



## Ecomateriales y Construcción Sostenible

### Gestión de las Industrias de la Eco-Innovación

Año de realización 2011

**PROFESOR:**

Kusha Ghoreishi Karimi. Arquitecto



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>



"El FSE invierte en tu futuro"

## Índice:

<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Ecomateriales .....</b>	<b>5</b>
2.1. Materiales ecológicos y bioconstrucción.....	5
2.1.1. El bienestar y la salud de los espacios.....	5
2.1.2. La Geobiología: el lugar .....	5
2.1.3. La arquitectura: el diseño .....	6
2.1.4. La bioconstrucción: los materiales.....	12
2.2. La elección de los materiales en la construcción .....	12
2.2.1. Criterios para la elección de materiales .....	12
2.2.2. Síndrome del edificio enfermo .....	13
2.2.3. Substancias contaminantes y alternativas .....	14
2.3. Materiales nobles .....	24
2.3.1. La tierra.....	24
2.3.2. La madera .....	24
2.3.3. La cal .....	30
2.4. Sistemas y soluciones constructivas. Materiales.....	34
2.4.1. Elección de sistema constructivo.....	34
2.4.2. Morteros, áridos y aditivos .....	39
2.4.3. Bloques y fábricas .....	42
2.4.4. Aislantes ecológicos .....	45
2.4.5. Impermeabilizantes ecológicos .....	51
2.4.6. Otros materiales ecológicos.....	51

<b>3. Construcción sostenible .....</b>	<b>53</b>
3.1. Arquitectura bioclimática: Introducción - antecedentes .....	53
3.2. Proceso de diseño bioclimático.....	57
3.2.1. Ubicación y clima .....	57
3.2.2. Forma y orientación.....	61
3.2.3. Captación solar pasiva.....	66
3.2.4. Aislamiento y masa térmica .....	69
3.2.5. Ventilación .....	73
3.2.6. Espacios tapón .....	79
3.2.7. Aprovechamiento climático del suelo .....	80
3.2.8. Protección contra la radiación de verano .....	84
3.2.9. Sistemas evaporativos de refrigeración .....	91
3.3. Conceptos básicos .....	93
3.3.1. Trayectoria solar .....	93
3.3.2. Radiación directa, difusa y reflejada.....	95
3.3.3. Formas de transmisión del calor .....	95
3.3.4. Capacidad calorífica e inercia térmica.....	96
3.3.5. Confort térmico .....	97
3.3.6. Efecto invernadero.....	98
3.3.7. Fenómenos convectivos naturales .....	100
3.3.8. Calor de vaporización.....	101
3.3.9. Efecto climático del suelo .....	101
3.3.10. Pérdida de calor en viviendas.....	102
3.3.11. Microclima y ubicación .....	103
3.4. Herramientas de diseño .....	104
3.4.1. El diagrama bioclimático .....	104
<b>Bibliografía .....</b>	<b>110</b>

Kusha Ghoreishi Karimi

## 1. Introducción

La arquitectura tradicional siempre ha sido bioclimática. Los romanos, los árabes, los persas o los indios amazónicos han adaptado sus construcciones al entorno, a las circunstancias, a las necesidades, al clima y a los materiales autóctonos. Era la única forma de construir de una forma eficaz, económica y confortable. Los esfuerzos se centraban en el diseño, la orientación, la adaptación topográfica y en definitiva al uso de los materiales y los recursos del entorno inmediato de las edificaciones.

El material a utilizar tenía que ser vernáculo, porque los sistemas de transporte no permitían gran movilidad. Además, estos materiales sufrían procesos de transformación muy básicos, por lo que no suponían apenas ningún esfuerzo de degradación para el medio. Ejemplos magistrales de esta arquitectura son la Alhambra de Granada, las torres de viento Kashán (Irán) o las termas de Caracalla. Cada uno ha sabido adaptarse a su entorno, logrando a través del diseño mejorar las condiciones ambientales interiores de las construcciones. Consiguiendo ambientes más frescos o más calurosos, según las necesidades, usando tan sólo las leyes físicas (inercia térmica de los materiales, evaporación, condensación, convección o dinámica de los fluidos). De este modo, se suplía con ingenio la falta de las tecnologías actuales de calefacción o refrigeración.

Con la revolución industrial y el posterior desarrollo de las nuevas tecnologías, aparece una nueva concepción de la edificación y las obras de ingeniería. Se puede transportar un material de un lado del mundo al otro, se produce calor y frío artificialmente, se sintetizan materiales más agresivos y contaminantes. Aparece una inconsciencia generalizada que deriva en el abuso de energías procedentes de combustibles fósiles. Tras 150 años de consumo de petróleo, carbón y gas desmesurado -creando elevadísimos índices de emisiones de CO<sub>2</sub>- comprobamos con estupor las terribles consecuencias. Un planeta recalentado, árido y en continuo conflicto por los escasos recursos fósiles que quedan. Es por ello que es hora de mirar hacia atrás, pero también hacia delante. Aprender de las técnicas milenarias y aprovechar los recursos tecnológicos que nos ofrece el presente.

## 2. Ecomateriales.

### 2.1. Materiales ecológicos y bioconstrucción.

#### 2.1.1. El bienestar y la salud de los espacios:

La OMS (Organización Mundial de la Salud) define la salud como el estado de bienestar bajo los planos físico, psíquico y social.

¿Qué nos aporta salud?, ¿Qué nos propicia un estado de salud?, la respuesta a estas preguntas la encontramos en:

- Una alimentación sana y equilibrada.
- Buen estado anímico y las relaciones con los demás.
- En la higiene y ausencia de radiaciones
- En el ejercicio físico y descanso

¿Cómo podemos mejorar nuestra salud a través de la arquitectura?

Teniendo en cuenta:

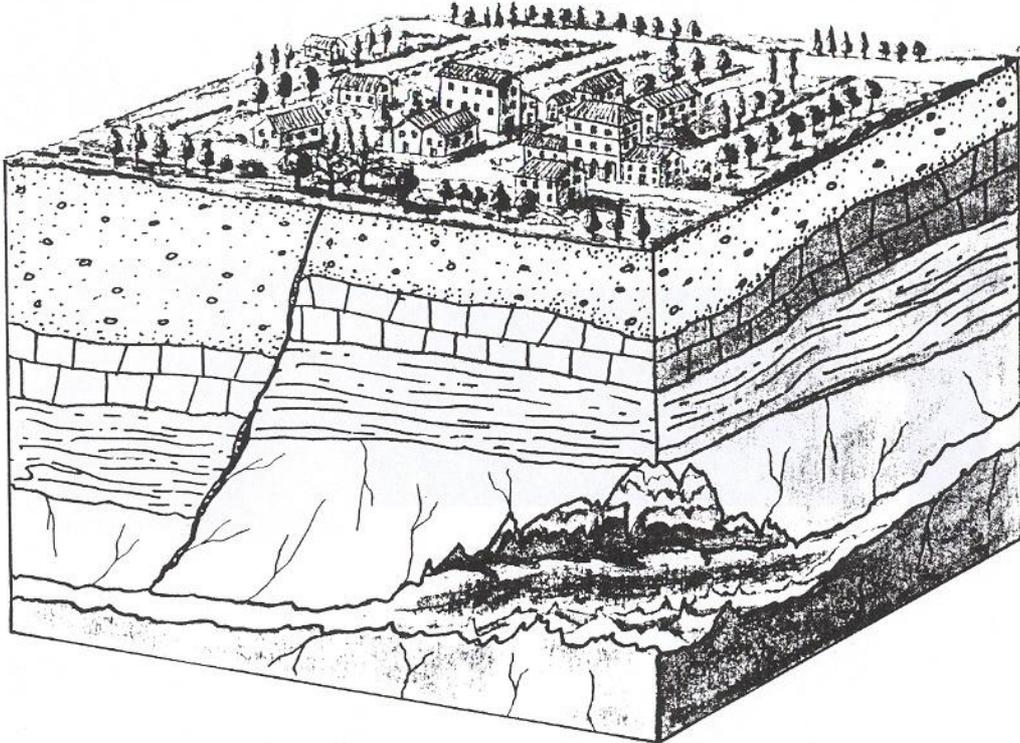
- la elección del lugar
- Unos diseños adecuados
- Mediante el uso de materiales ecológicos

#### 2.1.2. La Geobiología: El lugar

La Geobiología es un campo científico interdisciplinar que explora las interacciones entre la vida, por un lado, y el ambiente fisicoquímico de la Tierra.

Es la ciencia que nos ayudará a elegir la ubicación correcta para una vivienda sana en una parcela. Para disfrutar de un descanso reconfortante necesitamos dormir sobre un lugar sano que nos refuerce y no nos debilite. La geobiología nos ayuda a detectar campos electromagnéticos o corrientes de agua en los estratos inferiores a la corteza terrestre, entre otros accidentes geológicos que afectan directamente a nuestra salud.

Kusha Ghoreishi Karimi

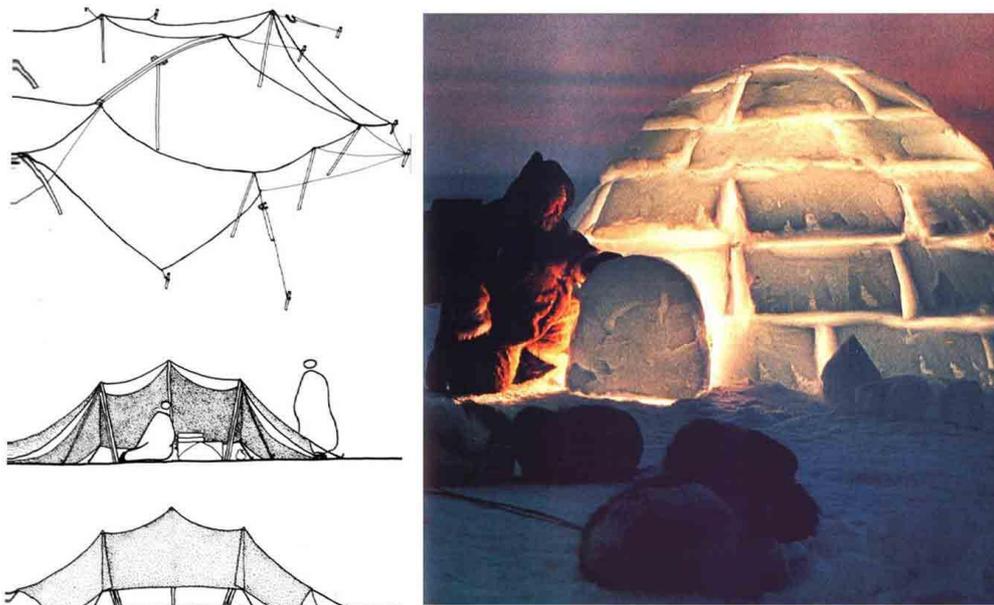


*Antes de empezar la construcción, y para evitar un gasto erróneo, debemos consultar a un geólogo: vivir sobre una falla, un curso de agua contaminado o una gruta podría suponer ciertos riesgos*

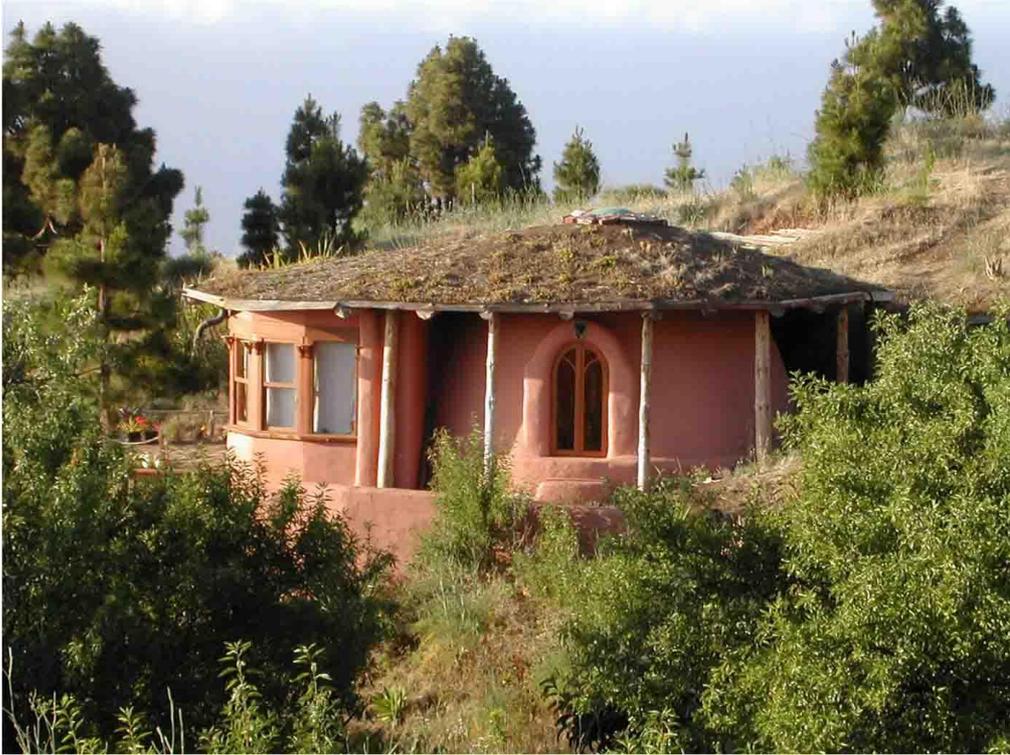
### 2.1.3. La arquitectura: El diseño

Con la arquitectura y un correcto diseño bioclimático podremos aprovechar los recursos del entorno para crear viviendas sanas y saludables. En el siguiente módulo se detallará el diseño bioclimático para una construcción sostenible. En los siguientes ejemplos podemos observar diseños adaptados a distintas ubicaciones y climas.

Kusha Ghoreishi Karimi



Kusha Ghoreishi Karimi



Kusha Ghoreishi Karimi



Kusha Ghoreishi Karimi



Kusha Ghoreishi Karimi



#### 2.1.4. La bioconstrucción: Los materiales

Recibe el nombre de bioconstrucción los sistemas de edificación o establecimiento de viviendas, refugios u otras construcciones, realizados con materiales de bajo impacto ambiental o ecológico, reciclados o altamente reciclables, o extraíbles mediante procesos sencillos y de bajo costo como, por ejemplo, materiales de origen vegetal y biocompatibles.

## 2.2. La elección de los materiales en la construcción.

### 2.2.1. Criterios para la elección de materiales

Los criterios que adoptaremos para la elección de los materiales que conforman nuestras viviendas serán en función de,

- La salud: que sean naturales y libres de tóxicos, inocuos para todas las formas de vida.
- La ecología : que tengan un origen local, es decir, un bajo impacto a la hora de su extracción y transporte
- La ética: que tengan una repercusión social en su producción y que fomenten actividades y oficios.
- La sostenibilidad: que el material sea sostenible en su ciclo de vida, es decir, que tenga un bajo impacto ambiental durante todas las etapas de su existencia (extracción, producción, distribución, uso y desecho).
- La reutilización y el reciclaje del material. Mientras más reciclable o reutilizable sea el material más adecuado será su uso.
- La baja o nula emisión de sustancias tóxicas al aire y su capacidad de no alteración del campo magnético del entorno. Para hacernos una idea de emisiones nocivas de distintos materiales se hace la siguiente comparación:
  - La producción de 1 tonelada de aluminio produce: 10.000 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>
  - La producción de 1 tonelada de hierro produce: 50 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>
  - La producción de 1Tn de cemento emite a la atmósfera: 1Tn de CO<sub>2</sub>Por tanto el aluminio produce 200 veces mas CO<sub>2</sub> que el hierro.  
Se estima que 6% de la emisión de CO<sub>2</sub> del mundo está producido por la producción y el uso del cemento en la construcción
- Criterio energético, es decir energía necesaria para su producción  
Vemos en el siguiente cuadro valores de energía primaria para los materiales más usados en construcción

Kusha Ghoreishi Karimi

ENERGIA PRIMARIA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	KWH/M <sup>3</sup>
LADRILLO COMÚN	1350
LADRILLOS POROSOS CON HUECOS	540
HORMIGÓN	500
HORMIGÓN PREFABRICADO	800
MADERA	590
OSB	1280
BALAS DE PAJA	7
ESTRUCTURA DE MADERA CON BALAS DE PAJA	45 - 70
ADOBES (SIN SECADO ARTIFICIAL)	1 - 10
TIERRA APISONADA, MECANIZADO	40

En resumen tendremos que elegir siempre materiales:

- Inocuos y ecológicos.
- Locales y económicos.
- Necesarios y agradables.
- Fáciles de instalar o aplicar.
- Bajo mantenimiento.
- Reciclables - Reutilizables.

### 2.2.2. Síndrome del edificio enfermo

La Organización Mundial de la Salud lo ha definido como un conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en estos espacios cerrados.

Es un conjunto de molestias y enfermedades originadas en la mala ventilación, la descompensación de temperaturas, las cargas iónicas y electromagnéticas, las partículas en suspensión, los gases y vapores de origen químico y los bioaerosoles, entre otros agentes causales identificados.

El tipo de malestares que producen y estimulan estas situaciones es variado: jaquecas, náuseas, mareos, resfriados persistentes, irritaciones de las vías respiratorias, piel y ojos, etc. Entre estos malestares, las alergias ocupan un papel importante.

Kusha Ghoreishi Karimi

En la evaluación, entre otras cosas, se ha de determinar el tipo y tamaño de las rejillas de impulsión, así como medir su caudal y compararlo con los estándares de ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*)

La OMS estima que afecta al 30% de los edificios modernos y que causa molestias, como mínimo, al 10-30% de sus ocupantes.

Los síntomas son, principalmente:

- Irritación de ojos, nariz y garganta.
- Sequedad de piel y mucosas.
- Eritema cutáneo.
- Fatiga mental, somnolencia.
- Cefaleas, vértigos.
- Mayor incidencia de infecciones de vías respiratorias altas.
- Dificultad respiratoria, jadeo, roncus, sibilancias, cuadros asma-like.
- Disfonía, tos.
- Alteraciones del gusto y del olfato.
- Náuseas.

Los factores más comúnmente citados como responsables del síndrome son:

- Agentes químicos: entre ellos formaldehído, compuestos orgánicos volátiles, polvo, fibras, dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ozono...
- Agentes biológicos: bacterias, hongos, esporas, toxinas, ácaros.
- Agentes físicos: iluminación, ruido, vibraciones, ambiente térmico, humedad relativa, ventilación.

