvia entre otras ventajas.

Actualmente, gracias a sus características bioclimáticas esta solución está siendo muy utilizada por la arquitectura ecológica contemporánea.

La regulación efectiva de temperatura en ambientes interiores se produce en espacios cubiertos por techos verdes mediante la acción simultánea de tres procesos físicos-químicos. Estos son (Gernot Minke, 2005):

- Evaporación de agua

En la evaporación de un litro de agua son consumidos casi 2,2 MJ (530 Kcal) de energía. Esta energía es sustraída al edificio en periodo diurno (evaporación) y aportada en periodo nocturno (condensación).

- Fotosíntesis

Por cada molécula de glucosa generada por la vegetación son consumidos 2,83 KJ. El proceso se efectúa siempre en periodos soleados por lo que se constituye en apoyo al ciclo evaporativo.

- Almacenamiento/aislamiento

Tanto la masa de tierra, como el propio agua retenido por la vegetación amortiguan el efecto de las oscilaciones térmicas en los ciclos diarios.

El colchón de aire encerrado por la vegetación tiene efecto de aislamiento térmico, arroja sombra sobre la cubierta e impide que el viento llegue a la superficie de sustrato.

## Captación

**Cubiertas activas.** La mayor parte de la radiación solar en una vivienda incide sobre su cubierta. Se calcula que, de media, alrededor de 1 kWh llega a cada metro cuadrado. La arquitectura tradicional ha creado soluciones para aprovechar esta situación que podemos observar tanto en la forma de la cubierta, como en la inclinación, acabado y espacios regulados bajo ella. Las cubiertas ventiladas son una solución de baja tecnología que evitan el sobrecalentamiento de las viviendas en verano. También existen sistemas que pueden captar la energía en invierno para introducirla dentro por medio de aire o agua.

**Climatización por Geotermia.** La primera vivienda de los homínidos en la península fue la cueva, en ella encontramos una temperatura estable a lo largo del año y protección de la lluvia, el viento así como de otros animales. La vivienda enterrada viene siendo utilizada desde entonces de manera ininterrumpida gracias a su eficiencia energética, comportamiento que también se aprovecha para conservar alimentos o elaborar vino.

En los primeros metros de la superficie terrestre la inercia térmica del terreno suaviza los cambios de temperatura del exterior y es constante partir de 10/15 metros, dependiendo únicamente del calor emitido por el núcleo, y siendo de aproximadamente 14 grados.

Geotermia superficial: Los Pozos Canadienses intercambian calor con el terreno haciendo pasar el aire de admisión de la casa a través de conductos o elementos del subsuelo.

Geotermia media profundidad: Intercambia energía con el terreno mediante conductos de agua más o menos complejos o mediante bombas de calor a profundidades comprendidas entre los 50 y 200 m. En ellas se introducen unos tubos de polietileno de alta resistencia rellenos de un líquido con una alta capacidad de intercambio energético, que forman un circuito cerrado.

Geotermia alta profundidad: Centrales para producción de electricidad.

Suelos Radiantes: Sistema basado en el hipocausto romano distribuye energía calorífica mediante un circuito de agua colocado en el suelo de la vivienda. El calor aportado puede venir del cualquier fuente, siendo especialmente eficiente combinados con captadores solares y geotérmicos

**Efecto invernadero.** La longitud de onda de la radiación solar que llega a la tierra se encuentra entre 300 y 3500 nm. A su vez el vidrio es permeable a la radiación de onda corta (menor de 2500 nm) que llega a ser el 97% de esta. Parte de esta radiación es reflejada, el 7% aproximadamente, otra parte, entorno al 10% es absorbida por el vidrio y transmitida al interior y al exterior según las condiciones de estos.

El resto de la energía penetra calentando los cuerpos en los que incide. Estos cuerpos emiten de vuelta esa energía por radiación infrarroja de longitud de onda 11.000 nm, una longitud de onda para la que el vidrio es opaco, quedando por tanto atrapada y calentando el aire.

