



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **TESIS DOCTORAL**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA,  
EDIFICACIÓN, URBANÍSTICA Y PAISAJE**

**DESARROLLO DEL DISEÑO CONSTRUCTIVO EN  
LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE.  
APORTACIONES DE LA  
ARQUITECTURA TRADICIONAL**

**Autor**

**Francisco Valero Roger**

**Director de Tesis**

**Dr. Javier Benlloch Marco**

**Valencia, Febrero de 2015**



*A mi mujer, Rosa  
y a mis hijos, Melania y Christian*



## **Agradecimientos**

Al finalizar un trabajo complejo y laborioso como es la redacción de una tesis doctoral, es cuando una persona se da cuenta del esfuerzo que ha supuesto materializar un proyecto de gran trascendencia académica y personal. Es en este momento cuando empezamos a recordar todos los sacrificios por los que hemos tenido que pasar, pero que al final han tenido su recompensa.

Quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Politécnica de Valencia que a través de su biblioteca central y de Ingeniería de la Edificación, me ha permitido consultar su amplia bibliografía para el desarrollo de la presente investigación.

He de expresar mi especial agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Javier Benlloch Marco, por su gran generosidad y dedicación mostrada en todo momento. Gracias a su asesoramiento y orientación he podido aprender acerca del rigor científico, tan importante en este tipo de proyectos.

Finalmente agradecer en particular a mi mujer, Rosa, y a mis hijos, Melania y Christian, por su cariño y comprensión por el tiempo robado, y que no he podido compartir con ellos.

Muchas gracias.



# DESARROLLO DEL DISEÑO CONSTRUCTIVO EN LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE. APORTACIONES DE LA ARQUITECTURA TRADICIONAL

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal definir las estrategias bioclimáticas responsables del diseño constructivo en la arquitectura sostenible, a partir de diferentes soluciones constructivas procedentes de la arquitectura tradicional y que sobreviven actualmente. Para ello, en primer lugar se realiza un estudio previo y amplio de la arquitectura tradicional, de su respuesta ante el medio en el que se desarrolla, partiendo de tres parámetros básicos: el lugar, el clima y el material predominante.

Estos parámetros siempre presentes, han condicionado durante siglos la forma de construir del hombre, estando obligado a desarrollar diferentes tipologías constructivas que le permitieran alcanzar unas condiciones de confort adecuadas, aunque no se correspondan con las actuales.

A través del estudio de la arquitectura tradicional se describen las construcciones más representativas dentro de cada una de las zonas climáticas de la tierra, analizando qué factores han llevado al hombre a adoptar diferentes respuestas a la hora de construir.

Una vez finalizado dicho estudio, se procede a identificar el amplio abanico de soluciones constructivas que definen cada una de las estrategias bioclimáticas de la arquitectura tradicional. A partir de dicho análisis, se determinan qué soluciones constructivas se incorporan actualmente en el diseño de la arquitectura sostenible, teniendo en cuenta que hablamos de una combinación de conceptos y criterios tradicionales con técnicas y materiales actuales.

Para concluir, indicar que la investigación pretende confirmar que podemos construir de forma sostenible, reconociendo y valorando el trabajo y la experiencia acumulada durante siglos por el hombre, ya que quizás hasta ahora, no parece que hayamos tenido muy en cuenta sus aportaciones. Aunque siempre hemos podido contar con ellas, no se incluyen en el planteamiento de la mayor parte de los proyectos actuales.

**Palabras clave:** arquitectura tradicional, arquitectura sostenible, clima, ambiental, diseño.

# DESENROTLLAMENT DEL DISSENY CONSTRUCTIU EN L'ARQUITECTURA SOSTENIBLE. APORTACIONS DE L'ARQUITECTURA TRADICIONAL

## Resum

La present investigació té com a objectiu principal definir les estratègies bioclimàtiques responsables del disseny constructiu en l'arquitectura sostenible, a partir de diferents solucions constructives procedents de l'arquitectura tradicional i que sobreviuen actualment. Per a això, en primer lloc es realitza un estudi previ i ampli de l'arquitectura tradicional, de la seua resposta davant del mig en què es desenrotlla, partint de tres paràmetres bàsics: el lloc, el clima i el material predominant.

Estos paràmetres sempre presents, han condicionat durant segles la forma de construir de l'home, estant obligat a desenrotllar diferents tipologies constructives que li permeteren aconseguir unes condicions de confort adequades, encara que no es corresponguen amb les actuals.

A través de l'estudi de l'arquitectura tradicional es descriuen les construccions més representatives dins de cada una de les zones climàtiques de la terra, analitzant quins factors han portat a l'home a adoptar diferents respostes a l'hora de construir.

Una vegada finalitzat el dit estudi, es procedix a identificar l'ampli ventall de solucions constructives que definixen cada una de les estratègies bioclimàtiques de l'arquitectura tradicional. A partir del dit anàlisi, es determinen quines solucions constructives s'incorporen actualment en el disseny de l'arquitectura sostenible, tenint en compte que parlem d'una combinació de conceptes i criteris tradicionals amb tècniques i materials actuals.

Per a concloure, indicar que la investigació pretén confirmar que podem construir de forma sostenible, reconeixent i valorant el treball i l'experiència acumulada durant segles per l'home, ja que potser fins ara, no pareix que hàgem tingut molt en compte les seues aportacions. Encara que sempre hem pogut comptar amb elles, no s'inclouen en el plantejament de la major part dels projectes actuals.

**Paraules clau:** arquitectura tradicional, arquitectura sostenible, clima, ambiental, disseny.



# DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE DESIGN IN SUSTAINABLE ARCHITECTURE. CONTRIBUTIONS OF TRADITIONAL ARCHITECTURE

## Summary

The present investigation has as main target to define the bioclimatic strategies responsible for the constructive design in the sustainable architecture, from different constructive solutions coming from the traditional architecture and that survive at the moment. For that reason, a wide and initial study of the traditional architecture has been carried, contemplating its response to the environment in which it has been developed, starting off of three basic parameters: the place, the climate and the predominant material.

These always present parameters, have conditioned during centuries the form of building of the Man, as we have being forced to develop different constructive typologies that will allow us to achieve adequate comfort conditions, although they do not correspond with the current ones.

Through the study of traditional architecture most of representative constructions are described within each of the climatic zones of the Earth, analyzing what factors have led man to adopt different responses when constructing.

Once the study is completed, an identification is need to determine the wide range of constructive solutions that define each one of the bioclimatic strategies of the traditional architecture. From this analysis, it is determined what constructive solutions are currently incorporated into the design of a sustainable architecture, taking into account that we are talking about a combination of concepts and traditional criteria with modern techniques and materials.

To conclude, it is important to stress out that this investigation pretends to confirm that we can build in a sustainable way, recognising and valuing the work and the experience accumulated during centuries by the Humanity, it does not seem until now that we have taken into account its contributions. Although we have always been able to count on them, yet they are not included in the approach of most of the current projects.

**Keywords:** traditional architecture, sustainable architecture, climate, environmental, design.



*“La filosofía y el conocimiento de los constructores anónimos es la mayor fuente no aprovechada de la inspiración arquitectónica del hombre industrial”*

*Bernard Rudofsky (1964)*





## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivos .....	5
1.3 Metodología .....	6
1.4 Estructura de la tesis .....	8
CAPÍTULO II - ESTADO DEL ARTE.....	13
CAPÍTULO III - ARQUITECTURA TRADICIONAL.....	21
3.1 Características de la arquitectura tradicional .....	21
3.2 La arquitectura tradicional como ejemplo de sostenibilidad .....	23
3.3 Estrategias de la arquitectura tradicional para una sostenibilidad futura.....	25
3.3.1 Ártico .....	29
3.3.2 Tundra / taiga.....	33
3.3.3 Alta montaña.....	40
3.3.4 Clima continental .....	48
3.3.5 Clima marítimo.....	60
3.3.6 Clima mediterráneo.....	68
3.3.7 Clima subtropical .....	88
3.3.8 Selva.....	98
3.3.9 Sabana .....	115
3.3.10 Estepa .....	122
3.3.11 Desierto .....	133
3.4 Estrategias bioclimáticas. Soluciones constructivas .....	149
3.4.1 Utilización de materiales autóctonos .....	150
3.4.2 Protección solar .....	155
3.4.3 Captación solar.....	172
3.4.4 Protección de la lluvia/nieve.....	178
3.4.5 Protección de la humedad .....	196
3.4.6 Protección del viento.....	202
3.4.7 Ventilación cruzada/Autoventilación.....	209
3.4.8 Aislamiento térmico.....	224
3.4.9 Inercia térmica .....	235



3.4.10 Microclima.....	243
3.4.11 Enfriamiento evaporativo .....	244
3.4.12 Iluminación interior .....	246
3.4.13 Producción de calor .....	248
3.4.14 Forma adaptada al terreno.....	252
3.4.15 Forma integrada en una estructura urbana singular.....	255
3.4.16 Aprovechamiento de energías renovables .....	255
3.4.17 Transportabilidad .....	256
CAPÍTULO IV - ARQUITECTURA SOSTENIBLE .....	259
4.1 Introducción.....	259
4.2 El impacto ambiental en la actualidad. El cambio climático .....	260
4.3 Características de la arquitectura sostenible .....	267
4.3.1 Criterios generales de sostenibilidad.....	269
4.3.2 Elección de los materiales .....	295
4.4 Estrategias bioclimáticas en la arquitectura sostenible.....	334
4.4.1 Protección solar .....	335
4.4.2 Captación solar.....	361
4.4.3 Protección de la lluvia y de la humedad .....	377
4.4.4 Ventilación natural .....	388
4.4.5 Aislamiento térmico.....	420
4.4.6 Inercia térmica .....	445
4.4.7 Iluminación natural.....	455
4.4.8 Producción de calor .....	467
4.4.9 Transportabilidad .....	468
CONCLUSIONES .....	469
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	496
BIBLIOGRAFÍA.....	499



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas climáticas de la tierra .....	28
Figura 2: Ártico. Clima polar.....	29
Figura 3: Iglú.....	30
Figura 4: Estrategias de la arquitectura tradicional en el Ártico (clima polar) .....	32
Figura 5: Distribución de la tundra .....	33
Figura 6: Distribución de la taiga.....	34
Figura 7: Técnica de construcción en Thule.....	35
Figura 8: Vivienda excavada.....	35
Figura 9: Restos de asentamientos y esqueletos de ballena (Península de Chukchi) .....	36
Figura 10: Armazón de sauce de una yurta .....	37
Figura 11: Cobertura de una yurta .....	38
Figura 12: Estrategias de la arquitectura tradicional en la tundra/taiga (clima ártico) .....	39
Figura 13: Clima de alta montaña .....	40
Figura 14: Vivienda de piedra del valle Verzasca (Suiza) .....	42
Figura 15: Quesería Rundumkaser en los Alpes.....	43
Figura 16: La palloza .....	43
Figura 17: Graneros en Niedergrächen (Suiza).....	45
Figura 18: Estrategias de la arquitectura tradicional en alta montaña (tabla-1) .....	46
Figura 19: Estrategias de la arquitectura tradicional en alta montaña (tabla-2) .....	47
Figura 20: Clima continental .....	48
Figura 21: Vivienda campesina tradicional rusa “Izba”.....	49
Figura 22: Utilización del horno ruso.....	50
Figura 23: Horno ruso. Vivienda campesina “Izba” .....	51
Figura 24: Vivienda con entramado de madera.....	52
Figura 25: Entramado con tejido de ramas entrelazadas y barro, y relleno con ladrillo ....	53
Figura 26: Viviendas enterradas. Tunghwan (derecha). Luoyang (izquierda). China .....	55
Figura 27: Acceso a una vivienda enterrada mediante rampa.....	56
Figura 28: Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima continental (tabla-1).....	57
Figura 29: Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima continental (tabla-2).....	58
Figura 30: Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima continental (tabla-3).....	59
Figura 31: Clima marítimo.....	60



Figura 32: Vivienda tradicional en el norte de Inglaterra .....	61
Figura 33: Vivienda tradicional en Donegal (Irlanda).....	62
Figura 34: Efecto invernadero .....	64
Figura 35: Típicas galerías acristaladas en la Coruña.....	64
Figura 36: Casa georgiana (Inglaterra) .....	65
Figura 37: Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima marítimo (tabla-1) .....	66
Figura 38: Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima marítimo (tabla-2) .....	67
Figura 39: Clima mediterráneo.....	68
Figura 40: Trullo de Alberobello .....	70
Figura 41: Interior de un trullo .....	71
Figura 42: Sección tipo de un trullo.....	72
Figura 43: Vivienda en Estambul (Turquía). Construida en 1910 .....	73
Figura 44: Valverde de la Vera (Cáceres).....	74
Figura 45: Soportales. Plaza Mayor (Sagunto).....	75
Figura 46: Persianas de cuerda en balcones. Plaza Mayor (Sagunto) .....	76
Figura 47: Calle de Malta.....	77
Figura 48: Casas-cueva en la isla de Santorini (Grecia) .....	80
Figura 49: Casa-cueva actual. Isla de Santorini (Grecia) .....	80
Figura 50: Carta bioclimática de Givoni para dos ambientes.....	82
Figura 51: Cocina (casa-cueva). Isla de Santorini.....	83
Figura 52: Diferencias en el diseño constructivo. Vivienda enterrada y casa-cueva.....	84
Figura 53: Estrategias de la arquitectura tradicional mediterránea (tabla-1).....	85
Figura 54: Estrategias de la arquitectura tradicional mediterránea (tabla-2).....	86
Figura 55: Estrategias de la arquitectura tradicional mediterránea (tabla-3).....	87
Figura 56: Clima subtropical .....	89
Figura 57: Interior de una vivienda japonesa .....	91
Figura 58: Entrada a una casa japonesa.....	91
Figura 59: Cerramiento de arcilla con estructura de madera y bambú .....	92
Figura 60: Casas típicas de Nueva Orleans.....	93
Figura 61: Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá).....	95
Figura 62: Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá).....	95
Figura 63: Estrategias de la arquitectura tradicional subtropical (tabla-1) .....	96
Figura 64: Estrategias de la arquitectura tradicional subtropical (tabla-2) .....	97
Figura 65: Selva.....	98





Figura 66: Palafito con paredes de palma.....	100
Figura 67: Palafito con ausencia de paredes .....	101
Figura 68: Esquemas estrategias bioclimáticas “palafito”.....	102
Figura 69: Vivienda compuesta de dos palafitos: casa (izda.) y cocina-fogón (dcha.)....	103
Figura 70: Casa Maya.....	105
Figura 71: Casa maya con albarrada .....	107
Figura 72: Casa tradicional de Sumatra (Indonesia) .....	109
Figura 73: Plano de sección. Vivienda tradicional en Sumatra (Indonesia) .....	109
Figura 74: Poblado de Tana Toraja (Indonesia).....	110
Figura 75: Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-1) .....	111
Figura 76: Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-2) .....	112
Figura 77: Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-3) .....	113
Figura 78: Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-4) .....	114
Figura 79: Sabana .....	116
Figura 80: Casas de los Mousgoum (Camerún).....	117
Figura 81: Vivienda Sihanakas (Madagascar).....	117
Figura 82: Maloca Indígena. Vista interior.....	118
Figura 83: Maloca Indígena. Vista exterior.....	119
Figura 84: Maloca Indígena. Vista interior de los muros.....	119
Figura 85: Estrategias de la arquitectura tradicional en la sabana (tabla-1) .....	120
Figura 86: Estrategias de la arquitectura tradicional en la sabana (tabla-2) .....	121
Figura 87: Estepa .....	123
Figura 88: Mapa de localización Bagdad (Irak) .....	124
Figura 89: La casa de Bagdad .....	125
Figura 90: Bagdir .....	126
Figura 91: Ventanas. Casa de Bagdad .....	128
Figura 92: Torres eólicas en Hyderabad (Pakistán) .....	129
Figura 93: Esquema de torre de ventilación separada de la vivienda.....	130
Figura 94: Estrategias de la arquitectura tradicional en la estepa (tabla-1) .....	131
Figura 95: Estrategias de la arquitectura tradicional en la estepa (tabla-2) .....	132
Figura 96: Desierto .....	133
Figura 97: Mapa de localización. Shibam (Yemen) .....	135
Figura 98: Las casas torre del Yemen .....	136
Figura 99: Secciones de los muros.....	137



Figura 100: Secciones de la casa torre.....	138
Figura 101: Calle de Shibam (Yemen).....	139
Figura 102: Calles estrechas. Bazar marroquí.....	139
Figura 103: Edificio de barro en Djenné.....	140
Figura 104: Ubicación geográfica de los tuareg.....	142
Figura 105: Vivienda de los Tuareg en el desierto del Sahara.....	143
Figura 106: Ubicación geográfica de los Qashgai.....	144
Figura 107: Tienda de los Qashgai (Irán).....	145
Figura 108: Estrategias de la arquitectura tradicional en el desierto (tabla-1).....	146
Figura 109: Estrategias de la arquitectura tradicional en el desierto (tabla-2).....	147
Figura 110: Estrategias de la arquitectura tradicional en el desierto (tabla-3).....	148
Figura 111: Estrategia bioclimática: utilización de materiales autóctonos.....	151
Figura 112: (1) Trullo de Alberovello. (2) Vivienda en Djenné.....	155
Figura 113: Persianas de cuerda en balcones y ventanas.....	156
Figura 114: (1) Contraventana de lamas. (2) Celosía en huecos. Yemen.....	157
Figura 115: (1) Casa-cueva. Isla de Santorini. (2) Casa maya.....	158
Figura 116: Aplicación revoco de barro sobre muro. Djenné (Mali).....	159
Figura 117: (1) Soportales. Sagunto. (2) Casa criolla. Nueva Orleans.....	160
Figura 118: Casa de labranza. Málaga.....	160
Figura 119: Casas típicas de Nueva Orleans.....	161
Figura 120: (1) Vivienda enterrada. Matmata (Túnez). (2) Patio de Córdoba.....	162
Figura 121: (1) Calle de “El Gastor”. Cádiz. (2) Masiva concentración de viviendas. Yazd (Irán).....	163
Figura 122: Cubierta de paja. Casa tradicional japonesa.....	164
Figura 123: (1) Barrio de Khadimyia (Bagdad). (2) Protección solar casa de Bagdad....	165
Figura 124: Fale samoano (Polinesia).....	166
Figura 125: Casa maya.....	166
Figura 126: Casa maya.....	167
Figura 127: Maloca indígena. Vista interior del cerramiento.....	168
Figura 128: Tienda nómada del norte de África.....	169
Figura 129: Estrategia bioclimática: protección solar (tabla-1).....	170
Figura 130: Estrategia bioclimática: protección solar (tabla-2).....	171
Figura 131: Santa Engràcia (Pallars Jussà).....	172
Figura 132: Casa georgiana (Inglaterra).....	173



Figura 133: Cubierta de pizarra .....	174
Figura 134: Edificios tradicionales de Espinosa de los Monteros (Burgos).....	175
Figura 135: Casa-cueva. Isla de Santorini (Grecia).....	175
Figura 136: Tienda nómada .....	176
Figura 137: Estrategia bioclimática: captación solar .....	177
Figura 138: Vivienda tradicional islandesa .....	179
Figura 139: (1) Yurta. (2) Detalle del recubrimiento .....	180
Figura 140: Cubierta plana (Túnez) .....	181
Figura 141: (1) Cubierta de lajas de madera. (2) Cubierta mixta de paja y teja.....	181
Figura 142: Vivienda campesina tradicional rusa “Izba” .....	182
Figura 143: Vivienda de entramado de madera .....	183
Figura 144: Alero de teja árabe.....	184
Figura 145: Viviendas enterradas en Matmata (Túnez).....	185
Figura 146: Vivienda tradicional en Devon (Inglaterra).....	186
Figura 147: (1) Sierra de Francia (Salamanca). (2) Valverde de la Vera (Cáceres) .....	187
Figura 148: Acceso a la vivienda a través de un porche (casa japonesa) .....	187
Figura 149: (1) Palafito elevado sobre el terreno. (2) Palafitos en la laguna de Sinamaica (Venezuela) .....	188
Figura 150: (1) Palafito con cubierta de palma a dos aguas. (2) Casa tradicional de Sumatra.....	189
Figura 151: Casa Maya sobre base de “Sascab” .....	189
Figura 152: (1) Cubierta de troncos de palmera (M’Hamid). (2) Gárgolas de madera....	191
Figura 153: Reparación una vivienda en Shibam (Yemen) .....	191
Figura 154: Calles estrechas en Shibam (Yemen).....	192
Figura 155: Estrategia bioclimática: protección de la lluvia/nieve (tabla-1).....	193
Figura 156: Estrategia bioclimática: protección de la lluvia/nieve (tabla-2).....	194
Figura 157: Estrategia bioclimática: protección de la lluvia/nieve (tabla-3).....	195
Figura 158: Casa-establo (Hallenhäuser) en el norte de Alemania .....	196
Figura 159: Casa tradicional japonesa.....	197
Figura 160: Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá).....	198
Figura 161: (1) Palafitos con ausencia de paredes. (2) Fale samoano (Polinesia) .....	199
Figura 162: Casas de los Mousgoum (Camerún).....	199
Figura 163: Rodapié de piedra. Casa maya.....	200
Figura 164: Estrategia bioclimática: protección de la humedad.....	201



Figura 165: Sección de un iglú. Gráfico de temperaturas.....	203
Figura 166: Casa de piedra del valle Verzasca .....	204
Figura 167: Colocación de piedras para fijar las tejas durante los vendavales.....	204
Figura 168: Casas-cueva ubicadas en una ladera .....	205
Figura 169: Calles estrechas e irregulares en Shibam (Yemen) .....	206
Figura 170: Tienda nómada (Irán).....	207
Figura 171: Estrategia bioclimática: protección del viento .....	208
Figura 172: Sección iglú .....	210
Figura 173: (1) Sección vivienda excavada. (2) Vértebras de ballena.....	210
Figura 174: Granero muy ventilado.....	211
Figura 175: Chimeneas de aireación. Casa-cueva (Granada).....	212
Figura 176: Casa tradicional japonesa.....	213
Figura 177: Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá).....	213
Figura 178: (1) Palafito (Venezuela). (2) Esquema de ventilación del palafito.....	214
Figura 179: Casa maya con accesos opuestos.....	215
Figura 180: Casa maya con albarrada .....	215
Figura 181: (1) Casa tradicional de Sumatra (Indonesia). (2) Casa con techo de paja en Kenia .....	216
Figura 182: Maloca Indígena. Vista exterior e interior .....	217
Figura 183: (1) Sistemas de ventilación en viviendas. (2) Torres de aireación “bagdir”..	218
Figura 184: (1) Torres eólicas en Pakistán. (2) Torre de ventilación separada de la vivienda .....	219
Figura 185: Aberturas para ventilación. Casa de Bagdad .....	220
Figura 186: Secciones de la casa torre (Yemen) .....	221
Figura 187: Estrategia bioclimática: ventilación cruzada/autoventilación (tabla-1) .....	222
Figura 188: Estrategia bioclimática: ventilación cruzada/autoventilación (tabla-2) .....	223
Figura 189: Sección detallada de un iglú .....	225
Figura 190: Vivienda excavada revestida interiormente con madera .....	225
Figura 191: (1) Vivienda tradicional de turba (Islandia). (2) Vivienda tradicional Hehe (Tanzania) .....	226
Figura 192: Yurta. (1) Suelo cubierto con alfombras. (2) Suelo de madera elevado del terreno .....	227
Figura 193: (1) Vivienda de madera (Noruega). (2) Vivienda campesina tradicional rusa “Izba” .....	228



Figura 194: Casa campesina en Normandía.....	229
Figura 195: Contraventanas de madera. País Vasco francés .....	230
Figura 196: Cerramiento de arcilla con estructura de madera y bambú .....	231
Figura 197: Casa maya. (1) Detalle. (2) Estructura .....	232
Figura 198: Casa tradicional de Bagdad (Irak).....	233
Figura 199: Estrategia bioclimática: aislamiento térmico.....	234
Figura 200: Inercia térmica. Distribución de la temperatura (exterior-interior) .....	235
Figura 201: Vivienda con muros de piedra. Sierra de Gredos (Ávila) .....	237
Figura 202: Casas trogloditas en Matmata (Túnez) .....	238
Figura 203: (1) Interior de un trullo. (2) Trullo de Alberobello .....	239
Figura 204: Edificios de adobe en Shibam (Yemen) .....	240
Figura 205: Cubiertas acabadas con mortero de cal en Shibam (Yemen).....	241
Figura 206: Estrategia bioclimática: inercia térmica .....	242
Figura 207: Sección tipo de un trullo.....	245
Figura 208: Torre de ventilación. Enfriamiento evaporativo.....	246
Figura 209: (1) Aldea inuit en la isla de Baffin. (2) Ventana construida con una hoja de hielo.....	247
Figura 210: (1) Aberturas sobre la cubierta. (2) Chimenea de madera.....	247
Figura 211: (1) Vivienda en Göttingen (Alemania). (2) Fachadas con grandes ventanales en Ámsterdam (Holanda).....	248
Figura 212: Familia esquimal en el interior de un iglú .....	249
Figura 213: Edificio de dos plantas. Establo en planta baja y vivienda en planta primera .....	250
Figura 214: Interior de una yurta con hogar en la zona central .....	251
Figura 215: (1) Horno ruso. Vivienda campesina “Izba”. (2) Cocina (casa-cueva). Isla de Santorini .....	251
Figura 216: Viviendas en Velika Planina (Eslovenia). Alpes de Kamnik.....	253
Figura 217: Viviendas excavadas. Capadocia (Turquía) .....	253
Figura 218: Casa japonesa separada del suelo .....	254
Figura 219: (1) Transporte de yurta sobre un caballo. (2) Transporte de tienda tuareg sobre un camello .....	256
Figura 220: Extracción de materia primas. Recursos no renovables.....	262
Figura 221: Emisiones de CO2. El cambio climático.....	266
Figura 222: Desarrollo de una ciudad sostenible .....	271



Figura 223: Placas solares sobre la cubierta de un edificio (Murcia).....	276
Figura 224: Proyecto de energía eólica. Mohave (Arizona).....	278
Figura 225: Superficie marina disponible para parques eólicos dentro de los límites jurisdiccionales nacionales .....	279
Figura 226: Aerogenerador para abastecer a 6.000 hogares.....	281
Figura 227: Sistema separativo de saneamiento en Gran Canaria .....	285
Figura 228: Antigua fábrica textil en Lodz (Polonia) transformada en un moderno centro comercial .....	287
Figura 229: Coliseo de Roma .....	289
Figura 230: La distribución de espacios con ambientes naturales son saludables .....	294
Figura 231: Materiales naturales. (1) Madera. (2) Piedra. (3) Corcho .....	296
Figura 232: Materiales reutilizables. (1) Ladrillo macizo. (2) Teja árabe.....	299
Figura 233: (1) Vivienda unifamiliar prefabricada. (2) Detalle de anclaje atornillado .....	300
Figura 234: Energía incorporada por distintos materiales de construcción, según diversos autores .....	305
Figura 235: Energía incorporada de materiales de construcción.....	306
Figura 236: Materiales elaborados. Energía incorporada (tabla-1).....	307
Figura 237: Materiales elaborados. Energía incorporada (tabla-2).....	308
Figura 238: Madera tratada en autoclave.....	312
Figura 239: Iglesia de la Transfiguración (Rusia).....	313
Figura 240: Certificación FSC para la madera .....	315
Figura 241: Cementera en Sant Vicençs dels Horts (Barcelona) .....	317
Figura 242: Acero estructural.....	323
Figura 243: Torre Hearst (edificio de oficinas) Nueva York. Arquitecto: Norman Foster.....	324
Figura 244: Reciclaje de acero. Planta de Marion, Ohio (EE. UU.) .....	325
Figura 245: Rehabilitación de minas de bauxita. Bosque de Jarrah (Australia).....	326
Figura 246: Cúpula de la iglesia de San Gioacchino (Roma) .....	328
Figura 247: Tuberías. (1) Polietileno. (2) Polibutileno. (3) Polipropileno .....	330
Figura 248: (1) Fibra de cáñamo. (2) Panel flexible de fibra de cáñamo .....	333
Figura 249: Ángulo de incidencia de la radiación solar en diferentes ciudades.....	337
Figura 250: Diagrama de la proyección de la bóveda solar “diagrama del recorrido solar” .....	338
Figura 251: Cartas solares cilíndrica y estereográfica para una latitud de 40° N.....	338
Figura 252: Protecciones solares fijas .....	340



Figura 253: Factor de sombra para obstáculos de fachada .....	341
Figura 254: Alero (1) Vivienda sostenible en Yumbo (Colombia). (2) Arquitectura tradicional en Riotinto (Huelva) .....	342
Figura 255: (1) Protección solar en acceso acristalado por medio de voladizo. (2) Esquema de regulación solar mediante voladizos y pantallas.....	343
Figura 256: (1) Casa de labranza. Málaga. (2) Esquema de regulación solar mediante pérgolas vegetales.....	344
Figura 257: (1) Contraventanas de lamas tradicional. (2) Piel de fachada compuesta por lamas fijas horizontales.....	345
Figura 258: Apantallamientos verticales y horizontales.....	346
Figura 259: Edificio Transoceánica en Santiago de Chile. Proyecto de +Arquitectos.....	347
Figura 260: Diversidad de toldos a principios del siglo XX. (1) Plaza del mercado en Zaragoza. (2) Barriada de la plaza del mercado .....	349
Figura 261: Toldos automatizados .....	349
Figura 262: Fundación Cartier en París (Francia). Arquitecto: Jean Nouvel .....	350
Figura 263: (1) Persiana mallorquina. (2) Persiana practicable con lamas orientables de aluminio .....	351
Figura 264: Casa Uriach (1961) en L’Ametlla del Vallés (Barcelona). Arquitecto: José Antonio Coderch .....	351
Figura 265: (1) Pabellón de Siemens (Expo 92). (2) Residencia de la 3ª Edad (Vilanova i la Geltrú).....	352
Figura 266: Edificio Faena Aleph en Buenos Aires (Argentina). Arquitectos: Foster & Partners .....	353
Figura 267: Persianas de cuerda .....	353
Figura 268: Persiana de aluminio perfilado rellena de poliuretano (Donosti).....	354
Figura 269: (1) Persiana de librillo con lamas de madera. (2) Persiana veneciana con lamas de aluminio .....	355
Figura 270: (1) Pérgola de lamas orientables, tipo brise-soleil motorizado. (2) Sistema brise-soleil de lamas regulables horizontales.....	356
Figura 271: (1) Celosía de ventana en Isfahan (Irán). (2) Celosía en fachada. Edificio de la Corp. Andina de Fomento en Montevideo (Uruguay) .....	357
Figura 272: Instituto del Mundo Árabe en París (Francia). Arquitecto: Jean Nouvel.....	358
Figura 273: Diafragmas mecánicos de acero. Celosía fachada .....	359



Figura 274: (1) Fachada de vidrio reflectante. (2) Fachada de vidrio de baja emisividad .....	361
Figura 275: Primera vivienda certificada como pasiva en España. Arquitecto: Josep Bunyesc.....	366
Figura 276: Dimensionado de un invernadero adosado en distintas condiciones climáticas .....	369
Figura 277: Espesor recomendado para una pared térmica entre invernadero y edificio .....	370
Figura 278: Efecto invernadero. (1) Edificios tradicionales de Espinosa de los Monteros (Burgos). (2) Boreal, Casas Invernaderos. Nantes (Francia). Estudio de arquitectura: Tétrarc Architectes.....	372
Figura 279: Amortiguación de la onda térmica.....	375
Figura 280: Sección vertical muro trombe.....	376
Figura 281: Muro trombe. (1) Casa ecológica en Tucumán (Argentina). (2) Vivienda sostenible.....	377
Figura 282: Lámina protegida por material descontaminante TIO <sub>2</sub> .....	378
Figura 283: (1) Casa criolla (Nueva Orleans). (2) Vivienda sostenible en Gold Country (California).....	380
Figura 284: (1) Reducción de la superficie útil. (2) Recuperación de la superficie útil aumentando la profundidad. (3) Recuperación de la superficie útil prolongando la cubierta .....	381
Figura 285: Vivienda sostenible con amplios voladizos.....	381
Figura 286: (1) Palafito elevado sobre el terreno. (2) Conjunto de palafitos elevados sobre el agua.....	383
Figura 287: (1) Casa Farnsworth (Estados Unidos). Arquitecto: Mies van der Rohe. (2) Casa Tallon (Irlanda). Arquitecto: Ronnie Tallon.....	383
Figura 288: (1) Sección tipo de un trullo. Aljibe. (2) Instalación para la recogida de aguas pluviales.....	386
Figura 289: Ventilación cruzada.....	390
Figura 290: Sistema evaporativo de un patio.....	391
Figura 291: Ventilación nocturna. Temperaturas internas alcanzadas en distintos edificios .....	393
Figura 292: Patio. (1) Vivienda en Sanghai (China). (2) Vivienda en México.....	394





Figura 293: Edificio Berliner Bogen en Hamburgo (Alemania). Estudio de arquitectura: BRT Architekten.....	395
Figura 294: Comportamiento del viento en un edificio. Resultado de presiones.....	397
Figura 295: Ventilación cruzada. (1) Vivienda en Bangkok (Tailandia). Ayutt and Associates Design. (2) Vivienda en Queensland (Australia). BGD Architects .....	399
Figura 296: Licée Albert Camus en Fréjus (Francia). Estudio de arquitectura: Foster & Partners .....	400
Figura 297: Sistema de extracción de aire por efecto chimenea (efecto Stack) .....	402
Figura 298: Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia. Arquitecto: Renzo Piano .....	404
Figura 299: Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia. Sistema de ventilación natural.....	405
Figura 300: Extracción de aire. (1) Efecto chimenea. (2) Chimenea solar.....	406
Figura 301: (1) Chimenea solar tradicional. Condado de Kent (Inglaterra). (2-3) Diferentes configuraciones de chimeneas solares .....	407
Figura 302: Torre de viento (Bagdir) .....	408
Figura 303: Entrada de aire (torre de viento). Extracción de aire (efecto chimenea) .....	409
Figura 304: (1) Captador de viento con una abertura. (2) Torre de viento con cuatro aberturas .....	410
Figura 305: (1-2) Torre de viento con una abertura. (3) Captador de viento con cuatro aberturas .....	411
Figura 306: Enfriamiento evaporativo en un diagrama psicrométrico .....	412
Figura 307: Torre evaporativa.....	414
Figura 308: (1) Torres de viento. Avenida de Europa (Exposición Universal de Sevilla, 1992). (2) Estructura interior de la torre de viento .....	415
Figura 309: Torre eólica. Esquema de funcionamiento .....	416
Figura 310: Torres eólicas. Centro de Investigación de Ahmedabad en la India .....	417
Figura 311: Edificio Hemiciclo Solar en Móstoles (Madrid). Estudio de arquitectura: Ruiz Larrea & Asociados .....	419
Figura 312: Jardines colgantes de Babilonia.....	421
Figura 313: Cubierta vegetal. (1) Vivienda tradicional islandesa. (2) Vivienda rural islandesa .....	422
Figura 314: Temperaturas de un techo verde con un sustrato de 16 cm, medidas durante una semana de verano, Kassel (Alemania).....	424



Figura 315: Temperaturas de un techo verde con un sustrato de 16 cm, medidas durante una semana de invierno, Kassel (Alemania) .....	425
Figura 316: Esquema cubierta vegetal.....	428
Figura 317: Sistema de naturación intensivo. (1) Capa drenante instalada. (2) Cubierta finalizada .....	430
Figura 318: Edificio Acros Fukuoka Prefectural International Hall (Japón). Arquitecto: Emilio Ambasz.....	431
Figura 319: Sistema de naturación semi-intensivo.....	432
Figura 320: Sistema de naturación extensivo .....	433
Figura 321: Villa Horwood en Eckerö (Finlandia). Estudio de arquitectura: K2S Architects .....	437
Figura 322: (1) Casa Weinfeldten (Suiza). Estudio de arquitectura: k_m Architektur. (2) Apartamentos en el pueblo alpino de Bohinjaska Bistrica (Eslovenia). Estudio de arquitectura: OFIS Arhitekti.....	440
Figura 323: (1) Revestimiento de tablas machihembradas. (2) Revestimiento de tableros contrachapados .....	442
Figura 324: Revestimiento de techos.....	443
Figura 325: Coeficientes de estabilidad térmica.....	446
Figura 326: Edificio Inakasa en Las Palmas de Gran Canaria (2005). Arquitectos: Alexis López y Xavier Iván Díaz.....	454
Figura 327: Villa Savoye (1929). Arquitecto: Le Corbusier.....	457
Figura 328: (1) Mirador acristalado en Alicante (1900). (2) Galerías acristaladas (orientación sur).....	459
Figura 329: (1) Casa criolla (Nueva Orleans). (2) Urbanización Camp Stone Creek en Bigfork (Montana), Estudio de arquitectura: Andersson-Wise Architects.....	461
Figura 330: Iluminación natural. Diferencias: galería-invernadero-porche.....	462
Figura 331: Apartamentos Slit Court en Kyoto (Japón). Estudio de arquitectura: EASTERN Design Office .....	463
Figura 332: Conductos de iluminación natural. Interior piscina cubierta.....	465
Figura 333: Nuevo IES Emilio Canalejo Olmeda de Montilla (Córdoba). Estudio de arquitectura: Canca Carrero Arquitectos.....	466
Figura 334: Aleros (1) Baza (Granada). (2) Riotinto (Huelva). (3) Casa Zócalo en Pichilemu (Chile). LAND Arquitectos. Voladizo (4) Casa Westside Road (California). Dowling Studios.....	472



Figura 335: Muro trombe .....476

Figura 336: (1-3) Maloca Indígena. (2-4) Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia. Arquitecto: Renzo Piano .....480

Figura 337: (1) Torre de viento (Bagdir). (2) Universidad de Qatar en Doha .....482

Figura 338: Cubierta de césped. (1) Vivienda tradicional noruega. (2) Sistema extensivo .....485

Figura 339: (1-3) Muro de alta inercia térmica. Vivienda tradicional. (2-4) Muro de hormigón. Vivienda en Corea del Sur. Estudio de arquitectura: Unsangdong Architects488



## ***CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN***





## CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El cambio climático y el calentamiento global son hoy en día una realidad. La temperatura ha aumentado en las últimas décadas. La causa está íntimamente ligada a la actividad humana: el aumento excesivo de gases, como el dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y los clorofluorcarbonos contribuyen al deterioro de la capa de ozono. Según datos del Worldwatch Institute de Washington casi la mitad de las emisiones están producidas por la industria de la construcción y el uso de los edificios, lo que la convierte en la actividad menos sostenible del planeta. Sin embargo, la vida cotidiana moderna gira alrededor de una gran variedad de construcciones ya que el alojamiento de la civilización depende de una construcción definitivamente insostenible para el planeta. Es evidente que ante esta situación algo debe de cambiar y aquí es donde entra nuestra responsabilidad como técnicos de la construcción, ya que debemos intervenir para no contribuir a este desarrollo no sostenible y no seguir contaminando.

La creciente preocupación por el deterioro de los sistemas naturales de la Tierra ha suscitado una variedad de reacciones por parte de los proyectistas; como consecuencia, se plantean múltiples puntos de vista acerca de qué es un proyecto ecológicamente responsable. El proyecto concebido con relación a los problemas ecológicos de la Tierra remite al futuro y, en consecuencia, es tanto un pronóstico como una hipótesis. Ello queda ilustrado por el concepto de **sostenibilidad**, que se define como “calidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias” (McDonough, 1992 citado en Yeang, 1999).