### 2.2.3. Substancias contaminantes y alternativas

Según los estudios de dos de los comités más importantes para el estudio de la salud en la Comisión Europea, el Comité Científico de Riesgos Sanitarios y Ambientales de la Unión Europea y el Centro Común de Investigación, SCHER y JRC respectivamente, en sus siglas en inglés:

- Pasamos de media del 85-90% de nuestro tiempo en interiores
- Las atmósferas interiores pueden contener más de 900 substancias químicas, partículas y materiales biológicos con efectos potenciales sobre nuestra salud.

Kusha Ghoreishi Karimi

- La exposición en interiores a sustancias químicas tóxicas, provenientes de diversas fuentes, puede ser significativamente superior que la exposición en el exterior, debido a las condiciones de ventilación.
- Hasta un 20% de los europeos sufren asma debido a sustancias inhaladas en atmósferas interiores.
- Las sustancias contaminantes de las atmósferas interiores pueden aumentar el riesgo de cáncer en la población.

En los informes de SCHER 2007 y JRC 2005 se hace una clasificación de las sustancias contaminantes claves en interiores en función de:

- Han causado efectos adversos en la salud o tienen un potencial alto de causarlos.
- Potencial de concentraciones interiores altas y con impacto en la salud desconocido.
- Sustancias no legisladas.

De esta forma encontramos:

- Materiales de construcción: Formaldehído, benceno.
- Productos de la combustión: Monóxido de carbono, Dióxido de nitrógeno
- Productos usados en el hogar: Naftalina

Otras sustancias que necesitan un estudio más riguroso porque los datos disponibles son todavía limitados para efectuar una valoración del riesgo como contaminantes de interiores son:

- Humo de tabaco, radón, plomo, pesticidas y pesticidas organofosforados.
- Terpenos, pegamento para PVC, ftalatos.
- Acetaldehído, tolueno, xilenos, estireno.
- Amoníaco, limoneno,  $\alpha$ -pineno.

Vemos las sustancias mejor estudiadas y las posibles alternativas,

#### Formaldehído:

- Uso múltiple en el sector de la construcción, sobre todo en resinas adhesivas.
- Toxicidad:
  - Irritante (dolor de cabeza, náuseas), intoxicante respiratorio, genotóxico
  - Carcinógeno humano reconocido (IARC 2004)

Kusha Ghoreishi Karimi

- exposición en interiores:
  - Preocupante a partir de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( nivel del suelo en áreas rurales)
  - Casi toda la población está expuesta en interiores superiores al nivel del suelo
  - Más del 20% de la población europea está expuesta en interiores a niveles que superan el nivel de efectos adversos no observados.

- Fuentes de exposición en edificios:

**Materiales aislantes**

- lana de vidrio



- lana mineral



**Productos de madera compuesta (basados en resina de urea-formaldehído)**

- tableros de partículas



Kusha Ghoreishi Karimi

– MDF



– contrachapado



Revestimientos de melanina



Alfombras

Pinturas



Alternativas sin, o con una cantidad baja, de formaldehído

Kusha Ghoreishi Karimi

### Materiales aislantes

- celulosa



- silicato cálcico



### Madera maciza



### Madera composite con resinas alternativas.

- MDI, PVA (sin formaldehído)
- formaldehído fenólico (de baja emisión)



Kusha Ghoreishi Karimi

#### Alfombras de lana



#### Pinturas sin COV o con poca cantidad



#### El benceno:

- Uso como disolvente en la construcción
- Toxicidad:
  - Irritante (dolor de cabeza, náuseas), intoxicante respiratorio.
  - Carcinógeno humano genotóxico, no existe ningún umbral seguro.
  - Riesgo aumentado de contraer leucemia comparado con el nivel del suelo:
    - En áreas de mucho tráfico: aumento de 6 a 30 veces (las principales fuentes son exteriores)
    - Áreas rurales: aumento de 1 a 5 veces (las principales fuentes son interiores)

#### Fuentes de exposición en interiores e exteriores:

- humo de tabaco principal fuente en interiores



- humo de vehículos en exteriores

Kusha Ghoreishi Karimi



- tableros de partículas



- pegamento, cera, pintura



Alternativas para reducir y evitar la exposición al benceno en interiores:

- dejar de fumar



Kusha Ghoreishi Karimi

- conducir y contaminar menos



- madera maciza y ceras vegetales



- pinturas sin COV o con poca cantidad



- pegamentos sin benceno



#### El PVC:

- Uso: Es uno de los principales materiales de construcción según el consejo europeo de los productores de vinilo. Alrededor del 60% del total de la producción de PVC en 2001 fue usado para la construcción y en el sector de la construcción.
- Toxicidad: El PVC se fabrica a partir de un residuo de la industria química como es el cloro, un gas altamente tóxico que al combinarse con sustancias orgánicas forma compuestos organoclorados.

Kusha Ghoreishi Karimi

Los productos organoclorados se caracterizan por ser muy estables en el medio ambiente y por provocar una amplia gama de efectos tóxicos en los seres vivos, incluyendo daños a los sistemas inmunitario, reproductor, endocrino y nervioso y una gran variedad de cánceres. Estos efectos se producen también en el ser humano.

Según Greenpeace el PVC produce graves daños humanos y materiales durante los incendios. Los productos de PVC crean atmósferas enfermizas en las viviendas. Los residuos de PVC son una herencia tóxica para el futuro y la baja calidad del PVC hace que lo barato resulte en realidad bien caro.

**Alternativas al uso del PVC:**

- En tuberías y acoples:
  - polipropileno, polietileno



- zinc, arcilla vitrificada



- En perfiles (para ventanas):
  - madera (local o FSC)



- aluminio



Kusha Ghoreishi Karimi

- En cableados: polietileno



- En revestimientos:
  - cerámica, piedra, madera



- corcho, linóleo



## 2.3. Los materiales nobles.

### 2.3.1. La tierra

En la antigüedad, las primeras casas y ciudades se construyeron con tierra cruda. La tierra como material de construcción está disponible en cualquier lugar y en abundancia.

Aunque fueron las casas más primitivas las que se edificaron con tierra cruda, estas técnicas no son algo del pasado: hoy en día, de un tercio a la mitad de la población mundial vive en casas de tierra. En los lugares en que es tradicional se mantiene, y en algunos países desarrollados se continúan llevando a cabo experiencias y se investiga sobre sus aplicaciones incluso a nivel de construcción plurifamiliar o prefabricada. Buenas noticias, pues, para el entorno y la construcción más responsable.

A continuación se exponen las ventajas del barro como material constructivo:

- La tierra es un material inocuo, no contiene ninguna sustancia tóxica, siempre que provenga de un suelo que no haya padecido contaminación.
- Es totalmente reciclable: si en la construcción no se mezcla la tierra con algún producto fabricado por los humanos (por ejemplo, cemento), sería posible integrar totalmente el material en la naturaleza una vez se decidiera deruir el edificio.
- Fácil de obtener localmente, prácticamente cualquier tipo de tierra es útil para construir, o bien se puede escoger una técnica u otra en función de la tierra disponible. También se pueden hacer mezclas con otro material cercano o con algún mejorante de la mezcla (cal, yeso, paja...)
- La construcción con tierra cruda es sencilla y con poco gasto energético, no requiere un gran transporte de materiales o una cocción a alta temperatura. Es por ello que se considera un material de muy baja energía incorporada. Sin embargo, quizá sí es necesario un mayor esfuerzo e implicación de los constructores.
- Su obtención es respetuosa, si se extrae del propio emplazamiento, provoca un impacto poco mayor que el que ya supone realizar la propia construcción. No lleva asociados problemas como la deforestación o la minería extractiva que implican otros materiales constructivos.
- Excelentes propiedades térmicas, la tierra tiene una gran capacidad de almacenar el calor y cederlo posteriormente (calidad conocida como inercia térmica) Así, permite atenuar los

Kusha Ghoreishi Karimi

cambios de temperatura externos, creando un ambiente interior agradable. Sobretudo resulta adecuada en climas áridos con oscilaciones extremas de temperatura entre el día y la noche pero, si se incluye un aislamiento adecuado, también es idónea en climas más suaves.

- Propiedades de aislamiento acústico, los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados.
- La tierra es un material inerte que no se incendia, pudre, o recibe ataques de insectos, esto es así porque se evita el uso de las capas superiores de suelo, con gran cantidad de material orgánico.
- Es un material por naturaleza transpirable, los muros de tierra permiten la regulación natural de la humedad del interior de la casa, de modo que se evitan las condensaciones.
- Económicamente asequible, es un recurso barato (o prácticamente gratuito) que a menudo ya se encuentra en el lugar donde se levantará la casa.



La Tierra ofrece soluciones para casi todos los elementos constructivos de las edificaciones. Es el material más universal e infinito (reutilizable y reciclable sin límite).

Kusha Ghoreishi Karimi



Edificio en Alemania construido con tierra y técnicas mixtas de tierra con otros materiales.

Kusha Ghoreishi Karimi

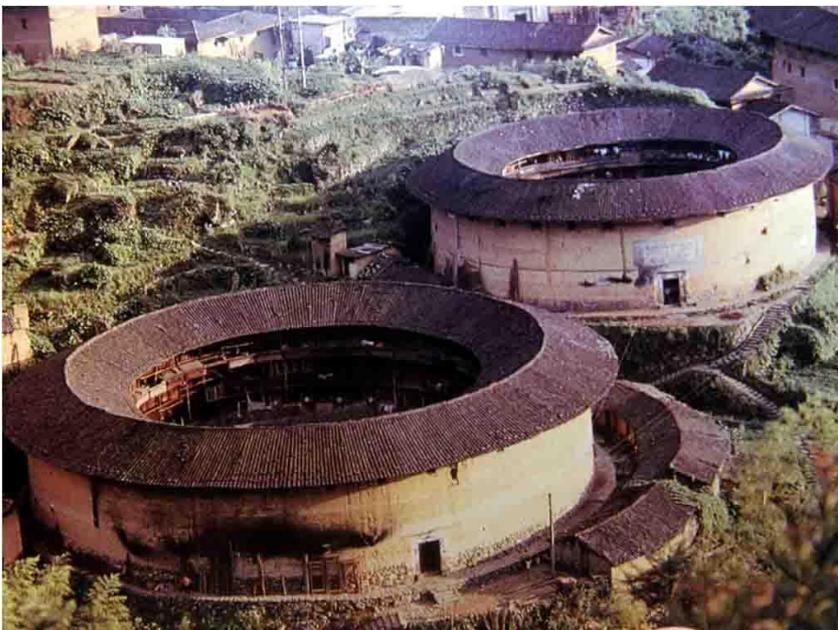


Hasta 20 alturas se llegan a construir con técnicas de tierra y rellenos de piedra en Yemen.

Kusha Ghoreishi Karimi



Una Kashba en Marruecos. Otro ejemplo de la milenaria y resistente técnica de construcción con tierra.



Edificios comunales construidos desde hace siglos en China con técnicas de tapial.

Kusha Ghoreishi Karimi

### 2.3.2. La madera

La madera es uno de los materiales de construcción más sanos que existen. Actúa como regulador natural del ambiente interior, es un material vivo que "respira" y así ayuda a la ventilación; estabiliza la humedad y filtra y purifica el aire; es cálido al tacto y absorbe el sonido. No trastorna los sutiles campos eléctricos y magnéticos naturales como la mayoría de los otros materiales.

En relación a su peso la madera es más fuerte que cualquier otro material de construcción. En su aspecto psicológico y emocional conecta al hombre con la naturaleza haciendo resaltar sus conexiones biológicas. La madera se cura y mejora con el tiempo.

Los productos derivados de la madera también gozan de las mismas características: el corcho, el linóleo, el caucho, el papel y los tableros compuestos (de fibras, contrachapado, alistonado y aglomerado). La madera, correctamente estacionada puede durar siglos, pero en general necesita un tratamiento que evite el peligro de ataques, y es aquí donde puede perder esas condiciones ecológicas.

Una casa de madera es mucho más sana, acogedora y agradable (biótica) que las de materiales como el hormigón y los materiales sintéticos, fríos o impersonales. Además la madera tiene la peculiaridad de permitir la respiración de la vivienda. Es cálida y relajante y evita el posible efecto de caja de Faraday que produce los fenómenos de sobreexcitación, nerviosismo, depresión tan frecuente en las viviendas modernas y especialmente en las oficinas.

La madera, en todas sus presentaciones, y siempre que esté exenta de productos de tratamiento tóxicos- es muy biótica y crea ambientes agradables y acogedores. Ofrece así mismo cualidades neutralizadoras cuando es tratada con ceras naturales y esencias.

Kusha Ghoreishi Karimi



La calidez, nobleza y versatilidad de la madera en construcción: estructuras, cerramientos, revestimientos, pavimentos, decoración, etc.

### 2.3.3. La cal

Hasta la revolución industrial y el descubrimiento del cemento en 1824 en Pórtland, Inglaterra, la cal ha sido el principal ligante de la construcción en morteros, revestimientos y pinturas. Es responsable de la solidez de los edificios antiguos y medievales y ha participado en obras tan prestigiosas como los frescos y estucos que los decoran.

Los constructores de entonces aplicaban las cales disponibles en las canteras y caleras más próximas.

Es decir, la calidad de las cales reencontradas varía según la roca de extracción, pues de las calizas, las más puras proceden de las cales más grasas, es decir, aéreas y de las calizas las más arcillosas, pues las más ricas en sílice (margas) procedían las cales magras es decir hidráulicas.

Resultaban denominaciones varias para la cal, típicas de los lugares de procedencia. Debido a la limitada facilidad de transporte, los constructores aplicaban el material local pero conocían una amplia gama de trucos para corregir los efectos de cada una de las cales encontradas para aportar a sus morteros las calidades requeridas en cada caso de aplicación, como son el control de la rapidez en el endurecimiento, la dureza y el grado impermeabilizante.

De esto se concluye que todas las clases de cal convivían desde todos los tiempos.

Kusha Ghoreishi Karimi

Un 20 % de la superficie terrestre esta cubierta de roca caliza. Según el tipo de caliza utilizada, la cocción permite la fabricación de varios tipos de cal:

### **Cal aérea**

La calcinación de la Cal Aérea se produce por la cocción de la caliza pura (carbonato de calcio) alrededor de 900 grados y está acompañada de una pérdida del 45% de su peso, correspondiente a la pérdida de gas carbónico.

Tras la extinción de la cal viva (óxido cálcico), resultante de la cocción, se obtiene la cal apagada apta para su aplicación en la construcción (hidróxido cálcico). Por producir mucho calor, el proceso de extinción se hace en fábrica o bien por personal especializado.

El agua, añadida en la elaboración del mortero a base de cal y arena, efectúa el inicio de la carbonización, una reacción lenta de varios meses que exige la presencia de agua y gas carbónico del aire a la vez. Una vez evaporada el agua, la calcinación sigue con el vapor del agua presente en el aire que tiene una afinidad con el gas carbónico (forman ácido carbónico). La calcinación entonces se nutre del gas carbónico presente en este ácido.

### **Cal dolomítica**

En las calizas dolomíticas el carbono de calcio está asociado al carbonato de magnesio.

Tras su cocción a temperaturas inferiores a 900 grados se obtiene una cal aérea.

### **Cal hidráulica natural**

Son raras las calizas puras. Casi siempre aparecen mezclados con arcillas, ricas en elementos químicos como el hierro el aluminio y sobre todo el sílice y de las cuales procede la CAL HIDRÁULICA NATURAL. Entre 800 y 1.500 grados (en general alrededor de 900 grados), el calcio de la caliza se combina con dichos elementos formando silicatos, aluminatos y ferro-aluminatos de calcio.

Al contacto con agua estos cuerpos quieren formar hidratos insolubles lo que confieren al ligante un carácter hidráulico.

Al contacto con el aire húmedo, la cal y los hidratos así formados carbonizan con el gas carbónico del aire. Esta reacción dura varios meses y es la parte aérea del proceso.

Kusha Ghoreishi Karimi

Los científicos del siglo diecinueve intentaron clasificar las cales hidráulicas según su índice de hidraulicidad, dependiente de su contenido de arcilla (entre 5 y 30%).

Las cales de hidraulicidad algo superiores a la de las cales hidráulicas naturales se denominan Cales Hidráulicas Artificiales (cales hidratadas) ya que contienen sustancias añadidas antes o después de la cocción, como son, entre otros:

- Clinker, son silicatos y aluminatos hidratados, obtenidos por cocción encima de la sinterización (1.500 grados).
- Puzolanas de origen natural (volcánico) o bien artificial (mezcla de sílice, aluminio y óxido férrico).
- Cenizas volantes, que provienen de la combustión de petróleo.
- Escorias siderúrgicas.
- Filleres calizos.

#### Cales hidráulicas artificiales

Hablando de cales hidráulicas artificiales ya entramos en el mundo de los cementos “naturales” (cementos cocidos bajo la sinterización) ya que sus elementos constitutivos son prácticamente iguales.



Apagado de la cal en obra para su posterior aplicación. El famoso “hoyo” de CAL.

Kusha Ghoreishi Karimi



Revestimientos exteriores realizados con cal aérea. Ejemplo de transpirabilidad, sostenibilidad, luminosidad y salubridad.



Fachadas exteriores en Lisboa realizadas con mortero de cal aérea. Correctamente aplicado la fisuración por endurecimiento no existe en la cal.

Kusha Ghoreishi Karimi



Morteros de cal pigmentados en masa con protección de silicato. Máxima elasticidad, plasticidad, transpirabilidad e hidrofugacidad en los exteriores.

## 2.4. Sistemas y soluciones constructivas. Materiales

### 2.4.1. Elección de sistema constructivo

Las variables a tener en cuenta a la hora de elegir un sistema constructivo con materiales ecológicos serán en función de,

#### **Su composición:**

Hay que renunciar a productos insalubres, que contaminen en exceso en su fabricación, que no sean fácilmente reciclables, que no permitan la transmisión del vapor de agua.

#### **Idoneidad de ubicación/colocación del material:**

Dependiendo de su correcta colocación se podrá prevenir futuras patologías y riesgos (humedades por capilaridad, protección frente al fuego, etc.)

#### **Ahorro económico:**

La proximidad del material o el fabricante a la obra, la facilidad de ejecución de la misma y la posibilidad de haber una mano de obra cualificada, economizarán el uso del material.

Kusha Ghoreishi Karimi

El tipo de material a usar:

Los materiales vegetales, minerales o animales son los más idóneos.



El corcho y el cáñamo son materiales que cumplen estos criterios



Kusha Ghoreishi Karimi

Sistema constructivo ecológico: Cimentación de hormigón ciclópeo armado con bambú, refuerzo con hormigón armado. Aislamiento térmico a base de corcho. Impermeabilización con EPDM.