Los miradores adosados, las galerías acristaladas son sistemas de captación solar basados en el efecto invernadero.

Estos sistemas adosados a las fachadas de los edificios requieren de una serie de mecanismos que regulen esta aportación de calor así como una orientación determinada para su uso correcto.

El muro trombe es una adaptación de este sistema bioclimático tradicional llevado a la práctica por el ingeniero Felix Trombe en una vivienda experimental situada en los Pirineos franceses en 1967. Consiste en la reducción del invernadero a una cámara de dimensiones mínimas entre un vidrio exterior orientado al sur y una pared de alta inercia térmica (gran espesor y alta densidad) que dispone de huecos controlables colocados arriba y debajo de manera que permiten la distribución del calor mediante un lazo convectivo.

Hay que tener en cuenta que la superficie exterior del muro ha de ser oscura (de bajo albedo) para evitar pérdidas por reflexión y el tipo de vidrio ha de ser adecuado (doble acristalamiento, grado de reflexión...), así como la protección exterior de este para que no se enfríe por la noche.

Los captadores solares son pequeños invernaderos con un circuito de agua que absorbe y transporta el calor.

**Refrigeración evaporativa.** El enfriamiento por evaporación se basa en proporcionar agua al ambiente para disminuir la temperatura del aire seco, esta pérdida de calor del ambiente es invertida en el cambio de estado del agua, que al pasar de líquido a gas absorbe calor (calor latente) a razón de 2424 julios por cada

gramo de agua evaporada, energía suficiente para disminuir 2,2oC la temperatura de un metro cúbico de aire (Neila, 2004).

Al mismo tiempo la transpiración es el proceso físico-biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso a través del metabolismo de los animales y las plantas, pasando este a la atmósfera. Esencialmente es el mismo proceso físico que la evaporación, excepto por que la superficie desde la cual se escapan las moléculas del líquido no es de agua libre sino que es la superficie de las hojas, la piel o la boca de los animales.

Este cambio de fase del agua se puede producir por medios mecánicos como las fuentes o los pulverizadores o mediante sistemas pasivos utilizando el proceso natural del viento que incide sobre la vegetación, los suelos transpirables, láminas de agua o superficies humectadas.

## **Suministro en Verde**

Por primera vez en la historia del sistema eléctrico de España, durante el 2013 la eólica ha sido la tecnología que más ha contribuido a la cobertura de la demanda eléctrica anual, con un 21,1% del total (18,1% en 2012), ligeramente por delante de la energía nuclear.

Autoproducción

Red de producción distribuida

Cooperativas de consumo

## **Eco-arquitectura**

Afortunadamente no toda la arquitectura tomó el camino equivocado. Visionarios como Fruto Vivas en Venezuela, que encuentra en la arquitectura popular un referente, entiende que las diferencias constructivas que hayamos en las distintas regiones son tácticas de adaptación al clima y no caprichos estéticos o convencionalismos. Ya en los años 50 ve en la arquitectura vernácula tradicional diferencias sustanciales que encierran conceptos útiles aplicables a las viviendas contemporáneas. Anticipa casas biotérmicas con sus “árboles para vivir”, la recuperación de las técnicas y materiales tradicionales o la autoconstrucción. También pronostica el descalabro de la arquitectura internacional y propone imitar los modelos de la Naturaleza para optimizar los recursos. Otros disidentes de la corriente formalista de la llamado Estilo Internacional imperante han preferido trabajar al margen, con materiales naturales, reutilizando desechos y desconectados de las redes de suministro, como Michael Reynolds, que crea en Nuevo México sus Earthships, viviendas autosuficientes, o Johan van Lengen, arquitecto holandés afincado en Brasil autor del Manual del arquitecto descalzo y un pionero en la bio-arquitectura. Actualmente nuevos proyectos son prueba de un cambio de paradigma. El fin del petróleo barato, la responsabilidad medioambiental y el sentido común están llevando a promotores, gobiernos e instituciones a apostar por una arquitectura razonable y consecuente con las urgencias del siglo XXI. De esta manera el Bank of America ha optado por un rascacielos ecológico en el centro de la Gran Manzana para su nueva sede; el One