El concepto de sostenibilidad ha sido definido a lo largo de importantes congresos mundiales y engloba no sólo la construcción, sino toda la actividad humana. Para los proyectistas, el concepto de sostenibilidad también es complejo. Gran parte del diseño sostenible está relacionado con el ahorro energético. Sin embargo, diseñar de forma sostenible también significa crear espacios que sean saludables, viables



económicamente y sensibles a las necesidades sociales. Por sí solo, un diseño responsable desde el punto de vista energético es de escaso valor.

Existen muchos ejemplos de arquitectos que durante el siglo XX, utilizaron la naturaleza en general o la existente en un sitio específico como relación determinante para diseñar su arquitectura, entre los arquitectos más conocidos y publicados destacar Gaudí, Aalto, Wright, Fathy, Fuller, Barragán, Utzon, Fehn, sin olvidar toda la historia de la arquitectura tradicional de la que se puede obtener lecciones importantes, ya que a través de este tipo de arquitectura podemos comprobar cómo los constructores tradicionales durante siglos se las han ingeniado para construir utilizando tan sólo un pequeño porcentaje de los recursos disponibles.

Hoy en día, la arquitectura tradicional emerge como parte del repertorio de alternativas disponibles para enfrentarse a los actuales problemas ambientales. En la práctica constructiva del día a día, los constructores tradicionales conocen, a menudo mejor que los propios arquitectos, como adaptarse a condiciones ambientales cambiantes. Esto se debe en parte a que ellos pueden asumir el riesgo de experimentar alternativas que ofrecen resultados inciertos, sin el temor de perder prestigio profesional y/o contratos, si las alternativas fallaren. En este laboratorio de carácter permanente o informal de tanteo y error, las soluciones exitosas se convierten en ejemplos a seguir en la práctica formal de la arquitectura (Arboleda, 2006).

En el momento actual en el que las condiciones socio-ambientales demandan alternativas, la construcción tradicional se convierte, consecuentemente, en un concepto fundamental en la teoría y la práctica de la arquitectura, su estudio y aplicación constituye uno de los objetivos que analizaré en esta tesis.

Por otro lado, para ser consecuentes y desarrollar una construcción sostenible previamente debe existir una planificación, una urbanización y un diseño arquitectónico sostenible. Es muy difícil construir sosteniblemente si inicialmente no hemos pensado ni proyectado edificar de una forma sostenible. Por otro lado, el diseño arquitectónico no puede aportar mucho a un desarrollo sostenible si la ciudad no se ha planificado de una forma sostenible, y más cuando una parte del territorio donde se ubica esta ciudad





tampoco se ha estructurado de una forma sostenible. Por ello, aunque nos centremos en este tipo de construcción, debemos contar con todos los agentes participantes del sector.

Habitualmente nos empeñamos en querer garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, cuando este es sostenible por sí mismo, por lo que hay que centrarse en la sostenibilidad de los sistemas que actúan sobre él, y la arquitectura es uno de ellos.

El concepto de sostenibilidad surge después de un debate sobre la calidad de vida, ya que cuando queremos vivir mejor, entendemos que el ambiente y el entorno donde nos movemos han de ser de una mayor calidad, aportando más valores.

“El primer objetivo de una arquitectura sostenible debe ser poder vivir mejor que antes sin afectar a los que vienen después” (Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, 2005).

La importancia de adoptar criterios de proyecto basados en un adecuado conocimiento de los aspectos ecológicos es obvia. Las decisiones de proyecto y planteamiento que se adoptan en el momento presente no sólo tienen un efecto inmediato sobre la sociedad, sino que también pueden influir en la calidad ambiental que leguemos a las generaciones futuras. Sin embargo, la valoración y los criterios proyectuales han de basarse en lo que ya es conocido, y no en lo desconocido o en la exclusión de las consideraciones ambientales.

Hay una gran variedad de estrategias que intervienen en el diseño constructivo para poder desarrollar la arquitectura sostenible y cuyo objetivo es la búsqueda de una arquitectura más sensible y respetuosa con el medio natural. A partir de la lectura “objetiva” del entorno se adoptan diferentes estrategias de diseño, su definición, desarrollo y análisis constituyen el objetivo principal de esta tesis.

## 1.2 Objetivos

A partir del contenido y de las reflexiones anteriores establezco los objetivos de la presente investigación y que detallo a continuación:



- Estudiar la arquitectura tradicional como ejemplo de arquitectura sostenible, analizando los conceptos y valores que actualmente sobreviven de la arquitectura tradicional, ya que a través de esta arquitectura encontramos los orígenes de la nueva arquitectura sostenible que integra tanto técnicas solares como conceptos arquitectónicos modernos.
- Definir y analizar las diferentes estrategias de diseño constructivo para el desarrollo de la arquitectura sostenible.

Dentro del contexto de la sostenibilidad, la gran mayoría de los ciudadanos desean tener unas buenas condiciones medioambientales, es decir, conseguir que la naturaleza, sacrificada por una planificación inadecuada y por la especulación, recupere el espacio perdido en las grandes áreas urbanas. Para ello debemos de potenciar los espacios verdes, lo cual se consigue a través parques, jardines, árboles y mediante **los sistemas de naturación**, estos últimos incorporan vegetación en las envolventes de las edificaciones y han tomado un gran impulso en la actualidad, debido a los beneficios ambientales, económicos, sociales y estéticos que generan, sin olvidar su excelente comportamiento bioclimático, objeto de estudio en la presente tesis.

### 1.3 Metodología

La metodología que he seguido para alcanzar los objetivos de la investigación incluye principalmente la utilización de los recursos de la Universidad Politécnica de Valencia, a través de libros, artículos de revista y trabajos académicos, completando dicha información con documentos electrónicos, artículos de revista electrónica y páginas web.

Para la elaboración y redacción de esta tesis doctoral he desarrollado las siguientes fases de trabajo:



## **1. Investigación bibliográfica**

En esta primera fase de la investigación realizo inicialmente una revisión bibliográfica sobre el tema de esta tesis para conocer el estado del arte. Posteriormente hago acopio y lectura de aquellas publicaciones, artículos y trabajos previos documentados más importantes en los que se ha estudiado la arquitectura sostenible y su vinculación con el modo tradicional de construir.

## **2. Investigación histórica**

En esta segunda fase describo la arquitectura tradicional basándome en las fuentes históricas y en la documentación recopilada. Esta arquitectura representa la adecuación perfecta entre el clima, la construcción sostenible y las necesidades humanas. Hay que tener en cuenta que a través de la arquitectura tradicional los seres humanos durante siglos han creado las más diversas formas de construcción autóctona para poder vivir bajo duras condiciones climáticas, pero únicamente en contadas ocasiones se ha conseguido un buen nivel de confort. Estas viviendas apuntan a una relación ponderada entre el hombre y el entorno. Dentro de este estudio describo desde el punto de vista climático las tipologías más representativas que existen dentro de cada tipo de clima y que sobreviven actualmente.

## **3. Investigación descriptiva y de análisis**

Esta constituye la fase principal de la investigación, donde analizo y desarrollo de forma detallada el contenido del trabajo.

## **4. Conclusiones**

Finalizada la redacción del contenido de la tesis, en esta última fase incluyo una relación de los hallazgos y resultados obtenidos y el avance de futuras líneas de investigación a seguir.



## 1.4 Estructura de la tesis

La investigación consta, además del presente capítulo introductorio, de tres capítulos cuyo contenido presento de forma breve a continuación:

El **capítulo II** correspondiente al estado del arte, marca el punto de partida de la presente investigación. En este capítulo se recopila de forma cronológica las publicaciones y trabajos previos más importantes relacionados con el tema de la tesis. A través de la revisión bibliográfica, he podido conocer su alcance teórico. Sin embargo, no pretendo que esta investigación sea una continuación sobre los conocimientos ya existentes sobre arquitectura tradicional y sostenible en relación con el clima, sino un estudio que enlaza ambos tipos de arquitectura a través de un objetivo común, construir de forma sostenible recuperando la experiencia acumulada durante siglos por el hombre.

En el **capítulo III** se estudia y analiza la arquitectura tradicional partiendo de las construcciones tradicionales más representativas dentro de cada una de las zonas climáticas de la tierra. Esta forma de plantear la arquitectura tradicional me permite crear una amplia base teórica, a partir de la cual puedo identificar qué soluciones constructivas, siempre sostenibles, utiliza la arquitectura tradicional para resolver cada una de las estrategias bioclimáticas.

En el **capítulo IV** se define el diseño constructivo de la arquitectura sostenible a partir de sus estrategias bioclimáticas. Dentro de cada estrategia se incluyen aquellas soluciones constructivas que proceden de la arquitectura tradicional y que sobreviven actualmente, aunque lógicamente adaptadas según las técnicas y materiales actuales. Hay que tener en cuenta que no todas las soluciones constructivas utilizadas en la arquitectura tradicional (incluidas en el capítulo III) son válidas actualmente, ya que muchas de ellas han sido utilizadas por el hombre debido a las condiciones y circunstancias en las que vivía, muy diferentes de las necesidades y exigencias actuales. En este capítulo se identifican las aportaciones con las que contribuye la arquitectura tradicional para garantizar una arquitectura sostenible.



Finalmente, se recogen las conclusiones obtenidas de la presente investigación y se plantean nuevas líneas de investigación que en el futuro permitan ampliar los estudios desarrollados hasta el momento.

La bibliografía ocupa las últimas páginas. En este apartado final se incluyen todas las fuentes bibliográficas consultadas para el desarrollo de la tesis.



## ***CAPÍTULO II - ESTADO DEL ARTE***







## CAPÍTULO II - ESTADO DEL ARTE

Para comenzar este estudio cronológico nos remontamos al año 1923 en el que el arquitecto y profesor Leopoldo Torres Balbás publicó una obra magistral “*La vivienda popular en España*”, era un libro de carácter general sobre arquitectura tradicional que aunque era incompleto, presentaba un gran interés como trabajo pionero para esa época. En este libro el autor entendía la arquitectura tradicional como disciplina colectiva con características esenciales y permanentes aportadas por el pueblo español.

En 1930 Fernando García Mercadal uno de los arquitectos más representativos de la llamada Generación del 25 publica el libro “*La casa popular en España*”, donde el autor destaca la arquitectura popular como ejemplo de lógica y racionalismo. Sus análisis se llevan a cabo teniendo en cuenta la estrecha relación que existe entre los condicionamientos geográficos y el contexto material y económico en que se desenvuelve una sociedad determinada.

Durante los próximos treinta años se publicaron estudios fragmentarios, algunos excelentes.

En los años cincuenta el arquitecto Víctor Olgay, a veces en colaboración con su hermano Aladar, se atrevió a plantear una arquitectura distinta a la convencional en sucesivos artículos y libros, donde profundiza en la interacción existente entre un edificio y el medio natural que lo envuelve, postulando en sus escritos cómo es y debe ser la relación entre “arquitectura” y “lugar”, entre “forma” y “clima” o entre “urbanismo” y “regionalismo”.

En 1963 como culminación de sus trabajos Olgay publicó el libro “*Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*”, editado por Princeton University Press recorrió el mundo, publicándose un cuarto de siglo después en 1998 en versión española con el título “*Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*”.



El libro se desarrolla en tres partes que se refieren, respectivamente: la primera, al clima y su relación con el ser humano y con la arquitectura tradicional; la segunda interpreta las acciones del clima en clave arquitectónica, y la tercera ejemplifica la aplicación de lo anterior en la arquitectura y el urbanismo (Olgyay, 1998).

Olgyay, a través de su libro ha sido la referencia para la mayoría de los arquitectos bioclimáticos, la mayoría de los cuales hoy en día se encuentran inmersos en el desarrollo del diseño de la arquitectura sostenible.

Con relación a la arquitectura tradicional, destacar la obra publicada en 1964 por Bernard Rudofsky "Architecture without architects", donde se analiza el gran valor que representa la arquitectura tradicional, construida por el pueblo de acuerdo con sus necesidades, valores y posibilidades, y aunque el autor de esta arquitectura es anónimo, ya que no es atribuible a ningún arquitecto en particular, este tipo de construcción ha sabido adaptarse al lugar y al clima.

En septiembre de 1973 se publica el primer tomo de los cuatro que consta la obra completa "*Arquitectura Popular Española*", de Carlos Flores López.

En esta obra el autor estudia las características generales de la arquitectura popular española, la influencia recibida de los distintos pueblos que pasaron por nuestra península, analiza la lógica de las construcciones populares, su adecuación a las condiciones climáticas, la economía y otros aspectos que han influido en su desarrollo e integración (Flores, 1973).

Carlos Flores, fue doctor arquitecto e historiador, es uno de los más destacados críticos e historiadores de la arquitectura occidental. Fue el primero en dar la definición de Generación del 25 a un conjunto de arquitectos españoles de comienzos del siglo XX. Ha colaborado con asiduidad en muy prestigiosas publicaciones de Europa y América.

En 1977 se publica la versión española de la obra "*Arquitectura primitiva*", cuyo autor Enrico Guidoni, catedrático de Historia del Arte y Arquitectura de la Universidad de Roma, analiza de forma detallada la arquitectura primitiva como expresión de la actividad de un grupo que ocupa un territorio y sigue un modo de vida determinado. Examina las



distintas construcciones de los pueblos que habitan las regiones árticas, América septentrional y meridional, África, Asia y Oceanía. Esta obra traducida en varios idiomas ha sido un referente para muchos autores (Guidoni, 1977).

En 1989 Rafael Serra Florensa, doctor arquitecto y catedrático por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, publica "*Clima, lugar y arquitectura*", este libro tiene como objeto dotar a los profesionales del sector de la construcción, de una herramienta de trabajo útil para ayudar a la realización de una arquitectura racional concebida desde el punto de vista de la utilización de la energía (Serra, 1989).

La primera parte de este libro habla sobre la importancia de la arquitectura del lugar y del clima y sobre la arquitectura popular y su relación con las diferentes zonas climáticas.

Diez años después, en 1999 publica "*Arquitectura y Climas*", este libro estudia la variedad y complejidad de situaciones climáticas en todo el planeta ya que ante cualquier condición climática, la arquitectura lo que pretende siempre es conseguir un nivel adecuado de bienestar (Serra, 1999).

En 1997 Francisco Javier Neila González y César Bedoya Frutos, doctores arquitectos por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, publicaron el libro "*Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*", es un libro muy completo donde los autores analizan el concepto del clima, los factores climáticos, el comportamiento térmico de los materiales constructivos, la arquitectura bioclimática y diferentes temas que vincula la arquitectura con el clima y el acondicionamiento ambiental (Neila & Bedoya, 1997).

Ambos autores han publicado estos últimos años diferentes libros sobre construcción sostenible y arquitectura bioclimática, así como artículos y proyectos de investigación de gran interés.

Cabe destacar los cuadernos del Instituto Juan Herrera de la Escuela de Arquitectura de Madrid que Javier Neila publicó en 2002 y una segunda edición en 2003 "*El clima y los invariantes bioclimáticos en la arquitectura popular*", donde estudia y



analiza ejemplos de construcciones tradicionales en diferentes lugares del mundo describiendo su diseño y su construcción bajo la estrategia climática del lugar (Neila, 2003).

En 2002 se publica también la versión española de la obra *“Sol Power: la evolución de la arquitectura sostenible”*, cuyos autores Sophia y Stefan Behling estudian algunos ejemplos de construcciones tradicionales energéticamente conscientes ubicadas en las diferentes zonas climáticas de la tierra, analizan la importancia de la energía solar en el mundo natural y como, desde hace años y en culturas muy diferentes, los edificios siempre han sido proyectados teniendo en cuenta un máximo aprovechamiento solar . Dentro de esta publicación es interesante el estudio que realizan los autores sobre las tecnologías necesarias para poder desarrollar en la actualidad una arquitectura sostenible. En este libro se alienta el uso de energías renovables a la hora de proyectar los edificios del futuro y sugiere una mayor colaboración entre las industrias involucradas en los procesos constructivos (Behling, S., Behling St., & Schindler, 2002).

En la actualidad la arquitectura tradicional puede contribuir con importantes aportaciones que ayuden a desarrollar y mejorar el diseño constructivo desde el punto de vista sostenible. Hoy en día existen autores que a través de sus publicaciones manifiestan la importancia que tiene la arquitectura tradicional como base de datos para diseñar una arquitectura sostenible, ya que más allá de considerarla como un museo antropológico, su uso nos puede permitir desarrollar sus virtudes hasta alcanzar niveles de confort asumibles hoy en día.

En este sentido, Francisco Javier Neila González (citado anteriormente) y Consuelo Acha Román, doctora arquitecto, publican en 2009 un libro de gran interés *“Arquitectura bioclimática y construcción sostenible”*, donde se tratan los requisitos para desarrollar una construcción sostenible, que cubra las necesidades de cobijo actuales sin impedir que las generaciones venideras puedan hacerlo también. Se define el edificio sostenible, aquel que se construye con materiales y conceptos sostenibles, que se condiciona con energías renovables y que gestiona el agua para reducir su dependencia. El libro trata como abordar el problema y que soluciones son las que permitirán mantener nuestro desarrollo sin afectar al medio ambiente ni poner en riesgo el suministro futuro de recursos (Neila & Acha, 2009).



Dentro del ámbito de la sostenibilidad, destacar también el libro *“Un nuevo paradigma en arquitectura”* publicado en 2012 por Luis de Garrido Talavera, doctor arquitecto por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. En este libro se describe la base conceptual de un nuevo paradigma en arquitectura, y un proceso de diseño capaz de lograr una arquitectura perfectamente integrada en la Naturaleza. En la primera parte del libro se establece con detalle una metodología proyectual que permite el diseño de cualquier tipo de edificio. En la segunda parte se analizan con profundidad un amplio número de proyectos innovadores, donde la arquitectura presenta un alto nivel bioclimático, con un ciclo de vida duradero, un consumo cero de energía y de emisiones, autosuficiente en energía, en agua y en algunos casos concretos, autosuficiente en alimentos (De Garrido, 2012).

Durante estos últimos años está aumentando el número de arquitectos que incorporan el concepto de sostenibilidad en sus proyectos. Sin embargo, queda mucho camino por recorrer hasta que dicho concepto lo veamos integrado en cualquier tipo de edificación.

Entre los arquitectos más destacados que actualmente están contribuyendo con sus aportaciones al desarrollo de la arquitectura sostenible podemos citar: Baruch Givoni, Charles Correa, Elías Rosenfeld, Ken Yeang, Norman Foster y William McDonough entre otros.



## ***CAPÍTULO III - ARQUITECTURA TRADICIONAL***







## CAPÍTULO III - ARQUITECTURA TRADICIONAL

### 3.1 Características de la arquitectura tradicional

El ser humano durante siglos ha tratado de adaptar el medio ambiente a sus necesidades, estableciéndose una relación entre el hombre y la naturaleza. El entorno modifica al hombre a la vez que el hombre deja su huella.

La arquitectura tradicional se caracteriza por su adaptación al medio y al terreno donde se construye. Se utilizan materiales locales, ya que al no haber medios de transporte que puedan recorrer largas distancias tienen que proceder de las proximidades del lugar donde se va a llevar a cabo la ejecución de la obra y tienen que encontrarse directamente disponibles o que resulte fácil su extracción. De esta forma, es el propio paisaje el que decide la materia prima de las construcciones, por otro lado, no se dispone de medios mecanizados, por lo que sus técnicas constructivas deben de ser económicamente razonables. Al disponer de recursos limitados, tienen que mantener bajos los costes y el gasto energético.

La naturaleza siempre ha puesto al hombre frente a grandes desafíos. Las condiciones climáticas en las diferentes regiones del mundo pueden variar mucho y ser perjudiciales para los seres humanos.

El cuerpo humano ha desarrollado sus propias estrategias para estar preparado en la lucha por la supervivencia. El color de piel puede adaptarse a las condiciones climáticas. De todas formas, la protección más importante contra las condiciones externas desfavorables lo constituye la vestimenta y los edificios. En todo el mundo se han desarrollado construcciones energéticamente eficaces que pueden variar notablemente de una región a otra, dependiendo de los materiales naturales disponibles y de las condiciones climáticas del lugar, primando la funcionalidad y la utilidad por encima de la comodidad.

Dado que la arquitectura tradicional se nutre de las materias primas locales, según varía el abanico de posibilidades, cambia la estructura de las construcciones. De esta



forma, las soluciones constructivas de cada zona geográfica representan el modo de vivir de sus pobladores.

Las zonas que disponen de piedra abundante, construyen sus edificaciones con este material. Lo mismo podemos decir de aquellas zonas o regiones que poseen una importante superficie forestal donde la madera como material de construcción ejerce un papel fundamental en su arquitectura. En otros casos, se utilizan los materiales que proceden de la tierra, ya sea en forma de adobe o tapial, donde el barro esta simplemente secado al sol o el ladrillo y la teja en el caso de disponer de fuentes de energía suficientes para cocer el barro. Todas ellas son soluciones ideales para cubrir las necesidades de sus habitantes, sobre todo si carecen de piedra o madera, en cualquier caso, cuando los recursos de la naturaleza parecen faltar, el ingenio del constructor suple la carencia.

La cal y el yeso se emplean como materiales aglomerantes. Cuando la cal escasea, se utiliza el yeso mezclado con arena no arcillosa para darle estabilidad al mortero.

En otras zonas, se utiliza la caña y la paja, ya que son materiales aislantes térmicos que reducen la transferencia de calor a través de ellos, consiguiendo un ahorro energético por la reducción de pérdidas en la envolvente de la edificación, incorporándose en los cerramientos y cubiertas de muchas construcciones tradicionales.

Otra característica que debemos tener en cuenta dentro de la arquitectura tradicional es el nivel de confort que ofrecen las viviendas. La mayoría de las comodidades de las que disfrutamos en nuestra sociedad avanzada no existían en el mundo tradicional. Al no haber electricidad en las viviendas, el alumbrado se efectuaba mediante candiles y velas. La ausencia de agua corriente obligaba a sus habitantes a conservarla en tinajas para su uso doméstico. Estas y otras condiciones de vida, dependían de la fluctuante economía agrícola y ganadera, dependiendo de la zona o región, lo que ha propiciado que la vida tradicional se perciba, hoy en día, como una vida dura y difícil.



Por último y para completar este apartado hablaré del uso de la vivienda. La casa tradicional se caracteriza porque prevalece la funcionalidad y la utilidad por encima de la comodidad. Estas viviendas tienen generalmente una distribución funcional de espacios y usos. Podemos diferenciar entre los espacios habitables y los de trabajo, aunque hay casos donde sus ocupantes compartían su espacio vital con los espacios dedicados al almacenaje de los productos agrícolas y con las dependencias destinadas a los animales. En muchas ocasiones, el tránsito del espacio público al privado se llevaba a cabo atravesando todas las estancias de la vivienda.

En definitiva, debemos valorar dentro de la arquitectura tradicional como se ha adaptado la vivienda a su funcionalidad y uso, utilizando materiales locales y recursos muy limitados en su ejecución, respetando el medio ambiente y principalmente adaptándose a las condiciones climatológicas del lugar. Características que podemos estudiar y analizar a través de las construcciones que existen en las diferentes zonas climáticas de la tierra.

### **3.2 La arquitectura tradicional como ejemplo de sostenibilidad**

Hasta hace pocas décadas se tenía la impresión de que el planeta disponía de una cantidad de recursos naturales, prácticamente inagotables y el ser humano era capaz de emitir, casi sin límite, todo tipo de contaminantes sin que se dieran impactos significativos que pudieran generar cambios apreciables en la naturaleza (Porrás & Tenorio, 2010). Hoy se tiene constancia de que esto no es así y conforme el deterioro medioambiental que sufrimos, tanto en el ámbito local como global, hay un reconocimiento unánime en que nuestro planeta no podrá soportar durante mucho más tiempo la explotación de los recursos naturales, tal y como hoy en día se practica. En la actualidad, es cada vez más evidente el problema de sobreexplotación de los recursos no renovables, lo que ha originado preocupación a grupos de académicos, científicos y ONGS, ocupando la arquitectura un papel importante dentro de este problema.

En la arquitectura hay una cierta tendencia hacia la homogeneización de las formas y recursos constructivos o materiales, de manera que el contexto físico, social o cultural en el que se integran los proyectos tiene cada vez menos importancia.



El exceso de conectividad ha originado que las diferentes culturas tiendan a desaparecer, y con ello las características propias de cada cultura, dando lugar a una cierta globalización y homogeneización de la arquitectura. Por otro lado existe una tendencia a construir cada vez edificios más altos y mejor equipados.

El concepto de sostenibilidad determina la importancia de establecer un desarrollo constructivo que no afecte a los recursos, de forma que puedan heredarlos futuras generaciones, por ello desde finales del siglo pasado agrupaciones de estudiosos buscan alternativas para desarrollar una arquitectura sostenible (Torres, 2009).

Si miramos hacia atrás, podemos comprobar como la arquitectura tradicional tiene una marcada diferencia formal y espacial, como respuesta no solo al contexto climático, físico y material en el que se encuentran, sino también a una cierta forma de vida para las cuales estaban pensados los edificios, sin olvidar también el estado de aislamiento y las limitaciones geográficas que hacían imposible replicar una determinada forma o edificio.

En la arquitectura tradicional, los materiales empleados al ser locales, son utilizados de forma tradicional. Con ello el uso de los mismos evita caer en el abuso o explotación indiscriminada, lo cual permite que una vez terminada su vida útil se reintegren al medio natural; generando de esta forma una arquitectura sostenible.

Siempre se produce un respeto hacia la naturaleza que se traduce en el mantenimiento y conservación de los recursos naturales. Cuando hay necesidad de sustituir alguna parte de la vivienda, los materiales repuestos, pueden tener una nueva función o pasar a formar parte del ecosistema de donde provienen, sin alterarlo y sobre todo sin agotarlo.

Teniendo en cuenta que la habitabilidad es una cualidad propia del espacio arquitectónico, en el caso de la vivienda tradicional resulta ser el mejor ejemplo de adaptabilidad al medio físico, siendo esta arquitectura propicia para el desarrollo de las actividades humanas, en cualquiera de las condiciones climáticas del planeta, utilizando únicamente tecnologías pasivas.



La arquitectura tradicional se caracteriza principalmente por ofrecer una infinidad de soluciones constructivas adaptadas al lugar, al clima y a la materia prima predominante, lo que determinan la imagen de la vivienda. Por el contrario en la arquitectura contemporánea “resulta sorprendente observar como una determinada solución espacial, formal o material, se repite sin ningún tipo de mediación, entre oriente y occidente o entre hemisferio norte y hemisferio sur, desapareciendo cualquier tipo de barrera física, climática, geográfica, cultural o social” (Hevia, 2012).

La historia de la construcción esta ligada a los avances tecnológicos. Los nuevos materiales han ido aumentando la complejidad de los sistemas constructivos y por lo tanto el coste de las edificaciones se está encareciendo. En cambio los sistemas constructivos tradicionales siguen siendo la alternativa para la economía y el confort de la edificación, siendo determinantes los aspectos físicos del medio, la precipitación pluvial y la temperatura del aire entre otros. Aunque también lo son los materiales empleados en la construcción de estas viviendas procedentes directamente de la naturaleza.

Con el paso del tiempo la soluciones constructivas han sido probadas y heredadas, lo que ha permitido, no acabar con los recursos naturales, ofreciendo soluciones practicas y sencillas, aspecto que la arquitectura contemporánea, parece ir perdiendo, por este motivo es importante recobrar el sentido de la construcción tradicional y su espíritu de sostenibilidad.

### **3.3 Estrategias de la arquitectura tradicional para una sostenibilidad futura**

El hombre ha confiado a la arquitectura la construcción del hábitat artificial del que se rodea, aunque esta disciplina se plantea como problema crítico, ya que es la responsable de un porcentaje muy elevado de los impactos que ponen en peligro el propósito de alcanzar la sostenibilidad, siendo actualmente uno de los retos más importantes de nuestra sociedad. Hay que tener en cuenta un dato importante del que la sociedad y sus dirigentes no parecen ser conscientes: más de la mitad de la energía que se consume en el planeta está relacionada de una u otra forma con la edificación, sea en



fase de producción de materiales, de urbanización y construcción, o de mantenimiento de los inmuebles en acondicionamiento (calor y frío), iluminación, potabilización de aguas y todas las operaciones de mantenimiento que, en general los hacen habitables, han sido cifrados en un 53% de la energía que el ser humano consume sobre la Tierra en el desarrollo de sus actividades<sup>1</sup> (Sánchez-Montañés, 2007).

Otros ejemplos como la industria y el transporte parecen llamar más la atención desde el punto de vista energético; sin embargo, la edificación es la principal causante del gasto. Debemos tener en cuenta que el consumo energético de una actividad nos indica el nivel de impacto que tiene en el entorno, por lo tanto, la edificación es la actividad que causa el mayor porcentaje de impacto en el planeta.

La arquitectura ante esta situación, viene aplicando un número importante de técnicas destinadas a alcanzar la sostenibilidad (bioclimática, bioconstrucción, reciclaje, gestión de residuos etc.), de forma que cambiando las pautas en el desarrollo del diseño constructivo de los edificios y de las ciudades podamos reducir los consumos de energía y el impacto derivado de la actividad.

A través de estas técnicas se consigue una mejora del medio ambiente y resuelven también los problemas principales del hábitat humano como son la protección, el bienestar, la seguridad, el refugio y otros tan antiguos como la especie. Si tenemos en cuenta que todos estos problemas estaban resueltos con eficacia a través de la arquitectura tradicional, caracterizada por la gestión de unos recursos que eran muy escasos y disponibles sólo con gran esfuerzo, es lógico pensar que esta arquitectura dispone de un buen número de estrategias medioambientales basadas en el aprovechamiento de los recursos locales que permiten optimizar el funcionamiento ambiental garantizando la sostenibilidad.

El aprovechamiento de los recursos incluye el modelado formal de las viviendas para conseguir el mayor confort térmico posible con los medios técnicos disponibles. En definitiva la arquitectura tradicional incorpora de forma eficiente recursos bioclimáticos. Lo interesante de este enfoque es constatar que la mayor parte de las soluciones formales

---

<sup>1</sup> Fuente: World Watch Institute Report, 2003.



que presenta la arquitectura tradicional o están motivadas directamente por una estrategia de carácter pasivo para alcanzar el confort térmico o son compatibles con otra motivaciones de tipo económico, cultural, etc., ya que para conseguir condiciones térmicas de habitabilidad no se disponía de recursos tecnológicos complejos (De Santiago, González, & Pérez, 2007).

Ante la inexistencia de una técnica capaz de resolver toda una serie de cuestiones, entre ellas, el acondicionamiento climático, este tipo de edificaciones no podía abstraerse del medio en que se localizaban, de modo que no tenían otra alternativa que adaptarse al clima, aprovechando después las posibilidades que éste ofrecía. Este criterio se ha mantenido durante generaciones, en las que el método de ensayo “prueba y error” y las tradiciones constructivas heredadas fueron desarrollando toda una serie de tipologías adaptadas e integradas con el entorno y muy cercanas al concepto actual de sostenibilidad.

No es casualidad que hombres de distintos continentes y culturas, bajo situaciones climáticas similares, llegaron independientemente a soluciones parecidas, aun desarrollando formas de construcción específicas para cada región. Todos ellos optimizan el uso de los recursos y de la energía solar. (Behling, S., Behling St., & Schindler, 2002).

Para poder analizar la relación que hay de las diferentes regiones climáticas con la arquitectura tradicional y las estrategias utilizadas para garantizar su adaptación, voy a analizar a continuación las tipologías más representativas y que constituyen un claro ejemplo de sostenibilidad, ya que se trata de construcciones tradicionales energéticamente conscientes.

Para desarrollar este análisis se pueden utilizar diferentes clasificaciones climáticas, basadas en criterios térmicos e higrotérmicos, clasificaciones biogeográficas, geográficas, bioclimáticas, genéticas etc. (Neila, 2003). En la presente tesis utilizaré la distribución por zonas climáticas (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

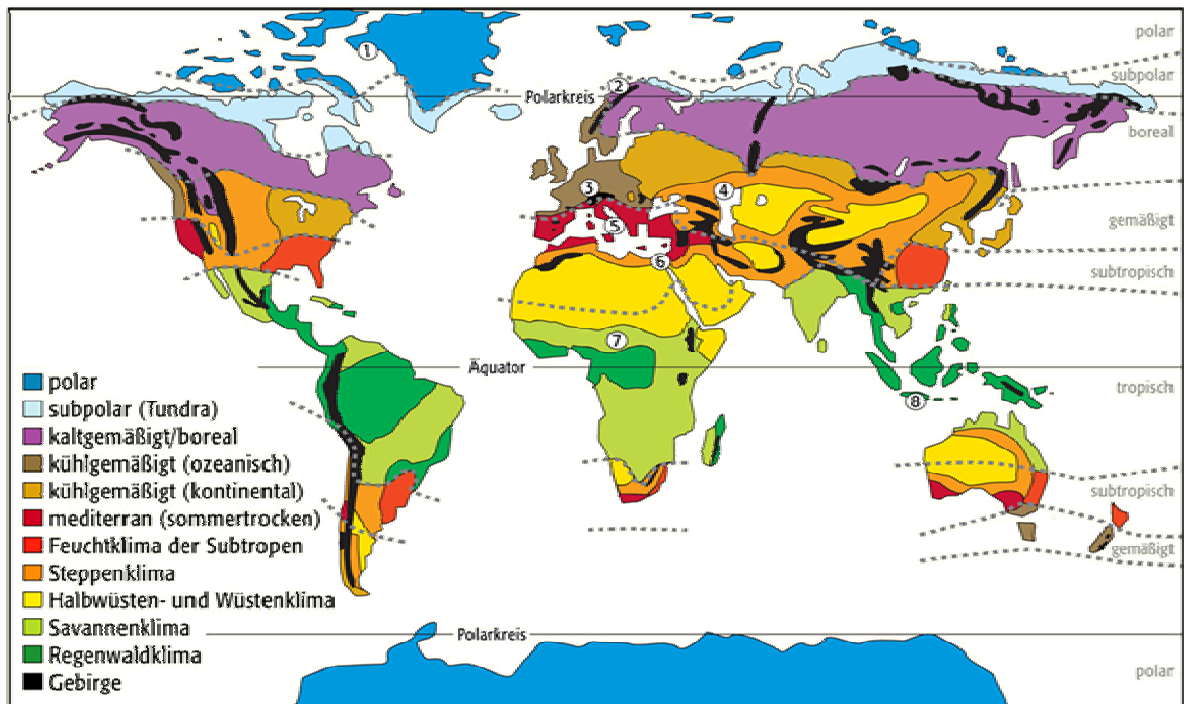


Figura 1: Zonas climáticas de la tierra

Fuente: natch DTV-Atlas Ökologie (1990) (Fraunhofer IBP, 2011)

### Zonas climáticas de la tierra

Ártico	
Tundra	
Taiga	
Alta montaña	
Clima continental	
Clima marino	
Clima mediterráneo	
Clima subtropical	
Selva	
Sabana	
Estepa	
Desierto	

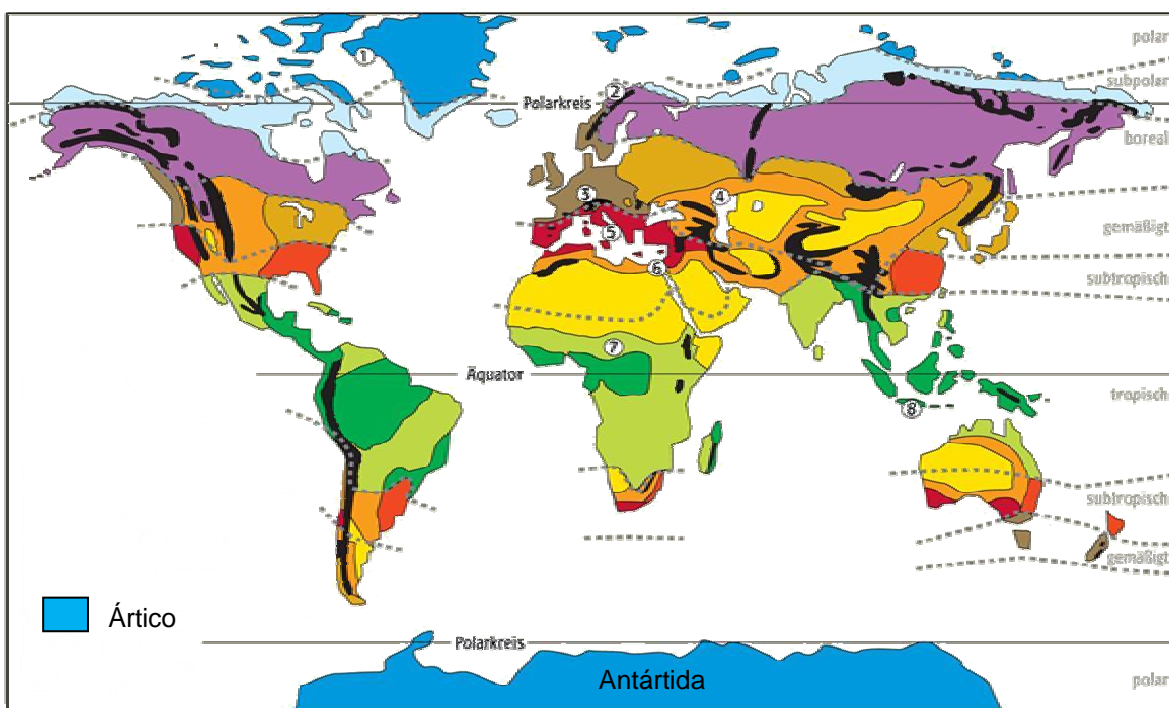


### 3.3.1 Ártico

#### Clima polar

En esta zona climática las condiciones son muy extremas, sobre todo en invierno, donde se pueden alcanzar temperaturas alrededor de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , así como fuertes vientos, lo que obliga a sus habitantes a tener que defenderse del frío (Neila, 2003).

El clima polar se da principalmente en los dos polos, alcanzando unas condiciones más severas en la Antártida, puesto que al tratarse de un continente, las temperaturas son más frías que las del Polo Norte, llegando a alcanzar los  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 2).



**Figura 2:** Ártico. Clima polar

**Fuente:** natch DTV-Atlas Ökologie (1990) (Fraunhofer IBP, 2011)

En este tipo de clima sólo unas pocas especies animales pueden aguantar ese frío extremo. La nieve es el único material disponible y abundante para la construcción. La vestimenta solamente puede fabricarse con pieles de animales, por lo tanto, la nieve, la piel y la grasa animal han sido la única base para la supervivencia.

Construir una vivienda en el ártico sin la ayuda técnica que asegure la supervivencia durante el invierno constituye un desafío. En estos casos la construcción del iglú es la solución óptima.

Los bloques de nieve compacta que se utilizan para la construcción de un iglú pueden llegar a tener hasta 1 m. de longitud, 50 cm. de altura y 20 cm. de espesor. Para su ejecución el constructor esquimal traza un círculo en el suelo con un diámetro de 5 m. y coloca la primera hilada, los siguientes bloques están ligeramente biselados para poder colocarlos formando una espiral continua que permita elevar las paredes evitando su derrumbe. Todo el proceso constructivo se ejecuta desde el interior y la apertura de la puerta de entrada se recorta una vez finalizada toda la cúpula. La forma semiesférica del iglú garantiza una mínima superficie expuesta a los vientos (Pablo Vidal, Arquitectos, 2011).

La luz en el interior del iglú la proporciona en algunos casos, una ventana situada sobre la entrada, hecha con una hoja de hielo o con piel del intestino de foca. Cerca de la clave de la cúpula, existe un pequeño hueco que permite la ventilación del iglú.