Sistema para impermeabilización de cubiertas mediante membrana anticonvección.



Sistema para impermeabilización de cimentación con membrana de caucho.

Kusha Ghoreishi Karimi



Sistema para aislamiento de cáñamo en interior y de fibra de madera en exterior (cubierta).



Sistema para aislamiento de cáñamo en interior y de fibra de madera en exterior (cerramientos).

Kusha Ghoreishi Karimi



Sistema constructivo mediante estructuras de madera y de mallazo de bambú.

#### 2.4.2. Morteros, áridos y aditivos

La tierra es un excelente material que permite la realización de morteros para todos los usos.



La cal aérea se presenta en forma de pasta (cal apagada, cal hidratada) o en polvo (hidróxido cálcico) para la realización de morteros y revestimientos de una variadísima gama.

Kusha Ghoreishi Karimi



La Cal Hidráulica Natural es un “cemento natural” que aporta numerosas soluciones a la construcción contemporánea.

Kusha Ghoreishi Karimi



Los aditivos para morteros se pueden ser fibras, líquidos o áridos y cumplen distintas funciones: plastificantes, aceleradores de fraguado, aligerantes, hidrofugantes, etc.



### 2.4.3. Bloques y fábricas

Los bloques o fábricas los podemos clasificar en:

- cal
- cerámicos
- madera
- barro
- aligerados

A continuación vemos algunos ejemplos:



Bloque de paja compactado con mortero de adobe

Kusha Ghoreishi Karimi



Adobe tradicional mejorado con materiales de composición natural



Bloque macizo de cal hidráulica y cáñamo. Estructural, aislante y decorativo al mismo tiempo.

Kusha Ghoreishi Karimi



Distintos bloques de arcilla cocida, biocompatibles y aptos para construcción ecológica aunque con mayor huella ecológica que la tierra cruda.



Bloques de fibra de madera mineralizada y cemento portland, alternativa intermedia hacia una construcción más sostenible.

#### 2.4.4. Aislantes ecológicos

Los aislamientos los podemos clasificar en:

- Minerales - vermiculita, arcilla...
- Animales - lana, plumas...
- Vegetales - corcho, celulosa, cáñamo, lino, madera...

Vemos algunos ejemplos gráficos de aislantes,



Manta lino



Celulosa



Cáscara y paja del arroz - Lana

Kusha Ghoreishi Karimi



Placas de corcho natural



Corcho aglomerado fino de mayor densidad para evitar ruidos de impacto, vibraciones y puentes térmicos y acústicos.



Kusha Ghoreishi Karimi

Pieza especial de aislamiento de uniones de instalaciones de saneamiento.



Sándwich de corcho natural para realización de forjados y cubiertas.



Kusha Ghoreishi Karimi

Celulosa para proyectar en cámaras de aislamiento.



Manta de cáñamo para aislamiento natural que proporciona una excelente regulación de la humedad ambiental.



Redondeles de aislamiento de cáñamo para tapar los huecos de las fijaciones del aislamiento al soporte.



Kusha Ghoreishi Karimi

Aislamiento animal a base de plumas de pato, muy usado en Francia.



Sistema de aislamiento exterior a base de fibra de madera y revestimiento mineral.



Placas de hilos de madera mineralizada y compactada con magnesita o cemento.

Kusha Ghoreishi Karimi



Fibra de video, resistencia al fuego alta.



Fibra de cáñamo (cañamiza) para la elaboración de morteros aislantes.

Kusha Ghoreishi Karimi

### 2.4.5. Impermeabilizantes ecológicos

Los impermeabilizantes los podemos clasificar en,

- Líquidos: caucho natural, hidrófugos...
- Laminas: caucho, butilo, EPDM, polietileno, polipropileno...
- Masillas: fisuras, tejados...

Vemos algunos ejemplos gráficos de impermeabilizantes,



Lámina de caucho E.P.D.M. para impermeabilizar cubiertas vegetales



Masilla para impermeabilización y reparación de cubiertas

### 2.4.6. Otros materiales ecológicos

Otros ecomateriales que se usan en la bioconstrucción son,

- Pinturas (ecológicas, a la cal, al silicato, al cuarzo...)
- Adhesivos ecológicos
- tratamientos para madera (aceites y resinas vegetales, de alifáticos, ceras vegetales...)
- tratamiento para metales
- revestimientos ecológicos (de cal, de adobe,...)
- conducciones y materiales para instalaciones.

Kusha Ghoreishi Karimi

- productos de limpieza ecológicos

**Nota sobre imágenes del módulo Ecomateriales:**

Todas las imágenes e ilustraciones del módulo son cedidas por REDVERDE y por organismos oficiales públicos (como por ejemplo, documentos, estudios e investigaciones realizadas por el parlamento europeo o el grupo parlamentario Los Verdes, alianza libre europea.)

## 3. Construcción sostenible

### 3.1 Arquitectura Bioclimática: Introducción y antecedentes

Arquitectura: Arte de construir los espacios donde los humanos desarrollan sus actividades.

Bioclimática: (Bio=vida, Clima=Conjunto de condiciones climáticas)

Tal como indica su nombre, La arquitectura bioclimática es aquella arquitectura que tiene en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir confort térmico de los espacios para la vida y el desarrollo del hombre.

Haciendo una lectura desde la lógica observamos que la arquitectura en su definición lleva implícito el concepto bioclimático, al tratarse del arte que posibilita la vida (Bio) mediante la construcción de espacios que térmicamente lo permitan.

Por tanto toda la arquitectura es bioclimática, o debería de serlo...

Antes de la Revolución Industrial, la revolución de la energía (electricidad) y por tanto la revolución de los materiales, no existían sofisticados sistemas de climatización, ni perfiles de acero para construir rascacielos, ni aislamiento térmico para reducir el espesor de los cerramientos en las casas.

Antes de todos estos “avances” se usaba el ingenio, la lógica y la razón a la hora de construir una vivienda. Nuestros antepasados usaban los recursos de la naturaleza para resguardarse del frío, se iluminaban y calentaban exclusivamente con la luz del sol y se resguardaba en espacios seguros y protegidos de las inclemencias atmosféricas.

Solamente tendríamos que fijarnos en los pueblos que rodean nuestras ciudades, para descubrir lo que realmente es la arquitectura bioclimática. Seguramente todos hemos sentido el bienestar que se experimenta en una casa de pueblo encalado de blanco, con sus muros de gran espesor y abrigado entre el resto de casas de su entorno; seguramente nos hemos parado paseando en una callejuela en sombra donde corre el aire fresco. Si no, habremos comprobado como en una cueva la temperatura es agradable tanto en invierno como en verano, o como en los patios donde hay una fuente el ambiente es siempre agradable.

Kusha Ghoreishi Karimi

La arquitectura bioclimática trata exclusivamente de jugar con el diseño de la casa (orientaciones, materiales, aperturas de ventanas, etc.), el diseño de los detalles constructivos y los espacios arquitectónicos con el objetivo de conseguir eficiencia energética.

Recursos como orientar las ventanas al sur en nuestras latitudes, el uso de ciertos materiales con determinadas propiedades térmicas, como la madera o el adobe; el recurso de enterrar la edificación al abrigo del suelo, del encalado en las casas de zonas calurosas, la ubicación de los pueblos cercanos a los ríos y tierras fértiles, el uso del agua en los patios como elemento refrescante, el buscar medios para crear sombra al paso de los viandantes, la captación de vientos, etc., nos posibilitan crear arquitecturas bioclimáticas.



Imagen 1: Cuevas primitivas (primeros cobijos del hombre). Fuente: propia

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 2: Tipi- vivienda tradicional de los indios americanos. Fuente: travelsd.com



Imagen 3: Construcciones en Sistán y Baluchistán (Irán) Fuente: Propia

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 4: Vivienda primitiva (Africa). Fuente: propia

Otras definiciones:

- Arquitectura solar pasiva. Hace referencia al diseño de la casa para el uso eficiente de la energía solar. Puesto que no utiliza sistemas mecánicos, está íntimamente relacionada con la arquitectura bioclimática, si bien esta última no sólo juega con la energía solar, sino con otros elementos climáticos. Por ello, el término bioclimática es un poco más general, si bien ambos van en la misma dirección.
- Arquitectura solar activa. Hace referencia al aprovechamiento de la energía solar mediante sistemas mecánicos y/o eléctricos: colectores solares (para calentar agua o para calefacción) y paneles fotovoltaicos (para obtención de energía eléctrica). Pueden complementar una casa bioclimática.
- Uso de energías renovables. Se refiere a aquellas energías limpias y que no se agotan (se renuevan). Están relacionadas con la arquitectura bioclimática porque ésta utiliza la radiación solar (renovable) para calefacción y refrigeración natural. Pero, para una casa,

Kusha Ghoreishi Karimi

además de la energía solar, se pueden considerar otros tipos, como la energía eólica o hidráulica para generación de electricidad; la energía geotérmica para calefacción-refrigeración o la generación de metano a partir de residuos orgánicos (Biomasa).

- **Arquitectura sostenible.** Esta arquitectura reflexiona sobre el impacto ambiental de todos los procesos implicados en una vivienda, desde los materiales de fabricación (obtención que no produzca desechos tóxicos y no consuma mucha energía), las técnicas de construcción (que supongan un mínimo deterioro ambiental), la ubicación de la vivienda y su impacto en el entorno, el consumo energético de la misma y su impacto, y el reciclado de los materiales cuando la casa ha cumplido su función y se derriba. Es, por tanto, un término muy genérico dentro del cual se puede encuadrar la arquitectura bioclimática como medio para reducir el impacto del consumo energético de la vivienda
- **Casa autosuficiente.** Hace referencia a las técnicas para lograr una cierta independencia de la vivienda respecto a las redes de suministro centralizadas (electricidad, gas, agua, e incluso alimentos), aprovechando los recursos del entorno inmediato (agua de pozos, de arroyos o de lluvia, energía del sol o del viento, paneles fotovoltaicos, huertos, etc.). La arquitectura bioclimática colabora con la autosuficiencia en lo que se refiere al ahorro de energía de climatización.

## 3.2. Proceso de diseño bioclimático

### 3.2.1. Ubicación y clima

La ubicación determina las condiciones climáticas con las que la vivienda tiene que "relacionarse". Podemos hablar de condiciones macroclimáticas y microclimáticas.

Las condiciones macroclimáticas son consecuencia de la pertenencia a una latitud-altitud y a una región determinada. Los datos más importantes que las definen son:

- Las temperaturas medias, máximas y mínimas
- La pluviometría
- La radiación solar incidente
- La dirección del viento dominante y su velocidad media

Las condiciones microclimáticas son consecuencia de la existencia de accidentes geográficos locales que pueden modificar las anteriores condiciones de forma significativa. Podemos tener en cuenta:

Kusha Ghoreishi Karimi

- La pendiente del terreno, por cuanto determina una orientación predominante de la vivienda
- La existencia cercana de elevaciones, por cuanto pueden influir como barrera frente al viento o frente a la radiación solar
- La existencia de masas de agua cercanas, que reducen las variaciones bruscas de temperatura e incrementan la humedad ambiente
- La existencia de masas boscosas cercanas
- La existencia de edificios

La elección de la ubicación de la vivienda, si ello es posible, es una decisión muy importante en el proceso de diseño bioclimático, si acaso tan importante como el diseño de la vivienda en sí misma. Además de seleccionar la ubicación más adecuada, debemos tener en cuenta que siempre es posible actuar sobre el entorno (añadiendo-quitando vegetación o agua, por ejemplo), para modificar las condiciones microclimáticas. Es lo que llamamos corrección del entorno.

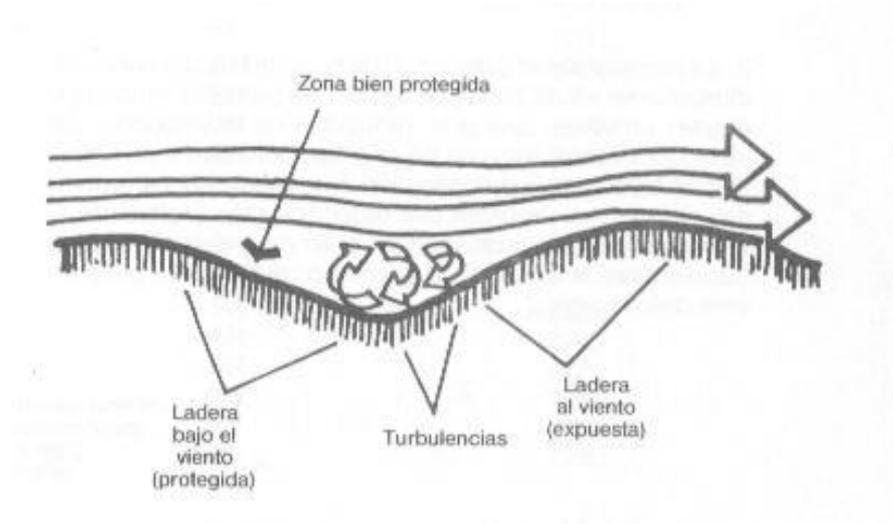


Ilustración 1. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Kusha Ghoreishi Karimi

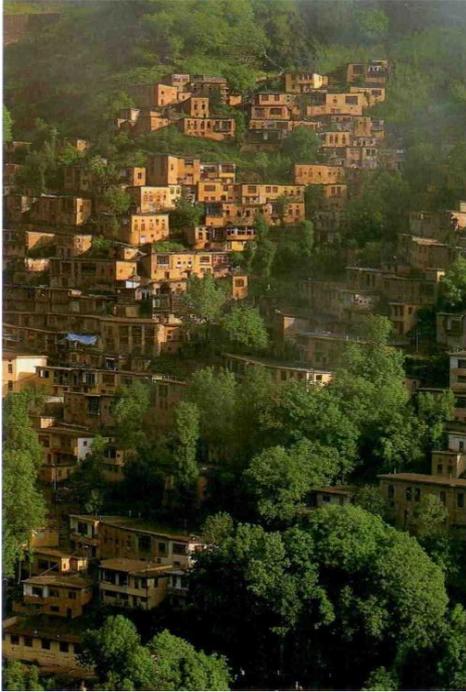


Imagen 1: Adaptación al entorno natural. Masouleh (Irán).

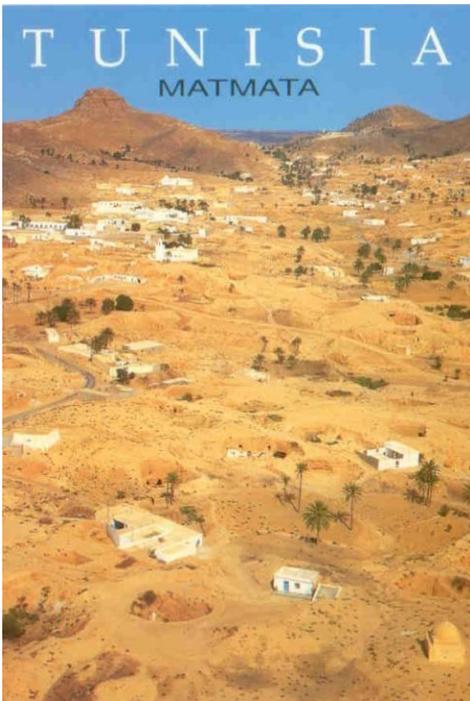


Imagen 2: Adaptación al entorno natural. Matmata (Túnez).

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 3: Adaptación al entorno natural. Casares, Málaga.

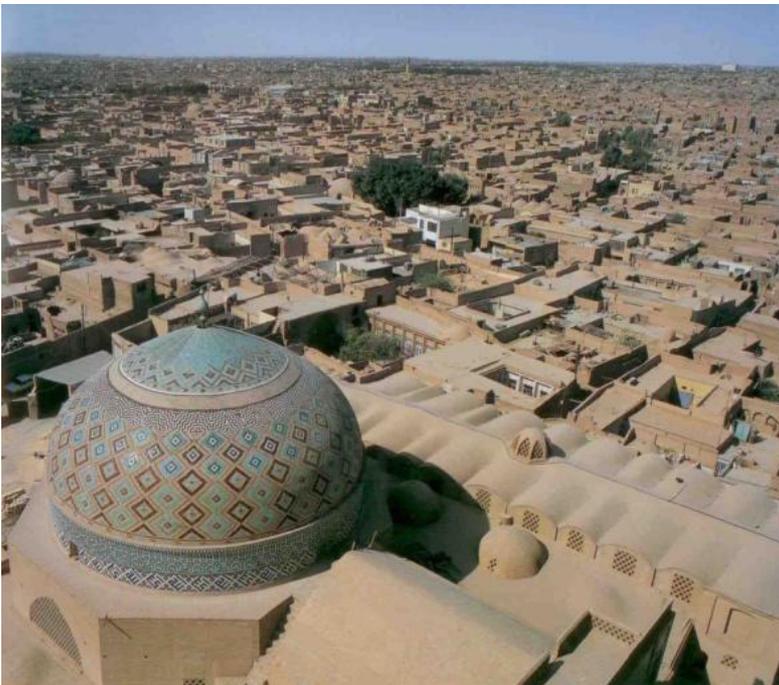


Imagen 4: Kabir Chief Mosque, estructura de la ciudad de Yazd (Irán).

Kusha Ghoreishi Karimi

### 3.2.2. Forma y orientación

La forma de la casa influye sobre:

La superficie de contacto entre la vivienda y el exterior, lo cual influye en las pérdidas o ganancias caloríficas. Normalmente se desea un buen aislamiento, para lo cual, además de utilizar los materiales adecuados, la superficie de contacto tiene que ser lo más pequeña posible. Para un determinado volumen interior, una forma compacta (como el cubo), sin entrantes ni salientes, es la que determina la superficie de contacto más pequeña. La existencia de patios, alas, etc. incrementan esta superficie.

- La resistencia frente al viento. La altura, por ejemplo, es determinante: una casa alta siempre ofrece mayor resistencia que una casa baja. Esto es bueno en verano, puesto que incrementa la ventilación, pero malo en invierno, puesto que incrementa las infiltraciones. La forma del tejado y la existencia de salientes diversos, por ejemplo, también influye en conseguir una casa más o menos "aerodinámica". Teniendo en cuenta las direcciones de los vientos predominantes, tanto en invierno como en verano es posible llegar a una situación de compromiso que disminuya las infiltraciones en invierno e incremente la ventilación en verano.