Bryan Park, el segundo edificio más alto de Nueva York, ahorra dos tercios de la energía, recupera el 70% del agua y limpia el aire de la zona donde se ubica gracias a métodos pasivos diseñados por R. Cook y R. Fox. En San Francisco, la nueva Academia de las Ciencias de California del arquitecto italiano Renzo Piano, incorpora una cubierta vegetal e invernaderos, siendo considerado el edificio museístico más verde del mundo. Estos ejemplos marcan el principio del fin de la arquitectura irresponsable del siglo pasado.

**Biomimética.** El diseño biomimético propone un cambio hacia modelos más eficientes y efectivos basados en los sistemas vivos de la Naturaleza. Se apoya en la certeza de que la evolución ha optado siempre por los caminos más rentables en términos de recursos y energía, encerrando una experiencia de 3.800 millones de años de desarrollo de la vida en la Tierra. Teniendo en cuenta que nos afectan las mismas leyes físicas podemos idear sistemas de refrigeración evaporativa basados en los termiteros africanos, captar energía y calentar las viviendas tomando como ejemplo el metabolismo de los reptiles, conseguir colores imitando la estructura microscópica de las alas de las mariposas o construir estructuras las ultraeficientes de Buckminster Fuller basándose en el funcionamiento de la molécula de carbono.

**Cradle to cradle.** De la cuna a la cuna es un concepto ideado por el arquitecto William McDonough y el químico Michael Braungart en el libro del mismo nombre. Propone un cambio radical en el sistema productivo que derive en una segunda revolución industrial. Basándose también en los modelos de la Naturaleza incide en que el hombre es el único ser vivo que produce residuos y cuya actividad no genera más vida sino al contrario. Reúne conceptos de bioclimática, bioconstrucción y biomimesis junto con aportaciones como el supraciclado o los activos técnicos y se pueden resumir en que todos los materiales que usemos, tanto para la construcción como para el resto de la industria, han de ser o biodegradables, volviendo a la tierra en forma de abono, o reciclables indefinidamente con el mínimo de energía, un ciclo cerrado que incluye materiales técnicos como el aluminio o el acero, que descarta cualquier sustancia tóxica y que obtiene la energía de fuentes renovables.

**Passivhaus.** El objetivo del estándar Passivhaus es construir edificaciones que reducen sus necesidades energéticas de calefacción y refrigeración en más de un 90% respecto de lo convencional.

## **Enlaces.**

[www.farfanestudio.es](http://www.farfanestudio.es)

<http://www.mcdonough.com/cradle-to-cradle/>

<http://www.biourb.net/>

<https://documentalbiourb.wordpress.com/>

<http://www.biourb.net/proyecto-biourb/arquitectura-y-patrimonio-bioclimático/>

<http://www.plataforma-pep.org/>

<http://www.ecohabitar.org/>

## **Bibliografía.**

IDEA. Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España

DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

Pablo Farfán. La Arquitectura del Futuro. Artículo publicado en la revista "Bond", 2010.

Neila González, F. Javier: "Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible"

Halacy, Daniel Stephen: "Una nueva era de la energía solar" Plaza & James, 1966.

Halacy, Daniel Stephen: "Tierra, agua, viento y sol: nuestras alternativas" Tres Tiempos, 1978.

Exestructuras" Fundación Arquitectura COAM, 2008. Flores, Carlos: "Arquitectura popular española" Aguilar, 1978.

Gernot Minke: "Techos verdes: Sencillo y eficaz; planificación, ejecución, consejos prácticos" EcoHabitar, 2005.

Yañez Pararadera, Guillermo: "Arquitectura Solar. Aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural", Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1988

Yañez Pararadera, Guillermo: "Arquitectura Solar e iluminación natural", Munilla-Lería, Madrid, 2008