**Figura 3:** Iglú

**Fuente:** <http://blocs.xtec.cat/elsesquimals/feed/>

El iglú se trata de una vivienda temporal, aunque su utilización puede llegar a varias semanas incluso meses, sobre todo durante el invierno. Este tipo de construcción en ocasiones se puede unir a otros iglús mediante un pasadizo de escasa altura y

dimensiones. Pueden haber iglús comunitarios donde podemos encontrar varias cámaras principales ocupadas por cada familia y otras utilizadas para reuniones, almacenes etc.

Con referencia al aislamiento, la nieve compacta por su densidad es un magnífico aislante, ya que sus poros están llenos de aire, siendo su coeficiente de conductividad térmica  $\lambda=0,21 \text{ W/mK}$ , no obstante, algunos esquimales revisten el interior de su iglú con pieles de animales para garantizar un mayor aislamiento, ya que las pieles crean pequeñas cámaras de aire entre ellas y las paredes lo que incrementa el aislamiento. En muchas ocasiones se cubre el suelo del interior del iglú con ramas, pieles y musgo.

Teniendo en cuenta el calor emitido por las lámparas de aceite de ballena y el calor corporal de las personas que lo ocupan, en torno a 108 W por persona en posición sentada y en reposo, un iglú con cuatro personas y dos lámparas de aceite puede llegar a tener una temperatura interior de hasta 5 °C, con temperatura en el exterior de -40 °C. Cuando se calientan el ambiente en el interior del iglú, las paredes interiores se humedecen, escurriendo por las mismas el exceso de agua, que es absorbido por las zonas menos saturadas. En este tipo de construcciones aunque se haga fuego en su interior, el frío exterior impide que se derrita la estructura.

El contacto con la civilización occidental ha alterado el modo de vida tradicional de los inuit o esquimales. Actualmente pasan el invierno en poblados, con viviendas de madera o planchas de pizarra cubiertas de turba y trabajan en las minas, las plataformas petrolíferas, las ciudades y los aeropuertos. Solo viven en tiendas construidas con pieles en verano, durante las expediciones de caza, y el iglú únicamente se utiliza en situaciones de emergencia, por ejemplo ante una ventisca.

Como resumen de este apartado, en la siguiente tabla (Figura 4) se incluyen las diferentes estrategias utilizadas dentro de la zona climática **Ártico (clima polar)** y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Ártico (clima polar)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>DISEÑO CONSTRUCTIVO</b>
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: nieve compacta y pieles de animales.
Iluminación interior diurna	Ventanas ejecutadas con hojas de hielo o piel de intestino de foca.
Iluminación interior nocturna	Utilización de lámparas de aceite de ballena.
Protección del viento	Formas compactas y con factores de forma muy bajos.
Ventilación	Pequeños huecos en la parte superior de las edificaciones.
Aislamiento térmico y conservación de la energía	Cerramiento de bloques de nieve compacta, cámara de aire y revestimiento interior con pieles de animales.
Aislamiento del suelo	Ramas, pieles y musgo.
Calentamiento interior	Calor corporal. Calor emitido por la utilización de lámparas de aceite de ballena.

**Figura 4:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el Ártico (clima polar)

**Fuente:** Elaboración propia

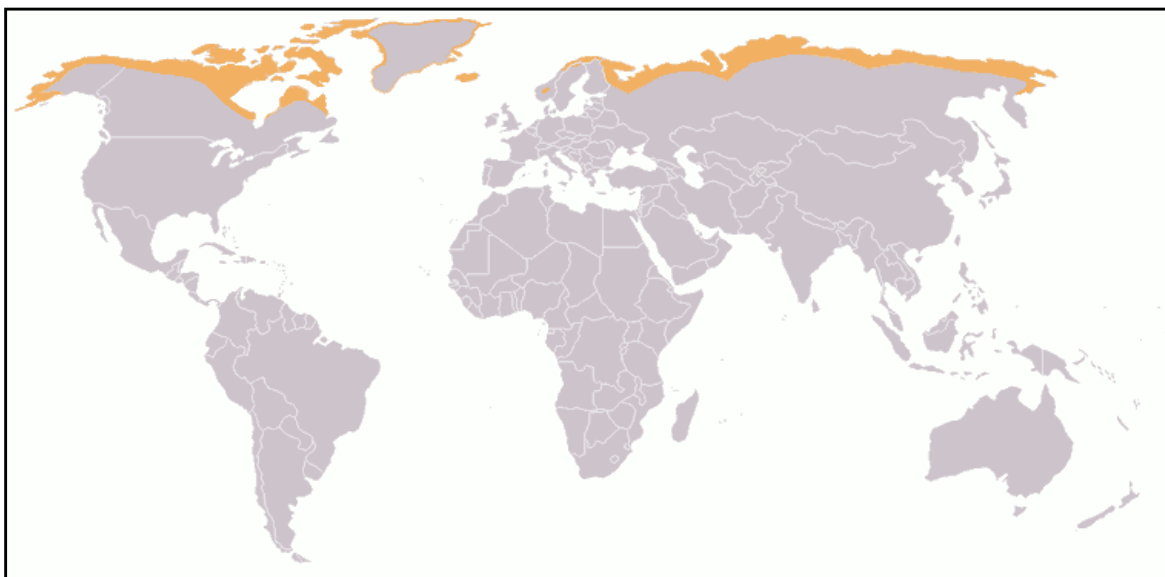
### 3.3.2 Tundra / taiga

#### Clima ártico

Este clima se encuentra casi en su totalidad en el hemisferio norte dentro de los biomas de la tundra y la taiga.

#### Tundra

La tundra es un bioma que se extiende principalmente por el hemisferio norte (Asia y América del Norte), donde forma una estrecha franja entre los 60° y 75° de latitud. Algunas de las regiones afectadas son: las zonas costeras de Groenlandia, las vertientes árticas de Norteamérica y Eurasia, y norte de Islandia. En el hemisferio sur descubrimos un clima similar en la Península Antártica, islas adyacentes e islas sub-antárticas.



**Figura 5:** Distribución de la tundra

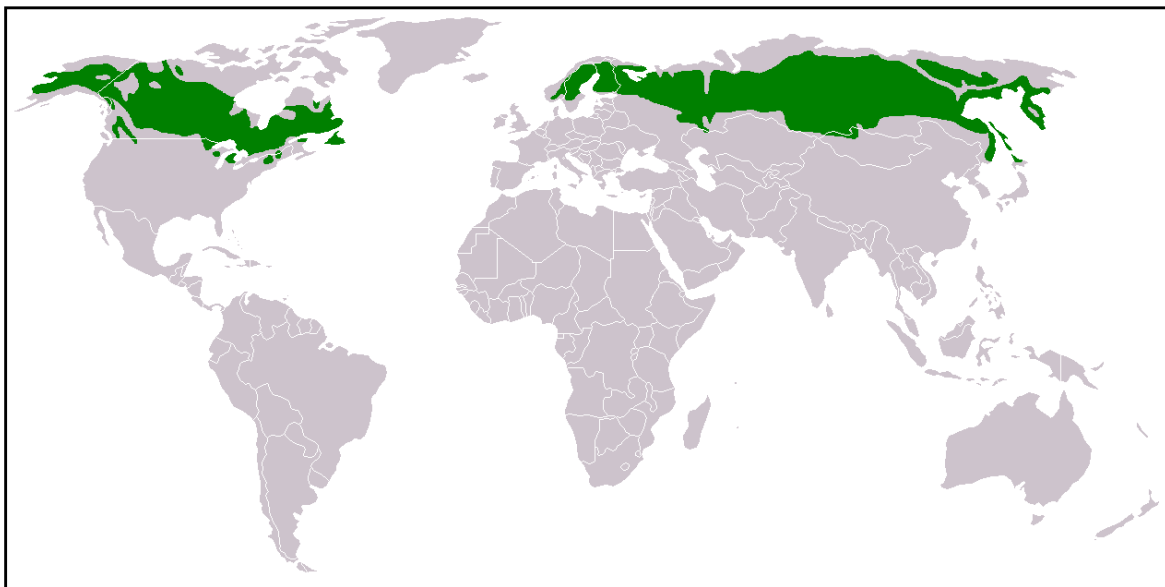
**Fuente:** Neumüller 2006

Los inviernos son extremadamente fríos y los veranos cortos y frescos, con lluvias ligeras durante el verano y nevadas el resto del año. Durante los largos inviernos la temperatura media es de -28 °C y el terreno está cubierto por hielo y nieve. En cambio durante los cortos veranos la temperatura puede variar entre 0 ° y 10 °C.

## Taiga

El bosque boreal o Taiga se encuentra en el hemisferio norte entre las latitudes 50° y 60°. Los veranos son frescos y los inviernos muy fríos, aunque estas condiciones rigurosas mejoran considerablemente en las proximidades de los océanos más cálidos, como en Noruega y en la costa del Pacífico de Norteamérica.

La temperatura media en verano es de 19 °C, lo que ofrece unas condiciones favorables para su asentamiento, sin embargo los inviernos son fríos y el suelo se congela, siendo la temperatura media de -30 °C. Las precipitaciones se distribuyen durante todo el año y su promedio anual alcanza los 450 mm, siendo importante la acumulación de nieve durante el invierno. Este bioma se extiende por Alaska y Canadá en el continente norteamericano y por Escandinavia y el norte de Rusia (Siberia) en el continente euroasiático.



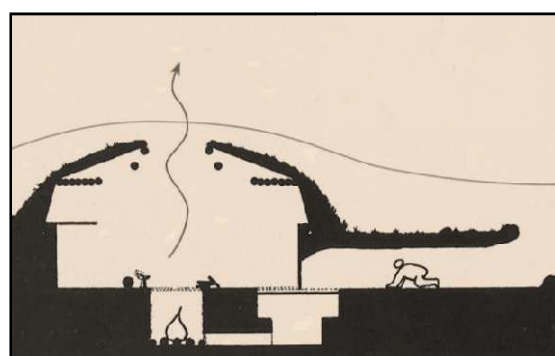
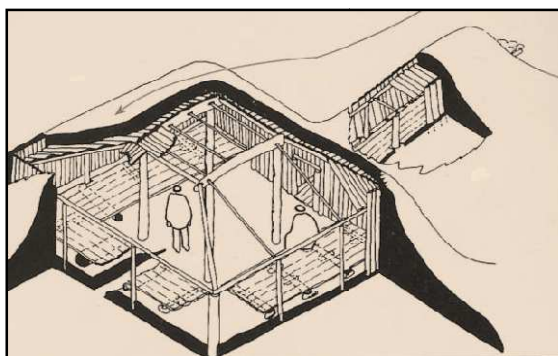
**Figura 6:** Distribución de la taiga

**Fuente:** Joonasl 2005

Dentro de la zona climática ocupada por la tundra y la taiga analizaré dos tipologías de construcciones, la vivienda excavada y la vivienda transportable denominada “yurta”.

## Vivienda excavada

Ante la escasez de materiales de construcción en la estepa, sus habitantes recurren a todo aquello que les pueda ser de utilidad. Excavan sus viviendas en el terreno y la entrada al recinto del hogar se encuentra situada en una cota más baja por razones de calefacción (Figura 7).



**Figura 7:** Técnica de construcción en Thule

**Fuente:** Behling y Schindler 2002

Abunda la madera como material de construcción, por este motivo, las viviendas están revestidas interiormente con tablones y montantes regularmente colocados. Por otro lado la madera es un material que apenas absorbe calor ( $\lambda=0,13$  W/mK), lo que permite que toda la energía consumida en el interior de la vivienda se utilice única y exclusivamente para calentar el aire.



**Figura 8:** Vivienda excavada

**Fuente:** Bascón 2012

Las cubiertas están formadas por varias capas de césped que garantizan el aislamiento en su interior, ya que su coeficiente de conductividad térmica es muy bajo ( $\lambda=0,04$  W/mK). La ventilación se consigue con una abertura en la cubierta formada por vértebras dorsales huecas de ballena. Hay que tener en cuenta que los esqueletos de ballena (Figura 9) se utilizaban habitualmente en la arquitectura vernácula para construir viviendas y objetos, como ejemplo (Holzlehner, 2013), en su artículo *“Living inside the Belly of the Beast”*, nos describe la importancia que tenía la utilización de los esqueletos de ballena, las pieles de reno y morsa dentro de la arquitectura tradicional desarrollada a lo largo de la costa del mar de Bering<sup>2</sup>.



**Figura 9:** Restos de asentamientos y esqueletos de ballena (Península de Chukchi)

**Fuente:** Holzlehner 2013

### **Vivienda transportable. La yurta**

La agricultura y la construcción han estado muy limitadas hasta hace muy poco tiempo. En la estepa vivían sobre todo nómadas cuyas moradas eran transportables, en este sentido, la yurta como vivienda ha demostrado tener una capacidad de adaptación en grandes áreas del mundo. Empleada a lo largo del recorrido que hay entre Irán y Mongolia, atravesando Asia Central. Esta tipología de construcción la podemos encontrar en Rusia y Afganistán, entre otros países.

---

<sup>2</sup> El mar de Bering es una parte del océano Pacífico. Limita al norte y al este con Alaska, al oeste con Siberia y al sur con la península de Alaska y las islas Aleutianas.



Todas las yurtas presentan el mismo tipo de estructura, aunque su nombre y algunos detalles pueden variar de un país a otro. Su forma es circular y la pared exterior está construida con un armazón de sauce, que puede estirarse y contraerse permitiendo su transporte. Una yurta típica tiene un diámetro aproximado de 5 m. y su armazón lo componen más de 30 varillas de sauce atadas al bastidor. La corona de la yurta se eleva por encima de los soportes centrales y contiene una abertura que permite la salida del humo y la entrada de luz (Figura 10).



**Figura 10:** Armazón de sauce de una yurta  
**Fuente:** Tkn20 (anónimo) 2007

El armazón de la yurta se cubre con varias capas gruesas de fieltro o esteras de caña y otras veces con lonas de lana, unas por el interior del armazón y otras por el exterior. Entre ambas se forma una capa de aire aislante. Estos recubrimientos son fáciles de transportar y óptimos para soportar los intensos cambios climáticos. Cuando llueve la abertura central se cubre con un casquete. Tanto este casquete, como el recubrimiento de las paredes, se impermeabilizan en contacto con el agua manteniéndose permeables a la difusión del vapor interior.

En algunos casos la yurta se decora por el exterior. La puerta puede tratarse de una simple lona reforzada en su parte posterior con un tablero y delimitada por un marco desmontable de madera fijado al armazón.



**Figura 11:** Cobertura de una yurta

**Fuente:** Tkn20 (anónimo) 2007

La yurta se aislaba del suelo utilizando alfombras de lana de camello, jack o cabra y pieles, en otros casos tenía un entarimado de madera elevado del suelo y que cubría la base. El espacio interior de la vivienda estaba dividido estrictamente en sectores, para el dueño de la casa, las mujeres y niños, los huéspedes y el altar. El hogar se situaba en la zona central garantizando la perfecta distribución del calor.

Hoy en día las yurtas se han vuelto a construir por todo el mundo y muchas personas han recuperado esta forma de habitar, adaptándola a la vida contemporánea. Las actuales conservan la forma, aunque los materiales utilizados en su construcción se han sustituido por otros más evolucionados y mejorados tecnológicamente. Se utilizan materiales más ligeros, resistentes e ignífugos.

En la siguiente tabla se incluyen las estrategias empleadas en la zona climática **tundra/taiga (clima ártico)** y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas, distinguiendo entre vivienda excavada y transportable, cuando difiere la solución constructiva.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Tundra/taiga (clima ártico)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
---	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	El propio terreno y la madera (vivienda excavada).
	La madera, el fieltro, la caña, lana de camello, jack o cabra y pieles (vivienda transportable).
Aislamiento térmico y conservación de la energía	Revestimiento interior de madera (vivienda excavada).
	Cubierta compuesta por varias capas de césped (vivienda excavada).
	Cobertura compuesta por varias capas gruesas de fieltro, esteras de caña o lonas de lana y cámara de aire aislante entre las diferentes capas (vivienda transportable).
Calentamiento interior	Hogar situado en la zona central de la vivienda.
Ventilación	Abertura en la cubierta formada por vértebras dorsales huecas de ballena (vivienda excavada).
	Abertura central en la cubierta (vivienda transportable).
Iluminación interior	Abertura central en la cubierta de la vivienda.
Aislamiento del suelo	Entarimado de madera elevado del terreno.
	Alfombras de lana de camello, jack o cabra (vivienda transportable).
Protección de la lluvia	Cubierta compuesta por varias capas de césped (vivienda excavada).
	Cobertura compuesta por varias capas gruesas de fieltro, esteras de caña o lonas de lana (vivienda transportable).
Transportabilidad	Vivienda de los nómadas (la yurta).

**Figura 12:** Estrategias de la arquitectura tradicional en la tundra/taiga (clima ártico)

**Fuente:** Elaboración propia

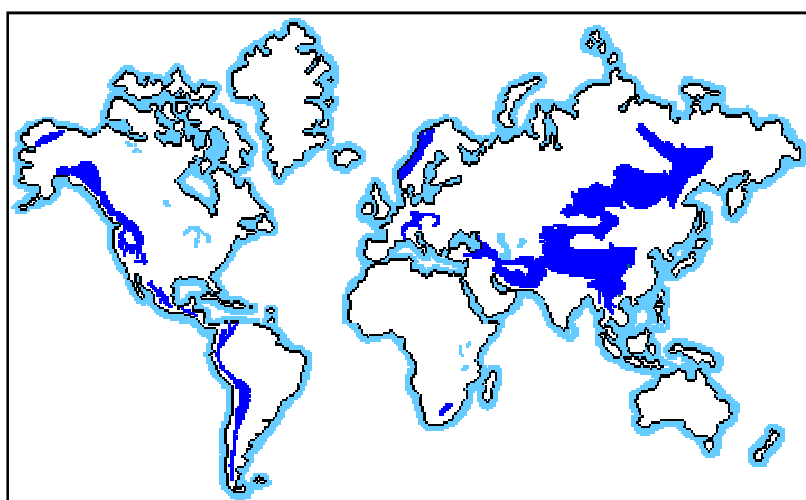
### 3.3.3 Alta montaña

Clima frío, húmedo o seco

El hombre ha vivido desde hace siglos en las zonas de montaña y una parte muy significativa de la humanidad todavía vive allí. La nieve, los aludes, el viento y la lluvia representan desafíos a los que los habitantes deben enfrentarse.

La alta montaña se caracteriza por sus altas precipitaciones. Las lluvias se concentran entre los 800 y los 1.500 m, altitud en las que las nubes descargan gran parte de su humedad, en general alta, provocando un incremento en la sensación de frío. Las precipitaciones en primavera y en verano suelen ser en forma de agua y en invierno en forma de nieve. El gradiente térmico de 0,5-1 °C cada 100 m. supone un aumento de la humedad relativa del aire y la presencia de lluvias orográficas<sup>3</sup>. Las temperaturas y las lluvias de montaña varían según la altitud.

Este tipo de clima en España es propio de los Pirineos, el Sistema Central y las Cordilleras Béticas. En el resto del mundo el clima de alta montaña se encuentra principalmente en el Himalaya, Cáucaso, los Alpes, en la cordillera de los Andes, montañas Rocosas, montes de Noruega, montes Urales etc.



**Figura 13:** Clima de alta montaña

**Fuente:** <http://www.blueplanetbiomes.org/alpine.htm>

<sup>3</sup> Son las producidas por el ascenso de la columna de aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña.



El clima de Alta Montaña es propio de las zonas situadas a más de 1.200 m. de altitud. Se caracteriza por tener inviernos fríos con temperaturas muy bajas inferiores a 0 °C y los veranos son frescos y cortos. Su oscilación térmica es de 10,5 °C. Teniendo en cuenta estas condiciones, la opción básica de diseño constructivo es la conservación de la energía que se genera en el interior de las edificaciones. Aquí aparecen las construcciones robustas, eficientes, autosuficientes y aptas para su entorno.

En la alta montaña, como indica Neila González “aunque las temperaturas son bajas, la irradiación solar<sup>4</sup> es elevada, por lo que es perfectamente posible emplear estrategias de captación solar, combinadas con las de aislamiento térmico” (Neila, 2003).

En las zonas de alta montaña el aire es más limpio y más delgada la capa atmosférica que deben de recorrer los rayos solares, de manera que a mayor latitud mayor radiación solar. Como promedio por cada 1.000 m. de incremento de la latitud, la radiación aumenta entre un 10% y un 12% (Apolos, 2009).

En las montañas al producirse duras condiciones climáticas, las viviendas tienen que adaptarse y no pueden oponerse a la naturaleza. Las casas tienen que amoldarse al terreno o elevarse sobre él para impedir la entrada de humedad.

La orientación y la situación topográfica determinan la exposición al sol y al viento, siendo los principales factores climáticos que condicionan la localización de los núcleos poblados y de las casas aisladas (Pascual, 2011).

Con relación a los materiales empleados en estas edificaciones, teniendo en cuenta que en la montaña el material de construcción puede ser escaso y el transporte resulta difícil, una de las características debe ser la durabilidad. Se construyen viviendas energéticamente eficientes con madera, piedra y paja.

---

<sup>4</sup> Las cantidades de radiación se expresan en términos de exposición radiante o irradiancia, siendo esta última una medida de flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea como (*Energía/Área*) y cuya unidad es el (W/m<sup>2</sup>) por día.



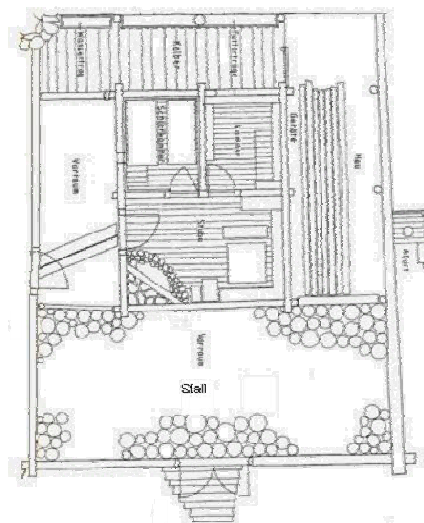
**Figura 14:** Vivienda de piedra del valle Verzasca (Suiza)  
**Fuente:** Felgner 2012

Las viviendas se encuentran orientadas al sur para poder asegurar un máximo soleamiento. De la misma forma, una orientación sureste facilita una optimización de la energía solar durante los largos inviernos. En algunos casos la cubierta puede llegar al suelo en el lado expuesto al viento.

En los climas de montaña, más fríos, la cocina constituye un núcleo energético que se sitúa en el centro de la casa con paredes que recurren a la inercia térmica, para evitar que el calor salga rápidamente hacia fuera.

Los asentamientos localizados en alturas medias, utilizan las laderas soleadas de las montañas como protección de los vientos y acumulador térmico. Las casas se construyen en altura (dos o tres plantas) donde el ganado se dispone en planta baja y la vivienda en la planta superior, separadas por un delgado entrepiso de tablas que permite aprovechar el calor de los animales durante el invierno, mientras en verano pastan en los prados y el interior permanece fresco. La cosecha se seca en la parte alta de la casa, muy ventilada convirtiéndose en un excelente aislante.

El edificio donde se combina vivienda y lechería en los Alpes es una construcción que contiene todo lo que necesita el campesino para su trabajo. Vivienda y taller, así como los establos que les rodean, se encuentran todos bajo un mismo techo. De este modo, los animales se encuentran protegidos, además desprenden un calor adicional a las habitaciones situadas en la parte central (Figura 15).



**Figura 15:** Quesería Rundumkaser en los Alpes

**Fuente:** <http://www.aelf-ts.bayern.de/pflanzenbau/23106/index.php>

Dentro de las fuentes de calor que utiliza la construcción tradicional no hay que olvidar el calor producido por la convivencia de las personas y el fuego del hogar encendido a diario.

Las cubiertas en la montaña pueden ser de teja, pizarra, lajas de madera, losas de caliza y de paja. Como ejemplo de esta última podemos hablar de la **palloza**, vivienda tradicional de las montañas con cubierta de paja de centeno y situada dentro de las sierras orientales de Lugo (Figura 16).



**Figura 16:** La palloza

**Fuente:** <http://sobregalicia.com/2009/11/05/las-palozas-chalets-del-neolitico/>



Las condiciones adversas propias de una topografía abrupta y un clima con abundantes nevadas, obligan a estas construcciones a estar preparadas para soportar largos períodos aisladas del exterior, por lo que se comparte en un mismo espacio vivienda y establo.

La forma más sencilla de la palloza es un cilindro de planta circular con un diámetro aproximado de 6 m, donde la cubierta de paja de centeno se ejecuta en forma cónica. El conjunto mide aproximadamente 8 m.

Su forma de planta circular ha evolucionado con el paso del tiempo a formas elípticas, ovales e incluso rectangulares, aumentando de esta forma sus dimensiones.

A excepción de la palloza circular, que carece de establo, el resto combina estancias a distintos niveles respetando las características del suelo donde se localiza. El establo se ubica en un nivel más bajo adaptándose al propio terreno.

Los muros suelen medir de 1,8 a 2 m. de alto y de 60 a 90 cm. de espesor. Se construyen con mampostería de granito o pizarra. Los huecos son escasos y de dimensiones reducidas.

La palloza se adapta al terreno para protegerse de los vientos, siendo la cubierta la mayor parte de edificación. Esta estrategia junto con el gran espesor que tienen los muros le proporcionan a la palloza una gran inercia térmica.

La necesidad de tener que mantener el calor durante el invierno se detecta en los escasos huecos, ya que ni siquiera existe chimenea y en la utilización de materiales que proporcionan a la palloza gran aislamiento. Como es el caso de la paja de centeno en la cubierta, cuyo coeficiente de conductividad térmica es muy bajo ( $\lambda=0,045$  W/mK).

Dentro de la construcción tradicional de alta montaña, en general las cubiertas tienen mucha inclinación para evacuar rápidamente el agua cuando llueve, evitando la humedad en el interior de la vivienda y la acumulación excesiva de nieve durante el invierno, aunque hay que tener en cuenta que el poder aislante en las cubiertas se ve incrementado por la acumulación de nieve.



Se utilizan amplios aleros para proteger de la lluvia las fachadas, los balcones y las ventanas. En algunos casos los balcones están cerrados o cubiertos por pequeños tejados actuando como secaderos en las solanas de las casas.

En las zonas donde se producen fuertes vientos se colocan piedras para evitar que las tejas, las losas de caliza o de pizarra sean movidas por el viento o barras de hierro para evitar que puedan caer con la nieve desprendida (Krüger, (1939) 1995 citado en Pascual, 2011).

En muchos casos se utiliza la escalera exterior para asegurar la entrada y salida de la vivienda en el caso de fuertes nevadas.

Dentro de la arquitectura tradicional de alta montaña, hay que considerar la importancia que dentro de ella tienen las construcciones complementarias. Como ejemplo podemos destacar los graneros de los Alpes que acostumbran a ser habitáculos muy pequeños de un solo espacio adaptados a las necesidades de almacenaje del campesino de montaña. Esta construcción de madera de 2,2 x 2,6 m. se mantiene en pie desde 1561. Los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta en su construcción son la orientación, la ventilación y la protección contra los ladrones. Resulta interesante la formación de capas alrededor del espacio destinado para almacenaje.



**Figura 17:** Graneros en Niedergrächen (Suiza)  
**Fuente:** Menzel 2009

Como resumen de este apartado se incluyen en las siguientes tablas (Figura 18 y Figura 19), las estrategias utilizadas en la zona climática de **alta montaña** y el diseño constructivo adoptado.

ZONA CLIMÁTICA:	ARQUITECTURA TRADICIONAL
Alta montaña (clima frío, húmedo o seco)	

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, piedra, granito, teja, pizarra y paja.
Forma adaptada al terreno	Las viviendas tienen que adaptarse o elevarse sobre el terreno para impedir la entrada de humedad.
Captación solar	Las viviendas se encuentran orientadas al sur para asegurar un máximo soleamiento.
	La orientación sureste facilita una optimización de la energía solar durante los largos inviernos.
	En general los huecos son pequeños y están protegidos.
Calentamiento interior	Instalación de la cocina en la zona central de la vivienda.
	Instalación de hogar.
	Calor desprendido por el ganado guardado en la planta baja.
Ventilación cruzada	Granero muy ventilado situado en la parte alta de la vivienda: Permite el secado de la cosecha almacenada. Evita que el calor llegue a la vivienda, actuando como aislante.
Protección de la lluvia	Construcción de cubiertas con mucha inclinación. Tipologías utilizadas: cubiertas de teja, pizarra, lajas de madera y paja sobre estructura de madera.

**Figura 18:** Estrategias de la arquitectura tradicional en alta montaña (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Alta montaña (clima frío, húmedo o seco)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
---	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Protección del viento	La vivienda tradicional se adapta al terreno para protegerse del viento.
	En las zonas donde se producen fuertes vientos se colocan piedras para evitar que las tejas, las losas de caliza o de pizarra se muevan por el viento.
Inercia térmica	Cerramientos de gran espesor de mampostería de piedra, granito o pizarra.
Aislamiento térmico y conservación de la energía	Cerramientos y revestimientos de madera.
	Cubiertas de paja.
	Se incrementa el aislamiento de las cubiertas por la acumulación de nieve durante el invierno.
Protección de la lluvia	Ejecución de amplios aleros en las cubiertas para proteger de la lluvia las fachadas, los balcones y las ventanas.
Condicionantes del terreno	Utilización de escaleras exteriores para asegurar la entrada y salida de la vivienda en el caso de fuertes nevadas.

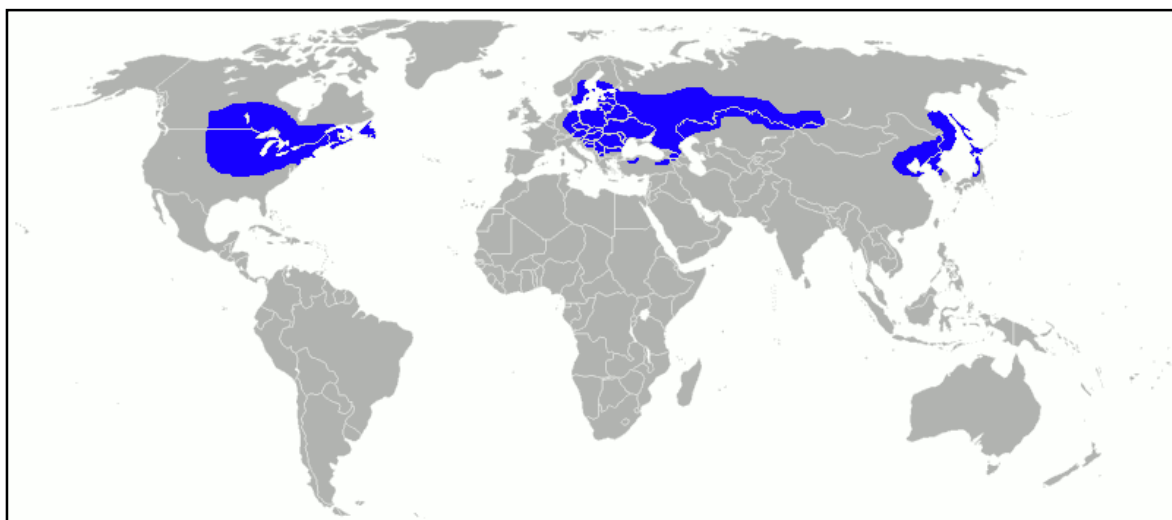
**Figura 19:** Estrategias de la arquitectura tradicional en alta montaña (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.4 Clima continental

Este clima se caracteriza por la gran diferencia de temperatura entre el invierno y el verano, así como entre el día y la noche, los veranos son calurosos, se puede alcanzar temperaturas superiores a 35 °C y los inviernos son muy largos, fríos y secos con temperaturas inferiores a 0° C, las precipitaciones son escasas y se producen en forma de nieve. El verano es la estación donde se alcanzan las máximas precipitaciones. La primavera y el otoño son estaciones con escasa duración. Estas condiciones se deben a que en invierno se producen en el interior de los continentes potentes anticiclones térmicos que provocan días de cielos despejados y bajas temperaturas que impiden la llegada de los vientos húmedos; el aumento de las temperaturas en la corta primavera y en verano favorecen la desaparición de los anticiclones y la llegada de las borrascas (vientos del oeste) trayendo las lluvias estivales.

El clima continental aparece principalmente en el hemisferio norte del planeta: Siberia (exceptuando el norte), en el interior de Estados Unidos, Canadá, Europa central y oriental, Asia central, interior de China e Irán.



**Figura 20:** Clima continental

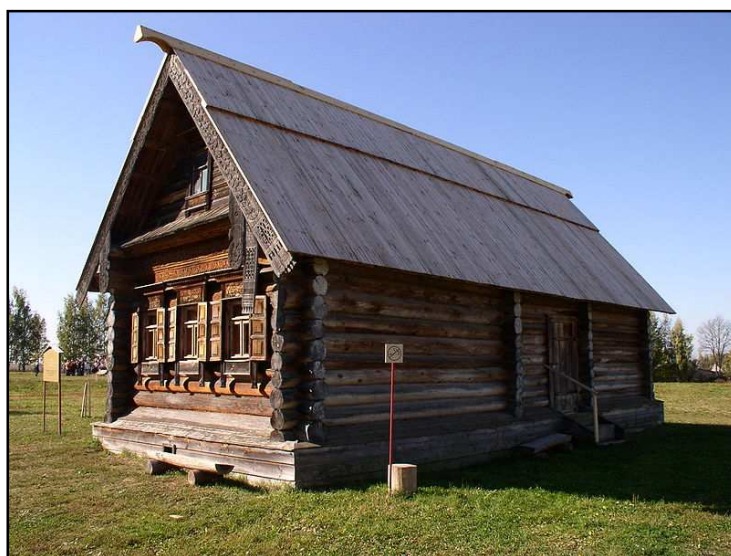
**Fuente:** Strongbad 1982 (anónimo) 2008

En este clima las viviendas han de soportar grandes cambios de temperatura y los materiales de construcción deben aislar tanto del frío como del calor extremo. Con la

ayuda de gruesos muros exteriores que absorben el calor, o de muros aislantes de madera, el hombre intenta adaptarse a los continuos cambios atmosféricos.

Dentro de los diferentes tipos de edificaciones más representativas que podemos encontrar en el clima continental, en primer lugar analizaré **la casa de troncos rusa**.

A la hora de construir cuando no existe la posibilidad de captar el calor exterior, ya que los inviernos son muy largos y fríos, el único objetivo es conservar el calor en el interior de la vivienda, en estos casos resulta conveniente utilizar materiales que transmitan el calor muy lentamente para que la energía generada en el interior vaya inmediatamente al aire; son los materiales de baja conductividad térmica. Una pequeña cantidad de energía calentará rápidamente el aire. Para estos casos el acabado ideal es la madera, ya que conserva el calor en superficie, compartiendo su energía con el aire, por este motivo la vivienda campesina tradicional rusa denominada **“Izba”** tiene los muros macizos de madera, lo que conlleva ventajas energéticas.



**Figura 21:** Vivienda campesina tradicional rusa “Izba”

**Fuente:** Eugene Zelenko 2005

En la construcción se utilizaban troncos enteros de pino y como el metal era un material costoso, estas viviendas se solían construir sin clavos. Los componentes de la vivienda se cortaban y elaboraban con un hacha y las juntas se rellenaban con arcilla, lo

que garantizaba su impermeabilidad. Las fachadas a menudo presentaban tallas ornamentales en la madera, sobretodo en puertas y ventanas.

Las cubiertas estaban compuestas por una capa impermeable de corteza de abedul, apoyada sobre la estructura de madera de la cubierta. Se utilizaba para su ejecución tablas de corteza hervidas previamente en agua para garantizar su elasticidad y resistencia. Sobre dicha superficie se colocaba una segunda capa densa de paja de centeno. Los campesinos más ricos ejecutaban sus cubiertas con tablas y listones de madera (Милов, 1998).

A partir del siglo XV, estas edificaciones tenían un horno situado generalmente en el centro de la vivienda, con dos utilidades principales, la cocina y la calefacción. La parte superior del horno, era una gran superficie plana que permitía a los habitantes de la vivienda utilizarla para dormir en invierno, ya que esta zona se encontraba caliente (Figura 22).



**Figura 22:** Utilización del horno ruso

**Fuente:** Grabado de Juan Augustus Atkinson 1803

El hogar se alimenta con material de desecho como ramas o restos de madera de abedul o pino. El horno estaba diseñado para mantener el calor en su interior durante un largo periodo de tiempo. El humo y el aire caliente producido por la combustión se

canalizaban mediante un laberinto de pasadizos de ladrillo, manteniendo de esta forma el calor en la vivienda.



**Figura 23:** Horno ruso. Vivienda campesina “Izba”

**Fuente:** Hanna Zelenko 2007

Este tipo de horno era una pieza masiva, que actuaba como un gran núcleo caliente que irradiaba calor a toda la casa. Solía construirse íntegramente con ladrillo, y en ocasiones el paso del humo se abría a un pequeño cuarto destinado a ahumar carne o pescado. El horno ruso y el uso de elementos decorativos en las fachadas todavía se encuentran en muchas casas de campo rusas actuales.

Otra tipología de edificación representativa dentro del clima continental son las viviendas europeas donde se utilizan cerramientos con **entramado de madera**. Este sistema constructivo es el más utilizado en Europa central en el siglo XVIII y permite la ejecución de viviendas con varias plantas. La estructura destaca por sus pilares y vigas de madera. Los pilares se encajan en las vigas y las puertas y ventanas corresponden a los huecos de la estructura. Como los pilares descargan su peso en las vigas inferiores, las piezas tienen pequeñas dimensiones.

La estructura estaba basada en entramados de madera que se rellenaban de barro, debido a su abundancia y facilidad de obtención, aunque su aplicación no resultaba sencilla. Su elasticidad dependía de la humedad. Cuando se secaba, aparecían grietas que producían problemas estéticos. Por ello, el barro se asociaba a otros materiales que compensaban esta retracción como la paja. En algunos casos para proteger el barro de la lluvia y de la nieve cada planta de la vivienda avanza respecto a la inferior (Figura 24).

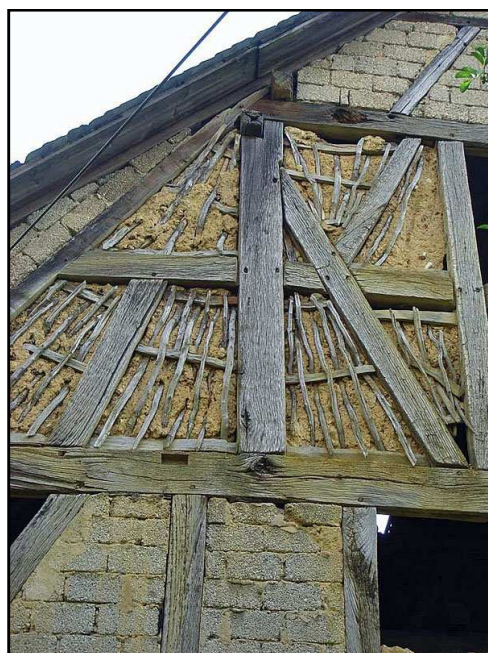


**Figura 24:** Vivienda con entramado de madera

**Fuente:** <http://nwoodcraft.blogspot.com.es/2012/05/what-is-post-and-beam-timberframing.html>

Dentro de los muchos sistemas que habían para poder aplicar el barro entre la estructura, el más utilizado consistía en la creación de un tejido de ramas entrelazadas fijado a los huecos de la estructura principal y que sostenía el material. Posteriormente se revestía con pintura de cal, que aumentaba la resistencia del cerramiento. En otros casos la estructura entramada se rellenaba con piedras o ladrillos.