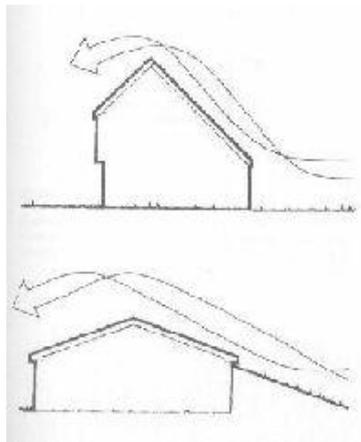


Ilustración 2. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

La orientación de la casa influye sobre:

- La captación solar. Normalmente interesa captar cuanto más energía mejor porque es nuestra fuente de climatización en invierno (en verano utilizaremos sombreadamientos y otras técnicas para evitar la radiación). En las latitudes en que nos encontramos, conviene

Kusha Ghoreishi Karimi

orientar siempre nuestra superficie de captación (acristalamientos) hacia el Sur. La forma ideal es una casa compacta y alargada, es decir, de planta rectangular, cuyo lado mayor va de este a oeste, y en el cual se encontrarán la mayor parte de los dispositivos de captación (fachada sur), y cuyo lado menor va de norte a sur. Hay que reducir la existencia de ventanas en las fachadas norte, este y oeste, puesto que no son muy útiles para la captación solar en invierno (aunque pueden serlo para ventilación e iluminación) y, sin embargo, se producen muchas pérdidas de calor a su través.

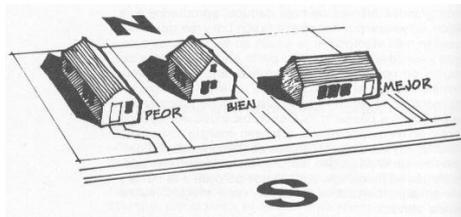


Ilustración 3. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

- La influencia de los vientos dominantes sobre la ventilación y las infiltraciones.



Imagen 5: Cúpulas de Baños públicos. Aleppo, Siria

Kusha Ghoreishi Karimi

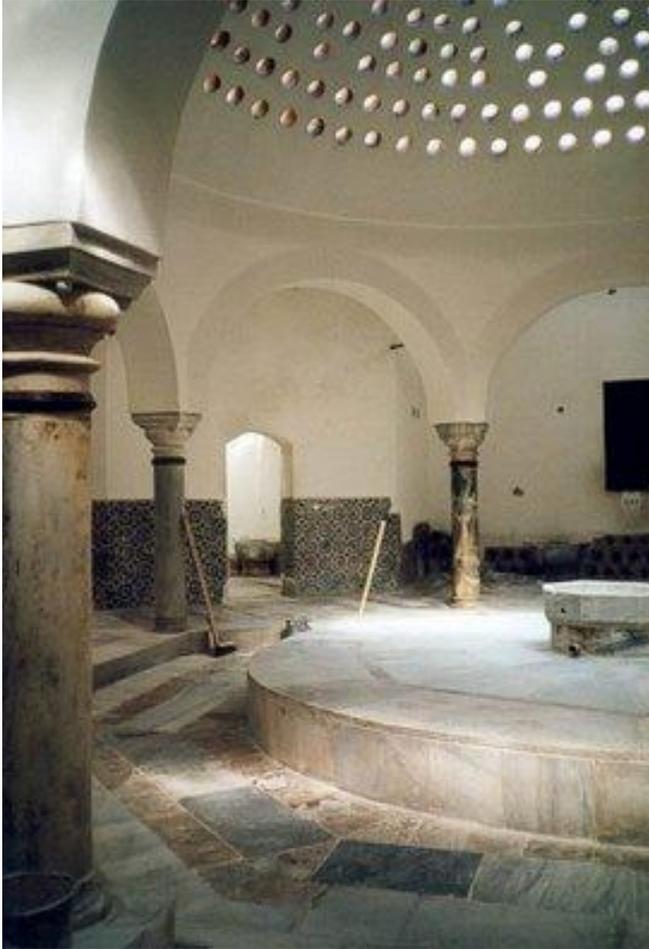


Imagen 6: Espacio interior de Hammam. Turquía.

Kusha Ghoreishi Karimi

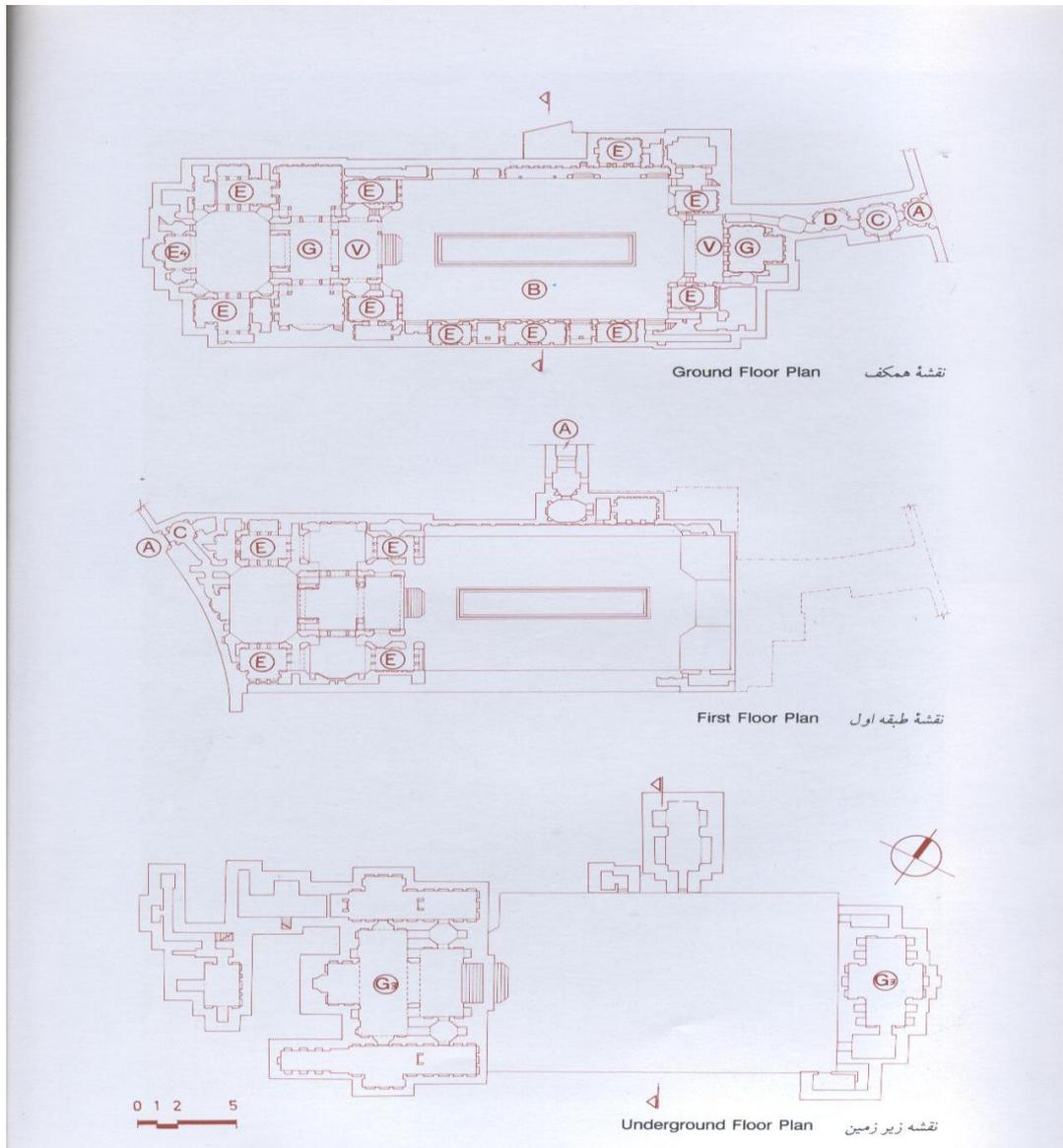


Imagen 7: Vivienda Borugherdi en Kashán (Irán) Fuente: Mansiones of Isfahan - volumen4

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 8: Vivienda Borugherdi en Kashán (Irán). Fuente: Mansiones of Isfahan - volumen4



Imagen 9: Mezquita de Ardestán en Irán.

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 10: Mezquita de Ardestán en Irán.

### 3.2.3. Captación solar pasiva

La energía solar es la fuente principal de energía de climatización en una vivienda bioclimática. Su captación se realiza aprovechando el propio diseño de la vivienda, y sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos. La captación hace uso del llamado efecto invernadero, según el cual la radiación penetra a través de vidrio, calentando los materiales dispuestos detrás de él. El vidrio no deja escapar la radiación infrarroja emitida por estos materiales, por lo que queda confinada de este modo en el recinto interior.

Los materiales, calentados por la energía solar, guardan este calor y lo liberan, posteriormente, atendiendo a un retardo que depende de su inercia térmica. Para un mayor rendimiento, es aconsejable disponer de sistemas de aislamiento móviles (persianas, contraventanas, etc.) que se puedan cerrar por la noche para evitar pérdidas de calor por conducción y convección a través del vidrio.

Kusha Ghoreishi Karimi

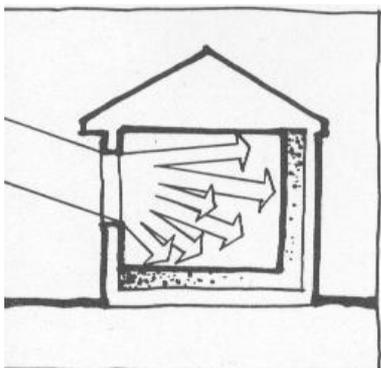


Ilustración 4. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Los sistemas de captación pueden ser definidos por dos parámetros: rendimiento, o fracción de energía realmente aprovechada respecto a la que incide, y retardo, o tiempo que transcurre entre que la energía es almacenada y liberada. Hay varios tipos de sistemas:

- **Sistemas directos.** El sol penetra directamente a través del acristalamiento al interior del recinto. Es importante prever la existencia de masas térmicas de acumulación de calor en los lugares (suelo, paredes) donde incide la radiación. Son los sistemas de mayor rendimiento y de menor retardo.
- **Sistemas semidirectos.** Utilizan un adosado o invernadero como espacio intermedio entre el exterior y el interior. La energía acumulada en este espacio intermedio se hace pasar a voluntad al interior a través de un cerramiento móvil. El espacio intermedio puede utilizarse también, a ciertas horas del día, como espacio habitable. El rendimiento de este sistema es menor que el anterior, mientras que su retardo es mayor.
- **Sistemas indirectos.** La captación la realiza directamente un elemento de almacenamiento dispuesto inmediatamente detrás del cristal (a unos pocos centímetros). El interior de la vivienda se encuentra anexo al mismo. El calor almacenado pasa al interior por conducción, convección y radiación. El elemento de almacenamiento puede ser un paramento de material de alta capacidad calorífica, bidones de agua, lecho de piedras, etc., y puede ser una de las paredes de la habitación, el techo, o el suelo.

Un caso particular es el llamado muro-trombe, en el cual, además, se abren unos registros ajustables en la parte superior y en la inferior para que se cree una transferencia de calor por conducción a voluntad. El rendimiento de estos sistemas es también menor que el del sistema directo, y presentan unos retardos muy grandes.

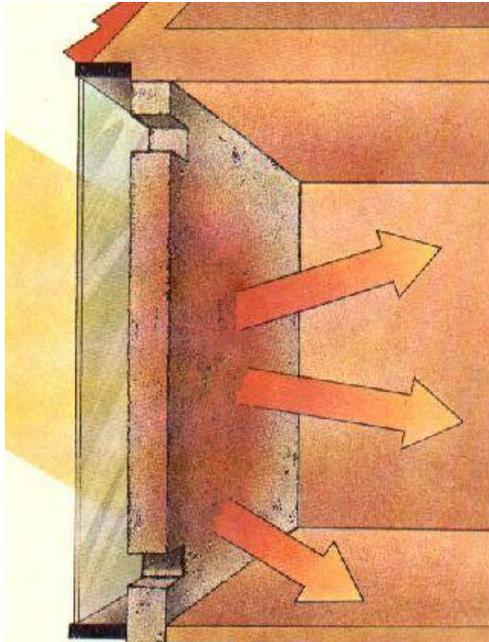


Ilustración 5. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

En el diseño de estos sistemas es importante considerar:

- La existencia de suficiente masa térmica para la acumulación del calor dispuesta en las zonas de incidencia de radiación.
- La existencia de cerramientos móviles para aislamiento
- La orientación, obstáculos y sombreados de los espacios de captación, de tal manera que se maximice la captación de energía en invierno y se minimice la de verano. Lo óptimo en nuestras latitudes es la orientación al sur de los sistemas de captación, o con una desviación de hasta 30°.

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 11: Ejemplo de Muro Trombe en vivienda unifamiliar.



Imagen 12: Ejemplo de captación solar pasiva

### 3.2.4. Aislamiento y masa térmica

La masa térmica provoca un desfase entre los aportes de calor y el incremento de la temperatura. Funciona a distintos niveles. En ciclo diario, durante el invierno, la masa térmica estratégicamente colocada almacena el calor solar durante el día para liberarlo por la noche, y durante el verano, realiza la misma función, sólo que el calor que almacena durante el día es el de la casa (manteniéndola, por tanto, fresca), y lo libera por la noche, evacuándose mediante la ventilación. En ciclo interdiario, la masa térmica es capaz de mantener determinadas condiciones térmicas durante algunos días una vez que estas han cesado: por ejemplo, es capaz de guardar el calor de días soleados de invierno durante algunos días nublados venideros. En ciclo anual, se guarda el calor

Kusha Ghoreishi Karimi

del verano para el invierno y el fresco del invierno para el verano (sólo una ingente masa térmica como el suelo es capaz de realizar algo así).

La vivienda con elevada masa térmica se comporta manteniendo una temperatura sin variaciones bruscas, relativamente estable frente a las condiciones externas. El objetivo es conseguir que, mediante un buen diseño bioclimático, esta temperatura sea agradable. La masa térmica elevada no es aconsejable en viviendas ocasionales (viviendas de fin de semana, por ejemplo), cuyas condiciones de temperatura son irrelevantes excepto en los momentos en que se ocupan, momentos en los que se requiere calentarlas o enfriarlas rápidamente. Rapidez y masa térmica están reñidas, por el desfase del que hablábamos anteriormente.

En general, materiales de construcción pesados pueden actuar como una eficaz masa térmica: los muros, suelos o techos gruesos, de piedra, hormigón o ladrillo, son buenos en este sentido. Colocados estratégicamente para recibir la radiación solar tras un cristal, funcionan fundamentalmente en ciclo diario, pero repartidos adecuadamente por toda la casa, funcionan en ciclo interdiario. Si la casa está enterrada o semienterrada, la masa térmica del suelo ayudará también a la amortiguación de oscilaciones térmicas, en un ciclo largo.

El aislamiento térmico dificulta el paso de calor por conducción del interior al exterior de la vivienda y viceversa. Por ello es eficaz tanto en invierno como en verano. Una forma de conseguirlo es utilizar recubrimientos de materiales muy aislantes, como corcho o lana mineral. No conviene exagerar con este tipo de aislamiento, puesto que existe otra importante causa de pérdida de calor: las infiltraciones. De nada serviría tener una casa "súper aislada" si no se ha cuidado este otro factor (puentes térmicos). De todas maneras, aunque se quieran reducir al máximo las infiltraciones, siempre es necesario un mínimo de ventilación por cuestiones higiénicas, lo que supone un mínimo de pérdidas caloríficas a tener en cuenta. Para hacer eficaz el aislamiento, también es necesario reducir al máximo los puentes térmicos.

En cuanto a la colocación del aislamiento, lo ideal es hacerlo por fuera de la masa térmica, es decir, como recubrimiento exterior de los muros, techos y suelos, de tal manera que la masa térmica actúe como acumulador eficaz en el interior, y bien aislado del exterior. También es importante aislar los acristalamientos. Durante el día actúan eficazmente en la captación de la radiación solar para obtener luz y calor, pero por las noches se convierten en sumideros de calor hacia el exterior por conducción y convección (no por radiación, pues el cristal es opaco al infrarrojo). Un doble acristalado reduce las pérdidas de calor, aunque también reduce algo la

Kusha Ghoreishi Karimi

transparencia frente a la radiación solar durante el día. De cualquier manera, nada tan eficaz como aislamientos móviles (contraventanas, persianas, paneles, cortinas) que se echen durante la noche y se quiten durante el día. En verano, estos elementos pueden impedir durante el día la penetración de la radiación solar.



Imagen 13: Tamnugalt la Kasba (Valle del Dra) Marruecos. Fuente: revista Habitar

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 14: Construcción con adobe



Imagen 15: Construcción con piedra sin mortero en el Salento (Italia) Fuente: AMBROSI, Angelo.

### 3.2.5. Ventilación

En una vivienda bioclimática, la ventilación es importante, y tiene varios usos:

- Renovación del aire, para mantener las condiciones higiénicas. Un mínimo de ventilación es siempre necesario.
- Incrementar el confort térmico en verano, puesto que el movimiento del aire acelera la disipación de calor del cuerpo humano
- Climatización. El aire en movimiento puede llevarse el calor acumulado en muros, techos y suelos por el fenómeno de convección. Para ello, la temperatura del aire debe ser lo más baja posible. Esto es útil especialmente en las noches de verano, cuando el aire es más fresco.
- Infiltraciones. Es el nombre que se le da a la ventilación no deseada. En invierno, pueden suponer una importante pérdida de calor. Es necesario reducirlas al mínimo.

Consideramos diferentes formas de ventilar:

- Ventilación natural. Es la que tiene lugar cuando el viento crea corrientes de aire en la casa, al abrir las ventanas. Para que la ventilación sea lo más eficaz posible, las ventanas deben colocarse en fachadas opuestas (ventilación cruzada), sin obstáculos entre ellas, y en fachadas que sean transversales a la dirección de los vientos dominantes. En días calurosos de verano, es eficaz ventilar durante la noche y cerrar durante el día.
- Ventilación convectiva. Es la que tiene lugar cuando el aire caliente asciende, siendo reemplazado por aire más frío. Durante el día, en una vivienda bioclimática, se pueden crear corrientes de aire aunque no haya viento provocando aperturas en las partes altas de la casa, por donde pueda salir el aire caliente. Si en estas partes altas se coloca algún dispositivo que caliente el aire de forma adicional mediante radiación solar (chimenea solar), el aire saldrá aún con más fuerza. Es importante prever de donde provendrá el aire de sustitución y a qué ritmo debe ventilarse. Una ventilación convectiva que introduzca como aire renovado aire caliente del exterior será poco eficaz. Por eso, el aire de renovación puede provenir, por ejemplo, de un patio fresco, de un sótano, o de tubos enterrados en el suelo. Nunca se debe ventilar a un ritmo demasiado rápido, que consuma el aire fresco de renovación y anule la capacidad que tienen los dispositivos anteriores de

Kusha Ghoreishi Karimi

refrescar el aire. En este caso es necesario frenar el ritmo de renovación o incluso detenerlo, esperando a la noche para ventilar de forma natural.

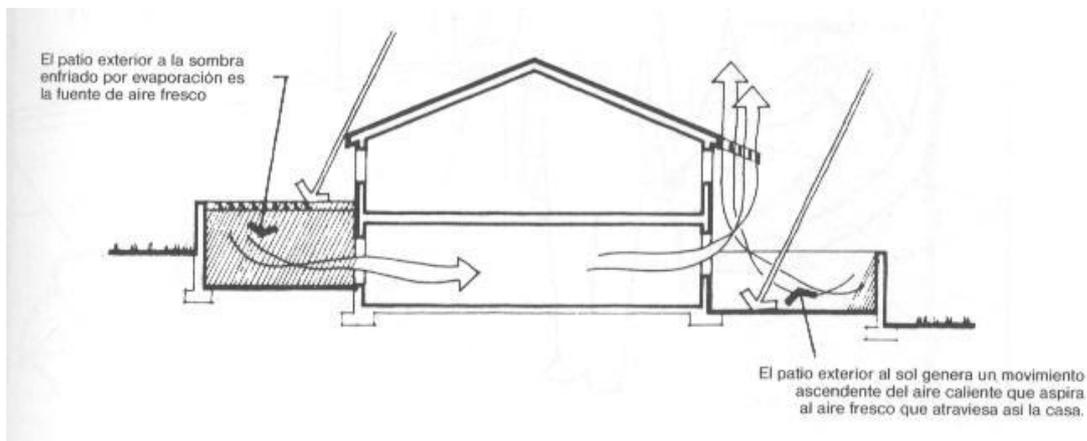


Ilustración 6. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

- Ventilación convectiva en desván. Un porcentaje importante de pérdidas de calor en invierno y ganancias de calor en verano ocurre a través del tejado de la vivienda. Disponer de un espacio tapón entre el último piso de la vivienda y el tejado (un desván) reducirá de forma importante esta transferencia de calor. En verano, se puede hacer que el desván esté autoventilado por convección. Es normal que este lugar se convierta en un horno donde el aire alcance una temperatura mayor que el aire exterior; si se abren registros en su parte alta y en su parte baja, es posible dejar escapar este aire caliente, que será renovado por aire exterior. En invierno, estos registros deben estar cerrados. Es importante diseñar el desván para que esta corriente de aire no sea obstruida.
- Pérdidas por ventilación en invierno. Ya dijimos que, siempre, debemos reducir al mínimo las pérdidas de calor por infiltraciones. Estas serán importantes especialmente en los días ventosos. Sin embargo, un mínimo de ventilación es necesaria para la higiene de la vivienda, especialmente en ciertos espacios. En la cocina, por ejemplo, es necesaria una salida de humos para la cocina, o para el calentador de gas, o registros de seguridad para la instalación de gas, o ventilar para eliminar los olores de la cocina. En el baño también es necesario ventilar por los malos olores. La pérdida de calor se verifica porque el aire viciado que sale es caliente, y el puro que entra es frío. Ciertas estrategias pueden servir para disminuir estas pérdidas, como colocar los espacios necesitados de ventilación en la periferia de la casa, o tener la mayor parte de la instalación de gas en el exterior, o disponer de un electro ventilador para forzar la ventilación sólo cuando sea necesario, etc.

Kusha Ghoreishi Karimi

- Fachada ventilada. En ella existe una delgada cámara de aire abierta en ambos extremos, separada del exterior por una lámina de material. Cuando el sol calienta la lámina exterior, esta calienta a su vez el aire del interior, provocando un movimiento convectivo ascendente que ventila la fachada previniendo un calentamiento excesivo. En invierno, esta cámara de aire, aunque abierta, también ayuda en el aislamiento térmico del edificio.

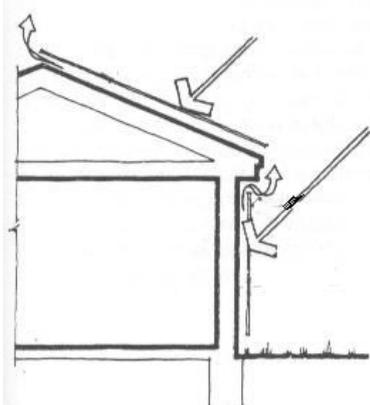


Ilustración 7. Fuente: Manuel Leandro Reguillo



Imagen 16: Torres de captación de viento (Irán)

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 17: Pabellón en los jardines de Yazd (Irán)

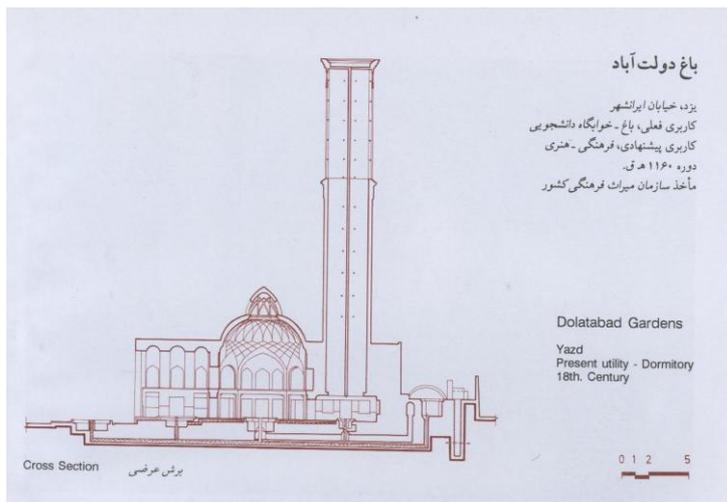


Imagen 18: Pabellón en los jardines de Yazd (Irán). Fuente: Mansiones of Isfahán - volumen4

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 19: Pabellón en los jardines de Yazd (Irán).

Kusha Ghoreishi Karimi

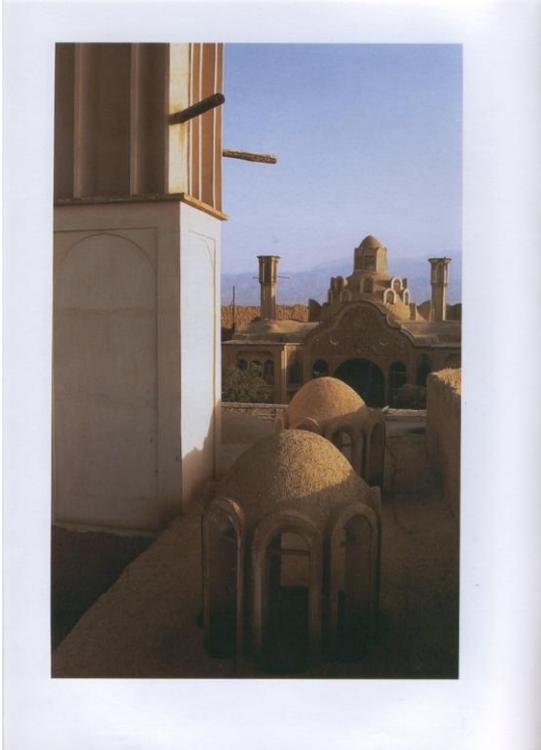


Imagen 20: Vivienda Borugherdi en Kashán (Irán). Fuente: Ganjnameh



Imagen 21: Ventilación cruzada en un mercado de Irán

### 3.2.6. Espacios tapón

Son espacios adosados a la vivienda, de baja utilización, que térmicamente actúan de aislantes o "tapones" entre la vivienda y el exterior. El confort térmico en estos espacios no está asegurado, puesto que, al no formar parte de la vivienda propiamente dicha (el recubrimiento aislante no los incluirá), no disfrutarán de las técnicas adecuadas de climatización, pero como son de baja utilización, tampoco importa mucho. Pueden ser espacios tapón el garaje, el invernadero, el desván... Este último es importante que exista. La colocación adecuada de estos espacios puede acarrear beneficios climáticos para la vivienda.

- El garaje. No importa mucho que en el garaje haga frío o haga calor, a menos que se disponga de un pequeño taller muy frecuentado en el mismo. En este caso, debido a la mayor actividad física por los trabajos propios del taller, no importará que haga algo más frío que en el resto de la casa en invierno, pero sí importará el calor. Cada uno debe evaluar para qué va a utilizar este espacio. Para aprovechar su aislamiento, se puede colocar en la fachada norte (más fría en invierno), o en la fachada oeste (donde el sol del atardecer de verano castiga de forma especial).
- El desván. La tentación de tener un espacio abuhardillado donde estudiar, dormir, etc. es muy fuerte. se aconseja que la buhardilla sea un espacio de baja ocupación (trastero, observatorio, etc.) sin aislamiento (el aislamiento deberá colocarse bajo el suelo de la misma), que funcione como espacio tapón. Habrá unos registros de ventilación en la parte alta y en la parte baja. En invierno los registros estarán cerrados, y la buhardilla disminuirá de forma importante las pérdidas de calor a través del techo. En verano, los registros se abrirán para que la convección forzada (ver Ventilación) refresque este espacio, evitando que se convierta en un horno y protegiendo al resto de la casa del calor del tejado.

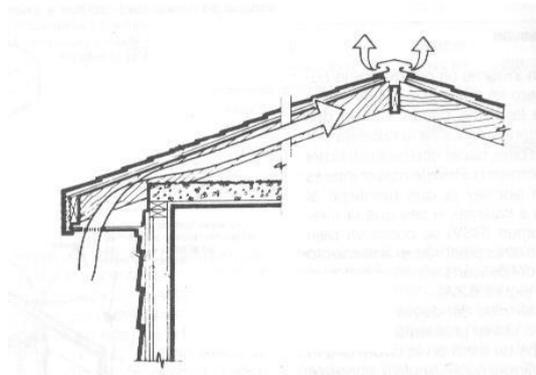


Ilustración 8. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.2.7. Aprovechamiento climático del suelo

La elevada inercia térmica del suelo provoca que las oscilaciones térmicas del exterior se amortigüen cada vez más según la profundidad. A una determinada profundidad, la temperatura permanece constante (es por eso que el aire del interior de las cuevas permanece a una temperatura casi constante e independiente de la temperatura exterior). La temperatura del suelo suele ser tal que es menor que la temperatura exterior en verano, y mayor que la exterior en invierno, con lo que siempre se agradece su influencia. Además de la inercia térmica, una capa de tierra puede actuar como aislante adicional.

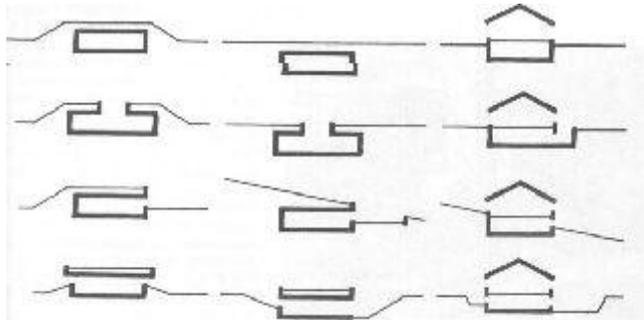


Ilustración 9. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Las cuevas siempre fueron utilizadas como protección frente a las inclemencias del tiempo; los sótanos han sido conocidos siempre por su frescor del verano, pero las dos grandes desventajas del enterramiento, la ausencia de luz y la alta humedad relativa, han hecho que cualquier idea de habitar bajo suelo sea infravalorada. Sin embargo, nuevos diseños pretenden aprovechar los efectos climáticos del suelo sin suponer una merma de iluminación y controlando la humedad.

Kusha Ghoreishi Karimi

Una idea interesante puede ser que ciertas fachadas de la casa estén enterradas o semienterradas. Por ejemplo, si se construye la casa en una pendiente orientada al sur, se puede construir de tal manera que la fachada norte esté parcialmente enterrada, o enterrarla totalmente e incluso echar una capa de tierra sobre el techo (que será plano). La luz entrará por la fachada sur y, si fuera necesario, se pueden abrir claraboyas para la iluminación de las habitaciones más interiores. Para aprovechar la temperatura del suelo, se pueden enterrar tubos de aire (conductos canadienses), de tal manera que este aire acaba teniendo la temperatura del suelo. Se puede introducir en la casa bombeándolo con ventiladores o por convección.

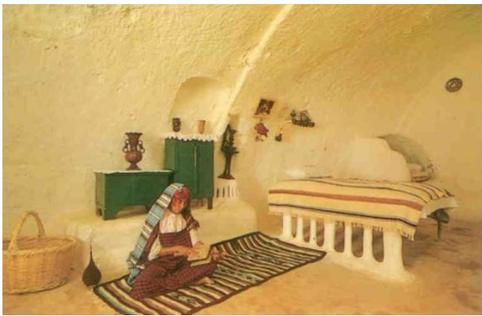


Imagen 22: Arquitectura bajo Tierra.  
Medenine, Tunes



Imagen 23: Cuevas del Sacromonte, Granada



Imagen 24: Construcciones en el desierto, de Matmata Túnez

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 25: Cuevas en el Sacromonte, Granada.

Kusha Ghoreishi Karimi

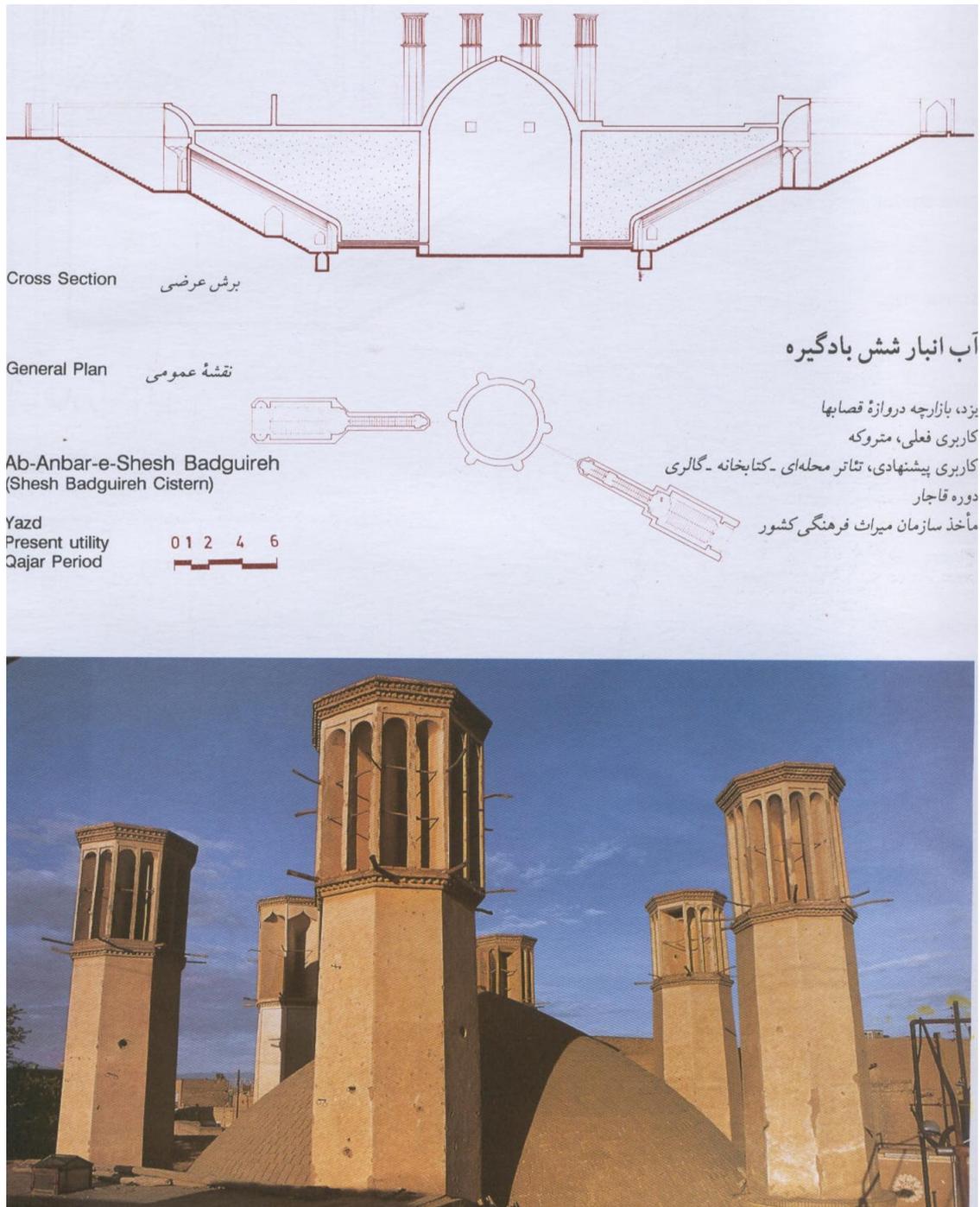


Imagen 26: Aljibe con torres de refrigeración en Yazd (Irán)

### 3.2.8. Protección contra la radiación de verano

Es evidente que en verano hay que reducir las ganancias caloríficas al mínimo. Ciertas técnicas utilizadas para el invierno (aislamiento, espacios tapón) contribuyen con igual eficacia para el verano. Otras técnicas, como la ventilación, ayudan casi exclusivamente en verano. Sin embargo, los sistemas de captación solar pasiva, tan útiles en invierno, son ahora perjudiciales, por cuanto es necesario impedir la penetración de la radiación solar, en vez de captarla.

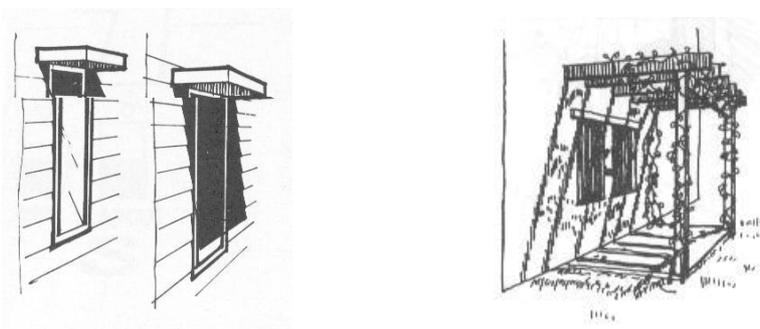


Ilustración 10. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Afortunadamente, en verano el sol está más alto que en invierno, lo cual dificulta su penetración en las cristalerías orientadas al sur. La utilización de un alero o tejadillo sobre la cristalería dificulta aún más la penetración de la radiación directa, afectando poco a la penetración invernal. También el propio comportamiento del vidrio nos beneficia, porque con ángulos de incidencia de la radiación más oblicuos, el coeficiente de transmisión es menor. A pesar de estos beneficios, contamos con tres inconvenientes:

- El solsticio de verano (21 de junio) no coincide exactamente con los días más calurosos del verano (segunda quincena de julio y primera de agosto). Esto significa que, cuando llega el calor fuerte, el sol ya está algo más bajo en el cielo y puede penetrar mejor por la cristalería sur.
- El día tiene mayor duración (hay más horas de sol) y los días son más despejados que en el invierno
- Aunque evitemos la llegada de la radiación directa, hay que considerar también la radiación difusa y reflejada, lo que puede suponer ganancias caloríficas apreciables.