**Figura 25:** Entramado con tejido de ramas entrelazadas y barro, y relleno con ladrillo  
**Fuente:** <http://fotografiert.wordpress.com/2009/04/27/am-alten-fachwerkhaus/fachwerk1/>

Una de las cualidades de combinar un entramado de madera con un relleno pétreo, es su comportamiento higrotérmico. En verano, el calor dilata el relleno del cerramiento, pero la baja humedad relativa ambiente, provoca la contracción de la madera, compensándose ambos efectos. Por el contrario en invierno, el frío contrae el relleno y la humedad ambiente hincha el entramado de madera, de forma que se vuelve a compensar el sistema.

Los espesores del entramado variaban en general entre 1 pie en el arranque (27,86 cm.) hasta 3/4 de pie (20,89 cm.) en las plantas más altas, espesores determinados por una de las dimensiones de las escuadrías de sus componentes.

Con relación a las cubiertas, generalmente tienen mucha inclinación para evacuar con facilidad el agua cuando llueve, evitando la humedad en el interior de las viviendas y las sobrecargas de nieve durante el invierno, ya que aunque la nieve ofrece un buen aislamiento térmico ( $\lambda=0,21$  W/mK), antiguamente al carecer del nivel de conocimientos que tenemos actualmente sobre cálculo estructural y sistemas de construcción, el peso



de la nieve producía importantes problemas, con hundimientos frecuentes en aquellas cubiertas que tuvieran poca pendiente.

La utilización de aleros como prolongación de la cubierta es habitual en las viviendas, ya que permite que el cerramiento no se moje directamente con la lluvia. Existen diferentes acabados para este tipo de cubiertas: de pizarra, de teja, de tejuelas machihembradas de madera y de paja.

Dentro de esta tipología constructiva no se utilizan las persianas en las ventanas, permitiendo de forma permanente la entrada de luz y calor en la vivienda, es lógico teniendo en cuenta que en este clima los inviernos son largos y muy fríos. En algunos casos se utiliza la contraventana opaca para evitar pérdidas de calor en las noches frías invernales, y abrirse a la luz y al calor solar durante el día.

El clima continental presenta también algunos ejemplos muy singulares de construcción tradicional como es el caso de las “**viviendas trogloditas**”, tipología constructiva que podemos encontrar en China, aunque también en otros climas y países como España, Marruecos, Túnez, Turquía, etc.

Desde hace siglos la humanidad ocupó y construyó hábitats en el interior de las montañas o del suelo, utilizando cavidades en unos casos naturales y en otros creándolas, es lo que se conoce como **arquitectura troglodita**.

En la actualidad, millones de personas siguen ocupando estos espacios, que se utilizan no sólo como viviendas sino también como talleres, escuelas, templos, restaurantes, oficinas públicas etc. En la mayoría de los casos se trata de poblaciones de características pastoriles o de artesanos.

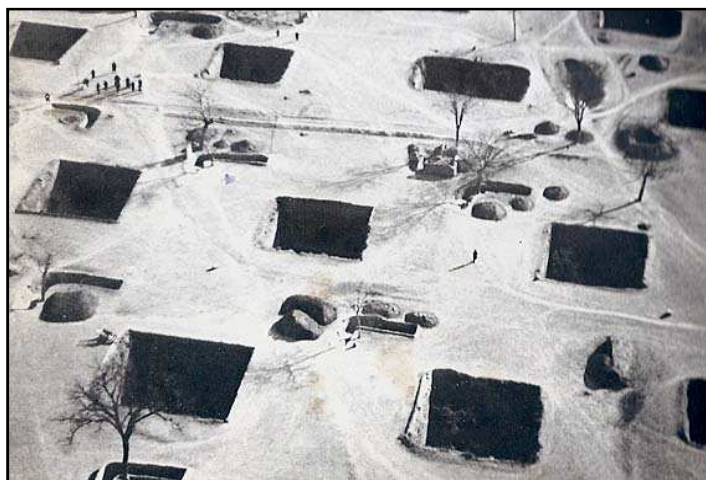
Este tipo de construcción en el caso de China, lo podemos encontrar en las regiones de Luoyang y Tunghwan, ubicadas dentro del clima continental, tienen un régimen pluvial débil y carácter semidesértico, donde el suelo puede ser excavado sin demasiada dificultad y las napas<sup>5</sup> si existen, se encuentran a grandes profundidades.

---

<sup>5</sup> Capas de agua subterráneas ubicadas a diferentes profundidades en el perfil del subsuelo.

Las temperaturas diurnas son elevadas y hay grandes diferencias entre el día y la noche o entre el verano y el invierno, con oscilaciones diarias de más de 20 °C, es imprescindible la utilización de sistemas de cerramiento con fuerte inercia térmica como método de protección. Con heladas durante los tres meses rigurosos de invierno, las temperaturas medias están alrededor de los -7 °C y, en momentos puntuales, pueden llegar incluso hasta los -20 °C. Sin embargo, debido a que el propio terreno posee unas medias anuales en torno a los 9 °C, muchas veces es necesario aumentar la temperatura interior de las viviendas mediante hogares de lumbre, con los que calentarse en los espacios centrales. Por el contrario, el verano es muy caluroso, por lo que la vivienda debe actuar como amortiguador entre el exterior y el interior o tener un alto grado de flexibilidad.

Con relación a su distribución, cuando la vivienda troglodita está enterrada, es habitual que los diferentes espacios se desarrollen en diferentes niveles, y que el conjunto se organice alrededor de un patio (Figura 26).

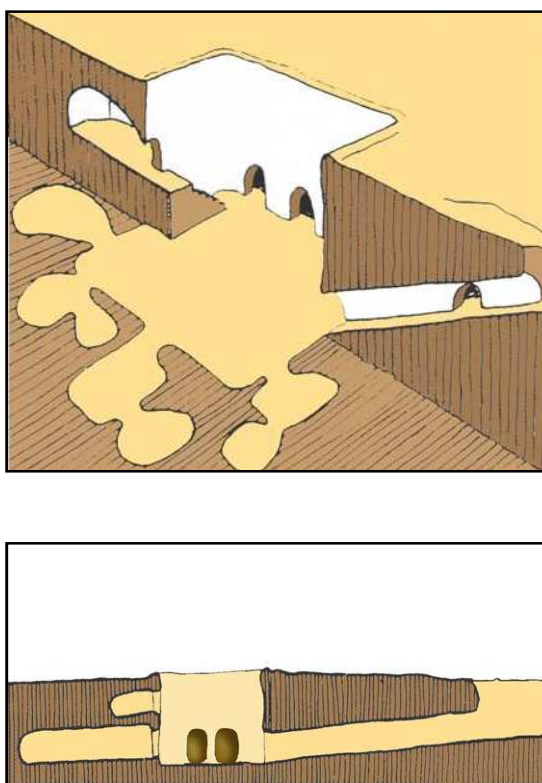


**Figura 26:** Viviendas enterradas. Tunghwan (derecha). Luoyang (izquierda). China

**Fuente:** Rudofsky 2002

Los espacios cumplen funciones de vivienda, granero, establo y como lugares de trabajo. El patio genera un microclima particular, ya que cuando una cara está soleada la opuesta está con sombra, el aire más frío se decanta en el fondo del patio y la sensación de frescor se puede incrementar agregando fuentes, plantas y creando zonas de sombra.

En el interior de la vivienda, las habitaciones orientadas al sur normalmente son ocupadas por los más mayores, mientras que las habitaciones de los niños están orientadas al este. La cocina y el almacén se orientan al oeste, mientras que al norte y siempre en la sombra se encuentra la pocilga y la letrina, protegidos del soleamiento directo. El acceso a la vivienda se realiza mediante una rampa que comunica el exterior con el patio (Figura 27).



**Figura 27:** Acceso a una vivienda enterrada mediante rampa

**Fuente:** [http://www.arqsustentable.net/arq\\_trolo.htm](http://www.arqsustentable.net/arq_trolo.htm)

El espesor mínimo del terreno por encima de los espacios excavados está alrededor de los 3 m, con la finalidad de protegerlos contra las infiltraciones de agua de lluvia y obtener una superficie interior que requiera menos conservación y evite que penetre la humedad (Piedecausa, 2009).

Con relación a los costes de construcción de este tipo de viviendas, estos pueden llegar a ser una quinta parte de los costes de una vivienda tradicional de ladrillo y madera

en la misma región. La tierra no sólo resulta ser más barata como material, sino que es un buen aislante ( $\lambda=0,14$  W/mK), de forma que la temperatura en el interior de una vivienda excavada puede llegar a ser entre 8-15 °C menor que la exterior en verano y de hasta 10 °C mayor que la exterior en invierno. Por otro lado, la construcción de estas viviendas perjudica muy poco al medio ambiente puesto que la superficie terrestre se mantiene intacta.

Como resumen de este apartado, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias empleadas dentro del clima **continental** y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<p><b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima continental (Inviernos fríos, veranos calurosos)</p>	<p><b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b></p>
--	--

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, paja, barro, arcilla (ladrillos), piedra y el propio terreno.
Aislamiento térmico y conservación de la energía	Cerramiento de troncos de pino (vivienda rusa).
	Cubierta de paja sobre capa impermeable de corteza de abedul. (vivienda rusa).
	Cubierta de tablas y listones de madera. (vivienda rusa).
	Contraventanas opacas de madera. (vivienda europea).

**Figura 28:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima continental (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima continental (Inviernos fríos, veranos calurosos)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
---	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Producción de calor	Instalación de horno de ladrillo para cocinar/calefacción situado en la zona central de la vivienda (vivienda rusa).
	Instalación de hogares en espacios centrales (vivienda enterrada).
Protección de la lluvia/nieve	Cubierta de paja sobre capa impermeable de corteza de abedul. (vivienda rusa).
	Protección de la fachada: planta avanzada respecto a la inferior. (vivienda europea).
	Construcción de cubiertas con mucha inclinación. Tipologías utilizadas: cubiertas de pizarra, teja, tejuelas machihembradas de madera y paja (vivienda europea).
	Ejecución de amplios aleros en las cubiertas para proteger de la lluvia a las fachadas (vivienda europea).
	Espesor mínimo del terreno sobre espacios excavados: 3 m. (vivienda enterrada).

**Figura 29:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima continental (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima continental (Inviernos fríos, veranos calurosos)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
---	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Protección de la humedad	Cubierta de paja sobre capa impermeable de corteza de abedul. (vivienda rusa).
	Construcción de cubiertas con mucha inclinación. (vivienda europea).
	Espesor mínimo del terreno sobre espacios excavados: 3 m. (vivienda enterrada).
Comportamiento higrotérmico	Cerramiento compuesto por entramado de madera y relleno pétreo. (vivienda europea).
Captación solar	Ausencia de persianas en las ventanas (vivienda europea).
Inercia térmica	Utilización de grandes masas de tierra (vivienda enterrada).
Forma adaptada al terreno	Vivienda enterrada.
Microclima	Patios con incorporación de fuentes, plantas y zonas de sombra. (vivienda enterrada).

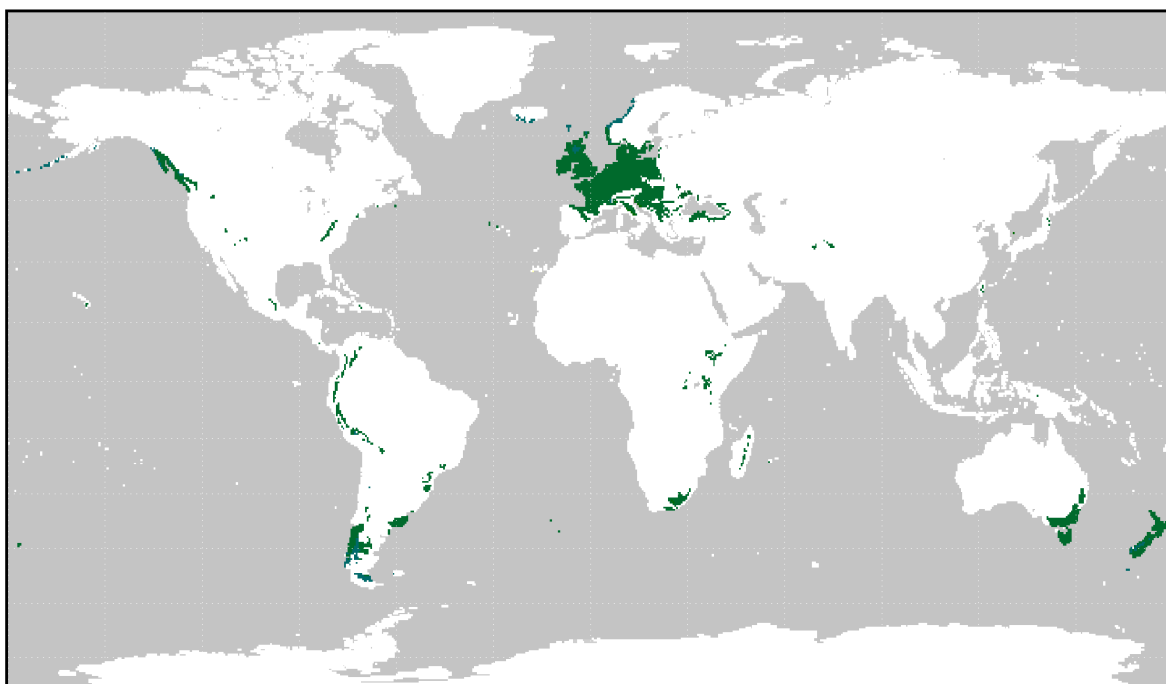
**Figura 30:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima continental (tabla-3)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.5 Clima marítimo

La gran masa de agua de los océanos tiene una gran influencia sobre el clima, incluso en regiones situadas en el interior de los continentes. En las costas occidentales de los continentes a causa de su proximidad al océano, el clima se caracteriza por unas temperaturas suaves, una humedad relativa alta, precipitaciones abundantes bien distribuidas, aunque con un máximo invernal y fuertes vientos. Los inviernos son suaves y los veranos son frescos.

La característica más sobresaliente de las regiones costeras es el equilibrio de las condiciones de temperatura. Se producen pequeños intervalos de temperatura anuales, diarios o entre el día y la noche como entre el verano y el invierno. Las diferencias de temperatura son menores que en el interior, este efecto moderador se debe a la capacidad del agua para almacenar calor. Aunque el agua se calienta más lentamente que el aire, mantiene y almacena el calor durante más tiempo. La oscilación térmica anual es pequeña en torno a 10 °C. El promedio de temperatura del mes más cálido no supera los 22 °C, y el mes más frío los -3 °C.



**Figura 31:** Clima marítimo

**Fuente:** みれでいー



En Europa este clima lo encontramos en las comunidades españolas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, zona norte de Navarra, norte de Castilla y León y algunas zonas de los Pirineos occidentales. Así como en Francia, fachada atlántica de Portugal y los países del noroeste europeo: Alemania, Bélgica, Holanda, Inglaterra, Irlanda, Dinamarca y la costa de Noruega principalmente. Este clima lo encontramos también en el sur de Chile, en la costa central de Argentina, en Nueva Zelanda, Tasmania y la costa pacífica de Canadá y Estados Unidos.

En el clima marítimo (llamado también oceánico) donde destacan las abundantes lluvias y los fuertes vientos, la arquitectura tradicional para proteger la parte de la vivienda más expuesta al mal tiempo (normalmente la parte oeste), las casas deben orientarse cuidadosamente o tener unas cubiertas que lleguen muy abajo. De este modo, se consigue una resistencia mínima al viento. La solución en estos casos es la cubierta de paja que garantiza un buen aislamiento térmico y una excelente protección contra las inclemencias del tiempo.

La cubierta se caracteriza porque tiene mucha pendiente, permitiendo expulsar el agua cuando llueve lo más rápidamente posible, evitando la humedad en el interior de la vivienda y la pudrición del material. Muchos ejemplos de este tipo de cubierta los podemos encontrar en el norte de Inglaterra, donde existen pueblos enteros con dicha solución (Figura 32).



**Figura 32:** Vivienda tradicional en el norte de Inglaterra

**Fuente:** <http://mariaevisitajardines.wordpress.com/pueblos-y-ciudades/>

Los muros exteriores están contruidos con entramado de madera relleno con ladrillos y separados del suelo mediante una base de piedra que los protege de la humedad del terreno. En otros casos los cerramientos son de ladrillo y a veces de piedra.

Las viviendas rurales en Donegal (Irlanda), son un buen ejemplo de edificaciones contruidas con cerramientos de piedra y cubiertas de paja, estas últimas parecidas a un casco invertido de un barco, ya que en este caso, los marineros de esta población trasladaron su experiencia en la construcción de barcos a sus viviendas. Los materiales de construcción más abundantes son la piedra y la paja (Figura 33).



**Figura 33:** Vivienda tradicional en Donegal (Irlanda)

**Fuente:** Luke 2012

Dentro de la construcción tradicional, Holanda con un clima marítimo templado, es un claro ejemplo de la importancia que tienen las cubiertas de paja en este clima, donde las granjas “*Stolpboerderij*”, contruidas con este tipo de cubierta tienen mucho valor en este país, ofreciendo un gran número de variantes. En estas construcciones el agricultor, el ganado y la cosecha comparten el mismo edificio. La cubierta de paja junto con el heno almacenado en el interior de las edificaciones proporcionan un importante aislamiento térmico y los animales los cuales desprenden calor, contribuyen a caldear su interior (Valero, 2013). A parte de esta tipología de cubierta, podemos encontrar también ejemplos de granjas y edificaciones con cubiertas de teja. En ambos casos tienen mucha pendiente para favorecer la evacuación del agua, ya que en Holanda son abundantes las precipitaciones.



En el noroeste y en el norte de Alemania donde el clima es extremadamente oceánico, la lluvia cae todo el año y abunda la madera como materia prima, muchas cubiertas están ejecutadas con tejas machihembradas de madera.

Otras de las tipologías de cubiertas que podemos encontrar dentro de este clima son los tejados de pizarra o de lajas de piedra, en aquellas zonas donde abundan dichos materiales. El color oscuro de la pizarra permite retener la radiación solar, sirviendo de “acumulador de calor” y por lo tanto, de aislante.

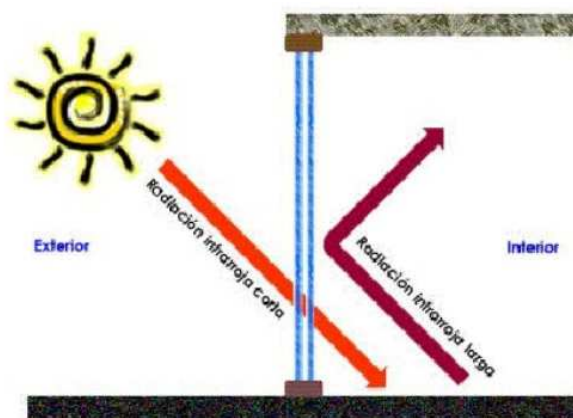
Los océanos suavizan las temperaturas en tierra. Como los seres humanos pasan la mayor parte de su tiempo en espacios cerrados, en las regiones donde encontramos este clima ofrecen al hombre moderno unas buenas condiciones de vida, a pesar de los inviernos ventosos y lluviosos.

Los largos inviernos dejan entrar poca luz en las edificaciones. Cuanta menos luz del día penetra, más amplias deben ser las ventanas, aunque hay que buscar un equilibrio entre la incidencia de la luz y el aislamiento.

En muchos casos existen espacios intermedios, tras los paramentos de vidrio de las fachadas, que utilizan el “**efecto invernadero**” para evitar que, una vez calentados los muros por el sol, se pierda el calor por transmisión o radiación hacia el exterior. Con esta solución se crea un espacio muy iluminado en contacto con los espacios principales de la vivienda. Es interesante como este espacio ayuda a climatizar e iluminar mejor los espacios interiores solo controlando la incidencia de la radiación.

El efecto invernadero se basa en una propiedad de los vidrios y otros materiales transparentes: la radiación de longitud de onda corta puede atravesarlos pero evitan el paso de la radiación de longitud de onda larga. Esto se traduce en que permiten el paso de la radiación solar directa, ya que está compuesta de longitudes de onda corta, que incide sobre la superficie acristalada; pero cuando esta radiación incide sobre los materiales del interior del ambiente, estos se calientan y generan radiaciones de onda larga que no pueden atravesar el vidrio y quedan atrapadas en el interior. A mayor radiación directa, más se repite este proceso y más aumenta la temperatura interior del ambiente (Reixach, 2012).

Según la orientación, la época del año y la latitud (distancia al Ecuador) del emplazamiento, este aumento de temperatura puede llegar hasta 10 °C respecto a la temperatura exterior. Esto quiere decir, que si en el exterior se registran 10 °C (típico de los mediodías de invierno con sol), en el interior se pueden registrar 18-20 °C, una temperatura totalmente confortable obtenida a partir de un recurso natural.



**Figura 34:** Efecto invernadero

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/20582549/Efecto-invernadero-cristales>

Dentro del clima marítimo, en el caso de España podemos ver esta solución principalmente en Galicia, País Vasco y cornisa Cantábrica, donde las galerías acristaladas realizan funciones de calefacción natural durante el invierno.



**Figura 35:** Típicas galerías acristaladas en la Coruña

**Fuente:** Fev (anónimo) 2012

Con un cuidadoso diseño se pueden crear en un mismo edificio diferentes microclimas. Cuando el clima exterior cambia según la estación del año estos espacios intermedios pueden tener usos muy diferentes.

Otro ejemplo de aprovechamiento de la radiación solar lo encontramos en las casas georgianas en Inglaterra (Figura 36).



**Figura 36:** Casa georgiana (Inglaterra)

**Fuente:** [http://soglittering.blogspot.com.es/2012\\_09\\_01\\_archive.html](http://soglittering.blogspot.com.es/2012_09_01_archive.html)

Estas edificaciones destacan por tener un equilibrio razonable de iluminación y aislamiento, proporcionando a sus habitantes un adecuado confort. Desde hace 200 años, estas viviendas han demostrado una gran capacidad de adaptación (válidas tanto para vivienda como para oficina) y por este motivo han mantenido su valor. La durabilidad de esta sencilla y a la vez clásica combinación de ladrillo, madera y vidrio, así como el bajo consumo energético en su fabricación, han demostrado ser todo un éxito.

Estas viviendas se caracterizan por sus grandes ventanales que permiten la entrada de luz natural de modo generoso, cuando se dan las circunstancias, ya que los días nublados y lluviosos son frecuentes en Inglaterra.

Como resumen de este clima, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias bioclimáticas utilizadas por la construcción tradicional y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima marítimo	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, arcilla (ladrillos), piedra, paja, pizarra y teja.
Protección de la lluvia	Adecuada orientación de las viviendas (la parte más expuesta al mal tiempo, normalmente es la oeste).
	En muchos casos las cubiertas llegan muy abajo, garantizando la protección del cerramiento.
	Cubiertas con mucha pendiente de: paja, teja, tejas machihembradas de madera, pizarra y lajas de piedra.
Protección del viento	Adecuada orientación de las viviendas (la parte más expuesta al mal tiempo, normalmente es la oeste).
	En muchos casos las cubiertas llegan muy abajo. Se consigue una resistencia mínima al viento.
Aislamiento térmico	Cubierta de paja (bajo coeficiente de conductividad térmica) $\lambda=0,045 \text{ W/mK}$ .
	Cubierta de pizarra, donde la acumulación de calor garantiza el aislamiento.

**Figura 37:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima marítimo (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima marítimo	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

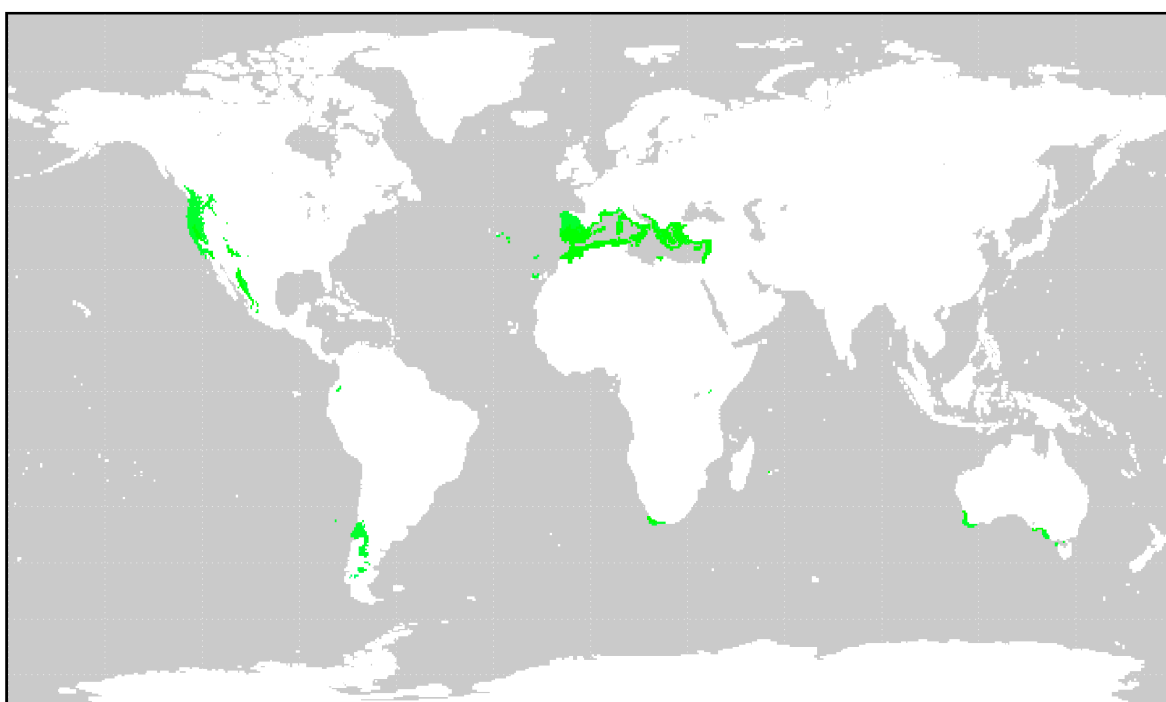
ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Protección de la humedad	Cubiertas con mucha pendiente de: paja, teja, tejas machihembradas de madera, pizarra y lajas de piedra.
	Los muros exteriores construidos con entramado de madera relleno con ladrillos se separan del suelo mediante una base de piedra.
	Ejecución de cerramientos de ladrillo o piedra.
Calentamiento interior	Calor desprendido por el ganado, ya que en muchos casos comparten el mismo edificio que el agricultor.
	Ejecución de espacios intermedios entre los paramentos de vidrio exteriores y las fachadas de los edificios (efecto invernadero). Permiten climatizar e iluminar el interior de la vivienda.
Captación solar	Cubiertas de pizarra. Su color oscuro retiene la radiación solar, actuando como acumulador de calor.
	Grandes ventanales (carecen de persianas).
	Ejecución de espacios intermedios entre los paramentos de vidrio exteriores y las fachadas de los edificios (efecto invernadero).
Diferentes microclimas	Se consigue variando el diseño de los espacios intermedios entre los paramentos de vidrio exteriores y las fachadas de los edificios.

**Figura 38:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el clima marítimo (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.6 Clima mediterráneo

Este clima se caracteriza principalmente por sus veranos calurosos y secos, inundados de sol y luz. Los inviernos son templados y lluviosos, con otoños y primaveras variables tanto en temperaturas como en precipitaciones. Asociamos este clima a los países situados en el entorno del mar Mediterráneo y las zonas de California, suroeste de Australia, Sudáfrica y centro de Chile.



**Figura 39:** Clima mediterráneo

**Fuente:** Maphobbyist 2010

El clima mediterráneo concentra la época de lluvias, en general discretas, en primavera y sobre todo en otoño. Aunque también en estos casos, lo extremado no es una excepción sino una componente importante de este clima. Por otro lado, su situación geográfica entre los climas oceánico, al norte, y desértico, al sur, contribuyen a que este clima sea una combinación de ambos, ya que en invierno predomina la componente oceánica y en verano la desértica. Cuanto más al norte el clima es más suave y lluvioso, y cuanto más al sur es más seco.





Las temperaturas se mantienen durante todos los meses por encima de 0 °C, pero presentan variación estacional, hay meses fríos por debajo de 18 °C y otros más cálidos por encima de 22 °C, aunque debemos tener en cuenta, que este clima se altera por el relieve y la altura. En los valles mediterráneos de escasa altura se alcanzan las temperaturas más altas de Europa en verano y en las mesetas interiores los inviernos son fríos y con heladas abundantes. Así se han llegado a registrar temperaturas superiores a 45 °C en las zonas más bajas alejadas de la costa y en las zonas de altura, como mesetas y valles altos, se han registrado inviernos con temperaturas por debajo de -15 °C, aunque la oscilación térmica anual media no llega a superar los 20 °C.

La arquitectura tradicional mediterránea está basada principalmente en la piedra, el adobe y el ladrillo, aunque en algunos lugares se utiliza también la madera, o incluso la caña para viviendas ligeras, simples y de una longevidad media.

El 47% de las viviendas están construidas únicamente con piedra, el 30% con adobe y ladrillo, el 10% con tierra sin amasado, el 8% son mixtas (piedra/tierra-piedra/ladrillo) y el 5% con materiales de origen vegetal.

En el Mediterráneo, los muros más habituales son de piedra, dada la importante presencia de este material, sobre todo la piedra calcárea, presente en casi toda la Cuenca. Por otro lado, la piedra es un material con una alta inercia térmica, actúa captando el calor solar cuando este se produce con mayor intensidad y lo acumula para liberarlo después, en las horas más frías, por lo que funciona como regulador térmico. Tradicionalmente se construyen muros de grandes espesores, lo cual mejora su comportamiento. Como ejemplo de construcción masiva de gran inercia térmica, analizaré a continuación el caso concreto del “**trullo**” vivienda tradicional ubicada en el sur de Italia en la región de Puglia, aunque también la podemos encontrar en Liguria, Cerdeña y Pantelleria.

El “*trullo pugliese*” es una versión en piedra de la primitiva cabaña de paja de los pastores nómadas. Originalmente es una cabaña de piedra de planta circular compuesta

por cuatro elementos constructivos: el muro, el arco trilítico<sup>6</sup> de la entrada, la cúpula y el techo, todos ellos contruidos con piedra calcárea sin ningún tipo de material ligante.



**Figura 40:** Trullo de Alberobello

**Fuente:** Reggio 2003

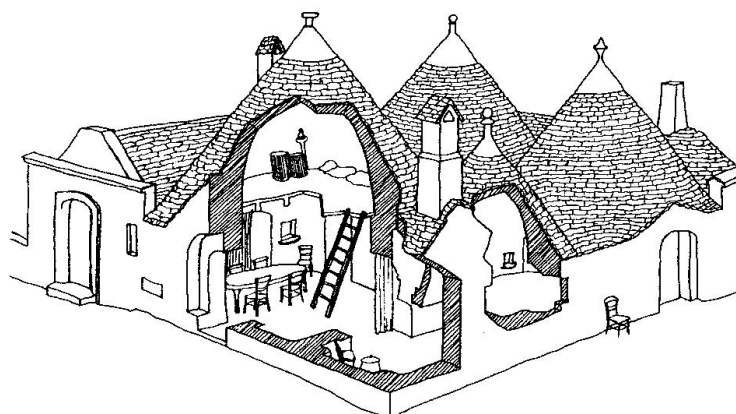
El trullo se construye en aquellas zonas donde las características geomorfológicas del terreno garantizaban una gran disponibilidad de materia prima para su construcción, en este caso, la roca calcárea.

Dentro de las tipologías que podemos encontrar, la más conocida es la encontrada en la Murgia de los Trullos, estando compuesta de dos elementos estructurales principales: el basamento y la cúpula.

El basamento, sea de planta cuadrada o circular (en los tipos más antiguos), está compuesto por capas de piedra superpuestas, con un espesor aproximado de 1 m. La bóveda o *cannella*, tiene forma de cono invertido, ojival ligeramente inclinada hacia el interior.

---

<sup>6</sup> Estructura que consta de dos piedras verticales (pilares) y el apoyo de una tercera piedra en posición horizontal (dintel).



**Figura 41:** Interior de un trullo

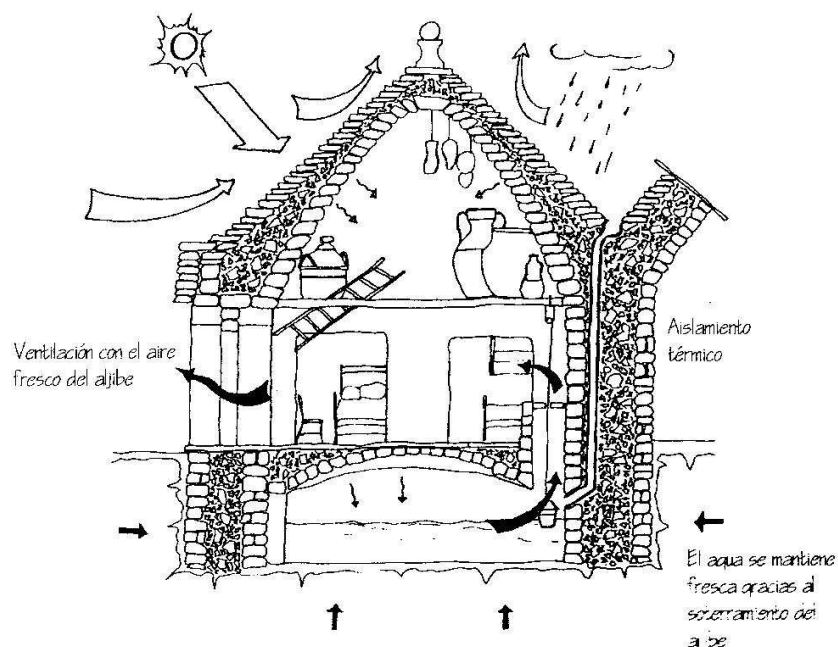
**Fuente:** Neila 2003

La construcción de la bóveda supone la ejecución de una serie de anillos concéntricos superpuestos horizontalmente, formando una serie de capas colocadas en cuña y con la rigidez suficiente gracias al efecto lateral de unas piezas con otras. Los anillos van teniendo sucesivamente diámetros menores, hasta conseguir una abertura mínima que se cierra con una última piedra circular llamada “*carrozzola*”.

El trullo presenta una particular característica: es frío en verano y caliente en invierno. Los muros y el cono que lo recubre están contruidos en seco, por ello entre las láminas de piedra calcárea se forman pequeñas cámaras de aire que actúan como aislante.

Este hecho, junto con el espesor y la densidad de la piedra provoca un desfase en la onda térmica por radiación tan alto que no se aprecian los cambios de temperatura exterior, por lo que la temperatura se mantiene constante. Por otra parte, la escasez de huecos y su pequeño tamaño evita que entre directamente el calor, y únicamente las cargas internas podrían provocar el recalentamiento, pero, dado el gran espesor de los muros y su inercia térmica, se estabiliza su temperatura interior (Neila, 2003).

La presencia de una cisterna como depósito para el aprovechamiento del agua de lluvia situado debajo de la vivienda, permite aumentar la posibilidad de refrescar el ambiente interior en los meses cálidos por **enfriamiento evaporativo** (Figura 42).



**Figura 42:** Sección tipo de un trullo

**Fuente:** Neila 2003

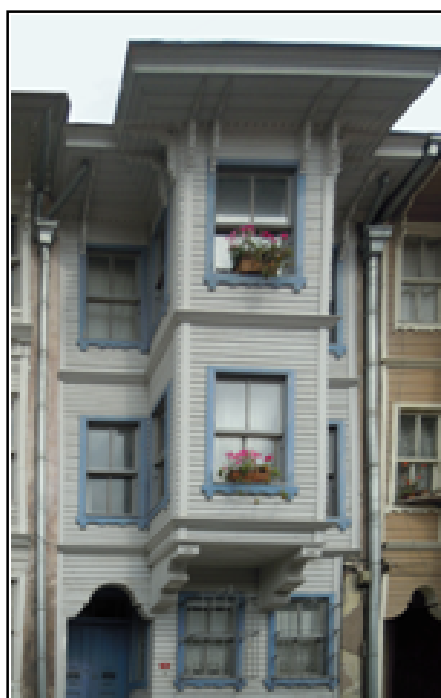
Debido a la escasez de otro tipo de huecos, las diferentes chimeneas de aireación en la vivienda garantizan la ventilación higiénica de la misma.

El revestimiento interior de este tipo de construcción no siempre se realiza y el exterior habitualmente se blanquea con lechada de cal que impide el paso a los insectos y actúa como regulador de la humedad.

El trullo es un ejemplo de la arquitectura tradicional mediterránea, situado en Italia, lo podemos encontrar también en España, tanto en la península como en las Islas Canarias y en otras muchas zonas de la tierra: Siria, Libia, Sudáfrica, Provenza, Bretaña, Irlanda, Escocia, Suecia, Islandia, Dalmacia e Istria.

Dentro del clima Mediterráneo existen muchas tipologías de construcciones que al igual que el trullo aprovechan también los grandes espesores de los muros de piedra desde el punto de vista estructural, permitiendo que los muros sean de carga. En estos

casos, sobre los muros descansan vigas de madera, con luces, en general, cortas, combinadas con una amplia gama de soluciones que resuelven el entrevigado, estando la madera presente en forjados y cubiertas. La madera también se utiliza en las partes decorativas de la fachada, balcones, marcos de ventana, puertas y en volúmenes salientes. En muchos países se emplea como revestimiento exterior, colocada sobre un soporte también de madera (Figura 43).



**Figura 43:** Vivienda en Estambul (Turquía). Construida en 1910  
**Fuente:** Burgos 2012

En otros casos, los revestimientos exteriores de madera se utilizan en la fachada principal y en la cara más expuesta a la lluvia y al viento para evitar que la humedad alcance el interior de la vivienda (Figura 44).

Principalmente en cerramientos en los que el barro y la tierra juegan un papel importante. La protección por medio de tablas solapadas en sentido longitudinal produce eficaces resultados (Flores, 1973).



**Figura 44:** Valverde de la Vera (Cáceres)

**Fuente:** Romero 2008

La madera es un recurso natural renovable, ofrece ventajas ambientales, presenta muchas garantías como materia prima de alta resistencia mecánica y aporta un gran valor estético a la construcción.

Dentro de la arquitectura tradicional mediterránea, el 75% de las tipologías utilizan revestimientos. El más utilizado por todos los países es el encalado. Habitualmente este revestimiento se realiza con lechada de cal, aunque también existen lechadas de tierra y materias orgánicas (estiércol de vaca). Su renovación es una práctica continua, habitualmente más de tipo doméstico que profesional. Este tipo de revestimiento tiene una doble función, por un lado, su aplicación en cerramientos exteriores evita la captación solar, por este motivo, los revestimientos de colores claros se utilizan principalmente en zonas calurosas, por otra parte, puesto que los animales comparten la vida cotidiana con los seres humanos, la cal viva que se emplea en el encalado ejerce como poderoso antiséptico contra las infecciones. No obstante, al espíritu humano le gusta blanquear, adecentar, renovar la limpieza de su ambiente hasta encalar incluso los mismos pavimentos en muchas regiones.