Para resolver este problema, tomamos como ejemplo una vivienda en Cáceres y estimamos distintas soluciones de protección de la radiación solar.

Kusha Ghoreishi Karimi

Se estima que la radiación recibida por una fachada sur en Cáceres es de 2,43 Kwh./m<sup>2</sup> en enero y de 4,56 Kwh./m<sup>2</sup> en Agosto, por término medio. Esto significa que necesitamos dispositivos de sombreado que impidan a esta radiación llegar hasta nuestra cristalera.

- Alero fijo, con unas dimensiones adecuadas que impidan algo la penetración solar en verano y no estorben mucho en invierno.  
Para hacerse una idea, un tejadillo situado a 0,5 m por encima de la cristalera, y con 1,3 m de anchura, en Cáceres, si la cristalera tiene 2 m de alto, hace que la radiación solar incidente sea de 2,24 Kwh./m<sup>2</sup> en enero (8% menor que sin alero) y de 2,71 Kwh./m<sup>2</sup> en agosto (41% menor), en promedio.
- Toldos y otros dispositivos externos, cuya ventaja es que son ajustables a las condiciones requeridas. Un ejemplo serían persianas exteriores. Las persianas enrollables sirven perfectamente para interceptar la radiación.
- Contraventanas. Son más efectivas, pero quizá bloquean demasiado la luz.
- Alero con vegetación de hoja caduca. Debe ser más largo que el alero fijo y con un enrejado que deje penetrar la luz. Tiene la ventaja de que las hojas se caen en invierno, dejando pasar la luz a través del enrejado, mientras que en verano las hojas lo hace opaco. El ciclo vital de las plantas de hoja caduca coincide mejor con el verano real que con el solsticio de verano, con lo que no tenemos el inconveniente que comentábamos con el alero fijo.
- Árboles. Podemos utilizar varias estrategias. Por una parte, cualquier tipo de árbol, colocado cerca de la zona sur de la fachada, refrescará el ambiente por evapotranspiración. Por otra parte, podemos buscar que el árbol sombree la fachada sur e incluso parte del tejado, si es suficientemente alto, pero debemos evitar que su sombra nos afecte en invierno. Para conseguirlo, si el árbol es suficientemente alto y está suficientemente cerca, en invierno, al estar el sol más bajo, la única sombra que se proyectará sobre la fachada sur será la del tronco, mientras que en verano, será la sombra de la copa del árbol la que se proyecte sobre la fachada sur y parte del tejado. Por otra parte, un árbol de hoja caduca nos da mayor flexibilidad en cuanto a su posición relativa respecto de la casa, porque en invierno nunca podrá proyectar la sombra de una copa maciza.

Kusha Ghoreishi Karimi

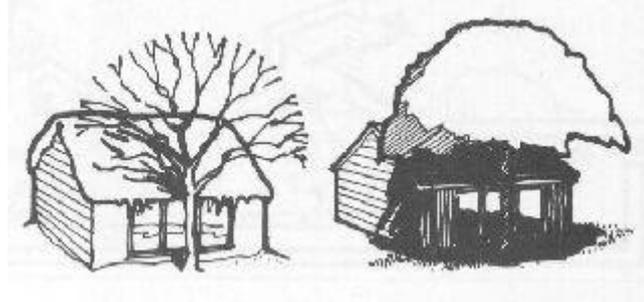


Ilustración 11. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Algunas de las técnicas anteriores son válidas en general para proteger también muros, y no sólo cristalerías, aunque quizá las mejores técnicas en este caso sean el disponer plantas trepadoras sobre los muros y el utilizar colores poco absorbentes de la luz solar (colores claros, especialmente el blanco). Los espacios tapón también protegen eficazmente (desván, garaje).

Las fachadas Este (al amanecer) y Oeste (al atardecer), así como la cubierta (durante todo el día), también están expuestas a una radiación intensa en verano. Se procurará que en estas zonas haya pocas aberturas (ventanas y claraboyas), o que sean pequeñas, puesto que no tienen utilidad para ganancia solar invernal, aunque se las puede necesitar para ventilación o iluminación. Si hay que proteger el muro, se pueden utilizar las técnicas comentadas anteriormente.



Imagen 27: Encalado de paredes en Casares. Málaga Fuente: Puerto de Málaga

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 28: Abyane (Irán)



Imagen 29: Uzbekistán

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 30: Uzbekistán

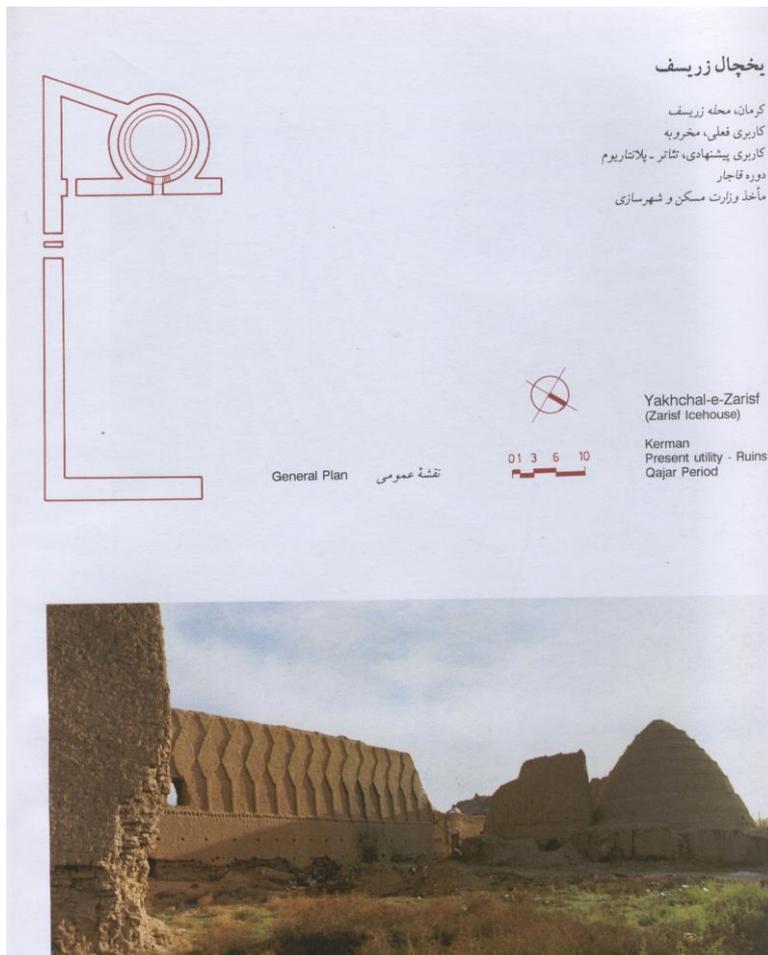


Imagen 31: Fabricación de hielo en Kermán (Irán). Fuente: Ganjnameh

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 32: Vivienda en Nain (Irán)



Imagen 33: Vivienda en Nain (Irán)

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 34: Vivienda en Nain (Irán) Fuente: Mansiones of Isfahán



Imagen 35: Vivienda en Nain (Irán). Fuente: Mansiones of Isfahán

### 3.2.9 Sistemas evaporativos de refrigeración

La evaporación de agua refresca el ambiente. Si utilizamos la energía solar para evaporar agua, paradójicamente estaremos utilizando el calor para refrigerar. Hay que tener en cuenta que la vegetación, durante el día, transpira agua, refrescando también el ambiente. Varias ideas son practicable. En un patio, una fuente refrescará esta zona que, a su vez, puede refrescar las estancias colindantes. El efecto será mejor si hay vegetación. La existencia de vegetación y/o pequeños estanques alrededor de la casa, especialmente en la fachada sur, mejorará también el ambiente en verano. Sin embargo hay que considerar dos cosas: por una parte, un exceso de vegetación puede crear un exceso de humedad que, combinado con el calor, disminuirá la sensación de confort, por otra, en invierno habrá también algo más de humedad. De cualquier manera, en climas calurosos, suele ser conveniente casi siempre el uso de esta técnica.

El riego esporádico alrededor de la casa, o la pulverización de agua sobre fachadas y tejado, también refrescará la casa y el ambiente.

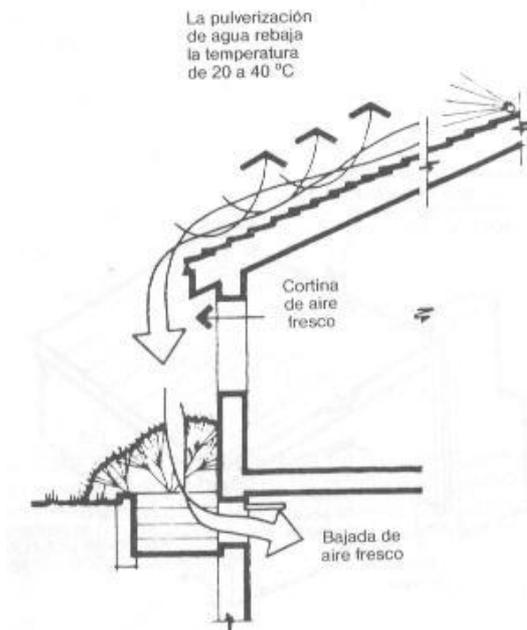


Ilustración 12. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Kusha Ghoreishi Karimi



Imagen 36: Los patios y el uso del agua en la Alhambra, Granada

### 3.3. Conceptos básicos

#### 3.3.1 Trayectoria solar

Siendo el sol la principal fuente energética que afecta al diseño bioclimático, es importante tener una idea de su trayectoria en las distintas estaciones del año.

Como se sabe, la existencia de las estaciones está motivada porque el eje de rotación de la tierra no es siempre perpendicular al plano de su trayectoria de traslación con respecto al sol, sino que forma un ángulo variable dependiendo del momento del año en que nos encontremos.

Sin entrar en detalles técnicos, y particularizando para el hemisferio norte, por encima del trópico de Cáncer (es decir, una situación geográfica en la que está España):

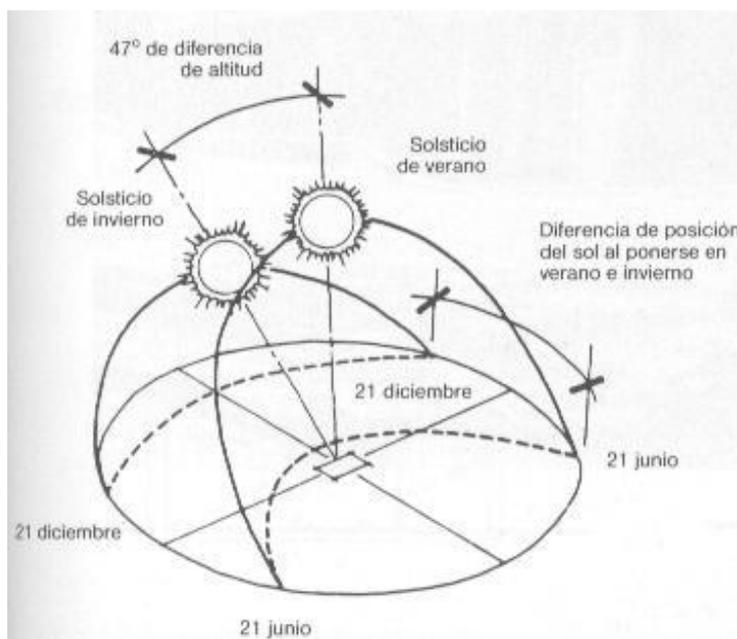


Ilustración 13. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

- Hay sólo dos días del año en los que el eje de rotación es perpendicular al plano de traslación: el equinoccio de primavera (22 de marzo) y el equinoccio de otoño (21 de septiembre). En estos días, el día dura exactamente lo mismo que la noche, y el sol sale exactamente por el este y se pone por el oeste.

Kusha Ghoreishi Karimi

- Después del equinoccio de primavera, los días son cada vez más largos, y el sol alcanza cada vez mayor altura a mediodía. La salida y la puesta de sol se desplazan hacia el norte (es decir, tiende a salir cada vez más por el nordeste y a ponerse por el noroeste). Esta tendencia sigue hasta el solsticio de verano (21 de junio), el día más largo del año, para seguir después la tendencia contraria hasta llegar al equinoccio de otoño.
- Después del equinoccio de otoño, los días son cada vez más cortos, y el sol cada vez está más bajo a mediodía. La salida y la puesta de sol se desplazan hacia el sur (es decir, tiende a salir cada vez más por el sudeste y a ponerse por el sudoeste). Esta tendencia sigue hasta el solsticio de invierno (21 de diciembre), el día más corto del año, para seguir después la tendencia contraria hasta llegar al equinoccio de primavera.

Para hacerse una idea, en una ciudad tal como Cáceres, en los equinoccios, la elevación alcanzada por el sol a mediodía son unos  $50^\circ$  sobre la horizontal. Avanzando hacia el solsticio de verano, el sol cada vez se eleva más, hasta los  $74^\circ$  (nunca llega a estar vertical), y avanzando hacia el solsticio de invierno, el sol cada vez está más bajo, hasta los  $27^\circ$ . En cuanto a la salida y puesta, en el solsticio de invierno, se llegan a desplazar  $31^\circ$  hacia el sur, y en el solsticio de verano  $21^\circ$  hacia el norte.

También hay que tener en cuenta que el horario solar no es el horario oficial. Por ejemplo, en Cáceres, para calcular la hora solar hay que restar a la oficial 2h 25' en verano y 1h 25' en invierno.

Estas trayectorias solares que acabamos de describir tienen una consecuencia clara sobre la radiación recibida por fachadas verticales: en invierno, la fachada sur recibe la mayoría de radiación, gracias a que el sol está bajo, mientras que las otras orientaciones apenas reciben radiación. En verano, en cambio, cuando el sol está más vertical a mediodía, la fachada sur recibe menos radiación directa, mientras que las mañanas y las tardes castigan especialmente a las fachadas este y oeste, respectivamente.

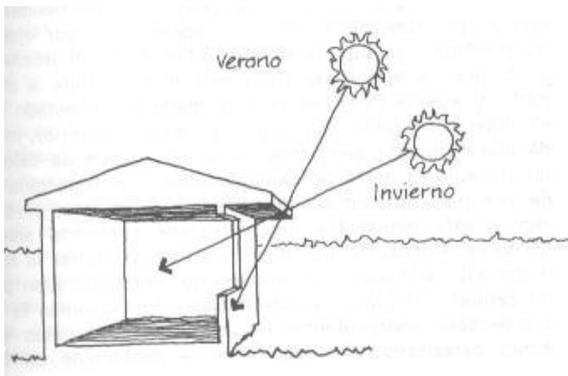


Ilustración 14. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.3.2. Radiación directa, difusa y reflejada

La energía solar incidente en una superficie terrestre se manifiesta de tres maneras diferentes:

- La radiación directa es, como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol.
- La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste.
- La radiación reflejada es, como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben.

Para hacerse una idea, en Cáceres, en un día medio de marzo, la energía directa supone 2,09 Kwh/m<sup>2</sup>, mientras que la energía difusa es 1,91 Kwh/m<sup>2</sup>, es decir, la difusa es un 48% del total, mientras que en un día medio de agosto, la directa supone 6,00 Kwh/m<sup>2</sup>, mientras que la difusa es 2,08 Kwh/m<sup>2</sup>, en este caso, un porcentaje del 25%. Esto se debe a que en agosto está menos nublado que en marzo.

### 3.3.3. Formas de transmisión del calor

Es importante tener presentes los mecanismos de transmisión del calor para comprender el comportamiento térmico de una casa. Microscópicamente, el calor es un estado de agitación molecular que se transmite de unos cuerpos a otros de tres formas diferentes:

Conducción. El calor se transmite a través de la masa del propio cuerpo. La facilidad con que el calor "viaja" a través de un material lo define como conductor o como aislante térmico. Ejemplos de buenos conductores son los metales, y de buenos aislantes, los plásticos, maderas, aire. Este es el fenómeno por el cual las viviendas pierden calor en invierno a través de las paredes, lo que se

Kusha Ghoreishi Karimi

puede reducir colocando un material que sea aislante. El coeficiente de conducción térmica de un material es una medida de su capacidad para conducir el calor.

Convección. Si consideramos un material fluido (en estado líquido o gaseoso), el calor, además de transmitirse a través del material (conducción), puede ser "transportado" por el propio movimiento del fluido. Si el movimiento del fluido se produce de forma natural, por la diferencia de temperaturas (aire caliente sube, aire frío baja), la convección es natural, y si el movimiento lo produce algún otro fenómeno (ventilador, viento), la convección es forzada.

Radiación. Todo material emite radiación electromagnética, cuya intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre. La radiación infrarroja provoca una sensación de calor inmediata (piénsese en una estufa de butano, por ejemplo). El sol nos aporta energía exclusivamente por radiación.

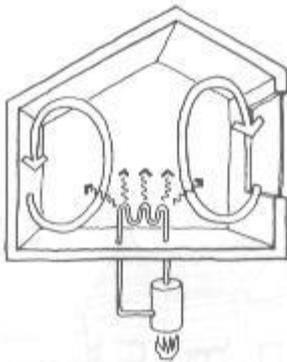


Ilustración 15. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.3.4. Capacidad calorífica e inercia térmica

Si a un cuerpo le aportamos calor, este eleva su temperatura. Si lo hace lentamente decimos que tiene mucha capacidad calorífica, puesto que es capaz de almacenar mucho calor por cada grado centígrado de temperatura. Las diferencias de capacidad calorífica entre el agua y el aceite, por ejemplo, (mayor la primera que el segundo) es lo que hace que, al fuego, el agua tarde más en calentarse que el aceite, pero también que el agua "guarde" más el calor.

Se llama calor específico de un material (en Kcal/Kg°C) a la cantidad de calor que hay que suministrarle a 1 Kg para que eleve su temperatura 1°C.

La capacidad calorífica y el almacenamiento de calor traen aparejados ciertos fenómenos. Por ejemplo: en casa, en invierno, cuando encendemos la estufa al llegar por la tarde, la habitación tarda en alcanzar una temperatura agradable, y cuando la apagamos, por la noche, la temperatura

Kusha Ghoreishi Karimi

de la habitación todavía es buena y no se enfría inmediatamente. Esto ocurre también en las estaciones: en el hemisferio norte, el 21 de abril (equinoccio de primavera) el sol está en la misma posición que el 21 de septiembre (equinoccio de otoño), y sin embargo, las temperaturas son mayores en esta última fecha, por la sencilla razón de que la tierra todavía "guarda" el calor del verano, que irá perdiendo poco a poco. Esta "resistencia" de la temperatura a reaccionar inmediatamente a los aportes de calor es lo que llamamos inercia térmica.

Este es un concepto importante en las viviendas bioclimáticas: si tienen poca inercia térmica, reaccionarán rápidamente a la radiación solar, calentándose pronto durante el día (hablamos del invierno), pero también por la noche se enfrían más rápido: el retardo entre los aportes de calor y la temperatura alcanzada es pequeño. En cambio, en viviendas con gran inercia térmica, la radiación solar no provocará una subida rápida de la temperatura de la casa, porque el calor se está almacenando, y posteriormente se libera lentamente por la noche, por lo que no se producirá una disminución brusca de temperatura; además, las variaciones de temperatura se amortiguan, no alcanzando valores tan extremos.

Entonces, la inercia térmica en una vivienda lleva aparejado dos fenómenos: el de retardo (de la temperatura interior respecto a la temperatura exterior), y el de amortiguación (la variación interior de temperatura no es tan grande como la variación exterior).

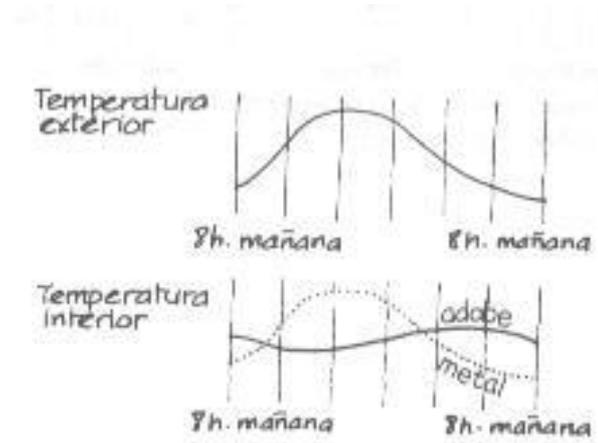


Ilustración 16. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.3.5. Confort térmico

Muchos tenemos la idea intuitiva de que nuestro confort térmico depende fundamentalmente de la temperatura del aire que nos rodea, y nada más lejos de la realidad.

Kusha Ghoreishi Karimi

Podemos decir que nuestro cuerpo se encuentra en una situación de confort térmico cuando el ritmo al que generamos calor es el mismo que el ritmo al que lo perdemos para nuestra temperatura corporal normal. Esto implica que, en balance global, tenemos que perder calor permanentemente para encontrarnos bien, pero al "ritmo" adecuado. Influyen varios factores:

Factores que influyen en el ritmo de generación de calor:

Actividad física y mental. Nuestro cuerpo debe generar calor para mantener nuestra temperatura corporal, pero también es un "subproducto" de nuestra actividad física y mental. Para una situación de reposo, el cuerpo consume unas 70 Kcal / hora, frente a una situación de trabajo, donde se pueden consumir hasta 700 Kcal / h para un ejercicio físico intenso.

Metabolismo. Cada persona tiene su propio metabolismo y necesita sus propios ritmos para evacuar calor.

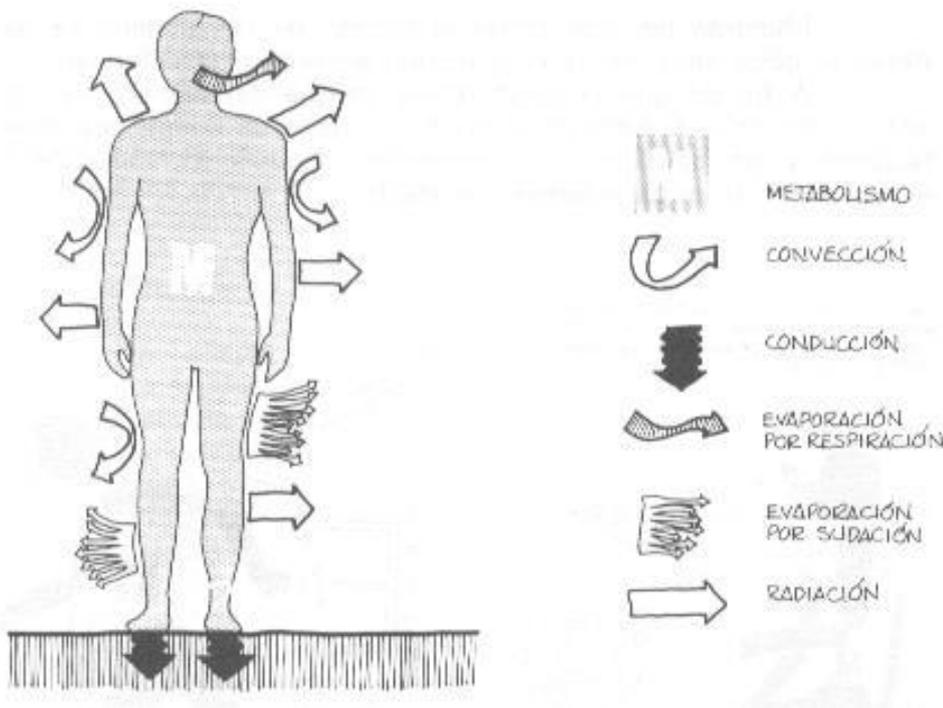


Ilustración 17. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

Factores que influyen en el ritmo de pérdida de calor:

Aislamiento natural del individuo. El tejido adiposo (grasa) y el vello, son "materiales" naturales que aíslan y reducen las pérdidas de calor. La cantidad de cada uno de ellos depende del individuo.

Ropa de abrigo. La ropa de abrigo mantiene una capa de aire entre la superficie de nuestro cuerpo y el tejido que nos aísla térmicamente. Aunque la ropa de abrigo provoca una sensación de calentamiento del organismo, en realidad lo único que hacen es reducir las pérdidas de calor pues,

Kusha Ghoreishi Karimi

evidentemente, no consumen energía ninguna y, por tanto, no producen calor. Como no consumen, es el mecanismo más barato energéticamente hablando para regular la temperatura del cuerpo. En nuestras pretensiones de climatización de la vivienda, debemos considerar esta solución de una manera razonable, es decir, por ejemplo, en invierno, tan exagerado sería climatizar para estar siempre en camiseta (los costes energéticos se disparan), como para estar siempre con abrigo (demasiado incómodo). Es absurdo, más que ser un símbolo de estatus, el pretender tener una casa climatizada donde podamos estar en invierno en manga corta y en verano con jersey.

Temperatura del aire. Es el dato que siempre se maneja pero, como decíamos, no es el fundamental a la hora de alcanzar el confort térmico.

Temperatura de radiación. Es un factor desconocido, pero tan importante como el anterior. Está relacionado con el calor que recibimos por radiación. Podemos estar confortables con una temperatura del aire muy baja si la temperatura de radiación es alta; por ejemplo, un día moderadamente frío de invierno, en el campo, puede ser agradable si estamos recibiendo el calor del sol de mediodía; o puede ser agradable una casa en la cual la temperatura del aire no es muy alta (15°C), pero las paredes están calientes (22°C). Esto es importante, porque suele ocurrir en las casas bioclimáticas, en donde la temperatura del aire suele ser menor que la temperatura de las paredes, suelos y techos, que pueden haber sido calentadas por el sol.

Movimiento del aire. El viento aumenta las pérdidas de calor del organismo, por dos causas: por infiltración, al internarse el aire en las ropas de abrigo y "llevarse" la capa de aire que nos aísla; y por aumentar la evaporación del sudor, que es un mecanismo para eliminar calor (ver más adelante "calor de vaporización").

Humedad del aire. La humedad incide en la capacidad de transpiración que tiene el organismo, mecanismo por el cual se elimina el calor. A mayor humedad, menor transpiración. Por eso es más llevadero un calor seco que un calor húmedo. Un valor cuantitativo importante es la humedad relativa, que es el porcentaje de humedad que tiene el aire respecto al máximo que admitiría. La humedad relativa cambia con la temperatura por la sencilla razón de que la máxima humedad que admite el aire cambia con ella.

### 3.3.6. Efecto invernadero

Es el fenómeno por el cual la radiación entra en un espacio y queda atrapada, calentando, por tanto, ese espacio. Se llama así porque es el efecto que ocurre en un invernadero, que es un espacio cerrado por un acristalado. El vidrio se comporta de una manera curiosa ante la radiación: es transparente a la radiación visible (por eso vemos a través de él), pero opaco ante radiación de mayor longitud de onda (radiación infrarroja). Cuando los rayos del sol entran en un invernadero, la

Kusha Ghoreishi Karimi

radiación es absorbida por los objetos de su interior, que se calientan, emitiendo radiación infrarroja, que no puede escapar pues el vidrio es opaco a la misma.

El efecto invernadero es el fenómeno utilizado en las casas bioclimáticas para captar y mantener el calor del sol.

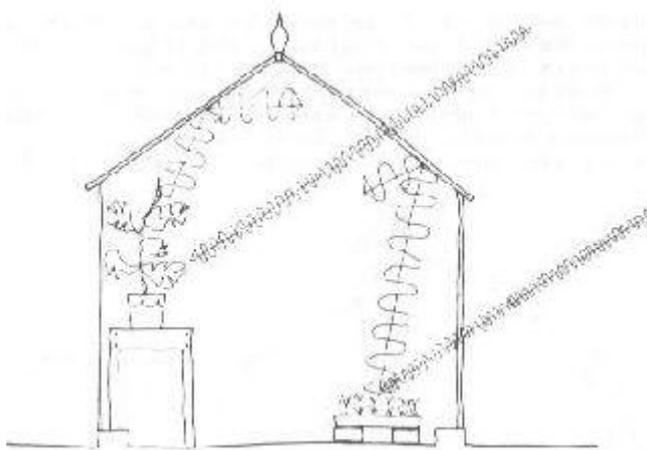


Ilustración 17. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.3.7. Fenómenos convectivos naturales

Como ya dijimos, la convección es un fenómeno por el cual el aire caliente tiende a ascender u el frío a descender. Es posible utilizar la radiación solar para calentar aire de tal manera que, al subir, escape al exterior, teniendo que ser sustituido por aire más frío, lo cual provoca una renovación de aire que se denomina ventilación convectiva. El dispositivo que provoca este fenómeno se denomina chimenea solar.

En un espacio cerrado, el aire caliente tiende a situarse en la parte de arriba, y el frío en la de abajo. Si este espacio es amplio en altura, la diferencia de temperaturas entre la parte alta y la parte baja puede ser apreciable. Este fenómeno se denomina estratificación térmica. Dos habitaciones colocadas a diferentes alturas, pero comunicadas entre sí, participan de este fenómeno, y resultará en que la habitación alta esté siempre más cálida que la baja.

Kusha Ghoreishi Karimi

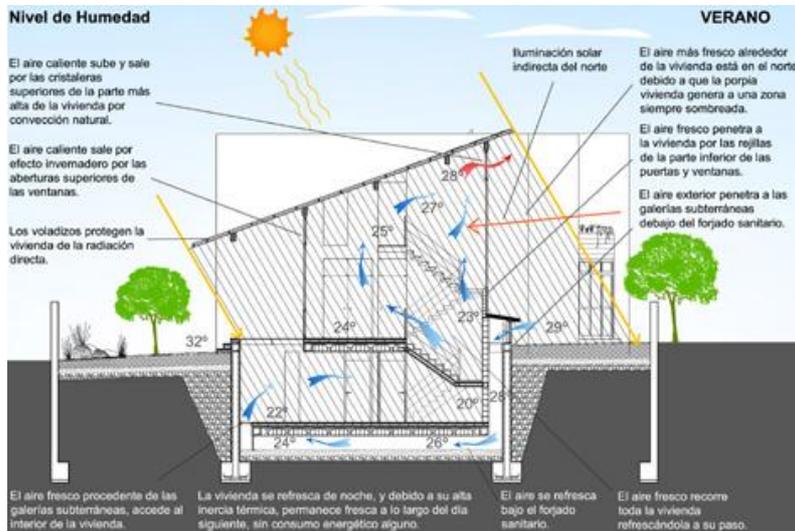


Ilustración 18. Fuente: Construible.es

### 3.3.8. Calor de vaporización

Cuando un cuerpo pasa de estado líquido a gaseoso, necesita absorber una cantidad de calor que se denomina calor de vaporización. Entonces el agua, al evaporarse, necesita calor, que adquiere de su entorno inmediato, enfriándolo. Por eso los lugares donde hay agua están más frescos.

Las plantas están transpirando continuamente, eliminando agua en forma de vapor. Por eso los lugares donde hay plantas están también más frescos.

El agua de un botijo permanece fresca a pesar de que haga calor, gracias a que el barro de que está hecho es permeable al vapor de agua, permitiendo entonces la evaporación de parte del agua interior, que refresca la masa de agua restante.

### 3.3.9. Efecto climático del suelo

El suelo tiene mucha inercia térmica, lo que amortigua y retarda las variaciones de temperatura, entre el día y la noche, e incluso entre estaciones. La amortiguación de temperatura que se produce depende de la profundidad y del tipo de suelo. Para amortiguar las variaciones día - noche el espesor debe ser de 20 - 30 cm, para amortiguar las variaciones entre días de distintas temperaturas, espesor de 80 a 200 cm, y para amortiguar variaciones invierno - verano, espesores de 6 - 12 m.

Kusha Ghoreishi Karimi

Aunque en la práctica no sea factible grandes profundidades en enterramientos de viviendas, si que han surgido proyectos de viviendas semienterradas para tratar de aprovechar esta capacidad de amortiguamiento del suelo.

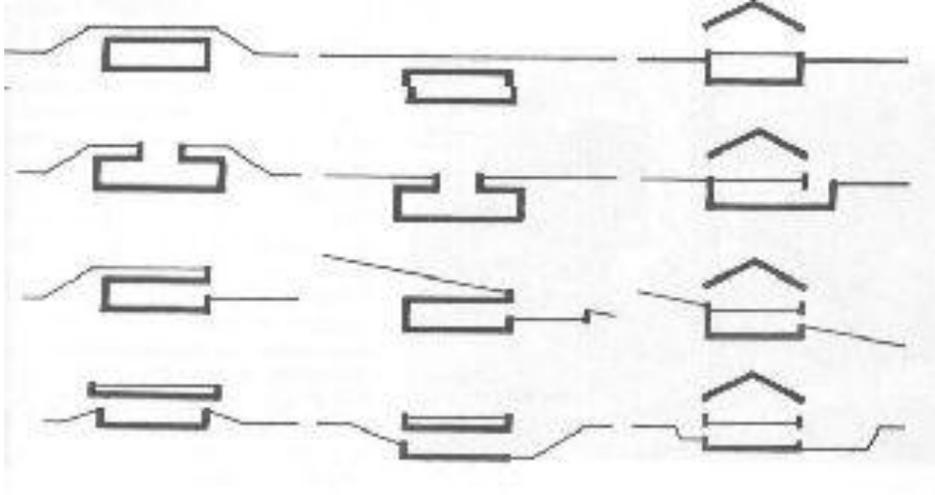


Ilustración 19. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.3.10. Pérdida de calor en viviendas

Ya hemos hablado de los tres mecanismos de transmisión del calor. En una vivienda, los tres funcionan para producir pérdidas de calor. En el interior de la casa, el calor se transmite entre los paramentos (muros, techos, suelos) principalmente por radiación, y entre los paramentos y el aire interior principalmente por convección. El calor "viaja" a través de los paramentos por conducción, hasta alcanzar el exterior de la casa, donde se disipa por convección y radiación. Para reducir las pérdidas de calor, se actúa principalmente sobre el fenómeno de conducción a través de los paramentos, intercalando una capa de material térmicamente aislante.

Hay que cuidar los llamados puentes térmicos, que son lugares de refuerzo o juntas de los paramentos que pueden estar contruidos con materiales diferentes al resto, existiendo por tanto una discontinuidad de la capa aislante. Estos lugares pueden convertirse en vías rápidas de escape del calor.

Sin embargo existe otra causa de pérdida de calor: la ventilación. Para que una casa sea salubre necesita un ritmo adecuado de renovación de aire. Si esta renovación se realiza con el aire exterior, estamos perdiendo aire caliente e introduciendo aire frío. Hay que llegar a un compromiso entre la ventilación que necesitamos y las pérdidas de calor que podemos admitir, a no ser que se "precaliente" el aire exterior de alguna manera.

Kusha Ghoreishi Karimi

Pero aunque reduzcamos la ventilación al mínimo, una baja estanqueidad de la casa puede forzar la ventilación aunque no queramos, especialmente en días ventosos: son las infiltraciones. Por ello, es importante reducir al máximo este fenómeno, cuidando especialmente las juntas de cierre de puertas y ventanas.

Aunque se reduzca la ventilación y las infiltraciones al mínimo, cuando hay viento, la convección forzada, fenómeno del cual ya hablamos, hace que el calor que se transmite del interior al exterior de la casa se disipe mucho más rápidamente en el paramento exterior. La única manera de disminuir este fenómeno es evitando que el viento golpee la casa, bien eligiendo una ubicación donde la casa esté protegida de los vientos dominantes de invierno, bien estableciendo barreras naturales mediante la vegetación.



Ilustración 20. Fuente: Manuel Leandro Reguillo

### 3.3.11. Microclima y ubicación

El comportamiento climático de una casa no solo depende de su diseño, sino que también está influenciado por su ubicación: la existencia de accidentes naturales como montes, ríos, pantanos, vegetación, o artificiales como edificios próximos, etc., crean un microclima que afecta al viento, la humedad, y la radiación solar que recibe la casa.

Kusha Ghoreishi Karimi

Si se ha de construir una casa bioclimática, el primer estudio tiene que dedicarse a las condiciones climáticas de la región y, después, a las condiciones microclimáticas de la ubicación concreta.

### 3.4. Herramientas de diseño.

#### 3.4.1. El diagrama bioclimático

El diagrama bioclimático es una representación tal que cada punto del mismo define unas determinadas condiciones atmosféricas dadas por la temperatura ambiente  $T$  y las condiciones de humedad  $H$ .