El clima mediterráneo caracterizado por los veranos calurosos y secos, donde el sol y la luz son su identidad, el maestro constructor es experto en lo que al uso de la sombra se refiere. Todas las soluciones constructivas relacionadas con la sombra tienen una larga tradición, entre ellas destacan los soportales (Figura 45), que proporcionan un microclima confortable. Se pasa de un mundo exterior claro y caluroso a un interior oscuro y fresco mediante galerías en sombra (Behling, S., Behling St., & Schindler, 2002).



**Figura 45:** Soportales. Plaza Mayor (Sagunto)

**Fuente:** Elaboración propia



Una solución relativamente moderna son las persianas, ya que mucho antes de su existencia se utilizaban los soportales. En la Cuenca mediterránea las persianas permiten protegerse en todo momento de la intensa luminosidad tanto en invierno como en verano.

Existen diferentes tipos de persianas, elementos siempre móviles y graduables que permiten en cada momento controlar la intensidad lumínica del espacio interior. Éste es el caso de la sencilla persiana de cuerda que con sus diversas posiciones, ayuda a controlar el ambiente interior (Figura 46).



**Figura 46:** Persianas de cuerda en balcones. Plaza Mayor (Sagunto)

**Fuente:** Elaboración propia

Antiguamente los seres humanos pasaban la mayor parte de su tiempo en las zonas protegidas de los patios. El paso del interior al exterior era fluido. El clima más agradable se produce en estas zonas, ya que actúan como reguladores climáticos, generadores de sombra y ventilación. Este tipo de edificación compuesta por un patio interior con galería perimetral es una solución constructiva que se ha conservado durante siglos.

El clima mediterráneo se aproxima al clima ideal para el hombre actual, aunque para protegerse del fuerte calor durante los meses de verano debe utilizar construcciones que le proporcionen sombra. Una de las estrategias utilizadas es “**la densidad y la masa**”, ya que en muchos casos se utiliza la propia masa de los edificios para conseguir frescor, mediante calles estrechas autosombreadas por los propios edificios que las conforman y que proporcionan un microclima fresco. Las viviendas se producen sombra entre sí, reduciendo el impacto de la radiación solar, su calentamiento y permitiendo la evaporación vertical. Como consecuencia, se tiene que aceptar en estos casos una menor iluminación natural durante el día (Figura 47).





**Figura 47:** Calle de Malta

**Fuente:** Gómez 2012

Las calles en muchas ocasiones tienen un trazado irregular que dificulta la circulación del aire provocando una insuficiente ventilación.

En periodos estivales, cuando la radiación solar es cenital, y en calles que no son suficientemente estrechas, no se produce el sombreado buscado. En estos casos se suele recurrir a los toldos, con el riesgo de impedir la correcta evaporación, provocando en algunas situaciones el efecto invernadero.

Con relación a las cubiertas, dentro de la arquitectura tradicional mediterránea encontramos dos tipologías: las cubiertas planas y las cubiertas inclinadas. En las cubiertas planas hay que destacar las terrazas, y en las inclinadas, los sistemas con tejas, piedra y productos vegetales.

### **Las cubiertas planas**

Son el tipo más habitual en las regiones secas. Con ligera pendiente, inferior al 5%, para evacuar el agua, necesitan un mantenimiento permanente. A ello hay que



añadir las habilidades del albañil en su ejecución para asegurar la adecuada impermeabilidad a partir de materiales porosos y con geometrías horizontales. No obstante, muchos sistemas con baldosas (de piedra calcárea o de tierra cocida), en terrazas sobre tierra, arena o mortero permanecen. Tradicionalmente los materiales porosos podían ser revocados (Ecole d'Avignon, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Ecole des arts et métiers traditionnels de Tétouan, 2002).

### Las cubiertas inclinadas

Dentro de esta tipología hay que destacar la **cubierta de teja árabe**, donde varían las dimensiones de este material según las regiones (de 18 a 60 cm.). La teja media tiene una longitud de 30 a 50 cm., ligeramente troncocónica para facilitar los recubrimientos. La inclinación más adecuada se encuentra entre el 25-35%. Se coloca en seco o con mortero pobre de cal, sobre un tablero de madera o sobre una bóveda. Se trata de un producto muy adaptable a toda una serie de exigencias (irregularidad de los soportes, pendientes insuficientes, posibilidades de dilatación, corrección de falsas escuadras etc.) y su geometría permite múltiples disposiciones.

El problema que presentan estas cubiertas es su flexibilidad que es a la vez una cualidad y un defecto: las tejas se levantan con el viento, basculan, se sueltan, y la propia fabricación, muchas veces heterogénea por tratarse de un material pre-industrial, permite la porosidad y el debilitamiento de una tierra cocida y delgada que sufre las acciones combinadas del sol, el agua, el hielo y los agentes biológicos. La revisión de este tipo de cubierta se debe realizar con frecuencia y siempre después de un temporal.

En la arquitectura tradicional, no se utiliza el canalón, por lo que se prolonga la vertiente del tejado más allá del muro que define el cerramiento para protegerlo del agua cuando llueve. En estos casos el alero está construido por la prolongación de vigas, por una cornisa de piedra, de ladrillo o por yesería sobre maderos.

Siguiendo con el estudio de las cubiertas inclinadas, otro sistema utilizado es **la cubierta de piedra**. Esta tipología se encuentra principalmente en España, Francia y Grecia, siendo una técnica conocida desde la Edad Media y capaz de adaptarse a fuertes



inclinaciones, aunque la más habitual se encuentra entre el 25-40%. Según el subsuelo local, las losas pueden ser de esquisto, pizarra y de piedra calcárea.

Con este sistema las losas necesitan un solape importante, aproximadamente  $2/3$ , ya sea colocándolo con el sistema de apilado, ajustado y fijado con mortero, o mediante el sistema colgado/clavado o sujeto mediante clavijas. El desafío del albañil en estos casos es el de obtener una estanqueidad a partir de un producto irregular en la talla, en los cantos, en el aspecto de la superficie y en el espesor.

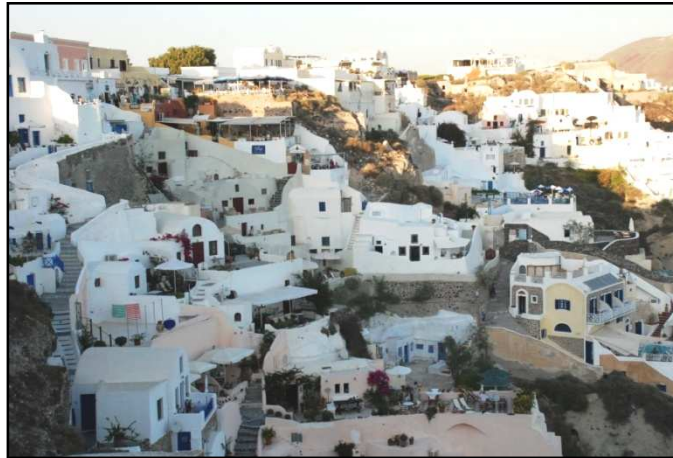
Con relación a **la cubierta vegetal**, esta última tipología se encuentra en hábitats pobres de agricultores o pescadores y, normalmente, de carácter estacional. Tiene mucha pendiente entre el 45-120%, encontrándose su equilibrio entre la resistencia al viento y la necesidad de expulsar el agua lo más rápidamente posible para evitar la pudrición del material. Se utiliza, según las disponibilidades el junco, el mimbre, las gramíneas o las pajas de arroz, de centeno o trigo. Sus puntos débiles son el fuego y la fragilidad de las ligaduras que unen las gavillas<sup>7</sup> al armazón estructural.

Dentro de la arquitectura tradicional mediterránea, hemos podido analizar la importancia que tiene el espesor en los muros de piedra para mejorar su inercia térmica, no obstante, resulta más eficiente el uso de la inercia térmica del propio edificio para equilibrar los cambios de temperatura. En lugar de construir muros gruesos y masivos, el edificio puede excavarse en el terreno y provocar la influencia equilibradora de la tierra. En este caso estamos hablando de la “**casa-cueva**”. Esta tipología constructiva se ubica en laderas y cerros orientados a mediodía, así como en el borde de los páramos (en “balcón”), facilitando el soleamiento de las casas. En muchos casos los suelos de las laderas y los cerros son calizos, yesíferos o puzolánicos<sup>8</sup> idóneos para la excavación, aunque también se aprovechan las cavidades naturales formadas en el terreno. Finalizada la construcción de la vivienda, se afina su acabado y se pinta de blanco para asegurar la luminosidad interior, ya que la luz suele ser el punto más débil de la casa-cueva.

---

<sup>7</sup> Conjunto de ramas o tallos unidos o atados por su centro, por su tamaño es más grande que un manojo y más pequeño que un haz.

<sup>8</sup> Terreno característico de la isla de Santorini (Grecia), llamado también “*aspas*” o tierra de Thira. Es un terreno blando que se trabaja con facilidad.



**Figura 48:** Casas-cueva en la isla de Santorini (Grecia)  
**Fuente:** Neila 2011

La distribución de estas edificaciones viene definida según las necesidades de sus propietarios. La vivienda dispone de dormitorios, cocina y una pequeña despensa, en ocasiones tiene talleres y almacenes. No obstante, estos modelos no son rigurosos, ya que irán siempre en función de las necesidades específicas de cada habitante y posteriormente de sus sucesivos descendientes, lo que determina la forma actual de la casa-cueva.



**Figura 49:** Casa-cueva actual. Isla de Santorini (Grecia)  
**Fuente:** Neila 2011

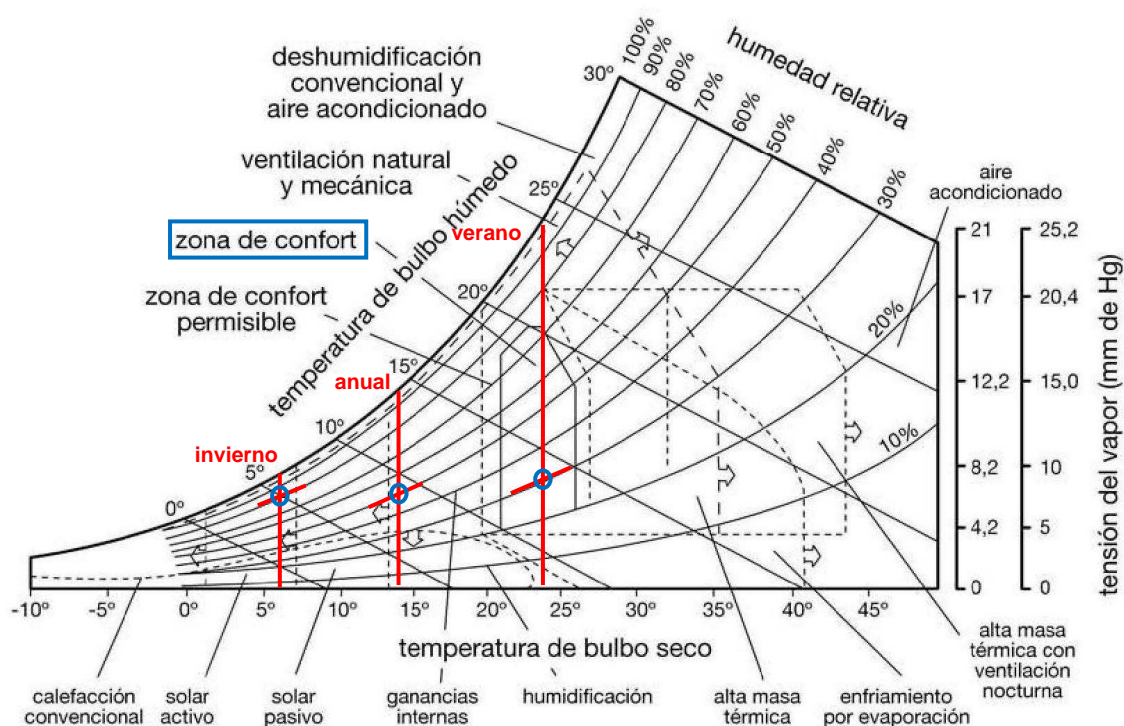


Con el paso del tiempo muchas cuevas se han ido adaptando, incorporando una edificación convencional exterior adosada a la entrada donde se ubican los cuartos húmedos y la zona de estar en invierno, generalmente con cocina y baños completos, pero manteniendo los dormitorios originales dentro de la cueva, con mayor acondicionamiento y resguardados de las oscilaciones térmicas. Hoy en día, ante la necesidad de adecuar las viviendas a las condiciones de confort actuales, estas nuevas construcciones anexas a las cuevas han evolucionado hasta configurar una vivienda completa, utilizando en estos casos las estancias de la cueva como almacén, despensa, bodega o dormitorio para los meses de verano.

En muchos casos las construcciones exteriores se pintan de blanco, tanto muros como cubiertas y escaleras. Es el color que representa a la arquitectura tradicional de climas cálidos con mucha radiación solar. Ocasionalmente hay algunas viviendas que se pintan en otros colores. Sin embargo, la gran mayoría siguen siendo blancas y actualmente se siguen encalando muros y cubiertas al igual que se ha hecho durante siglos (Neila, 2011b).

La característica más destacada de este tipo de arquitectura es su excelente comportamiento térmico y su práctica independencia frente a las oscilaciones térmicas del ambiente exterior. La casa-cueva es térmicamente estable. La inercia térmica es tan importante en estos casos que hace prácticamente imposible la incidencia del clima sobre la construcción permitiendo alcanzar situaciones de confort en el interior de las edificaciones en condiciones climáticas adversas (Huerta, Marín, Soler, & Zaragoza, 2009).

Hay tener en cuenta que a pesar de que el confort diurno y nocturno en el interior está garantizado por la inercia de la construcción durante el verano, ya que la temperatura media en julio en la habitación más cercana a la entrada es de 23-24 °C, situándose dentro del área de bienestar actual. En el invierno la situación térmica puede encontrarse muy por debajo del confort actual, ya que enero la temperatura media en la habitación externa es de 5-6 °C. Teniendo en cuenta que en la habitación interior la temperatura media anual, viene a estar sobre los 14 °C, no alcanzándose la zona de bienestar actual (aunque si respondería a la fijada en épocas anteriores), en estos casos es importante el aporte energético (Figura 50).



### HABITACIÓN EXTERNA

Mantiene la temperatura media diaria  
 Temperatura media: 5,5 °C - 23,7 °C  
 Humedad relativa: 30% - 80%

### HABITACIÓN INTERNA

Mantiene la temperatura media anual  
 Temperatura media anual: 14° C  
 Humedad relativa media: 50%

**Figura 50:** Carta bioclimática de Givoni para dos ambientes

**Fuente:** (Gráfico) <http://arquitecturayecosistema.files.wordpress.com/2011/10/givoni.jpg>

(Datos) I. J. Gil Crespo, M. M. Barbero Barrera, L. Maldonado Ramos, J. de Cárdenas y Chávarri (2009)

El aporte energético necesario para alcanzar la **zona de confort** en estos casos se consigue a través de la cocina (Figura 51), ubicada en la primera crujía, supone un colchón térmico para las estancias interiores, sin olvidar la presencia del ganado en el

interior de la vivienda, práctica muy habitual en muchas zonas, dentro de la arquitectura tradicional.



**Figura 51:** Cocina (casa-cueva). Isla de Santorini

**Fuente:** Neila 2011

Por otro lado, la humedad que contiene el terreno y la propia de la edificación al ser utilizada, junto con las bajas temperaturas de estos espacios durante el invierno provocaría situaciones de malestar constantes al aumentar la sensación térmica de frío con la presencia de humedad. La forma de garantizar la eliminación de estas humedades es la ventilación. La casa-cueva se localiza en los cerros y laderas, en zonas altas donde se favorece la ventilación natural. En el interior de la cueva la humedad tiende a ser constante. Una humedad relativa de 50-70% es un valor adecuado. En cualquier caso, los revestimientos interiores de barro ayudan a regular los posibles excesos de humedad.

Estas edificaciones también utilizan como recurso bioclimático la defensa frente a los vientos dominantes del invierno, por ello, estas construcciones suelen situarse en muchas zonas de espaldas hacia éste, de forma que se minimiza el intercambio energético con el exterior y el espacio de la solana se hace habitable incluso en condiciones de invierno. El viento frío y húmedo del norte tiene poca incidencia sobre los huecos de las cuevas, ya que estos se abren al mediodía.

La casa-cueva como tipología constructiva está incluida dentro de la arquitectura troglodita al igual que la **vivienda enterrada** estudiada dentro del clima continental, no obstante ambas edificaciones presentan diferencias importantes en cuanto al diseño constructivo adoptado para alcanzar las estrategias bioclimáticas (Figura 52).

DIFERENCIAS EN EL DISEÑO CONSTRUCTIVO		
ESTRATEGIAS	VIVIENDA ENTERRADA	CASA-CUEVA
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: el propio terreno.	Materiales utilizados: en la cueva (el propio terreno) y en la vivienda adosada (materiales convencionales).
Protección de la lluvia, nieve y humedad	El espesor mínimo del terreno sobre los espacios excavados es de 3 m, evitando la humedad en el interior de la vivienda.	La humedad que contiene el terreno y la propia edificación se elimina mediante la ventilación. La casa-cueva se localiza en los cerros y laderas, en zonas altas donde se favorece la ventilación natural.
		Se utilizan revestimientos interiores de barro.
Inercia térmica	Utilización de grandes masas de tierra.	La casa-cueva es térmicamente estable.
Protección solar	Su ubicación bajo el suelo evita la radiación solar.	Las edificaciones exteriores se pintan con cal contribuyendo a reflejar la radiación solar.
Protección del viento	Su ubicación bajo el suelo la protege del viento.	Las construcciones suelen situarse de espaldas a los vientos dominantes del invierno.
Producción de calor	Instalación de hogares de lumbre situados en los espacios centrales.	El aporte energético se consigue a través de la cocina ubicada en la primera crujía.
Forma adaptada al terreno	Se utilizan las cavidades excavadas en el terreno.	Vivienda ubicada en laderas y cerros orientados a mediodía y en el borde de los páramos (se aprovechan las cavidades naturales).
		Se utilizan las cavidades excavadas en el terreno.
		Se incorpora una vivienda convencional adosada a la cueva.
Microclima	Patios con incorporación de fuentes, plantas y zonas de sombra.	Ausencia de patios interiores.

**Figura 52:** Diferencias en el diseño constructivo. Vivienda enterrada y casa-cueva

**Fuente:** Elaboración propia



Como síntesis de este apartado, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias utilizadas por la arquitectura tradicional mediterránea y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima mediterráneo	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: piedra, adobe, arcilla (ladrillos), tierra, madera, paja y el propio terreno.
Inercia térmica	Utilización de muros de gran espesor, especialmente de piedra calcárea.
	Casas-cueva ubicadas en laderas y cerros (excavadas en el propio terreno).
Protección solar	Escasez de huecos y de pequeñas dimensiones.
	Encalado de muros y cubiertas (revestimiento exterior de cal).
	Incorporación de soportales que proporcionan sombra en planta baja.
	Instalación de persianas en huecos (persiana de cuerda).
	Calles estrechas autosombreadas (densidad y masa).
	Instalación de toldos en calles (no suficientemente estrechas).
Enfriamiento evaporativo	Aljibe de agua enterrado, situado debajo de la vivienda.
Ventilación	Chimeneas de aireación en la vivienda.
	Casas-cueva ubicadas en laderas y cerros.

**Figura 53:** Estrategias de la arquitectura tradicional mediterránea (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia



<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima mediterráneo	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>DISEÑO CONSTRUCTIVO</b>
Protección de la lluvia/humedad	Revestimiento exterior de madera con tablas solapadas en sentido longitudinal para la protección de cerramientos de barro y tierra.
	Terraza de baldosas de piedra calcárea o tierra cocida sobre base de tierra, arena o mortero (en algunos casos revocadas).
	Cubierta de teja árabe sobre tablero de madera/bóveda.
	Incorporación de aleros para la protección de fachadas, ejecutados mediante la prolongación de vigas, cornisas de piedra, ladrillo o yesería sobre maderos.
	Cubierta de piedra ejecutada con losas de esquisto, pizarra y piedra calcárea.
	Cubierta vegetal ejecutada con junco, mimbre, gramíneas, paja de arroz, centeno o trigo.

**Figura 54:** Estrategias de la arquitectura tradicional mediterránea (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima mediterráneo	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Regulación de la humedad interior	Revestimiento de barro en el interior de la vivienda.
Protección del viento	Revestimiento exterior de madera con tablas solapadas en sentido longitudinal para la protección de cerramientos de barro y tierra.
	Ubicación de casas-cueva opuestas a la dirección del viento.
Microclima	Incorporación de soportales que proporcionan sombra en planta baja.
	Edificación compuesta por patio interior con galería perimetral.
	Calles estrechas autosombreadas (densidad y masa).
Captación solar	Casas-cueva ubicadas en laderas y cerros orientados a mediodía.
Producción de calor	Aporte energético proporcionado por la cocina de la vivienda.
	Presencia de ganado en el interior de la vivienda.
Forma adaptada al terreno	Casas-cueva excavadas en laderas y cerros, aprovechando las cavidades naturales formadas por el terreno.

**Figura 55:** Estrategias de la arquitectura tradicional mediterránea (tabla-3)

**Fuente:** Elaboración propia



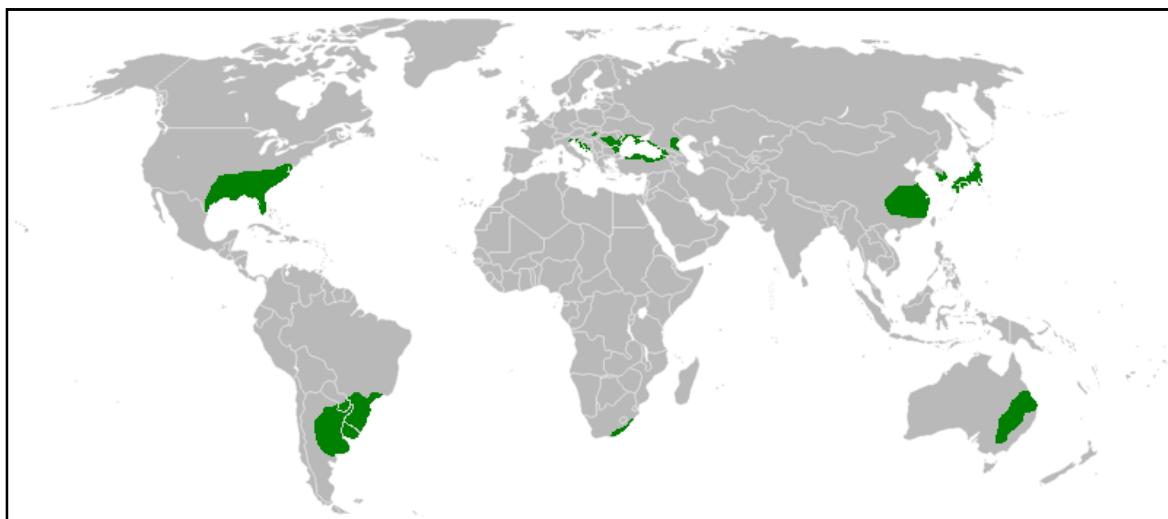
### 3.3.7 Clima subtropical

Este clima presenta un ciclo inconfundible de estaciones húmedas y secas y unas temperaturas relativamente altas durante todo el año. La diferencia entre los meses más cálidos y los más fríos es solamente de 5-6 °C. La temperatura media anual no baja de 18 °C. En invierno la temperatura media es de 15 °C y en verano supera los 22 °C en el mes más cálido. Se caracteriza por tener unos veranos muy cálidos y una elevada humedad ambiental. Las precipitaciones están cercanas a 1200 mm y pueden presentarse durante todo el año (sin estación seca) o en invierno únicamente (con estación seca). La radiación solar es intensa, aunque mayormente difusa, con vientos irregulares que pueden ser huracanados y con una leve variación térmica entre el día y la noche.

Las estaciones en los subtrópicos se producen a causa del movimiento de los núcleos de alta presión, que en verano se dirigen hacia los polos y en invierno regresan al ecuador; a las variaciones en la Zona de Convergencia Intertropical, un cinturón de aguaceros y tormentas que rodea al ecuador, a los vientos monzones, que en invierno arrastran las nubes y la lluvia hacia el mar. La transición de las zonas tropicales a las subtropicales viene marcada en muchas áreas por bosques de monzones y de nubes.

Las variaciones estacionales de los núcleos de alta presión subtropicales, la Zona de Convergencia Intertropical y el régimen de monzones indio producen climas subtropicales en la mayor parte de Sudamérica, África central, Asia meridional y oriental y norte de Australia. Las temperaturas son inferiores y las lluvias más estacionales que en los trópicos.

El clima subtropical se encuentra en el hemisferio norte entre la latitud 40 ° y 25 ° Norte y en el hemisferio sur en las latitudes 20 ° y 35 ° Sur. Generalmente, en el lado oriental de los continentes, en la región sur de América del Norte, en el sur y en el centro de China, en Japón, África, Australia y en América del Sur (norte de Argentina y Uruguay y sur de Brasil y Paraguay).



**Figura 56:** Clima subtropical

**Fuente:** <http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/381905>

En las regiones donde se produce este tipo de clima se requiere una buena ventilación y la protección de los rayos solares para eliminar el calor y reducir la humedad. Para ello se tiende a construir edificaciones aisladas, con grandes aberturas, protegidas de la radiación y de las frecuentes lluvias.

A continuación analizaré varios ejemplos representativos de edificaciones dentro del clima subtropical donde la ventilación y la protección solar como estrategias bioclimáticas juegan un papel fundamental en el diseño constructivo.

### **La casa japonesa**

La casa tradicional japonesa es la respuesta al entorno natural. El Japón tradicional era ante todo una sociedad agrícola, centrada en las actividades relacionadas con el cultivo del arroz. Existía un sentido de cooperación, en vez de enfrentamiento. En lugar de resistencia y defensa, el estado de ánimo fundamental era de acomodo y adaptación. Esta misma actitud hacia el entorno natural caracterizaba a la arquitectura tradicional, que se adaptó a las condiciones climáticas y geográficas.



El clima japonés se caracteriza por veranos calurosos y húmedos e inviernos fríos y secos, por este motivo, la vivienda ha evolucionado buscando hacer los veranos más soportables. La casa tradicional japonesa está ligeramente levantada del suelo y con el interior despejado para permitir que circule el aire sin restricciones en torno y por debajo de la zona habitada. La superficie de la tierra suele estar húmeda y, para mantener seca la cámara, debe ventilarse. La temperatura en la superficie del suelo se reduce mediante el intercambio de radiación con el terreno. La cara inferior de las esteras tatami con las que se cubre el suelo resulta más fría que la superior.

El sol y la frecuente lluvia se asocian al calor y a la humedad del verano, haciendo necesarias la construcción de cubiertas inclinadas con aleros muy bajos que resguardan el interior, dejan pasar el sol en invierno y protegen de la radiación en verano en la fachada orientada al sur. Como la radiación solar incide en la gran superficie de la cubierta, la temperatura se mantiene baja. La cubierta de paja aprovecha el efecto refrescante que proporciona la evaporación del agua de lluvia.

El espacio interior de la vivienda se compone de rectángulos de medidas modulares, cada módulo es un tatami, de aproximadamente 90x180 cm. La casa japonesa, es por lo tanto, una vivienda modular, de crecimiento indefinido por la incorporación de módulos que se van añadiendo según el número de personas que la habitan (Arquitectura. Vilssa, 2013).

El desarrollo de los espacios individuales en el interior de la vivienda es un proceso gradual, consistente en dividir el espacio diáfano en espacios más pequeños según las necesidades de sus habitantes mediante paneles móviles. Se utilizan puertas correderas con materiales traslúcidos, lo que permite que la vivienda se convierta en un espacio abierto, diáfano y muy poco definido.

“Las paredes de papel de arroz y las puertas correderas de las casas japonesas crean una serie de espacios intermedios entre el interior y el exterior que permiten una óptima ventilación” (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).



**Figura 57:** Interior de una vivienda japonesa

**Fuente:** <http://www.sugoi.com.ar/2006/10/30/la-arquitectura-tradicional-japonesa/>

La entrada a la vivienda se realiza a través de un porche que hace de transición entre el espacio exterior y el espacio interior (Figura 58).



**Figura 58:** Entrada a una casa japonesa

**Fuente:** <http://pinterest.com/search/pins/?q=japanese+house>

La elección de los materiales para la construcción de la casa japonesa viene determinada por el clima, siendo la madera preferida a la piedra. La madera es más sensible al clima; en verano es más fresca y absorbe la humedad, y no es tan fría al contacto en el invierno. La madera se adapta también mejor para resistir los temblores de tierra, fenómeno frecuente en Japón.

La vivienda normalmente de una sola planta se construye mediante pilares esbeltos de madera de sección cuadrada que van formando una malla donde van encajando todas las piezas del tatami.

El cerramiento perimetral consiste en un muro ligero de arcilla reforzado con paja, de 6 cm. de espesor, con una estructura de madera y de bambú a modo de entramado que mejoran el aislamiento (Figura 59).



**Figura 59:** Cerramiento de arcilla con estructura de madera y bambú

**Fuente:** <http://pinterest.com/search/pins/?q=japanese+house>

Se puede afirmar que la casa tradicional japonesa está muy bien adaptada a los veranos gracias al desarrollo del sistema dinámico de paredes para crear zonas intermedias entre el interior y el exterior proporcionando estancias confortables, sin embargo tiene un comportamiento poco agradable frente a los fríos inviernos, por lo que



los japoneses recurren a sistemas ajenos a las estrategias arquitectónicas, aumentan las capas de ropa, utilizan braseros en el interior de la vivienda, etc.

Este sistema de construcción lo podemos encontrar también en el sur y centro de China donde las condiciones climáticas son muy similares.

### La vivienda colonial americana

Los primeros colonos americanos construyeron casas que expresan un compromiso entre sus propias culturas y la adaptación a las nuevas zonas climáticas. Teniendo en cuenta que los estados meridionales de Estados Unidos se colonizaron hace relativamente poco, las técnicas de ventilación no están igual de desarrolladas como en el caso de Japón o China. Aunque se concede gran importancia a la sombra, como demuestran estas viviendas típicas de Nueva Orleans, donde los espacios exteriores se convierten en galerías abiertas, protegidas del sol y de la lluvia, creando un espacio cómodo para descansar o realizar diversas actividades.



**Figura 60:** Casas típicas de Nueva Orleans

**Fuente:** [http://www.ehowenespanol.com/arquitectura-nueva-orleans-galeria\\_117613/#pg=3](http://www.ehowenespanol.com/arquitectura-nueva-orleans-galeria_117613/#pg=3)

El clima en Nueva Orleans es subtropical húmedo, con inviernos cortos y generalmente suaves y veranos calurosos y húmedos. En enero, los mínimos matinales están alrededor de 8 °C, y los máximos diarios en torno a 17 °C. En julio, los mínimos son de 24 °C y los máximos de 34 °C.

En este tipo de viviendas se crean habitaciones bien ventiladas. Los huecos están protegidos con celosías, contraventanas etc. que proporcionan la protección de la radiación y permiten la circulación del aire. Igualmente como ocurre en Japón y en China, el porche actúa de espacio intermedio entre el interior y el exterior, protegiendo de la radiación y de la lluvia. En las fachadas se utilizan colores claros que reflejan la radiación solar.

En este tipo de clima debido a la radiación siempre intensa y las lluvias frecuentes, resulta importante tener el máximo de protección posible. La humedad alta hace importante la ventilación que más allá de reducir la humedad también disipa el calor.

### Construcción de madera en clima subtropical

Dentro del clima subtropical existen ejemplos de construcciones de madera que nos permiten reconocer con facilidad las principales estrategias de diseño utilizadas en la arquitectura tradicional.

En Bocas del Toro (Panamá), podemos apreciar en sus construcciones estos mecanismos arquitectónicos de adaptación a las condiciones climáticas (Farfan, 2009a):

- Protección frente a la lluvia y a la radiación: **grandes aleros y galería en planta primera**, protegen la fachada de la radiación solar directa al tiempo que crean un soportal cubierto que permite resguardarla de la lluvia subtropical. El alero se prolonga un metro para proyectar el agua recogida por la propia cubierta lo más lejos posible de la fachada. Los pilares a su vez apoyan sobre unos dados de piedra en planta baja para aislarlos de la humedad del terreno (Figura 61).
- Ventilación: **aberturas con celosía** sobre los huecos de las puertas sin vidrio, **huecos enfrentados y techos altos**, permiten la circulación de aire en un clima caracterizado por una humedad relativa muy alta y constante.



**Figura 61:** Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá)  
**Fuente:** Farfan 2009

- Temperatura: **cerramientos de madera** sin inercia térmica ya que las temperaturas son constantes todo el año y no descienden significativamente por la noche.



**Figura 62:** Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá)  
**Fuente:** Farfan 2009

Para finalizar el estudio y análisis de este apartado, como resumen, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias utilizadas por la arquitectura tradicional subtropical y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima subtropical	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
---	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, bambú y arcilla.
Protección de la humedad	La vivienda elevada del suelo permite la circulación del aire manteniendo seca la cámara (casa japonesa).
	Pilares apoyados sobre dados de piedra en planta baja (vivienda de madera).
Protección solar	Cubiertas inclinadas con aleros muy bajos (casa japonesa).
	Entrada a la vivienda a través de un porche o soportal.
	Espacios exteriores convertidos en galerías abiertas.
	Huecos protegidos con celosías y contraventanas.
	Utilización de colores claros en fachadas que reflejan la radiación. (vivienda colonial americana).
	Prolongación de aleros.
Protección de la lluvia	Cubiertas inclinadas con aleros muy bajos (casa japonesa).
	Espacios exteriores convertidos en galerías abiertas.
	Entrada a la vivienda a través de un porche o soportal.
	Prolongación de aleros.
Captación solar	Cubiertas inclinadas con aleros muy bajos que dejan pasar el sol en invierno (casa japonesa).

**Figura 63:** Estrategias de la arquitectura tradicional subtropical (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia



<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima subtropical	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
---	---------------------------------

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>DISEÑO CONSTRUCTIVO</b>
Efecto evaporativo	La cubierta de paja aprovecha el efecto refrescante que proporciona la evaporación del agua de lluvia (casa japonesa).
Ventilación cruzada	Sistema dinámico de paredes y puertas correderas (casa japonesa).
	Huecos protegidos con celosías y contraventanas que permiten la circulación del aire.
	Aberturas con celosía sobre huecos de puertas (vivienda de madera).
	Huecos enfrentados y techos altos que permiten la ventilación (vivienda de madera).
Forma adaptada al terreno	Vivienda elevada del suelo con estructura de madera adaptada a los temblores de tierra, fenómeno frecuente en Japón (casa japonesa).
Aislamiento térmico	Cerramiento de arcilla reforzado con paja y estructura de madera y bambú (casa japonesa).
Ausencia de inercia térmica	Ejecución de cerramientos de madera.

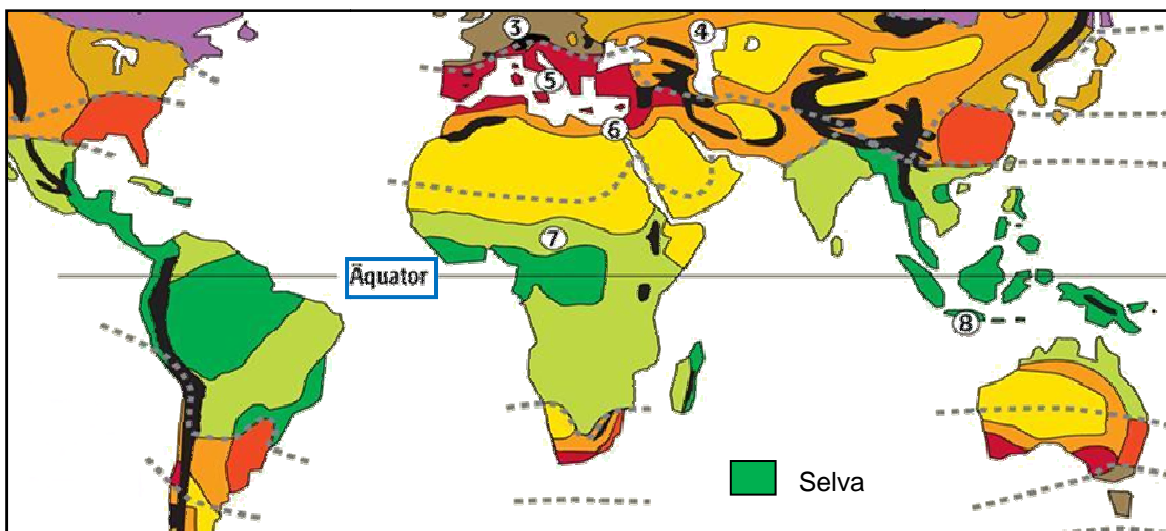
**Figura 64:** Estrategias de la arquitectura tradicional subtropical (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.8 Selva

#### Clima tropical

El clima tropical cubre una banda que rodea al Ecuador desde los 23º latitud norte hasta los 23º latitud sur. Se caracteriza porque durante todo el año la temperatura media es superior a los 18 °C y no hiela nunca. Los países tropicales habitualmente registran en el mes menos cálido temperaturas medias entre 23-24 °C. La amplitud térmica puede alcanzar 10 °C (por ejemplo 21 °C y 31 °C de medias mensuales extremas). La humedad relativa del aire es muy elevada, frecuentemente alcanza el 80 %.



**Figura 65:** Selva

**Fuente:** natch DTV-Atlas Ökologie (1990) (Fraunhofer IBP, 2011)

Este tipo de clima se debe al ángulo de incidencia de la radiación solar que es casi perpendicular al suelo durante todo el año. Esta situación hace que la temperatura sea alta y que las variaciones diurnas sean también muy altas, por ello el flujo de evaporación desde el suelo también es alto al igual que la humedad.

El ecuador es la región terrestre donde se encuentran los vientos fríos de un hemisferio con los de su opuesto, que serán más cálidos, esta situación produce un estado de bajas presiones constantes, lo que origina precipitaciones también constantes e intensas que pueden ser superiores a 1500 mm anuales, con algunos meses secos.



Los términos verano e invierno no tienen significado en las regiones afectadas por este clima, por lo que se suele decir que no tienen invierno. Lo definen dos estaciones una seca (con altas temperaturas y poca o nula pluviometría) y otra húmeda (también cálida y con precipitaciones constantes e intensas).

Muchas de las regiones donde se produce este clima se caracterizan por las grandes crecidas que sufren los ríos en época de lluvias, por este motivo para evitar inundaciones provocadas por el crecimiento del agua, en muchos casos las construcciones se elevan con relación al suelo. Como ejemplo representativo de este tipo de edificación analizaré a continuación **el palafito**, construcción elevada de la tierra o del agua y que se encuentra en las partes del mundo vinculadas a una economía, fluvial o marítima.

## El palafito

El origen de las construcciones palafíticas está vinculado con las condiciones ambientales y la base económica del pueblo que las desarrolla, antes que con una cultura o un ritual específicos. Tanto las aisladas viviendas unifamiliares como las grandes comunidades que se construyen sobre el agua representan una organización social particular. Cada comunidad ha desarrollado construcciones adecuadas a las condiciones ambientales específicas del lugar: el agua y el calor. Las tradiciones culturales, los nuevos materiales y los avances en la tecnología han influido en la evolución de las tradicionales construcciones hasta su transformación en asentamientos contemporáneos, urbanos y complejos (Bahamón & Álvarez, 2009).

Aunque se han encontrado numerosos restos de palafitos en Europa, esta tipología es más propia de zonas tropicales donde predominan las altas temperaturas, la humedad y las abundantes lluvias, siendo los más representativos los del norte de Venezuela (laguna de Sinamaica y la región del Delta Amacuro), junto con otros emplazamientos en el sudeste asiático (Islas Filipinas principalmente).

La vivienda palafito es una unidad muy compacta, de un solo volumen techado y elevado con relación al suelo o el agua aprovechando el movimiento del aire. La

plataforma se construye con rollizos de pino, álamo, encina, bambú o nogal según la zona y sobre la que se levanta una estructura con el mismo material compuesta de palos, horcas, pies derechos, etc. En algunos casos como el palafito de Venezuela, la estructura se cubre con palmas de temiche o eneas atadas con cuerdas vegetales (Figura 66).



**Figura 66:** Palafito con paredes de palma

**Fuente:** Bianco 2007

“El palafito recuerda a la estructura del manglar<sup>9</sup>, apoyándose sobre sus raíces aéreas para elevarse sobre el suelo” (Neila, 2003).

Este tipo de construcción aprovecha las brisas, consiguiendo reducir la humedad. En muchas ocasiones las ventanas se mantienen en sombra, por lo que el ambiente es fresco en su interior.

El palafito para adecuarse al clima tropical caracterizado por altas temperaturas, fuertes lluvias estacionales y humedad alta constante, utiliza cuatro estrategias bioclimáticas:

- **Ventilación y autoventilación:** el diseño de estas construcciones tiene como objetivo facilitar el movimiento del aire. Se favorece la ventilación cruzada, orientando sus escasos, pero grandes huecos. En algunas ocasiones la ausencia de paredes, la elevación de la cubierta para obtener

---

<sup>9</sup> Los manglares son bosques de plantas leñosas que se desarrollan en lagunas, riberas y en costas tropicales protegidas del oleaje. Tiene raíces aéreas en forma de zancos, que les permite anclarse en suelos inestables.



grandes volúmenes de aire y la situación respecto a los vientos están pensados para permitir la máxima ventilación con el fin de enfriar la construcción y eliminar la humedad, a esto hay que añadir el suelo que también permite el paso de aire fresco en contacto con el río. Los materiales naturales utilizados permiten las filtraciones del aire en toda la superficie, lo que favorece la autoventilación del interior.



**Figura 67:** Palafito con ausencia de paredes

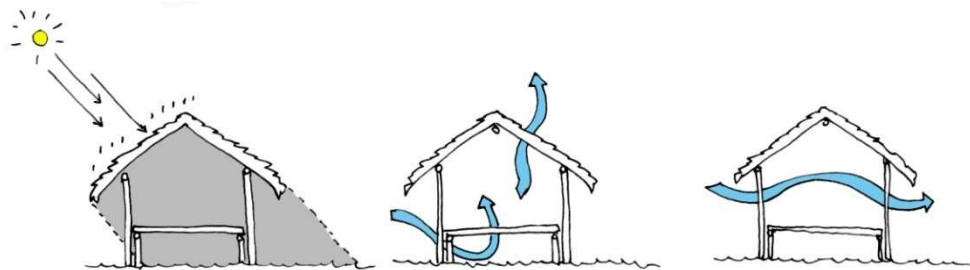
**Fuente:** Farfan 2009

- **Protección solar:** el palafito es capaz de controlar la entrada de radiación solar gracias a sus volúmenes y a sus cerramientos en ocasiones sin apenas huecos y con materiales que tamizan la luz en el interior.

La cubierta ejecutada en muchos casos con palma de temiche y amplios aleros crea también un colchón aislante que protege la vivienda de la radiación solar, esta radiación es disipada y el calor no penetra en el interior gracias a que se trata de una cubierta transpirable autoventilada (Farfan, 2009b).

- **Protección de la lluvia:** dado que el clima es lluvioso, la cubierta con pendiente a dos o cuatro aguas permite la rápida evacuación de las aguas procedentes de las tormentas tropicales.

- **Ausencia de inercia térmica:** teniendo en cuenta que las temperaturas son elevadas, constantes y hay poca variación entre el día y la noche, este tipo de edificación ha huido de todo aquello que sea susceptible de almacenar calor (inercia térmica), hasta el punto de elevarse del suelo. Hay que tener en cuenta, que la tierra se calienta con mayor rapidez que el agua, ya que el agua tiene más capacidad para absorber calor (inercia térmica) y se evapora absorbiendo más energía en este proceso, además, como el río está en movimiento, el calor no se acumula.



**Figura 68:** Esquemas estrategias bioclimáticas “palafito”

**Fuente:** Farfan 2009

Por lo general, los palafitos no son construcciones aisladas sino aglomeraciones de diversos tamaños que, durante su evolución, desaparecen y se restablecen. Muchos de ellos se construyen con madera, por lo que su poca resistencia a la humedad es la principal causa de que muchos complejos enteros hayan desaparecido; sin embargo, gracias a la habilidad y a las costumbres de sus habitantes, muchos de ellos han sido recuperados.

Se utilizan pasarelas para conectar las viviendas entre sí y con tierra firme, además constituyen los lugares donde transcurre la vida en comunidad (Figura 69).



**Figura 69:** Vivienda compuesta de dos palafitos: casa (izda.) y cocina-fogón (dcha.)  
**Fuente:** Farfan 2009

“A pesar de tratarse de agrupaciones urbanas consolidadas, la singularidad de estas construcciones contrasta con el entorno en el que se emplazan: alrededor de los palafitos, pueblos enteros se localizan en tierra firme y llama la atención que los habitantes no hayan dejado sus viviendas sobre el agua por los servicios que ofrecen estos últimos” (Bahamón & Álvarez, 2009).

### La casa maya

Este tipo de construcción se encuentra en la región denominada *Puuc*, en el actual estado de Yucatán, en la península del mismo nombre, al sureste de México, donde el clima de selva tropical monzónico está controlado por los vientos alisios del este, que aportan masas de aire tropical marítimo, originando intensas lluvias, aunque con una gran variación a lo largo del año.

El clima es cálido húmedo y está caracterizado por unas temperaturas uniformes y altas a lo largo de todo el año, con una temperatura media anual de 27 °C. Las temperaturas máximas rondan los 35 °C y las mínimas los 17 °C. La estación de lluvias es larga y coincide con el verano, llegando a los 700 mm de agua anuales.



La sociedad que utiliza este tipo de vivienda tiene un cierto carácter nómada, motivado por las características del terreno, ya que es calcáreo con una capa orgánica que no llega a los 10 cm. y que únicamente permite 3 ó 4 cosechas consecutivas, dejando de ser útil durante las siguientes décadas. Ello obliga a un cambio de vivienda, siempre vinculado al terreno de cultivo. Por este motivo la vivienda debe ser de fácil y rápida ejecución.

La típica casa maya es una tipología constructiva con bases bioclimáticas sustentables. La vivienda es fresca en períodos calurosos, cálidas durante el invierno y preparada para resistir huracanes. Su diseño se mantiene prácticamente inalterable hasta la actualidad en lugares como Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

Su diseño y materiales son el resultado de un profundo proceso de experimentación con múltiples posibilidades, a partir del cual los mayas comprendieron que elementos debía reunir la vivienda para adquirir beneficios bioclimáticos. Este tipo de construcción delata un profundo conocimiento de los materiales del lugar, donde abundan los bosques que proporcionan madera.

La casa maya consta de una única habitación que se utiliza como dormitorio. La planta es rectangular o absidal y sus proporciones equivalen a un cuadrado con dos laterales rematados en semicírculo. Su ancho está modulado según la medida estándar de la hamaca (4 m), que colgada entre dos postes sirve de cama y la longitud de la vivienda es de 8 m.

La vivienda se asienta sobre una base de “*sascab*” (plataforma compuesta por piedra caliza y tierra blanca compactada) de 15 a 20 cm. de espesor que evita la entrada de agua al interior de la vivienda.



**Figura 70:** Casa Maya

**Fuente:** <http://mayananswer.over-blog.com/article-casa-maya-nah-55623555.html>

Este tipo de construcción no tiene ventanas y cuenta con un acceso central orientado al este, aunque en ocasiones se incorpora un acceso orientado al oeste, normalmente para comunicar con otra vivienda de menores dimensiones y semiabierto que se utiliza de cocina y comedor, este espacio denominado “*koben*” se encuentra separado a fin de evitar posibles incendios.

El cerramiento es independiente de la estructura que sostiene la cubierta. Los materiales de cerramiento, estructura y cubierta se extraen de los bosques aledaños a la vivienda.

La estructura es totalmente de madera, sus soportes son postes de unos 20 cm. de diámetro que junto con otros de menor diámetro constituyen la base sobre la que se van colocando las varas verticales que forman la estructura. Los soportes se refuerzan mediante un trenzado de “*bejucos*” (tiras de corteza) que junto con las varas verticales forman un emparrillado anudado que al ser cubierto posteriormente con barro (tierra roja) mezclado con “*zacate*” (césped) dan forma a los muros. En muchos casos el muro se acaba con una lechada de cal por ambas caras, resultando un muro de 9-10 cm. de espesor. Antes de aplicar el revestimiento de barro, en la base de los muros se coloca un rodapié de piedra caliza para evitar que la humedad pudra la madera y dañe los muros.

Con esta solución se aprovechan las propiedades térmicas de la tierra conservando la frescura en el interior de la vivienda.

Cuatro postes de madera u “*horcones*”, situados en las esquinas del hipotético cuadrado, sujetan los troncos-viga sobre los que a su vez descansan los “*caballetes*” (líneas de limatesa) y la cumbrera. Un emparrillado de “*morillos*” (rollizos de unos 5 cm. de diámetro) forma el armazón de la cubierta, a cuatro aguas. Para cuajar la superficie se atan hojas de palma (huano) o largas tiras de césped (*zacate*). La inclinación de la estructura no sobrepasa los 60 grados, lo que permite la evacuación del agua y una protección contra los huracanes, muy comunes en la península.

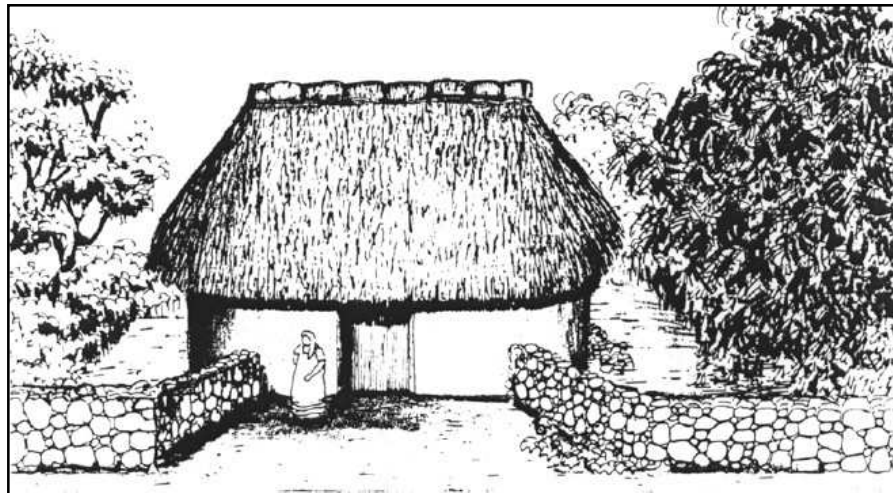
La casa maya para adaptarse al calor y a la humedad, reducir la radiación solar y evacuar el agua con rapidez cuando llueve, utiliza las siguientes estrategias bioclimáticas:

- **Ventilación y autoventilación:** es la estrategia básica contra el calor y la humedad, facilitada a través de diversas medidas.

La forma cerrada y curva del muro perimetral ayuda al aumento de velocidad del viento, resultado de las sobrepresiones y depresiones que se generan sobre las caras de la vivienda y que son las responsables de las corrientes de aire en el interior.

En muchos casos las viviendas tiene dos accesos opuestos y situados en el centro de los lados de mayor longitud, que se abren a los vientos provocando la ventilación cruzada.

En algunas construcciones la propiedad se delimita con un muro de mampostería de piedra en seco (Figura 71), al llegar a la puerta de la casa, este muro llamado “*albarrada*” se une a la vivienda en diagonal para dirigir la corriente de aire al interior (Rodríguez, 2011).



**Figura 71:** Casa maya con albarrada

**Fuente:** Rodríguez 2011

La cubierta con materiales vegetales, permeables al aire facilita la autoventilación. Los materiales son también permeables al vapor de agua y su evaporación evita las condensaciones que podrían ser causa de la pudrición del material.

La gran altura entre el suelo y el techo (3-4 m.) ayuda a generar una buena ventilación; el volumen de aire caliente sube provocando una depresión en la parte baja que refresca el ambiente.

- **Protección contra la excesiva radiación solar:** la forma de la cubierta, a cuatro aguas, reduce la radiación solar, ya que solo una parte de los rayos inciden simultáneamente de forma perpendicular sobre la superficie.

La forma curva de los muros evita que la radiación incida de forma homogénea, ya que los rayos inciden con distintos ángulos.

El acabado de los muros con una capa de cal blanca facilita la reflexión de los rayos evitando su calentamiento.

Sobre la fachada principal a veces se construye un pórtico con una estructura independiente que tiene como objetivo sombrear, refrescar la casa y servir como estancia al aire libre.

- **Protección de la lluvia:** la cubierta a cuatro aguas con pendientes de 40-60°, acelera la evacuación del agua cuando llueve. Por otro lado, la plataforma de tierra compacta protege la casa de inundaciones, frecuentes durante el periodo de lluvias.
- **Protección de la humedad:** en la base de los muros se coloca un rodapié de piedra caliza para evitar que la humedad pudra la madera y dañe los muros.

Dentro del clima tropical, otro de los ejemplos representativos de construcción tradicional son las **casas de Batak**, localizadas al norte de Sumatra en Indonesia.

### Las casas de Batak

Las casas de Batak se caracterizan principalmente por sus grandes cubiertas a dos aguas, con cumbreras curvas, construidas con bambú, paja y fibra. Se utiliza habitualmente la fibra de coco, hojas de palma de azúcar, hierba y paja de arroz. Las cubiertas son bajas y angulosas. Sus grandes aleros mantienen el agua fuera de la casa y ofrecen mayor sombra sobre la fachada. El diseño de estas cubiertas permite una ventilación óptima y su gran inclinación garantiza la rápida evacuación del agua durante el periodo de lluvias.

Las viviendas se han desarrollado para responder a las condiciones ambientales, en particular, el clima caliente y húmedo del monzón de Indonesia. Como es común en todo el sur de Asia y el Pacífico Sudoccidental, la mayoría de las viviendas están construidas con madera y juncos, apoyadas sobre pilotes. Los postes de madera muestran la función y el significado de las actividades del interior. Unos postes más cortos, empotrados y fijados con clavos, soportan al suelo bien ventilado que descansa sobre durmientes de hasta 10 m. de longitud y vigas transversales.

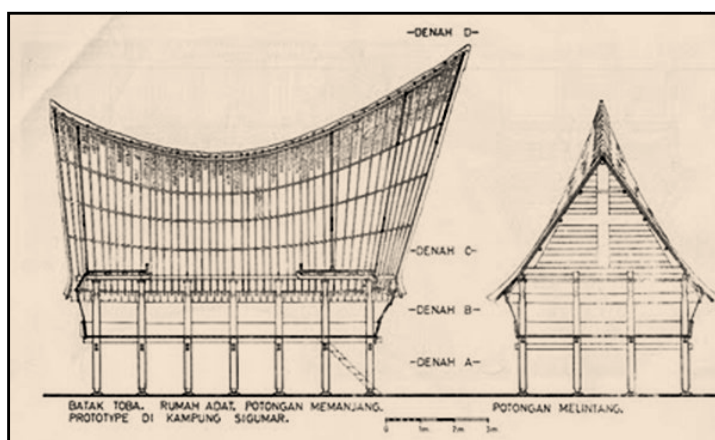




**Figura 72:** Casa tradicional de Sumatra (Indonesia)  
**Fuente:** Wabu 2005

La construcción de las casas sobre pilotes cumple las siguientes funciones:

- Permite la circulación del aire moderando las altas temperaturas.
- Protege frente a las aguas de escorrentía.
- Permite que las viviendas construidas en los ríos y márgenes de los humedales aislen a sus habitantes y alimentos de la humedad.
- Protege de los mosquitos portadores de la malaria, ya que su elevación evita que el agua quede estancada y se contamine.
- Reduce el riesgo de podredumbre y termitas.



**Figura 73:** Plano de sección. Vivienda tradicional en Sumatra (Indonesia)

**Fuente:** <http://www.decoratingroomdesign.com/home-architecture-traditional-suku-batak-indonesia.html>

En las regiones costeras las viviendas tienen muchas ventanas garantizando una buena ventilación cruzada.

Estas viviendas originalmente albergan a varias familias repartidas en sus diferentes plantas. Dependiendo de su posición dentro de la familia, cada miembro ocupa una parte determinada de la casa. Las zonas más frescas están reservadas para los ancianos.

“Los graneros de arroz son muy importantes. En las tipologías populares, es frecuente que las construcciones técnicamente más avanzadas sean aquellas que aseguran el abastecimiento energético a la comunidad. Un almacenaje óptimo de la cosecha del arroz se considera más importante que las buenas condiciones de confort para el hombre” (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).



**Figura 74:** Poblado de Tana Toraja (Indonesia)  
**Fuente:** Ahka 2012

Tras el estudio de diferentes tipologías constructivas representativas del clima tropical podemos afirmar que la selva es el entorno perfecto para la vida vegetal. Sin embargo, para los seres humanos no resulta fácil soportar la combinación de calor y humedad, ya que el sistema de refrigeración del cuerpo humano depende de la evaporación y se sobrecarga en poco tiempo. Necesitamos por lo tanto, una ventilación eficaz y una protección contra el sol y la lluvia.

Como resumen de este apartado, en las siguientes tablas se incluyen dichas estrategias y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima tropical (Selva)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, bambú, palmas de temiche, eneas o huano, barro (tierra roja), césped, fibra de coco, hojas de palma de azúcar y paja de arroz.
Condicionantes del terreno	Elevación de las construcciones con relación al suelo para evitar inundaciones (palafito y casa de Batak).
Ventilación cruzada	Grandes huecos enfrentados (palafito y casa de Batak).
	Dos accesos opuestos situados en el centro de los lados de mayor longitud de la vivienda (casa maya).
Ventilación	Ausencia de paredes (palafito).
	Elevación de la cubierta para obtener grandes volúmenes de aire.
	Orientación de la vivienda respecto a los vientos (palafito).
	Elevación del suelo de la vivienda para permitir el paso del aire fresco (palafito y casa de Batak).
	La forma cerrada y curva del muro perimetral aumenta la velocidad del viento. Se generan corrientes de aire en el interior de la edificación (casa maya).
	Delimitación de la parcela mediante muro de mampostería de piedra en seco " <i>albarrada</i> ", unido a la vivienda en diagonal dirige la corriente de aire al interior (casa maya).
	La gran altura entre el suelo y techo (3-4 m.) genera buena ventilación (casa maya).
	Cubierta baja, angulosa, con cumbrera curva, a dos aguas y grandes aleros (casa de Batak).

**Figura 75:** Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima tropical (Selva)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Autoventilación	Los materiales naturales utilizados permiten las filtraciones del aire en toda la superficie de la vivienda (palafito).
	Ejecución de cubierta con materiales vegetales permeables al aire (casa maya).
Protección de la humedad	Ausencia de paredes (palafito).
	Elevación de la cubierta para obtener grandes volúmenes de aire.
	Orientación de la vivienda respecto a los vientos (palafito).
	El suelo de la vivienda elevado permite el paso del aire fresco (palafito y casa de Batak).
	Colocación de rodapié de piedra caliza en la base de los muros (casa maya).
Ausencia de inercia térmica	Suelo de la vivienda elevado (palafito y casa de Batak).
	Ejecución de cerramientos de madera, bambú y hojas de palma (palafito y casa de Batak).
Aislamiento térmico	Cerramiento compuesto por estructura de madera anudada con tiras de corteza, con revestimiento de barro y césped (casa maya).

**Figura 76:** Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima tropical (Selva)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Protección solar	Las ventanas ubicadas en la zona de sombra de la vivienda permiten que el ambiente sea fresco en el interior (palafito).
	Cerramientos en ocasiones sin apenas huecos (palafito).
	Utilización de materiales que tamizan la luz en el interior (palafito).
	Las cubiertas ejecutadas con palmas de temiche crean un colchón aislante (palafito).
	Ejecución de grandes aleros (palafito y casa de Batak).
	Cubierta transpirable autoventilada (palafito).
	Cerramiento con ausencia de ventanas (casa maya).
	Acabado de los muros con lechada de cal (casa maya).
	La forma de la cubierta a cuatro aguas reduce la radiación solar (casa maya).
	La forma curva de los muros evita que la radiación incida de forma homogénea (casa maya).
	Construcción de pórtico junto a la fachada principal para sombrear, refrescar la casa y como estancia al aire libre (casa maya).

**Figura 77:** Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-3)

**Fuente:** Elaboración propia



<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Clima tropical (Selva)	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
--	---------------------------------

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>DISEÑO CONSTRUCTIVO</b>
Protección de la lluvia	La elevación de las construcciones con relación al suelo, proporciona protección frente a inundaciones y aguas de escorrentía (palafito y casa de Batak).
	Ejecución de cubierta compuesta por estructura de madera o bambú y palmas de temiche o eneas, con pendiente a dos o cuatro aguas (palafito).
	Ejecución de cubierta compuesta por estructura de madera y palmas de huano, a cuatro aguas y con pendiente de 40-60° (casa maya).
	Vivienda asentada sobre una plataforma compuesta de piedra caliza y tierra blanca compactada de 15 a 20 cm. de espesor que evita la entrada del agua en el interior (casa maya).
	Ejecución de cubierta compuesta por estructura de madera y bambú, fibra de coco, hojas de palma de azúcar, hierba y paja de arroz. Baja y angulosa, con cumbrera curva, a dos aguas y grandes aleros (casa de Batak).

**Figura 78:** Estrategias de la arquitectura tradicional tropical (tabla-4)

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.3.9 Sabana

Las sabanas son zonas de transición entre las selvas y los desiertos donde la alternancia estacional de masas de aire húmedo con masas de aire seco dan lugar a un clima con una estación húmeda durante los meses de verano y una estación seca durante el invierno. La amplitud térmica es reducida por lo que, con la excepción de las posiciones más continentales (donde las noches pueden ser relativamente frías en invierno), las temperaturas son altas durante todo el año y el ritmo de las estaciones está marcado por las precipitaciones en lugar de por la temperatura (lo que justifica que se hable de la “estación de las lluvias” o de la “estación seca”).

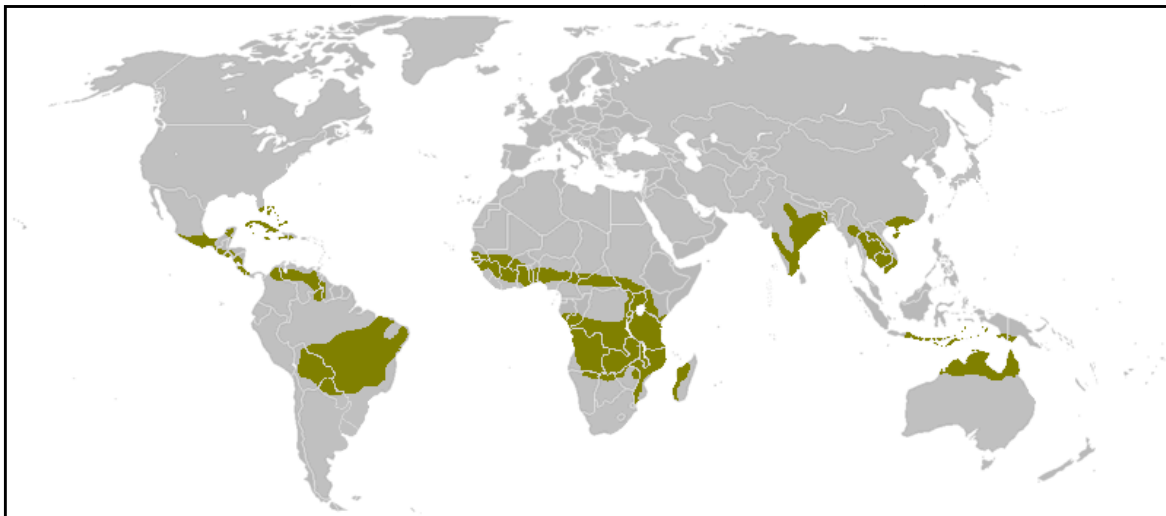
La temperatura máxima anual es de 30 °C y la mínima media anual es de 25 °C; estas elevadas temperaturas dan a la ventilación un papel fundamental para evitar el sobrecalentamiento y para eliminar la humedad excesiva, siendo también objetivo primordial la protección de la radiación solar en ambas estaciones.

La precipitación media anual varía entre 100 y 400 mm. lo que origina que las sabanas vayan desde el bosque abierto con base herbácea hasta las dominadas por las gramíneas.

Cuando las precipitaciones oscilan entre los 100 y 200 mm. anuales sólo las gramíneas pueden resistir la estación seca. Cuando la precipitación alcanza los 300 mm. el suelo retiene humedad suficiente para que se mantengan los arbustos. En el caso de que la lluvia caída supere los 300 mm. anuales es posible el desarrollo de árboles aislados.

Finalmente cuando se superan los 400 mm. hay suficiente humedad durante la estación seca, permitiendo que los árboles crezcan con mayor profusión de forma que produzcan sombra a la pradera.

Con relación a la ubicación, las principales sabanas se encuentran en el continente africano, aunque también existen sabanas tropicales en América del Sur, Australia y la India.



**Figura 79:** Sabana

**Fuente:** Strongbad 1982 (anónimo) 2008

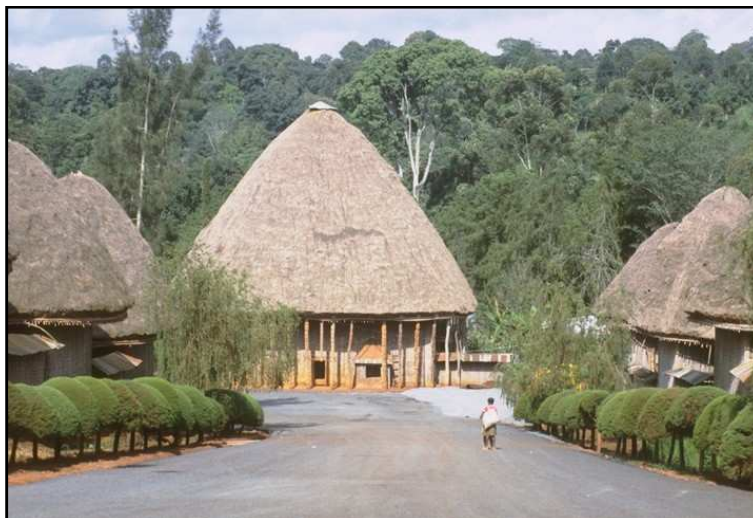
Las sabanas de Brasil, Colombia y Venezuela ocupan alrededor de 2,5 millones de kilómetros cuadrados, un tamaño equivalente a un cuarto del tamaño de Canadá.

Las condiciones climáticas de la sabana son únicas, ya que en ninguna otra parte del mundo el hombre puede vivir a cielo abierto y sin indumentaria. Como la mayor parte del tiempo la temperatura es cálida, lo que se necesita es sombra y protección durante la estación de lluvias. Por este motivo, lo único que requiere una vivienda es la cubierta, y en muchos casos las moradas no son más que una sombrilla en esta zona climática.

Para la ejecución de las cubiertas se requiere una considerable cantidad de hierba, que se recoge cada año según una ceremonia ancestral. Teniendo en cuenta que en la construcción de las viviendas se utilizan materiales vegetales del lugar, podemos considerarlas como parte de su ciclo natural.

Las temperaturas exteriores durante el año son elevadas y la humedad relativa en época de lluvias llega a valores del 90 %. Estos factores hacen necesaria la ventilación en el interior de las viviendas, garantizada a través de la propia cubierta construida con hierba o paja, en muchos casos sobre entramado de madera.





**Figura 80:** Casas de los Mousgoum (Camerún)

**Fuente:** <http://www.ikuska.com/Africa/Etnologia/arquitfotocamerun.htm>

Durante los meses de la estación lluviosa las condiciones de confort estarán controladas por medio de la ventilación natural constante, favoreciendo las corrientes de aire, ya que el clima en esta época es caluroso y húmedo.

En la sabana las exigencias de los edificios son mínimas, por ello, los muros de las casas son delgados y permeables para conseguir una óptima corriente de aire, no siendo necesario los muros gruesos ni aislantes (Figura 81).



**Figura 81:** Vivienda Sihanakas (Madagascar)

**Fuente:** Guidoni 1977

Dentro de la construcción tradicional en la sabana, los nativos colombianos, han desarrollado una tipología muy interesante denominada **Malocas**.

La maloca es una casa comunitaria ancestral, utilizada por los indígenas del Amazonas, que tiene diferentes características en su relación con la comunidad de donde proviene. Antiguamente vivían en una maloca varias familias relacionadas principalmente por el parentesco y que se repartían el espacio interior.

La maloca reúne los elementos que se requieren para la alimentación. A estas construcciones llega el producto del trabajo agrícola, y el resultado de la caza y pesca que provee de proteína animal. En la maloca se preparan los alimentos, y allí mismo se consumen.

Estas viviendas vernáculas, con distintas variantes formales se multiplican en el territorio, asentadas sobre el suelo o sobre pilotes, de planta ortogonal o cilíndrica y con cubierta a dos aguas en muchos casos.

La construcción es totalmente de madera y hojas de palma. La estructura interior se basa en pórticos transversales de madera (constituidos por dos pies derechos unidos en la parte superior por un cabecero). Sobre la cumbrera apoya la cubierta de hojas de palma, con mucha pendiente para evacuar las fuertes precipitaciones estivales (Guidoni, 1977).



**Figura 82:** Maloca Indígena. Vista interior

**Fuente:** Echeverri 2012

La edificación es muy permeable al paso del aire y cuenta con doble ventana en la parte alta de la techumbre que favorece la evacuación hacia el exterior del aire más caliente y menos denso (Figura 83).



**Figura 83:** Maloca Indígena. Vista exterior

**Fuente:** Echeverri 2012

Por otro lado, las ventanas producen el efecto chimenea ya que succionan el aire que penetra a través de los muros.



**Figura 84:** Maloca Indígena. Vista interior de los muros

**Fuente:** Echeverri 2012

Esta tipología constructiva soluciona la protección frente a la lluvia y la radiación solar, garantizando la sombra y la ventilación.

En la sabana, al igual que los nómadas lo hacen con sus tiendas, algunos pueblos llevan sus casas enteras o por partes, cuando emprenden su camino. Estas sencillas construcciones de protección se transportan como si de una prenda de vestir se tratara.

Como resumen de este apartado, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias utilizadas en la sabana y el diseño constructivo adoptado para alcanzar cada una de ellas.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b>	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
Sabana	

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>DISEÑO CONSTRUCTIVO</b>
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, vegetales (hierba, paja, hojas de palma, etc.).
Ventilación	Ejecución de cubiertas con materiales vegetales sobre entramado de madera.
	Elevación de la cubierta para obtener grandes volúmenes de aire.
	Muros delgados y permeables de madera y materiales vegetales.
	Ejecución de ventanas en la parte alta de la cubierta (maloca).
Autoventilación	Los materiales naturales utilizados en la ejecución de las viviendas permiten las filtraciones de aire en toda la superficie.
	Ejecución de cubierta con materiales vegetales permeables al aire.
Protección de la humedad	Ausencia de paredes en muchas tipologías constructivas.
	Elevación de la cubierta para obtener grandes volúmenes de aire.
	Elevación del suelo de la vivienda sobre pilotes en muchas edificaciones.

**Figura 85:** Estrategias de la arquitectura tradicional en la sabana (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia



<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Sabana	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
----------------------------------	---------------------------------

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>DISEÑO CONSTRUCTIVO</b>
Protección solar	Ejecución de cubiertas con materiales vegetales sobre entramado de madera.
Protección de la lluvia	Ejecución de cubiertas con materiales vegetales sobre entramado de madera, con mucha inclinación.
Ausencia de inercia térmica	Muros delgados y permeables de madera y materiales vegetales.
Transportabilidad	Algunos pueblos transportan sus viviendas enteras o por partes.

**Figura 86:** Estrategias de la arquitectura tradicional en la sabana (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.3.10 Estepa

La estepa es un bioma que comprende un territorio llano y extenso, de vegetación herbácea, propio de climas extremos y escasas precipitaciones que se producen normalmente en verano ya que es la época más lluviosa, con valores que no llegan a 250 mm. anuales. Entre el final del otoño y la primavera son en forma de nieve por lo que no supone un verdadero aporte de agua hasta el momento del deshielo primaveral.

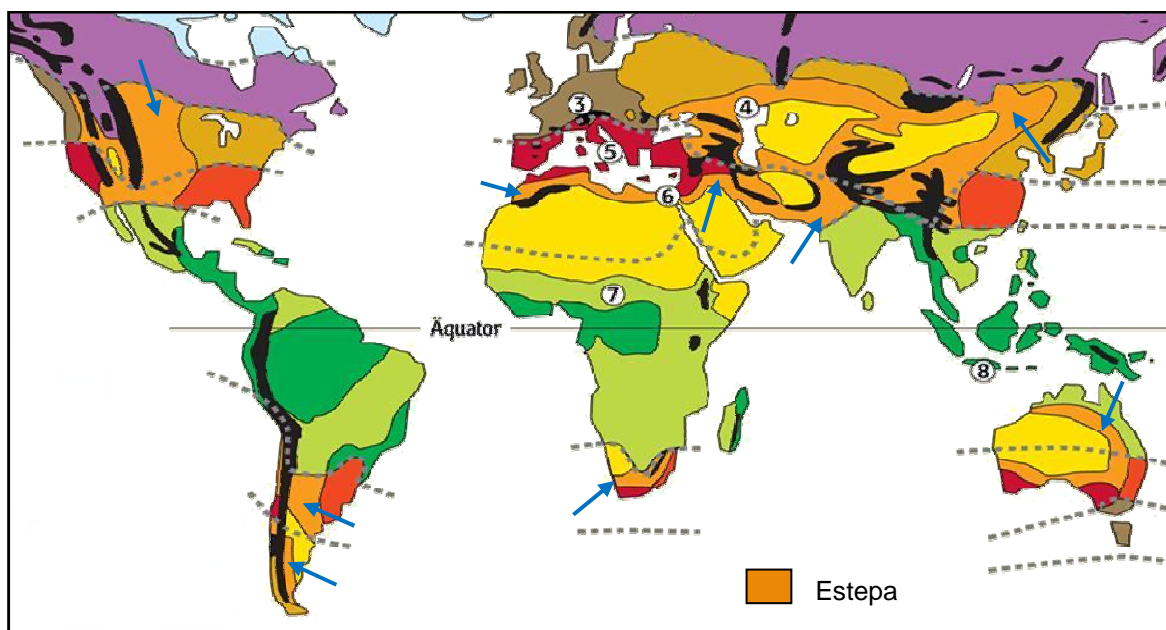
Estas regiones alejadas del mar tienen una gran variación térmica entre el verano y el invierno. Como la distancia al mar es importante, su influencia climática es prácticamente nula permitiendo que la atmósfera se mantenga seca y transparente durante la mayor parte del tiempo. El clima es seco, con inviernos fríos y rigurosos permaneciendo el termómetro por debajo de 0 °C durante varios meses, mientras que los veranos son calurosos, con temperaturas superiores a 25 °C. En algunas regiones son frecuentes las lluvias de polvo durante todo el año.

En este clima predominan las hierbas bajas y matorrales y el suelo contiene muchos minerales y poca materia orgánica.

En relación a la humedad, al haber pocas precipitaciones, la humedad es baja aunque, en algunas estepas, en verano, por las precipitaciones, la humedad aumenta de nivel.

Las regiones principales en las que se desarrolla la estepa son: Asia central desde Ucrania (en Europa) hasta el Cáucaso, englobando también parte de Kazajstán y Mongolia, el centro de América del Norte que corresponde a la estepa norteamericana, el centro oeste de Australia y el sotavento de Nueva Zelanda, América del Sur en la zona de la Pampa y África, en los montes Drakesberg.

La estepa asiática tiene un clima muy brusco, un invierno frío y seco y unos veranos muy calurosos, mientras que en la estepa norteamericana el clima es menos severo.



**Figura 87:** Estepa

**Fuente:** natch DTV-Atlas Ökologie (1990) (Fraunhofer IBP, 2011)

Las viviendas en esta zona climática deben de dar sombra y frescor así como ofrecer protección contra las tormentas de arena. En la búsqueda de espacios frescos, los constructores de la estepa se han refugiado en soluciones de masa, ya que encontramos edificios macizos, con muros compactos que absorben el calor. En algunos casos las edificaciones pueden estar enterradas para aprovechar el efecto refrescante de la tierra (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

A menudo los edificios cuentan con sistemas para su ventilación. Los vientos frescos provienen normalmente de la misma dirección. Por este motivo los edificios tienen dispositivos especiales para captar el viento y permitir la entrada de corriente de aire en las estancias. Como ejemplo representativo de esta tipología constructiva analizaré a continuación la casa tradicional de Bagdad.

## La casa de Bagdad

Bagdad está situada en Irak, en la llanura aluvial entre los ríos Tigris y Éufrates. En esta ciudad la casa tradicional tiene como máximo dos plantas y se organiza en torno a un patio, siendo el elemento principal de la vivienda, actuando como lugar de reunión aislado, abierto e íntimo de la familia, y facilitando la segregación de las mujeres. Supone además un elemento de paso obligado en cualquier desplazamiento interior.



**Figura 88:** Mapa de localización Bagdad (Irak)

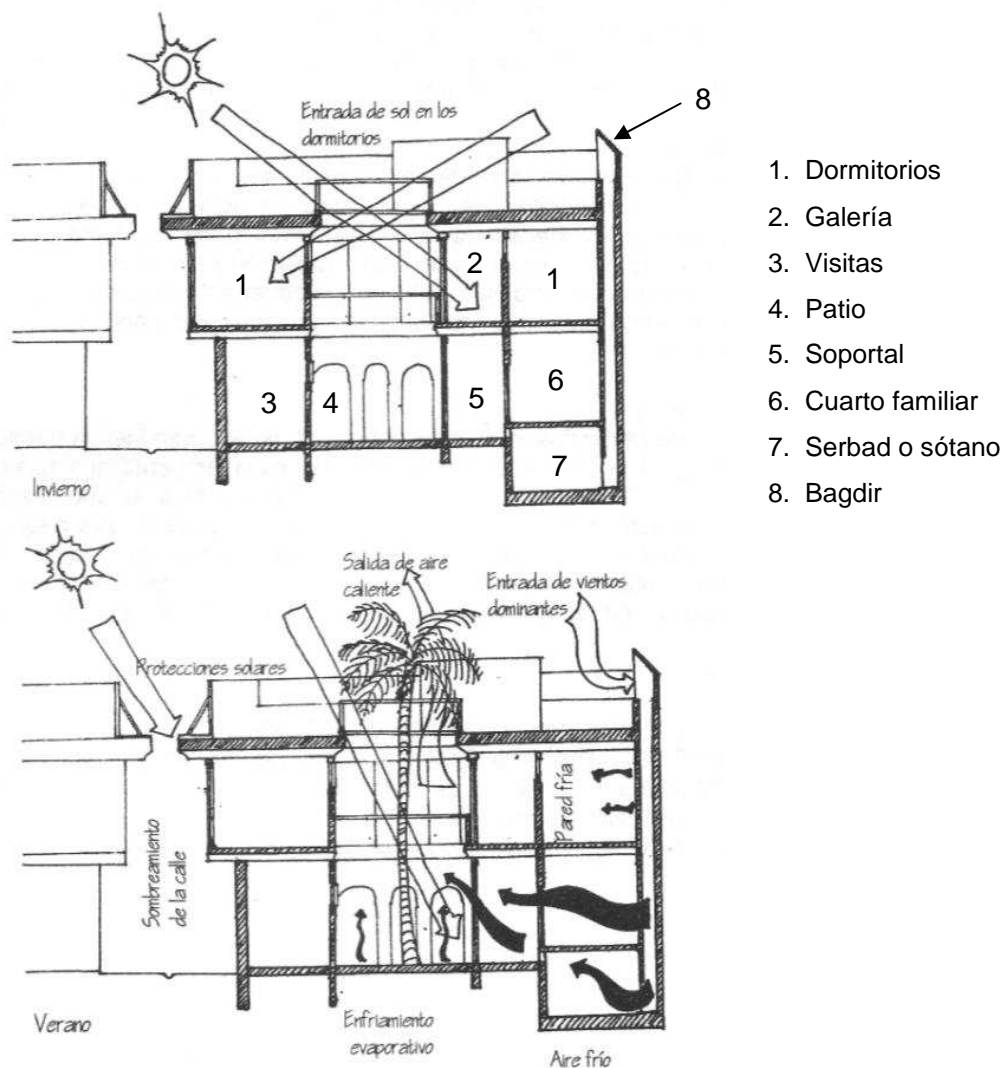
**Fuente:** Mosterio (anónimo) 2011 (izqda.). The World Factbook 2005 (dcha.)