Hay dos formas diferentes de observar la humedad:

- Humedad absoluta, dada como la presión parcial de vapor de agua en mm de Hg (mm. de mercurio). Se representa en el eje de ordenadas del diagrama.
- Humedad relativa, dada como el porcentaje de humedad respecto al máximo que admite la atmósfera a esa temperatura. En el diagrama se representa por un conjunto de curvas.

En cuanto a la temperatura, se puede observar de dos maneras diferentes:

- Temperatura seca, que es la temperatura tal como la conocemos habitualmente, medida por un bulbo termométrico seco. Se representa en el eje de abscisas del diagrama.
- Temperatura húmeda, que es la temperatura que tendría un bulbo termométrico permanentemente humedecido. Como la evaporación del agua provoca el enfriamiento del bulbo, la temperatura húmeda es siempre menor que la temperatura seca. En condiciones de atmósfera muy seca, la evaporación es más rápida, por lo que la temperatura húmeda es menor, mientras que en una atmósfera saturada de agua, no es posible la evaporación, y la temperatura húmeda iguala a la temperatura seca. La medida se realiza con viento en calma (pues este aceleraría la evaporación). En el diagrama se representa como un conjunto de curvas.

Kusha Ghoreishi Karimi

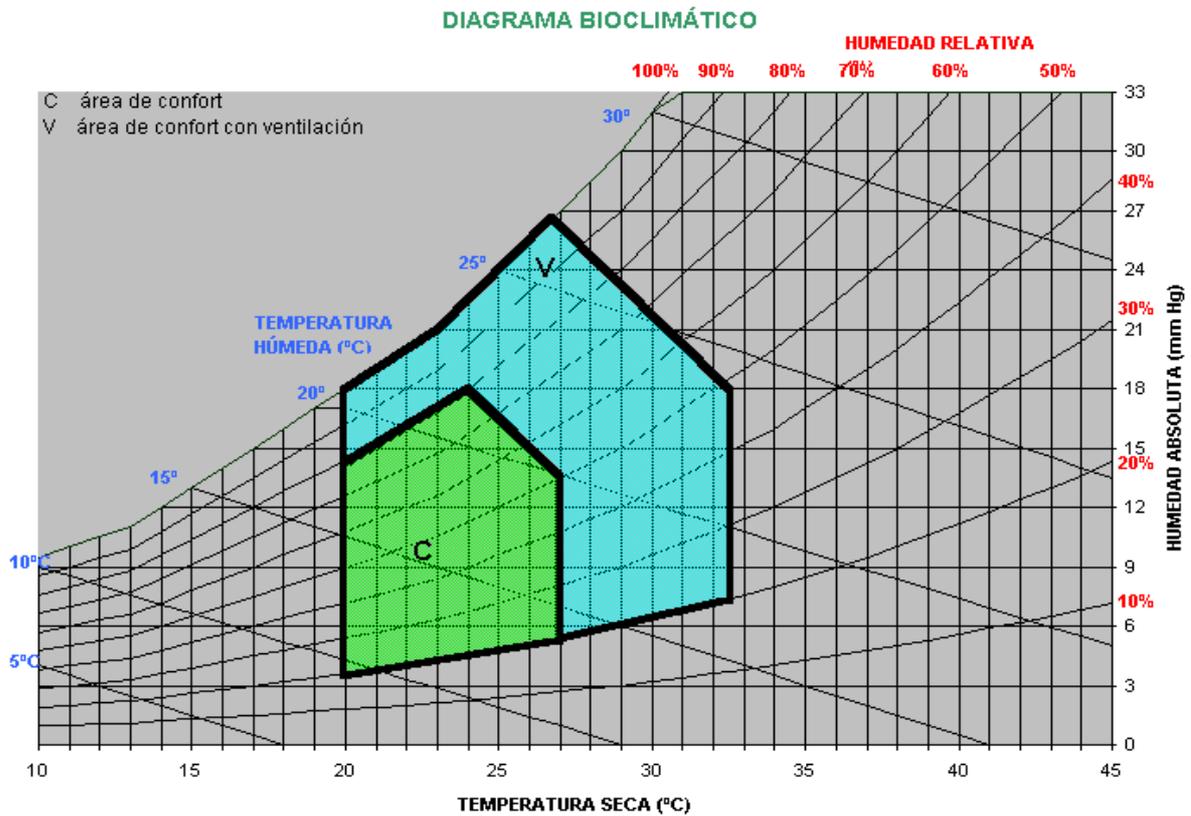


Ilustración 21: aplicación informática diagrama Givoni. Fuente [www.miliarium.com](http://www.miliarium.com)

El área de confort es el conjunto de puntos (T, H) del diagrama en el cual un individuo de metabolismo medio, vestido con ropa ligera de verano, en reposo o realizando una actividad sedentaria, con el aire en reposo y sin recibir radiación solar, se encontraría en condiciones confortables. En el diagrama se puede observar que estas condiciones se dan para temperaturas comprendidas entre 20 y 27°C y humedades relativas entre 20 y 80%, exceptuando el triángulo de temperaturas y humedades más altas (H > 50%, T > 24°C).

El área de confort con ventilación se define de manera igual al área anterior, pero admitiendo que se puede utilizar ventilación. En este caso, como la ventilación provoca una evaporación más rápida del sudor, se pueden tolerar temperaturas y humedades mayores. En el diagrama se puede observar que para una humedad relativa menor al 50%, se pueden llegar hasta temperaturas de 32,5°C, y para temperaturas inferiores a 27°C, se pueden tolerar humedades de hasta casi el 100%.

Es fácil darse cuenta que las áreas de confort están pensadas para los casos de climas cálidos. Hacia la izquierda, y pensando en climas fríos, el área de confort se puede extender hasta los 11-13°C sin más que utilizar prendas de abrigo (ver más adelante el límite de la zona de calefacción).

Kusha Ghoreishi Karimi

Línea climática: Sobre el diagrama representamos las condiciones climáticas del lugar que queremos estudiar para un mes determinado. Necesitamos saber cuatro valores: la media de las temperaturas mínimas diarias ( $T_{min}$ ), la media de las temperaturas máximas diarias ( $T_{max}$ ), la media de la humedad relativa mínima diaria ( $H_{min}$ ), y la media de la humedad relativa máxima diaria ( $H_{max}$ ). Como la humedad relativa aumenta cuando disminuye la temperatura (puesto que el ambiente admite menos humedad absoluta), los pares a representar sobre el diagrama son ( $T_{min}$ ,  $H_{max}$ ) y ( $T_{max}$ ,  $H_{min}$ ), que uniremos por una línea. Definiremos tres puntos importantes en la línea climática: el mínimo (MIN) representado por la tupla ( $T_{min}$ ,  $H_{max}$ ), el máximo (MAX) representado por la tupla ( $T_{max}$ ,  $H_{min}$ ), y el medio (MED) representado por el promedio de los anteriores.

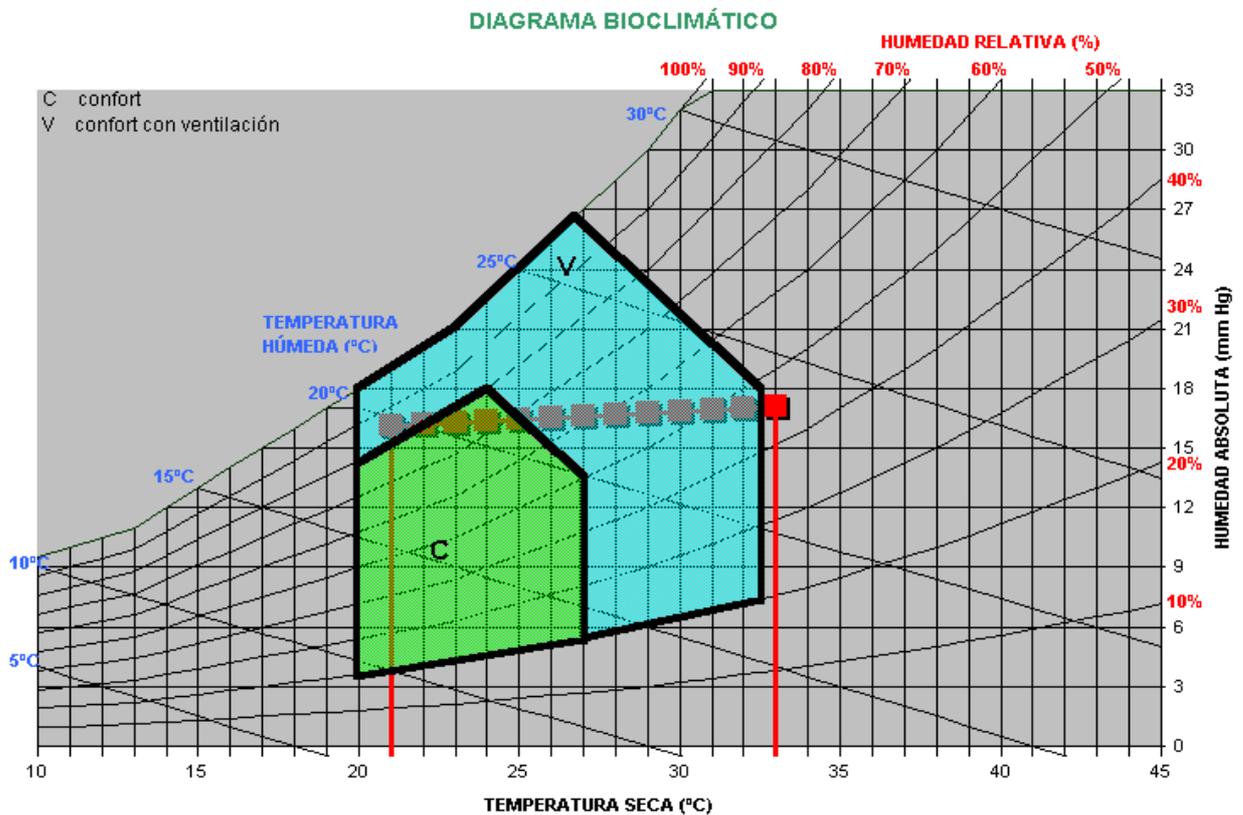


Ilustración 22: aplicación informática diagrama Givoni. Fuente [www.miliarium.com](http://www.miliarium.com)

En el ejemplo anterior, se ha representado las condiciones atmosféricas para Sidi Bou Said (Túnez) en el mes de agosto, dadas por los pares (T, H) siguientes: (21,0°C, 85%) y (33,0°C, 45%). La línea roja representa pues la trayectoria de las condiciones atmosféricas en un día medio del mes. Obsérvese como en este caso concreto la humedad absoluta permanece prácticamente constante

Kusha Ghoreishi Karimi

(en torno a los 16-17 mm Hg), mientras que la humedad relativa sufre un gran cambio al variar la temperatura. En cuanto a la temperatura húmeda, obsérvese como esta varía poco, entre 20 y 24°C. En cuanto al confort en este caso, sólo en determinados momentos del día es posible estar en la zona de confort, aunque con ventilación es posible estar en condiciones confortables la mayor parte del tiempo (la temperatura máxima se sale sólo ligeramente de la zona V).

Si se ha entendido lo anterior estamos ahora en condiciones de presentar el diagrama bioclimático completo, igual que el anterior, pero donde añadimos nuevas zonas que explicamos a continuación.

- Zona de fuerte inercia térmica (I). Una vivienda con fuerte inercia térmica es capaz de promediar en su interior las temperaturas extremas del exterior. Por ello, si la temperatura media de nuestra línea climática (MED) cae dentro de la zona de confort, y MAX está dentro de la zona I, en principio es posible obtener confort permanente en el interior de una vivienda de estas características. Para que esta técnica sea válida, debemos evitar las ganancias por radiación solar, sobre todo por el tejado (tejado sombreado), y a través de las ventanas.
- Zona de fuerte inercia térmica con ventilación nocturna (IVN). Cuando MED no cae dentro de la zona de confort, pero sí MIN, y MAX está dentro de la zona IVN, es posible obtener confort en una vivienda de fuerte inercia térmica, protegida adecuadamente de la radiación solar, y si realizamos una eficaz ventilación nocturna (para lo cual la casa debe estar bien diseñada para captar las brisas, y debe haber amplias superficies de contacto que permitan perder calor).

Kusha Ghoreishi Karimi

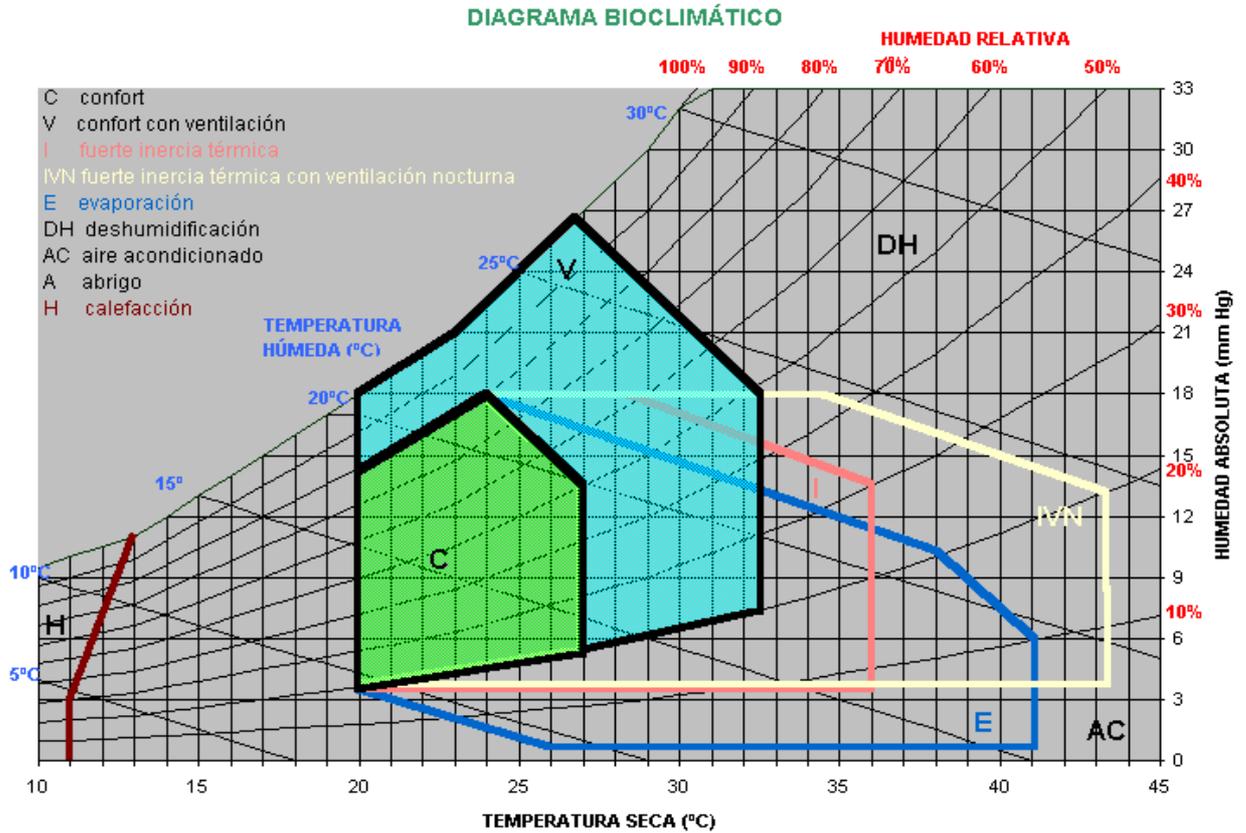


Ilustración 23: aplicación informática diagrama Givoni. Fuente [www.miliarium.com](http://www.miliarium.com)

- Zona de refrigeración por evaporación (E). En los puntos de la línea climática que estén dentro de esta zona, es posible obtener confort térmico utilizando la técnica de refrigeración por evaporación. Consiste en humidificar el aire exterior haciéndolo pasar a través de un material poroso (tela) permanentemente humedecido. Este aire se introduce en la casa mezclándolo en la proporción adecuada con el aire interior para obtener confort. Es una técnica tradicional utilizada en climas desérticos que no precisa obligatoriamente de aparatos mecánicos.
- Zona de deshumidificación (DH). En los puntos de la línea climática que están en esta zona, es necesario una climatización artificial de enfriamiento con deshumidificación del aire.
- Zona de aire acondicionado (AC). En los puntos de la línea climática que están en esta zona, es necesario una climatización artificial de enfriamiento del aire.

Kusha Ghoreishi Karimi

- Zona de calefacción (H). En los puntos de la línea climática que están en esta zona, es necesario el uso de calefacción o utilizar captación solar pasiva. Si consideramos un edificio con fuerte inercia térmica, nos fijaremos en la media de la línea climática, MED. Si este está en la zona H, entonces será necesario utilizar calefacción o captación solar pasiva.

En esta hoja de cálculo puedes encontrar el diagrama bioclimático y procesos automatizados para aconsejar sobre las técnicas que se pueden utilizar según las condiciones climáticas de un determinado lugar.

**Nota sobre imágenes del módulo Construcción sostenible:**

Todas las imágenes e ilustraciones del módulo son propiedad del autor, de sus trabajos personales, fotografías de viajes, postales, etc.... El resto de imágenes son recopiladas de organismos oficiales públicos, y de autores que se citan como fuentes.

## 4. Bibliografía.

NEILA GONZALEZ, F. Javier. *Arquitectura Bioclimática*. Ed. Munilla-Lería.

YAÑEZ PARAREDA, Guillermo. *Arquitectura solar e iluminación natural*. Ed. Munilla-Lería

VAN LENGEN, Johan. *Manual del arquitecto descalzo*. Ed. Troquel

LEANDRO REGUILLO, Manuel. *Arquitectura Bioclimática* ([www.geocities.com/mleandror](http://www.geocities.com/mleandror))

AMBROSI, Angelo. *Architettura in Pietra a Secco*. Editore: SCHENA: 1990/09

GANJNAMEH. *Cyclopaedia of Iranian Architecture*

MANSIONES OF ISFAHAN - volumenº4 *Documentation and Research Centre Iran*- Edit by :Faculty of Architecture and urban planning

[www.davidhammerstein.org](http://www.davidhammerstein.org)

[www.terra.org](http://www.terra.org)

[www.ecohomescr.com](http://www.ecohomescr.com)

[www.ecohabitar.com](http://www.ecohabitar.com)

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

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

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

[www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)

[www.cener.com](http://www.cener.com)

[www.sostenibilidadyarquitectura.com](http://www.sostenibilidadyarquitectura.com)