El patio contrarresta el ambiente seco y las elevadas temperaturas que se producen mediante la colocación de plantas y fuentes, que proporcionan el enfriamiento evaporativo y proporcionan zonas de sombra. Por otro lado, al ser el patio un espacio abierto, la radiación nocturna favorece la pérdida de calor acumulado durante el día y la formación de una bolsa de aire frío. También puede actuar como canal de aire vertical que atraviesa los pisos de una vivienda y provoca un microclima agradable. La diferencia de temperatura entre la planta baja y la cubierta puede llegar a ser hasta 20 °C.

Los pórticos y galerías en ambas plantas de la vivienda favorecen la creación de zonas de sombra en verano, ya que es cuando se ocupa principalmente la planta baja.



Durante el invierno, que es cuando se ocupa la planta alta, el sol penetra en las habitaciones, al mismo tiempo calienta la cubierta (Figura 89).



**Figura 89:** La casa de Bagdad

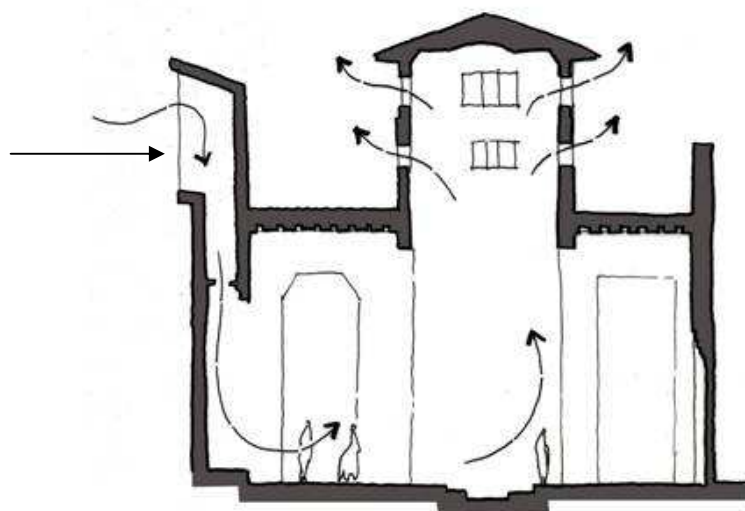
**Fuente:** Neila 2003

Los volos de 90 cm. sobre línea de fachada consiguen su práctica obstrucción solar. La masiva concentración de viviendas favorece también este efecto. El hecho de elevar el suelo del cuarto familiar permite dotar a la sala semienterrada bajo él de iluminación y ventilación natural a través de una línea de huecos que da al patio. El espacio mantiene en verano unas condiciones confortables (Neila, 2003).

Con relación a la ventilación se favorecen las corrientes forzadas de aire elevando desproporcionadamente el techo de las habitaciones y colocando una doble pared en los muros verticales que no son fachadas. La pared interior del “doble conducto” se enfría por la noche y gracias a su inercia y al no recibir radiación solar se mantiene fría durante el día, refrescando el ambiente.

Las casas tradicionales de Bagdad disponen de un *bagdir* que recoge las corrientes de aire dominantes. El *bagdir* es un tipo de chimenea empotrada en la pared y que llega hasta el punto más alto de la cubierta (Figura 89). Este conducto es especialmente eficaz cuando está empotrado en la pared y tiene amplias aperturas dispuestas en diagonal respecto a la dirección predominante del viento. Una vez captado el aire, su humedad relativa aumenta en el canal fresco y su temperatura baja al descender. Constituye un ejemplo de sistema de climatización de lo más sofisticado y energéticamente eficaz. Sin embargo para que funcione hace falta fuertes oscilaciones de temperatura.

El principio de ventilación del *bagdir* se aplica también en edificios que carecen de patio. En este caso sube el aire captado por un espacio central equipado con aberturas en sus extremos superiores.



**Figura 90:** Bagdir

**Fuente:** <http://irantraders.net/en/yazd/>

<http://lajhsslab.com/name/bahrain/bahrain.htm>



A nivel constructivo, la estructura de estas viviendas se conforma con un sistema de pares de madera, tanto en los muros verticales como en los forjados de piso y cubierta.

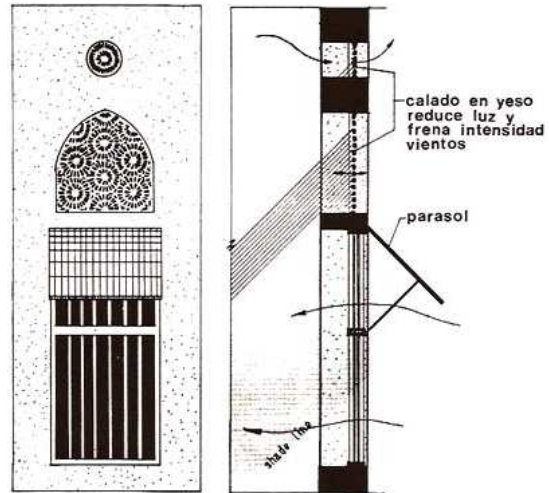
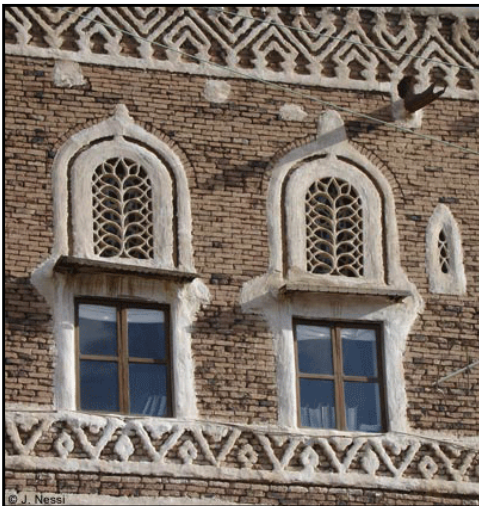
El suelo de la planta primera está compuesto por troncos de árboles a modo de viguetas. Sobre ellas se clavan tablas de madera cubiertas posteriormente con una o varias esteras de junco tejidos. Finalmente, se extiende una capa de tierra de 9 cm. de espesor y se colocan baldosas de barro. La construcción de la cubierta es similar sustituyendo la capa de tierra por dos capas de barro y paja mezclados, de 23 cm. de espesor cada una, construyendo de esta forma una ligera pendiente para poder desaguar.

Los muros exteriores de planta baja de 35 cm. de espesor, se construyen con ladrillos de barro (cocidos o crudos) entre los pies derechos de madera. El acabado interior es de cal. Los muros exteriores de planta primera son similares a los de planta baja disponiéndose maineles de madera cada 90 cm. y entre ellos ladrillos de 12 cm. de espesor. Las particiones interiores de 12 a 23 cm. de espesor, están enlucidas para reflejar mejor la luz del día.

En estas edificaciones los cerramientos, debido a su espesor, tienen gran inercia térmica, lo que asegura en el interior de las habitaciones la temperatura media del día todo el tiempo. Por otro lado, gracias a las paredes dobles, se aporta suficientemente aislamiento térmico y acústico.

Los huecos en general son escasos y pequeños para reducir la penetración de calor en verano, y dispuestos por encima de la línea de visión para evitar deslumbramiento e impedir las miradas desde el exterior. Las celosías en las ventanas proporcionan un nivel adecuado de luz y ventilación. En otros casos, las ventanas son elementos complejos, compuestas por varias partes, cada una de las cuales tiene una función definida. Se evita la incidencia de la radiación solar directa mediante aleros, muros calados o elementos de sombra. En algunos casos se utilizan tinajas cerámicas llenas de agua, para que el viento, al contacto con las superficies humedecidas, penetre en el interior de las estancias más fresco y húmedo. Pequeñas aberturas ubicadas en la

parte más alta de las estancias sirven para la evacuación del aire caliente estratificado cerca del cielo raso.



**Figura 91:** Ventanas. Casa de Bagdad

**Fuente:** [http://www.arqsustentable.net/arq\\_islamica.htm](http://www.arqsustentable.net/arq_islamica.htm)

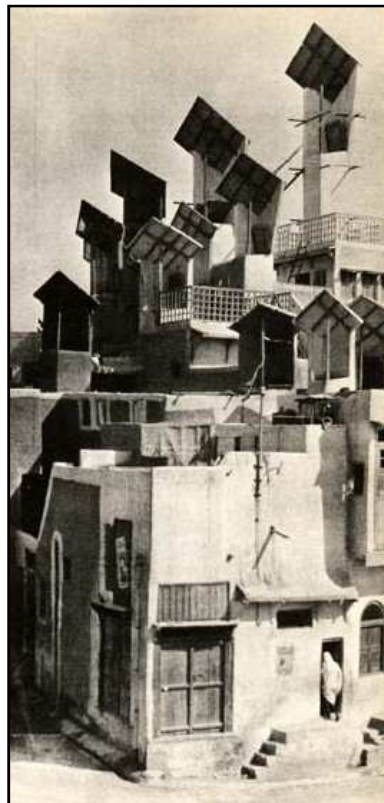
Debido a las grandes variaciones de temperatura durante el año, los habitantes viven a menudo en diferentes plantas del mismo edificio, dependiendo del momento del día y de las estaciones del año.

“En verano quizá duerman en la cubierta porque es el sitio más fresco, pero por la tarde se refugian en las plantas más bajas huyendo del calor diurno. En septiembre posiblemente, la familia se vaya a vivir a las habitaciones meridionales de la casa, mientras que en abril las estancias septentrionales son las más confortables” (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

Dentro de la arquitectura tradicional de la estepa uno de los hallazgos más sorprendentes es la invención de las llamadas **torres eólicas**, localizadas en Hyderabad (Pakistán), estos edificios presentan unas tecnologías muy ingeniosas para su ventilación.

## Torres eólicas

Estas construcciones están ejecutadas con mampostería y grandes masas que en su interior albergan varios canales que conducen el aire captado en forma ascendente o descendente según la hora del día.



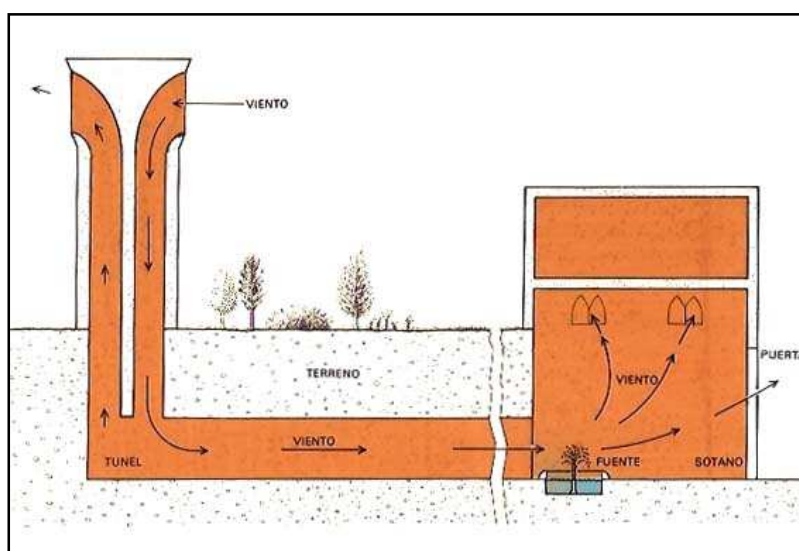
**Figura 92:** Torres eólicas en Hyderabad (Pakistán)

**Fuente:** [http://www.arqsustentable.net/arq\\_islamica.htm](http://www.arqsustentable.net/arq_islamica.htm)

Estas masas, calentadas durante el día por acción de la radiación solar, transmiten ese calor al aire contenido en sus conductos. Este aire asciende por el conducto según efecto chimenea, hasta evacuarse al exterior. El vacío que deja el aire evacuado es ocupado por aire más fresco proveniente de patios o sótanos, barriendo en su desplazamiento a los distintos ambientes. Avanzada la noche, se invierte el proceso y el aire más frío nocturno desciende por los conductos enfriando la masa de mampostería que los conforma. De este modo se asegura que el interior de la vivienda o edificio se encuentre barrido u ocupado por el aire más fresco disponible.

Los dispositivos de captación del viento, aseguran la ventilación natural en el interior de las estancias y en algunos casos estos conforman particulares imágenes urbanas cuando se ubican de forma que evitan producir sombras de vientos sobre los edificios vecinos.

En algunos casos, las torres se encuentran separadas de los edificios a los que pertenecen, comunicándose con los mismos mediante túneles enterrados, que al recibir la humedad de los jardines regados, enfrían al aire captado mediante el enfriamiento evaporativo (Figura 93).



**Figura 93:** Esquema de torre de ventilación separada de la vivienda  
**Fuente:** [http://www.arqsustentable.net/arq\\_islamica.htm](http://www.arqsustentable.net/arq_islamica.htm)

A través de estos ejemplos de construcciones podemos comprobar cómo el ser humano partiendo de la base de las energías renovables, ha desarrollado sistemas de refrigeración que aprovechan el efecto del enfriamiento por evaporación; la refrigeración por inercia térmica, el movimiento del aire caliente, las torres de viento y sistemas de protección solar.

Como resumen de este apartado, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias bioclimáticas utilizadas por la arquitectura tradicional en la estepa y el diseño

constructivo adoptado, en una zona caracterizada principalmente por un clima caluroso y seco.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Estepa	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
----------------------------------	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: madera, junco, tierra, barro, paja, ladrillos de barro (cocidos o crudos) y cal.
Enfriamiento evaporativo	Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra.
	Túneles de ventilación enterrados que reciben la humedad de los jardines y enfrían el aire captado.
Protección solar	Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra.
	Pórticos y galerías en las diferentes plantas de la vivienda.
	Ejecución de amplios vuelos sobre la línea de fachada.
	Masiva concentración de viviendas (casa de Bagdad).
	Huecos escasos y pequeños.
	Celosías sobre ventanas.
Microclima	Huecos con aleros y elementos de sombra.
	Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra.
Inercia térmica	Ejecución de muros de gran espesor de ladrillos de barro (cocidos o crudos) entre soportes y maineles de madera, con acabado interior de cal (casa de Bagdad).
Aislamiento térmico y acústico	Ejecución de paredes dobles (casa de Bagdad).

**Figura 94:** Estrategias de la arquitectura tradicional en la estepa (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Estepa	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
----------------------------------	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Ventilación	Elevación desproporcionada del techo de las habitaciones.
	Ejecución de doble pared en los muros verticales que no son fachada.
	Las viviendas disponen de conductos de ventilación empotrados "bagdir" que regulan la temperatura de la vivienda (casa de Bagdad).
	Ejecución de espacios centrales equipados con aberturas en su extremo superior en viviendas que carecen de patio.
	Celosías sobre ventanas.
	Pequeñas aberturas ubicadas en la parte alta de las estancias de la vivienda.
	Torres eólicas ejecutadas con mampostería que albergan en su interior varios conductos que regulan la temperatura del aire.
	Túneles de ventilación enterrados que reciben la humedad de los jardines y enfrían el aire captado.
Protección de la lluvia	Ejecución de cubierta compuesta por troncos de árboles a modo de viguetas, base compuesta por tablas de madera clavadas y forradas por una o varias esteras de junco tejidos, dos capas de barro y paja mezclados de 23 cm. de espesor cada una, con ligera pendiente para poder desaguar (casa de Bagdad).
Forma integrada en una estructura urbana singular	La masiva concentración de viviendas favorece la obstrucción solar (casa de Bagdad).
Aprovechamiento de energías renovables	Torres eólicas ejecutadas con mampostería que albergan en su interior varios conductos que regulan la temperatura del aire.

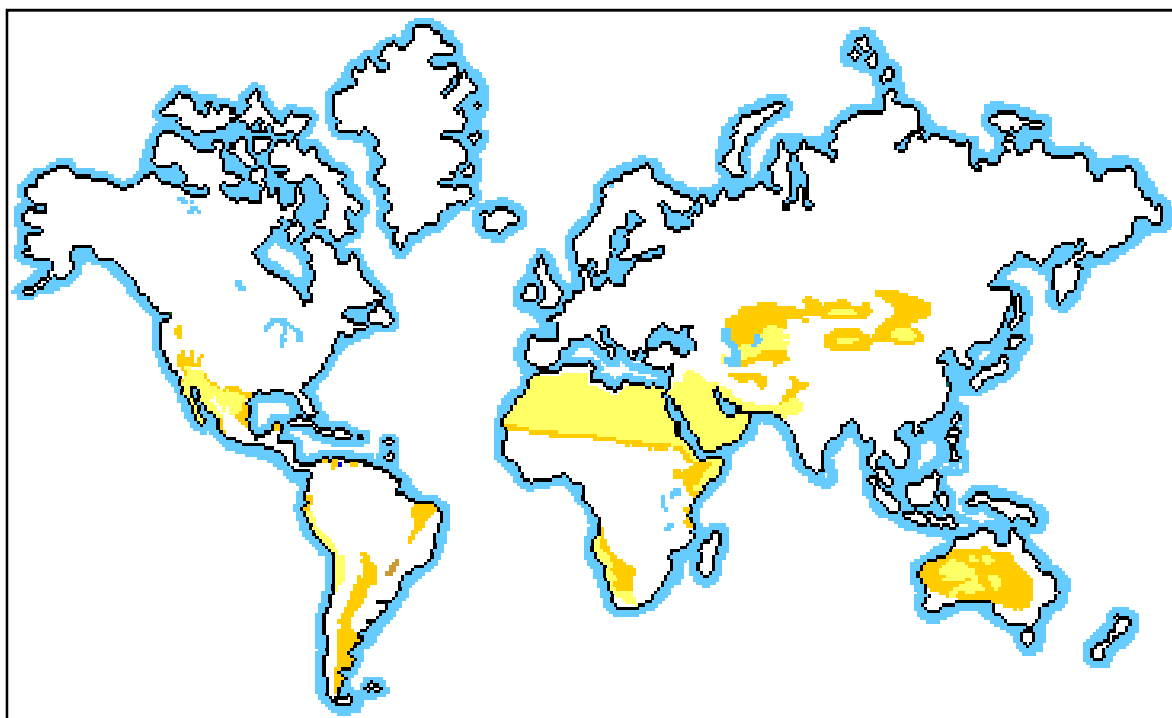
**Figura 95:** Estrategias de la arquitectura tradicional en la estepa (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.3.11 Desierto

Los desiertos forman la zona más extensa de la superficie terrestre, ocupando casi un tercio de la misma. De este total el 53 % corresponde a los desiertos cálidos siendo el desierto del Sahara en África del Norte el más grande del mundo, con una superficie de 3.500.000 Km<sup>2</sup>, aunque la mayoría de ellos se encuentran en la Península Arábiga, América, Australia, Pakistán y la India. Los desiertos fríos ocupan el 47 % restante y es poco común encontrarlos fuera de Asia, existiendo algunos desiertos fríos en la Patagonia, la meseta del Tíbet, el desierto del Gobi o el desierto de la Gran Cuenca en Estados Unidos.



**Figura 96:** Desierto

**Fuente:** <http://www.blueplanetbiomes.org/desert.htm>

Los desiertos fríos pueden tener días cálidos y veranos secos, aunque nunca serán tan calurosos como los que soportan los desiertos cálidos. Lo que los caracteriza es su mayor altitud y por tener temporadas excepcionalmente frías, con inviernos secos, y temperaturas por debajo de 0 °C continuamente.



Los desiertos cálidos son extremadamente secos y las precipitaciones no superan los 150 mm. anuales. Esta baja precipitación puede provocar que no llueva durante varios años. Debido a la falta de agua, estos desiertos tienen escasa vegetación y el aire seco se enfría rápidamente, ya que al no haber nubes ni plantas que atrapen el calor en el suelo, el calor es irradiado por la noche hacia el espacio reduciendo drásticamente las temperaturas. En invierno se pueden registrar temperaturas por debajo de 0 °C.

Los desiertos del mundo corresponden a la zona climática con mayor temperatura máxima absoluta, donde varía considerablemente y puede ser extrema debido a que la atmósfera no puede bloquear los rayos del sol sin humedad. En muchos casos las temperaturas máximas pueden oscilar entre los 43 y 49 °C.

En este clima, debido a las altas temperaturas y a las grandes variaciones entre el día y la noche, dentro de la arquitectura tradicional se construyen muros gruesos y pesados de adobe o tapial para dotar a los edificios de mucha masa térmica y asegurar en el interior una temperatura estable cercana a la media del día. Las cubiertas también tienen un gran espesor para poder absorber el máximo calor posible.

En estas zonas las precipitaciones al ser mínimas, la impermeabilización de las cubiertas carece de importancia. Cuando un edificio está afectado por las fuertes lluvias del desierto, se deshace en gran parte y tiene que reconstruirse.

Debemos tener en cuenta que los edificios que se encuentran en el desierto no corresponden a las ideas de confort occidentales.

En el caso de los pueblos nómadas, han desarrollado viviendas temporales donde las condiciones son simplemente de supervivencia (Sánchez-Montañés, 2007).

Dentro del clima desértico voy a analizar algunas de las tipologías constructivas más representativas, incluyendo también algunos ejemplos donde el calor extremo y la gran escasez de agua obligan a sus habitantes a ser nómadas y depender de una vivienda transportable.

## Las casas torre del Yemen

En la ciudad amurallada de Shibam, en Yemen, encontramos un claro ejemplo del ingenio humano para protegerse de las duras condiciones climatológicas. Yemen está situada al suroeste de la Península Arábiga. La región en la que se desarrollan estas construcciones tiene al oeste una zona montañosa, al sur y al este desierto, y una franja fértil a lo largo de la costa del Mar Rojo.



**Figura 97:** Mapa de localización. Shibam (Yemen)

**Fuente:** Vardion 2007 (izqda.). Ali 2007 (dcha.)

El clima del Yemen es desértico, es decir, temperaturas altas, humedad relativa baja y pocas precipitaciones durante todo el año. En este clima para poder hacer frente a estas condiciones extremas y alcanzar el confort es necesario estar a la sombra todo el año, así como recurrir a la ventilación. Hay que evitar que el sol penetre en la edificación y aportar (vegetación o laminas de agua). En los meses más calurosos se alcanza el confort gracias a la gran inercia térmica que presentan los cerramientos.

Las casas torre se extienden por todo el país, tanto en zonas rurales como urbanas desde su aparición en el siglo III d. C.

Las casas torre del Yemen son edificaciones en altura utilizadas como vivienda. Pueden llegar a tener hasta 8 alturas, con una planta rectangular de 7 a 10 metros de lado.

El origen de estas construcciones fue fruto de la necesidad. La ciudad intramuros acabó saturándose debido al aumento progresivo de la población y para garantizar la protección de todos sus habitantes las viviendas tuvieron que comenzar a crecer en altura.

En el exterior todas van decoradas con cal, con motivos geométricos en las jambas de puertas y ventanas para acentuar la verticalidad.

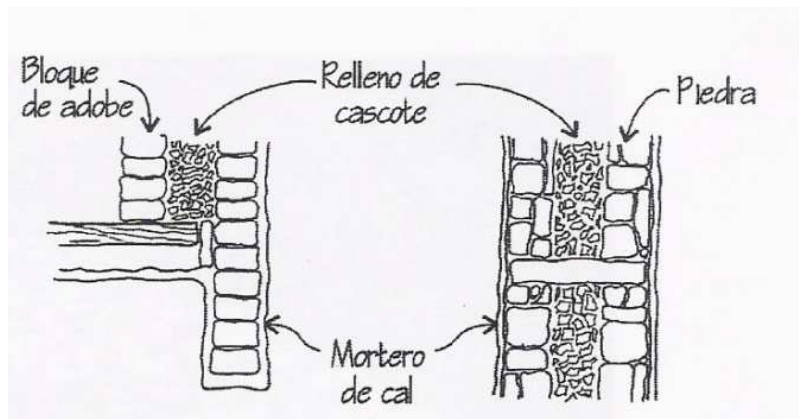


**Figura 98:** Las casas torre del Yemen

**Fuente:** Vidal 2011

Los materiales habituales en Yemen son el barro, en forma de tapial, de ladrillo secado al sol o cocido y la piedra. En las casas torre la cimentación suele ser de piedra (basalto), de un metro de espesor y profundidad variable. Sobre ella se sitúa el muro de carga formado por dos hojas y un material de relleno de cascotes y barro. Si cada hoja es de piedra tiene un espesor de 20 a 25 cm, sin mortero.

Si es de ladrillo cocido, se sustituye la piedra por bloques de barro (40x25x12 cm.) unidos con un mortero de limo y tierra. En algunos casos se encuentran muros compuestos, con la zona baja de piedra y el resto de ladrillo de barro. Tanto el exterior como el interior se recubren con mortero de cal, el exterior además se trata como ornamentación.



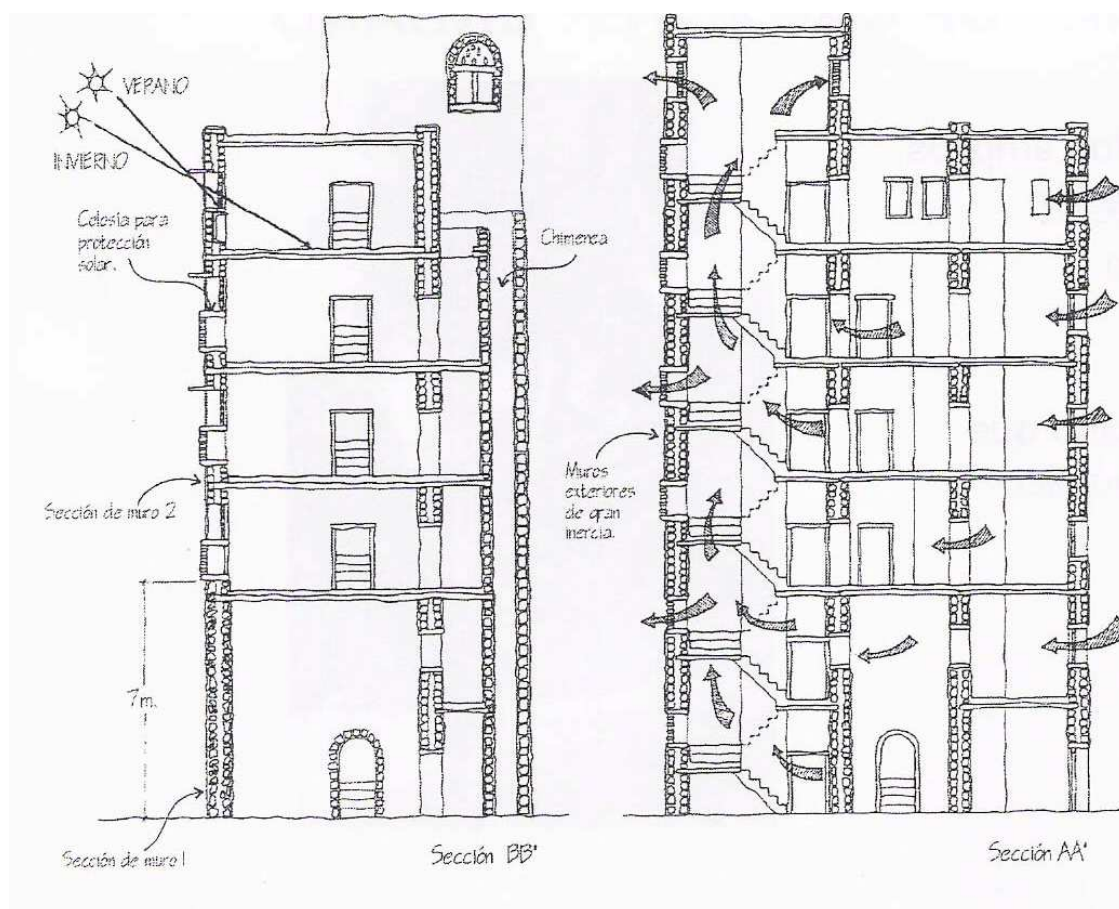
**Figura 99:** Secciones de los muros

**Fuente:** Neila 2003

Los forjados y la cubierta se componen de troncos de madera, sobre los que se colocan tablas y una capa de barro comprimida ligeramente. Sobre esta capa de barro se le da un acabado de mortero de cal.

En cuanto aprovechamientos medioambientales y estrategias bioclimáticas, podemos indicar que los materiales son locales, de fácil acceso, evitando un transporte innecesario, y por tanto, contaminación y costes ambientales.

El uso de muros de carga de gran inercia térmica permite alcanzar el confort la mayor parte del año, consiguiendo estabilidad térmica al edificio y amortiguando los golpes de calor del día con el frescor de la noche. Por otra parte las ventilaciones cruzadas permiten enfriar la casa por la noche, a lo que contribuye la escalera, la cual está pensada como torre de ventilación (Figura 100).



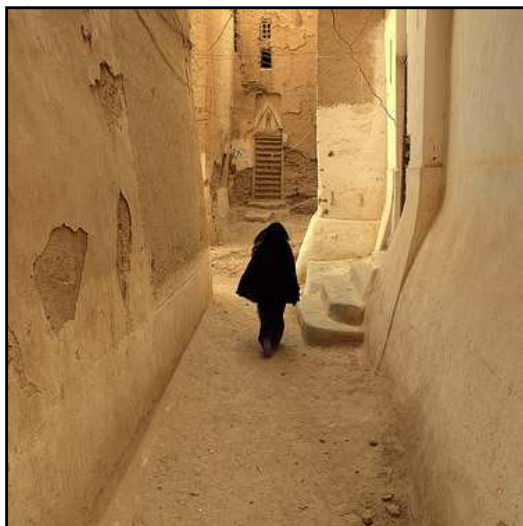
**Figura 100:** Secciones de la casa torre

**Fuente:** Neila 2003

La falta de humedad se resuelve colocando vasijas con agua en las aberturas por donde entra el aire. De esta forma se humedece este aire, se enfría y da sensación de frescor.

La protección solar de los huecos se realiza con celosías de madera o pequeños tejadillos en las fachadas orientadas al sur, evitando que el sol directo penetre en el interior de la vivienda.

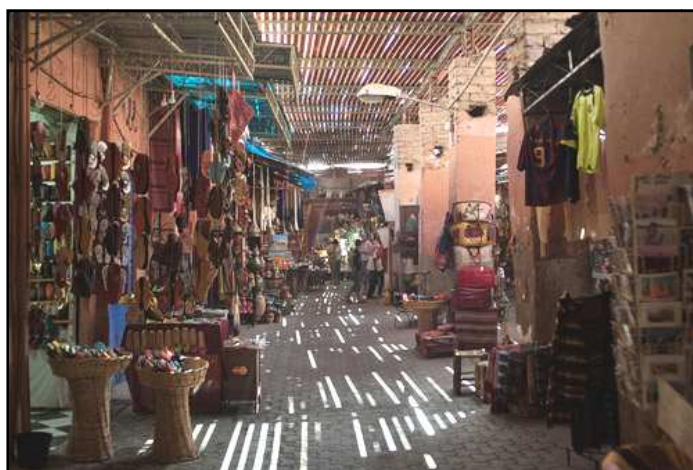
Las calles son estrechas, con una anchura máxima de 2 m, ofreciendo así una superficie menor de exposición al sol, regulando los saltos térmicos y protegiéndose eficazmente de las lluvias y las tormentas de arena (Figura 101).



**Figura 101:** Calle de Shibam (Yemen)

**Fuente:** Pablo Vidal 2011

En algunos casos como Marruecos en muchas de sus calles se incorporan cubiertas que proporcionan protección solar y filtran los rayos del sol (Figura 102).



**Figura 102:** Calles estrechas. Bazar marroquí

**Fuente:** [http://www.hectormora.tv/index.php?option=com\\_content  
&view=article&id=338&Itemid=1](http://www.hectormora.tv/index.php?option=com_content&view=article&id=338&Itemid=1)

## Construcción con tierra en Malí

En la parte central de la actual Malí se encuentra la ciudad de Djenné situada en el delta interior del río Níger, cerca de la confluencia de los ríos Bani y Níger. Sus orígenes se remontan más de 700 años. En 1988, el casco histórico y la Gran Mezquita (el edificio de barro más grande del mundo) fueron declarados Patrimonio de la Humanidad por la Unesco. A raíz de su declaración se han desarrollado programas para conservar y proteger la ciudad del avance de las arenas del desierto, ya que la desertización y la acumulación de arena traída por el viento seco “*harmattan*”, destruyó anteriormente la vegetación, el abastecimiento de agua y muchas estructuras históricas de la ciudad.

Djenné es la ciudad de barro. Esto se debe principalmente a su ubicación, aunque también a la capacidad de sus habitantes para aprovechar los recursos que ofrece su entorno. La cercanía con el desierto del Sahara conlleva la escasez de materiales de uso común en la construcción como la madera o la piedra. El río Níger, sin embargo proporciona un material constructivo que los habitantes de esta ciudad africana llevan aprovechando durante siglos: el barro. Este material mezclado con cáscara de arroz y paja, y tras un mes de fermentación, se vuelve duro, dando lugar a bloques compactos e impermeables.



**Figura 103:** Edificio de barro en Djenné

**Fuente:** [http://www.quesabesde.com/noticias/nomada-etnia-tuareg-djenne-niger-tombuctu-africa,1\\_4972](http://www.quesabesde.com/noticias/nomada-etnia-tuareg-djenne-niger-tombuctu-africa,1_4972)





Para proteger las viviendas de una insolación excesiva, una vez que se han construido los cerramientos con estos bloques, se cubren de nuevo con un revoco de barro, de esta forma las viviendas se mantienen frescas.

Esta tradición constructiva se ha venido desarrollando hasta nuestros días de una manera muy similar, realizándose labores de mantenimiento consistentes en revocos anuales, con la finalidad de ocultar la suciedad y las grietas que hayan podido aparecer en la época de lluvias.

En concreto, en el caso de la Gran Mezquita, anualmente los habitantes de Djenné colaboran en el mantenimiento de la edificación repartiéndose las tareas según edades y sexos. En cierto sentido se convierten en una gran comunidad de artesanos que aplican colectivamente conocimientos y habilidades que han tenido que desarrollar en el mantenimiento de sus propias viviendas en una ciudad donde prima el barro como material de construcción.

Los huecos en estas edificaciones son escasos y pequeños para impedir la penetración directa del sol en el interior de la vivienda. Es una arquitectura que huye de la luz, gestionándola meticulosamente. Se utilizan celosías con pequeñas aberturas y orificios que proporcionan un nivel adecuado de iluminación y ventilación.

Dentro de la construcción con barro, en el sudoeste americano podemos encontrar edificaciones similares a las existentes en Malí, que proporcionan sombra durante el día y utilizadas como almacén donde poder dormir cuando hace frío.

Durante el verano sus habitantes duermen en la cubierta. Estos edificios tienen también una gran inercia térmica y sus gruesos muros de adobe, al igual que su cubierta de barro, reducen el calor del desierto.

La construcción con barro, fue y sigue siendo, uno de los principales materiales de construcción. Su uso fue muy extendido en la arquitectura sagrada, oficial, civil o agrícola. Actualmente estas construcciones las encontramos en todos los continentes y hoy en día, más de un tercio de la población humana vive en hábitat de tierra.

“Las regiones desérticas son similares a las polares pero con características invertidas: con su calor extremo y la gran escasez de agua son igualmente inhabitables. La falta de agua impide el abastecimiento energético mediante la agricultura y la ganadería, y convierte a los habitantes del desierto en nómadas que dependen de sus moradas transportables” (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

A continuación voy a analizar dos ejemplos representativos de moradas transportables dentro del clima desértico:

1. La tienda de los tuareg.
2. La tienda negra de los Qashgai.

### La tienda de los tuareg

Los tuareg son un pueblo bereber de tradición nómada ubicado en el África septentrional en el desierto del Sahara, un espacio que pasa las fronteras de Argelia, Libia, Níger, Malí y Burkina Faso. Cuando los tuareg se desplazan, cubren sus necesidades y las de los animales debido a que viven en unidades familiares extensas que llevan grandes rebaños a su cargo.

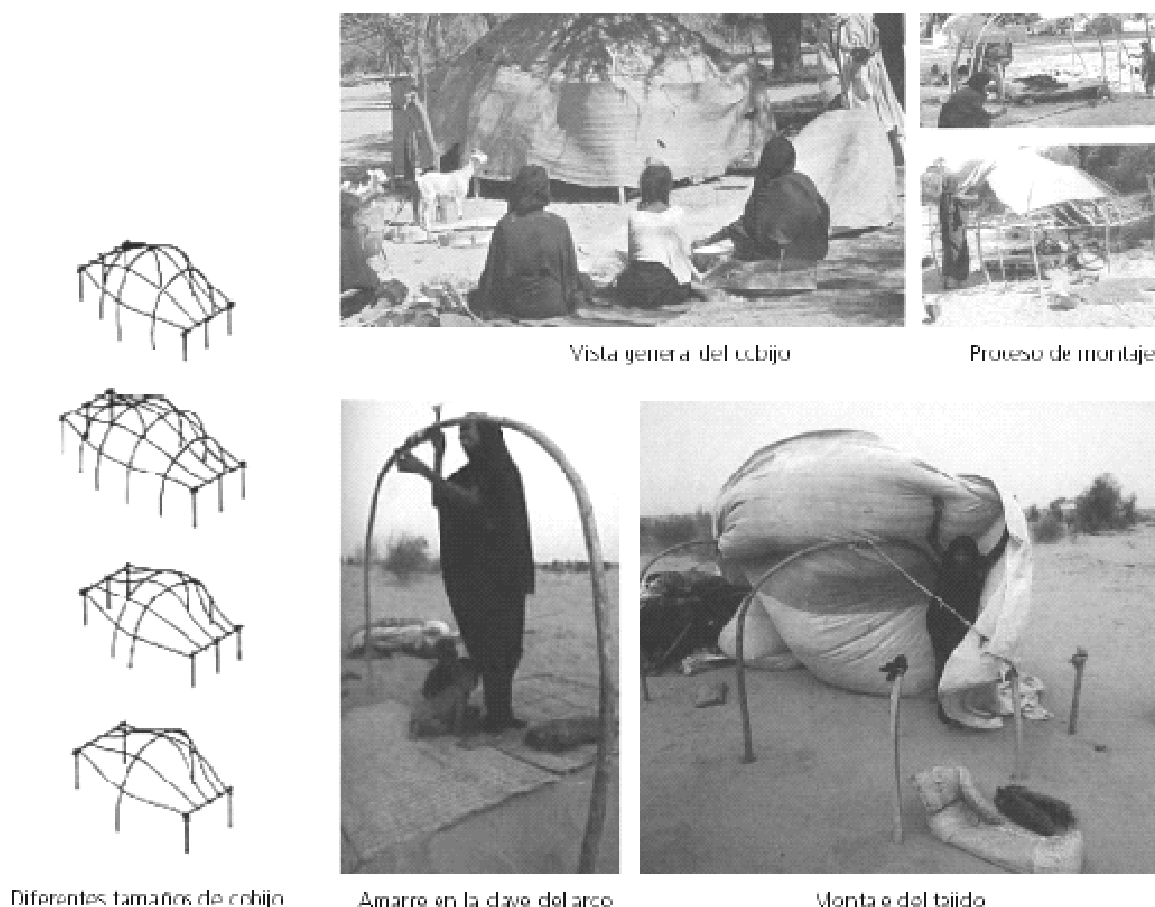


**Figura 104:** Ubicación geográfica de los tuareg

**Fuente:** Dingemanse 2004

Las moradas de los tuareg son tiendas de “Bóveda”, extremadamente móviles y ligeras, construidas a partir de arcos formados por palos de madera flectados, anclados en el terreno y unidos o atados cerca de la clave del arco. Se atan debido a las pequeñas dimensiones de las ramas de los árboles del desierto (Rodríguez, 2007).

Hay que tener en cuenta que los arcos al estar flectados no responden a un radio de circunferencia y pueden alcanzar una luz entre 8 y 10 m. Sobre estos arcos se colocan otras barras de menor sección que forman un entramado en ambos sentidos, tipo malla ortogonal muy ligera, sobre la cual se extienden lonas de pelo de cabra y esterillas para su cobertura. Es de destacar que el proceso constructivo lo realizan las mujeres, por lo tanto, la flexión inicial de los arcos responde a la tracción humana (Figura 105).



**Figura 105:** Vivienda de los Tuareg en el desierto del Sahara

**Fuente:** Oliver 1975

En el desierto, con un clima hostil y escasas fuentes de alimentación, el hombre solo puede sobrevivir como nómada. Las tiendas proporcionan su propio microclima: durante el día protegen del calor extremo y durante la noche del frío riguroso. Para captar los primeros rayos solares que calienten las tiendas, éstas se instalan con su lado abierto orientado al este.

Teniendo en cuenta que este tipo de construcciones son transportables, la familia tuareg puede llevar todo su hogar y sus enseres sobre dos camellos cuya capacidad de carga es aproximadamente de 700 Kg.

### La tienda negra de los Qashgai

Los Qashgai son un pueblo que vive en Irán formado por una serie de tribus que fueron originalmente pastores nómadas y algunos siguen siéndolo hoy en día. Los nómadas tradicionales viajaban con sus rebaños cada año desde los altos pastos de verano al norte de Shiraz hasta aproximadamente 480 kilómetros al sur a los pastos de invierno en las tierras más bajas y cálidas cerca del golfo Pérsico, al suroeste de Shiraz. La mayoría de ellos no se han asentado, o están parcialmente asentados. La tendencia hacia el sedentarismo se ha incrementado progresivamente desde el año 1960.



Figura 106: Ubicación geográfica de los Qashgai

Fuente: <http://www.jacobsenrugs.com/iran.htm>

Los nómadas viven en las zonas calurosas y secas del país, lo que les ha obligado a adaptarse a la climatología del lugar utilizando recursos mínimos.

Los Qashgai viven normalmente en **tiendas negras**. Su nombre proviene del tejido de pelo negro de la cabra que utilizan para confeccionar los toldos. El toldo es esencialmente una membrana que se estira sobre unos postes de madera y se ancla con tirantes. Además, puede tensarse con la ayuda de una pieza curva de madera, para que el tejido no se rompa por la tensión provocada por los postes.



**Figura 107:** Tienda de los Qashgai (Irán)

**Fuente:** <http://www.pasthorizonspr.com/index.php/archives/12/2010/newly-discovered-iranian-petroglyph-panels-under-threat>

El toldo se caracteriza porque permite el paso del aire a través del mismo, a la vez que ofrece sombra. Para su confección se utilizan tiras cosidas de tejido de pelo de cabra, realizándose las costuras sobre líneas de máxima tensión.

El toldo resiste al viento gracias a la combinación de formas alabeadas y como se encuentra atirantado por el perímetro evita que aparezcan compresiones; es decir, arrugas. En este caso, el toldo contribuye notablemente a la rigidización y estabilidad estructural, ya que forma parte de la estructura y está tensado.

Como resumen de este apartado, en las siguientes tablas se incluyen las estrategias bioclimáticas utilizadas por la arquitectura tradicional en el desierto y el diseño constructivo adoptado.

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Desierto	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
------------------------------------	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Utilización de materiales autóctonos	Materiales utilizados: barro en forma de tapial, ladrillo secado al sol o cocido, piedra, madera y lonas de pelo de cabra.
Inercia térmica	Ejecución de muros de carga gruesos y pesados de adobe o tapial.
	Cubierta de gran espesor compuestas por troncos de madera, sobre los que se colocan tablas y una capa de barro comprimida ligeramente, acabada con mortero de cal.
Ventilación cruzada	Las escaleras de las viviendas funcionan como torres de ventilación. (casa torre del Yemen).
	Ejecución de pequeñas aberturas enfrentadas en los cerramientos.
Ventilación	En las tiendas de los nómadas, los toldos confeccionados con tejido de pelo de cabra permiten el paso del aire.

**Figura 108:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el desierto (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia



<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Desierto	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
------------------------------------	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Protección de la lluvia	Las precipitaciones al ser mínimas, la impermeabilización de las cubiertas carece de importancia. Cuando un edificio está afectado por las fuertes lluvias del desierto, se deshace en gran parte y tiene que reconstruirse.
	Las edificaciones en general tienen un mantenimiento anual, con la finalidad de reparar las grietas y la suciedad ocasionada en la época de lluvias.
	Las calles estrechas protegen de la lluvia y de las tormentas de arena.
Protección solar	Los revestimientos exteriores de cal contribuyen a reflejar la radiación solar.
	Los huecos se protegen con celosías de madera.
	Se ejecutan pequeños tejados en los huecos de las fachadas orientadas al sur.
	Los huecos son escasos y pequeños.
	Las calles son estrechas y están autosombreadas por los edificios que las conforman.
	En algunos casos se incorporan cubiertas en las calles que proporcionan protección solar y filtran los rayos solares.
	Revoco de barro sobre muro construido con bloques de barro mezclado con cascara de arroz y paja (construcción con tierra en Malí).
	En las tiendas de los nómadas, los toldos confeccionados con tejido de pelo de cabra ofrecen sombra.

**Figura 109:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el desierto (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

<b>ZONA CLIMÁTICA:</b> Desierto	<b>ARQUITECTURA TRADICIONAL</b>
------------------------------------	---------------------------------

ESTRATEGIAS	DISEÑO CONSTRUCTIVO
Captación de la humedad	Colocación de vasijas con agua en las aberturas por donde entra el aire. De esta forma se humedece el aire, se enfría y da sensación de frescor.
Captación solar	Para captar los primeros rayos solares que calienten las tiendas de los nómadas se instalan con su lado abierto orientado al este.
Protección del viento	Las calles con trazado irregular dificulta la circulación del aire diurno caliente.
	En las tiendas de los nómadas, los toldos resisten el viento por su forma alabeada y por estar atirantados por el perímetro.
Forma integrada en una estructura urbana singular	La masiva concentración de viviendas favorece la obstrucción solar (casa torre del Yemen).
Microclima	Tienda nómada compuesta por estructura de madera cubierta con lonas de pelo de cabra.
Transportabilidad	La vivienda de los nómadas.

**Figura 110:** Estrategias de la arquitectura tradicional en el desierto (tabla-3)

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.4 Estrategias bioclimáticas. Soluciones constructivas

Una vez finalizado el análisis de diferentes tipologías constructivas, representativas de la arquitectura tradicional y localizadas en las distintas zonas climáticas de la tierra, en este apartado se describen las estrategias bioclimáticas empleadas en la arquitectura tradicional a partir de las soluciones constructivas incluidas anteriormente en cada una de las zonas climáticas.

El estudio comprende las siguientes estrategias bioclimáticas:

1. Utilización de materiales autóctonos
2. Protección solar
3. Captación solar
4. Protección de la lluvia/nieve
5. Protección de la humedad
6. Protección del viento
7. Ventilación cruzada/Autoventilación
8. Aislamiento térmico
9. Inercia térmica
10. Microclima
11. Enfriamiento evaporativo
12. Iluminación interior
13. Producción de calor
14. Forma adaptada al terreno
15. Forma integrada en una estructura urbana singular
16. Aprovechamiento de energías renovables
17. Transportabilidad



### 3.4.1 Utilización de materiales autóctonos

“En cuanto al uso de los materiales, la arquitectura vernácula está sabiamente adaptada a la topografía y construida con los materiales disponibles lo que a menudo significa falta de opción, hecho que la hace sostenible por naturaleza” (Shulman, 2003).

Las diferentes zonas climáticas de la tierra ofrecen al ser humano unos espacios vitales muy diversos y unas condiciones muy cambiantes, desde temperaturas extremadamente bajas como se ha analizado dentro del clima polar donde el único material disponible para construir es la nieve, hasta el desierto donde las altas temperaturas y la escasez de agua limitan considerablemente los recursos que ofrece el entorno, condicionando el uso de materiales habituales en la construcción como la piedra y la madera.

Los materiales utilizados en la arquitectura tradicional han sido aquellos que se encontraban en el lugar donde se desarrollaban las construcciones, por ello, en aquellas zonas donde los bosques eran poco comunes, la piedra era uno de los materiales más utilizados, por el contrario, cuando la piedra escaseaba, en muchos casos dominaba la madera.

La arquitectura tradicional rara vez pretende una modificación radical del medio en el que aparece, ni requiere recursos que no se encuentren al alcance del constructor. La obligada economía en cuanto al uso de los materiales despoja a la arquitectura tradicional de todo aquello que no sea necesario.

Para poder analizar y cuantificar la utilización de los materiales autóctonos dentro de la arquitectura tradicional, en la siguiente tabla se identifica dentro de cada zona climática los más utilizados, de forma que podamos contrastar que materiales son los más determinantes a la hora de construir y cuales podemos atribuir a unas zonas climáticas específicas.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Utilización de materiales autóctonos										
MATERIALES	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
Nieve compacta											
Hielo											
El propio terreno											
Madera											
Caña, bambú o junco											
Lana/pieles de animales											
Esqueletos de ballena											
Piedra											
Granito											
Teja											
Pizarra											
Paja											
Barro/arcilla											
Ladrillo/adobe											
Hojas de palma/vegetales											
Hierba (césped)											

**Figura 111:** Estrategia bioclimática: utilización de materiales autóctonos

**Fuente:** Elaboración propia



Analizando la tabla anterior (Figura 111) se puede comprobar que el material más utilizado dentro de la arquitectura tradicional es la madera, ya que resulta ser por un lado el material más común y accesible en las diferentes zonas climáticas y por otro es el más polivalente.

La madera es un material que aporta interesantes soluciones constructivas y que resuelve muchas de las partes de una edificación, la podemos encontrar en estructuras, aleros y voladizos, cerramientos, cubiertas, puertas y ventanas, barandillas, encofrados (ejecución del tapial), etc.

Por otro lado, la madera gracias a su baja conductividad térmica ( $\lambda=0,13$  W/mK) es el material ideal en aquellas zonas climáticas donde no existe la posibilidad de captar calor exterior, ya que los inviernos son muy largos y fríos, el único objetivo es conservar el calor en el interior de la vivienda, en estos casos la madera transmite el calor muy lentamente para que la energía generada en el interior vaya inmediatamente al aire. La madera conserva el calor en superficie, compartiendo su energía con el aire.

El segundo material más utilizado es la paja, siendo los techos de paja la cubierta más usada en el mundo. Se puede utilizar casi cualquier material vegetal, desde corteza de árboles hasta juncos delgados, pero hierbas, cañas y palmeras son los materiales más comunes. La paja también se utiliza combinada con otros materiales como es el caso de los muros de adobe, donde se mezcla con barro.

El barro, tierra mezclada con agua, es otro de los materiales a destacar, pudiéndose dar el caso de utilizar en las construcciones solamente tierra.

El uso de la tierra en la arquitectura está presente desde las primeras manifestaciones constructivas del hombre, son incontables las culturas de todos los tiempos que han hecho uso de ella como material de construcción, estando difundida su utilización por muy distintas áreas repartidas por todo el mundo.

El barro sin cocer, en forma de adobe o tapial, constituye uno de los principales protagonistas dentro de la arquitectura tradicional, en otros casos se utiliza el barro ya



cocido en forma de ladrillo que permite una mayor duración de las construcciones, así como una menor preocupación por su mantenimiento.

El ladrillo se utiliza en muchas de las zonas climáticas como podemos apreciar en la tabla, aunque más que un integrante masivo dentro de la arquitectura tradicional suele ser un material del que se hace uso para resolver aspectos concretos sin llegar, por lo general, a constituir el elemento fundamental de la edificación. Se usa más en zonas con abundancia de arcilla y madera (para cocerlos) porque se consigue con más facilidad; en otros lugares, si se usa, es más como elemento de refuerzo.

Dentro de los usos del ladrillo lo podemos encontrar como material de cerramiento en construcciones con entramado de madera, como refuerzo de partes de la edificación, en muros resistentes etc.

El otro elemento constructivo de barro cocido es la teja, con ella se construyen muchas de las cubiertas que podemos encontrar principalmente dentro del clima de alta montaña, continental, marítimo y mediterráneo.

La piedra es otro de los materiales utilizados en la arquitectura tradicional aunque con menor frecuencia que los anteriores. Su uso viene condicionado por la disponibilidad del lugar, ya que puede ser escaso y en otros casos su extracción y transporte resultar difícil. Su característica principal es la durabilidad y su alta inercia térmica. Tradicionalmente se utiliza para construir muros de grandes espesores, lo cual mejora su comportamiento.

En este sentido, otros de los materiales utilizados con cierta limitación es el caso de la pizarra, utilizada principalmente en la ejecución de cubiertas dentro del clima continental, marítimo y alta montaña. En este último podemos encontrar también edificaciones donde se incorpora el granito con materia prima.

Las construcciones donde predominan los materiales vegetales son exclusivas de dos zonas climáticas, la selva y la sabana, aunque en el caso del césped este material lo encontramos también en las viviendas excavadas del clima ártico (tundra y taiga).



El césped se utiliza principalmente en la ejecución de cubiertas formadas por varias capas de este material, garantizando el aislamiento en el interior de las construcciones, ya que su coeficiente de conductividad térmica es muy bajo ( $\lambda=0,04$  W/mK).

El propio terreno juega también un papel importante como material de construcción en el caso de las viviendas excavadas, ya que la tierra es un buen aislante ( $\lambda=0,14$  W/mK), ejemplos de esta tipología constructiva los encontramos principalmente en el clima ártico, continental y mediterráneo.

La utilización de lanas y pieles de animales se incorporan también como materiales de construcción dentro de la arquitectura tradicional, quedando su uso vinculado a zonas climáticas muy específicas como el ártico, la tundra, la taiga, y el desierto, siendo las materias primas principales que intervienen en la construcción de la vivienda nómada.

Dentro de esta estrategia bioclimática, no debemos olvidar la utilización de algunos materiales que siendo muy singulares han resuelto de forma satisfactoria la ejecución de las construcciones, éste es el caso de los esqueletos de ballena que se utilizaban para construir viviendas y objetos. Hoy día existen restos de asentamientos y esqueletos en la península de Chukchi<sup>10</sup>.

En el ártico donde encontramos el clima polar, el único material disponible para construir es la nieve compacta que por su densidad es un magnífico aislante, ya que sus poros están llenos de aire, siendo su coeficiente de conductividad térmica  $\lambda=0,21$  W/mK. No obstante las construcciones en este clima se revisten con pieles de animales que crean pequeñas cámaras de aire entre ellas y las paredes incrementando su aislamiento. El hielo se utiliza en estos casos en la ejecución de las ventanas, gracias a su escaso espesor permite la entrada de luz en el interior de las viviendas.

---

<sup>10</sup> La península de Chukchi constituye el extremo nororiental de Siberia, Rusia y del continente asiático y está enfrentada a la americana península de Seward, siendo ambas los extremos del estrecho de Bering.

### 3.4.2 Protección solar

Tradicionalmente la arquitectura se ha protegido de los excesos de radiación solar, en unos casos adaptando el diseño constructivo para reducir el nivel de radiación y en otros considerando la sombra como un elemento fundamental.

Partiendo del estudio y análisis de la arquitectura tradicional dentro de cada una de las zonas climáticas, a continuación se definen las soluciones constructivas utilizadas para resolver **la protección solar**.

#### a. Escasez de huecos y de pequeñas dimensiones

Esta solución constructiva impide la penetración directa del sol en el interior de las viviendas, reduciendo la radiación solar. Las pequeñas dimensiones de los huecos permite gestionar la luz meticulosamente, principalmente en climas donde la incidencia de la radiación solar es casi perpendicular al suelo durante todo el año, como es el caso de la selva y el desierto o durante los calurosos meses de verano en el clima mediterráneo y en la estepa.

#### Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



Desierto



**Figura 112:** (1) Trullo de Alberovello. (2) Vivienda en Djenné

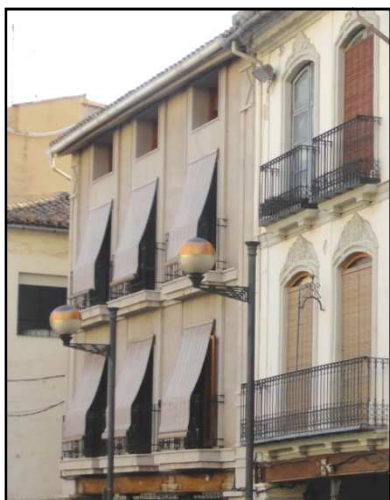
**Fuente:** (1) [www.italia.it](http://www.italia.it). (2) <http://fopestudiobio.blogspot.com.es>

## b. Instalación de persianas en huecos

En la Cuenca mediterránea las persianas permiten protegerse en todo momento de la intensa luminosidad tanto en invierno como en verano. Existen diferentes tipos de persianas, elementos siempre móviles y graduables que permiten en cada momento controlar la intensidad lumínica del espacio interior. Éste es el caso de la sencilla persiana de cuerda que con sus diversas posiciones, ayuda a controlar el ambiente interior.

### Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



**Figura 113:** Persianas de cuerda en balcones y ventanas.

**Fuente:** (1) Elaboración propia. (2) Rubio 1985

## c. Huecos protegidos con contraventanas de lamas, celosías y aleros

Dentro del clima mediterráneo y subtropical es frecuente encontrar contraventanas de lamas, ya que su presencia permite ventilar el interior de las viviendas e iluminarlo someramente al abrir los cristales, sin que el sol llegue a introducirse en el interior, evitando de esta forma el exceso de calor y el deslumbramiento.



En la estepa y el desierto se utiliza como protección solar las celosías, ya que proporcionan un adecuado nivel de luz y ventilación, reduciendo al mismo tiempo la intensidad de los vientos. En muchos casos esta solución se combina con parasoles que evitan la radiación solar directa sobre los huecos (Figura 114).

### Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



Desierto



**Figura 114:** (1) Contraventana de lamas. (2) Celosía en huecos. Yemen

**Fuente:** (1) García 2004. (2) Lens Espinosa 2005

En algunas regiones se ubican las ventanas en la zona de sombra de la vivienda permitiendo que el ambiente sea fresco en su interior.

#### d. Encalado de muros y cubiertas

En zonas calurosas donde la incidencia de la radiación solar sobre las edificaciones es importante se buscan acabados que faciliten la reflexión de los rayos solares evitando su calentamiento, por este motivo se utilizan colores claros, aunque la técnica más utilizada es la del encalado.

El encalado consiste en la aplicación de cal como acabado final de todo tipo de paramentos. Tradicionalmente, el proceso consiste en verter la cal en un recipiente con agua para su apagado, y con esa pasta fluida resultante se encala el muro. Esta solución de revestimiento se puede aplicar en muros, cubiertas y escaleras.

Su renovación es una práctica continua, habitualmente más de tipo doméstico que profesional. Este tipo de acabado se utiliza con frecuencia en la Cuenca mediterránea, aunque también encontramos ejemplos en la selva y el desierto.

### Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



Selva (Clima tropical)



**Figura 115:** (1) Casa-cueva. Isla de Santorini. (2) Casa maya

**Fuente:** (1) Neila 2011

(2) <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/los-mayas-especialistas-en-arquitectura-bioclimatica/>

#### e. Revoco de barro sobre muro

En el desierto las construcciones en muchos casos son de barro, ya que constituye la materia prima predominante. Los cerramientos se construyen con bloques de barro mezclado con cáscara de arroz y paja, ya que tras su fermentación se vuelven compactos e impermeables. En estos casos para proteger las viviendas de una insolación excesiva, los bloques se cubren de nuevo con un revoco de barro, de esta manera las viviendas se mantienen frescas.

## Solución constructiva

Desierto



**Figura 116:** Aplicación revoco de barro sobre muro. Djenné (Malí)

**Fuente:** [http://fopestudiobio.blogspot.com.es/2009/03/construccion-con-tierra-en-mali-primera\\_25.html](http://fopestudiobio.blogspot.com.es/2009/03/construccion-con-tierra-en-mali-primera_25.html)

### f. Incorporación de soportales que proporcionan sombra en planta baja

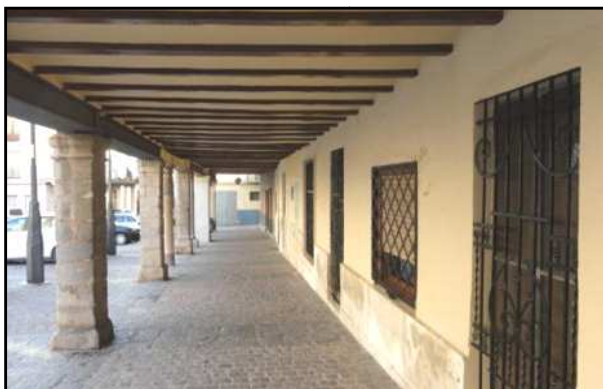
El clima mediterráneo caracterizado por veranos calurosos y secos, donde el sol y la luz son su identidad se utilizan soluciones constructivas relacionadas con la sombra, entre ellas destacan los soportales que proporcionan un microclima confortable.

En otros climas encontramos soluciones similares, como es el caso de la casa japonesa estudiada anteriormente (véase pág. 91), donde la entrada a la vivienda se realiza a través de un porche que hace de transición entre el espacio exterior y el interior.

La casa tradicional criolla en Nueva Orleans es otro ejemplo, donde el porche actúa de espacio intermedio entre el interior y el exterior, protegiendo de la radiación y de la lluvia.

## Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



Clima subtropical



**Figura 117:** (1) Soportales. Sagunto. (2) Casa criolla. Nueva Orleans

**Fuente:** (1) Elaboración propia. (2) Henry 2007

### g. Construcción de pórtico junto a la fachada principal

Otras de las soluciones utilizadas para proporcionar sombra consiste en construir sobre la fachada principal de la vivienda un pórtico con estructura independiente que aporta sombra, refresca la casa y sirve como estancia al aire libre.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 118:** Casa de labranza. Málaga

**Fuente:** Farfan 2011

#### **h. Espacios exteriores convertidos en galerías abiertas**

La arquitectura tradicional concede gran importancia a la sombra y en muchos casos los espacios exteriores de las viviendas se convierten en galerías abiertas, protegidas del sol y de la lluvia, creando un espacio cómodo para descansar o desarrollar diversas actividades, como demuestran estas típicas viviendas de Nueva Orleans.

#### **Solución constructiva. Ejemplo**

Clima subtropical



**Figura 119:** Casas típicas de Nueva Orleans

**Fuente:** [http://www.ehowenespanol.com/arquitectura-nueva-orleans-galeria\\_117613/#pg=3](http://www.ehowenespanol.com/arquitectura-nueva-orleans-galeria_117613/#pg=3)

#### **i. Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra**

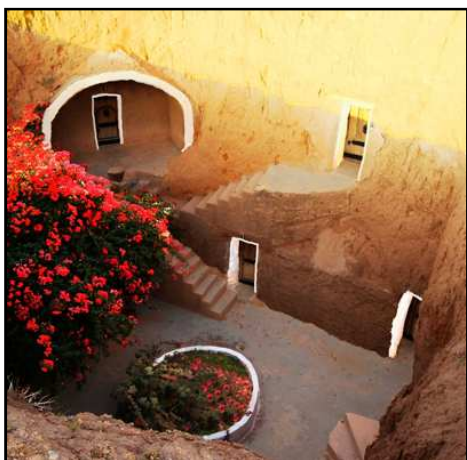
El recurso del patio es una solución muy utilizada dentro de la arquitectura tradicional. En unos casos cuando la vivienda está enterrada para obtener la máxima inercia térmica, el patio genera un microclima particular, ya que cuando una cara está soleada la opuesta está con sombra, el aire más frío se decanta en el fondo del patio y la sensación de frescor se puede incrementar incorporando fuentes, plantas y creando zonas de sombra.

El patio juega un papel importante dentro del clima mediterráneo, ya que antiguamente los seres humanos pasaban la mayor parte de su tiempo en las zonas protegidas de los patios. El clima más agradable se produce en estas zonas, ya que actúan como reguladores climáticos, generadores de sombra y ventilación.

En otros climas como la estepa o el desierto donde el ambiente es seco y se producen altas temperaturas, el patio contrarresta ambos efectos mediante la colocación de plantas y fuentes, que proporcionan el enfriamiento evaporativo y zonas de sombra. Por otro lado, al ser el patio un espacio abierto, la radiación nocturna favorece la pérdida de calor acumulado durante el día y la formación de una bolsa de aire frío. En otros casos puede actuar como canal de aire vertical atravesando los pisos de una vivienda y provocando un microclima agradable.

### Solución constructiva. Ejemplos

Clima continental



Clima mediterráneo



**Figura 120:** (1) Vivienda enterrada. Matmata (Túnez). (2) Patio de Córdoba

**Fuente:** (1) <http://uninteriorsostenible.wordpress.com/>. (2) Franky (anónimo) 2011

### j. Calles estrechas autosombreadas

Otra de las soluciones constructivas relacionadas con la sombra se encuentra en la propia masa de los edificios utilizada para conseguir frescor, mediante calles estrechas autosombreadas por los propios edificios que las conforman y que proporcionan un

microclima fresco. Las viviendas se producen sombra entre sí, por la masiva concentración, reduciendo el impacto de la radiación solar, su calentamiento y permitiendo la evaporación vertical. Como consecuencia, se tiene que aceptar una menor iluminación natural durante el día.

### Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



Desierto



**Figura 121:** (1) Calle de “El Gastor”. Cádiz. (2) Masiva concentración de viviendas. Yazd (Irán)

**Fuente:** (1) <http://5dias.es/category/ruta-andalucia/>. (2) Rendón 2010

Cuando las calles no son suficientemente estrechas, se instalan toldos y en otros casos se incorporan cubiertas que proporcionan protección solar y filtran los rayos solares.

#### k. Cubiertas inclinadas con aleros muy bajos

Una de las variantes que podemos encontrar dentro del clima subtropical es el clima japonés caracterizado por veranos calurosos y húmedos e inviernos fríos y secos donde el sol y las frecuentes lluvias se asocian al calor y a la humedad del verano, haciendo necesario la construcción de cubiertas inclinadas con aleros muy bajos que reguardan el interior, dejan pasar el sol en invierno y protegen de la radiación en verano

en la fachada orientada al sur. En estos casos como la radiación solar incide en la gran superficie de la cubierta, la temperatura se mantiene baja. La cubierta en muchos casos se construye con paja, ya que aprovecha el efecto refrescante que proporciona la evaporación del agua de lluvia.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima subtropical



**Figura 122:** Cubierta de paja. Casa tradicional japonesa

**Fuente:** <http://venividizoom.com/japan/thatch-roof-houses/>

Soluciones similares a este tipo de cubierta a dos aguas, donde predominan las grandes dimensiones, construidas en otros casos con bambú, fibra de coco, hojas de palma o hierba y con amplios aleros que ofrecen sombra sobre la fachada las encontramos en la selva (clima tropical).

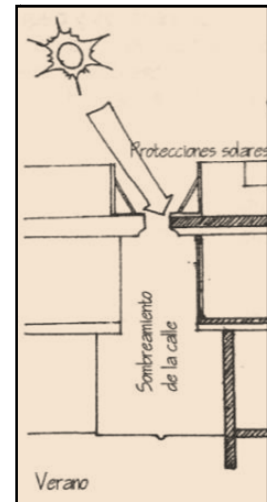
#### I. Prolongación de la cubierta

La prolongación de la cubierta como solución constructiva para proteger del sol a las fachadas no es exclusiva de las cubiertas inclinadas, en otras zonas climáticas como la estepa donde hay pocas precipitaciones y las cubiertas son planas, los vuelos sobre la línea de fachada consiguen su práctica obstrucción solar.



## Solución constructiva. Ejemplos

### Estepa



**Figura 123:** (1) Barrio de Khadimyia (Bagdad). (2) Protección solar casa de Bagdad

**Fuente:** (1) Diwan Architects 2010. (2) Neila 2003

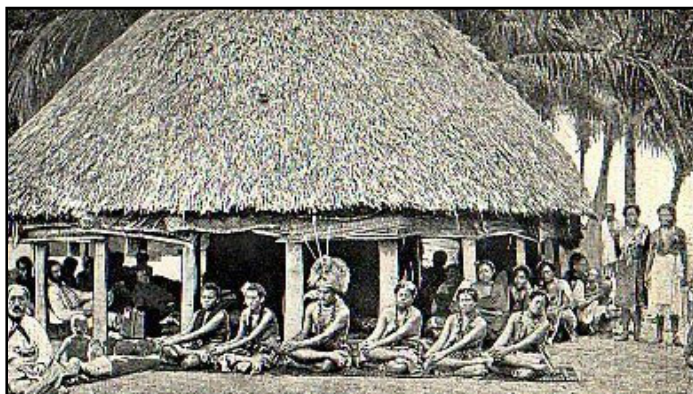
### m. Ejecución de cubiertas con materiales vegetales

En algunas zonas climáticas como la selva, la sabana y dentro del clima subtropical, las cubiertas ejecutadas con materiales vegetales, en muchos casos con hojas de palma sobre estructura de madera crean un colchón aislante que protege a la vivienda de la radiación solar, esta radiación es disipada y el calor no penetra en el interior gracias a que se tratan de cubiertas transpirables autoventiladas, cuyos materiales permiten las filtraciones del aire en toda las superficie, favoreciendo la autoventilación del interior.

En la selva y la sabana la cubierta es un elemento de gran importancia, ya que debe proteger tanto de la radiación como de la lluvia. En estas zonas climáticas donde la mayor parte del tiempo la temperatura es cálida y lo que se necesita es sombra, las viviendas en muchos casos no son más que una sombrilla (Figura 124).

### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



**Figura 124:** Fale samoano (Polinesia)

**Fuente:** <http://islasdelpacifico.wordpress.com/category/danzas-tradicionales/page/3/>

### n. Cubierta a cuatro aguas

Uno de los factores influyentes de la cubierta que permiten reducir la radiación solar es su forma. La cubierta a cuatro aguas, reduce la radiación solar, ya que solo una parte de los rayos inciden simultáneamente de forma perpendicular sobre la superficie.

### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



**Figura 125:** Casa maya

**Fuente:** <http://mayananswer.over-blog.com/article-casa-maya-nah-55623555.html>

#### **o. Muros curvos**

La forma de los muros es otro de los factores que influye en la radiación solar. En el caso de la casa maya, la forma curva de los muros evita que la radiación incida de forma homogénea, ya que los rayos inciden con distintos ángulos (Figura 126).

#### **Solución constructiva. Ejemplo**

Selva (Clima tropical)



**Figura 126:** Casa maya

**Fuente:** <http://arqui-mexico.blogspot.com.es/2012/12/articulos-de-arquitectura-vivienda-maya.html>

#### **p. Utilización de materiales que tamizan la luz en el interior**

Muchas de las construcciones que encontramos en la selva y en especial en la sabana donde las exigencias de los edificios son mínimas, tienen los muros delgados y permeables sin apenas huecos y construidos con materiales que tamizan la luz interior.

La Maloca es una tipología constructiva totalmente de madera y hojas de palma que soluciona la protección frente a la lluvia y la radiación solar, garantizando la sombra y la ventilación (Figura 127).

## Solución constructiva. Ejemplo

Sabana



**Figura 127:** Maloca indígena. Vista interior del cerramiento

**Fuente:** Echeverri 2012

### q. La tienda de los nómadas

Desde hace muchos siglos los nómadas han vivido a lo largo de grandes extensiones desérticas, lo que les ha obligado a adaptarse a la climatología del lugar utilizando recursos mínimos.

Su movilidad les ha llevado a desarrollar ingeniosas soluciones en la ejecución de sus viviendas (véase pág. 143 y 145), por un lado este tipo de construcciones son transportables y por otro proporcionan su propio microclima, ya que durante el día protegen del calor extremo y durante la noche del frío riguroso.

En la confección de los toldos se utilizan lonas de pelo de cabra extendidas sobre una estructura de madera. El toldo se caracteriza porque permite el paso del aire a través del mismo, a la vez que ofrece sombra, siendo casi opaco a la radiación solar.

## Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 128:** Tienda nómada del norte de África

**Fuente:** Boullosa 2011

Una vez estudiada la estrategia bioclimática **protección solar** a partir de las soluciones constructivas que ofrece la arquitectura tradicional, como resumen, en las siguientes tablas se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización, debemos tener en cuenta que en la arquitectura tradicional resulta difícil en muchos casos, determinar de forma absoluta qué soluciones constructivas son exclusivas de una zona climática concreta.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección solar										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Escasez de huecos y de pequeñas dimensiones.						■		■		■	■
b. Instalación de persianas en huecos (persiana de cuerda).						■					
c. Huecos protegidos con contraventanas de lamas, celosías y aleros.						■	■			■	■
d. Encalado de muros y cubiertas. Utilización de colores claros.						■	■	■		■	■
e. Revoco de barro sobre muro construido con bloques de barro mezclado con cascara de arroz y paja.											■
f. Incorporación de soportales que proporcionan sombra en planta baja.						■	■			■	
g. Construcción de pórtico junto a la fachada principal para sombrear, refrescar la casa y como estancia al aire libre.						■	■	■			
h. Espacios exteriores convertidos en galerías abiertas.						■	■			■	

Figura 129: Estrategia bioclimática: protección solar (tabla-1)

Fuente: Elaboración propia

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección solar										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
i. Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra.											
j. Calles estrechas autosombreadas (densidad y masa).											
k. Cubiertas inclinadas con aleros muy bajos.											
l. Prolongación de la cubierta.											
m. Ejecución de cubiertas con materiales vegetales sobre entramado de madera.											
n. La forma de la cubierta a cuatro aguas reduce la radiación solar.											
o. La forma curva de los muros evita que la radiación incida de forma homogénea.											
p. Utilización de materiales que tamizan la luz en el interior.											
q. En las tiendas de los nómadas, los toldos confeccionados con tejido de pelo de cabra ofrecen sombra.											

Figura 130: Estrategia bioclimática: protección solar (tabla-2)

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3 Captación solar

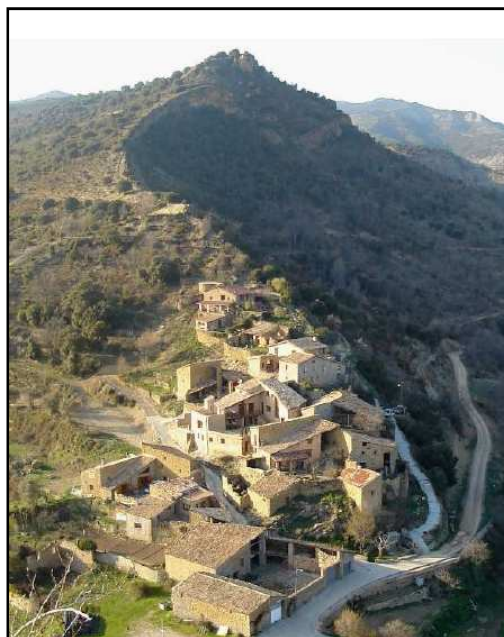
La arquitectura tradicional aprovecha el clima y las condiciones del entorno con el fin de conseguir una situación de confort térmico en su interior. En aquellas regiones donde el clima es frío y se alcanzan bajas temperaturas se desarrollan soluciones constructivas que permiten una optimización de la energía solar. Las siguientes soluciones utilizadas tradicionalmente garantizan la **captación solar**.

#### a. Viviendas orientadas al sur

El clima de alta montaña caracterizado por tener inviernos fríos con temperaturas inferiores a 0 °C y veranos frescos y cortos, las viviendas se encuentran orientadas al sur para asegurar un máximo soleamiento. De la misma forma, una orientación sureste facilita un aprovechamiento de la energía solar durante los largos inviernos.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Alta montaña



**Figura 131:** Santa Engràcia (Pallars Jussà)

**Fuente:** Pascual 2011



## b. Grandes ventanales con ausencia de persianas

En el clima continental donde los inviernos son largos y muy fríos o en el caso del clima marítimo con inviernos suaves y veranos frescos, las edificaciones en muchos casos tienen amplios ventanales que permiten la entrada de luz, ya que cuanto menos luz del día penetre, más amplias deben ser las ventanas, aunque hay que buscar un equilibrio entre la incidencia de la luz y el aislamiento. Por otro lado, las ventanas carecen de persianas, permitiendo de forma permanente la entrada de luz y calor en la vivienda. En algunos casos se utiliza la contraventana opaca para evitar pérdidas de calor en las noches frías invernales, y abrirse a la luz y al calor solar durante el día.

Un ejemplo de aprovechamiento de la radiación solar lo encontramos en las casas georgianas en Inglaterra donde las edificaciones destacan por tener un equilibrio razonable de iluminación y aislamiento, proporcionando a sus habitantes un adecuado confort.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima marítimo



**Figura 132:** Casa georgiana (Inglaterra)

**Fuente:** [http://soglittering.blogspot.com.es/2012\\_09\\_01\\_archive.html](http://soglittering.blogspot.com.es/2012_09_01_archive.html)

### c. Cubiertas de pizarra

Dentro del clima de alta montaña, continental y marítimo las cubiertas son de pizarra, en aquellas zonas donde abunda dicho material. El color oscuro de la pizarra permite retener la radiación solar, sirviendo de acumulador de calor y por lo tanto, de aislante.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Alta montaña



Figura 133: Cubierta de pizarra

Fuente: Meglio 2011

### d. Efecto invernadero

En el clima marítimo es habitual encontrar edificaciones con paramentos de vidrio tras los cuales se encuentran las fachadas, que utilizan el “**efecto invernadero**” para evitar, que una vez calentados los muros por el sol, se pierda el calor por transmisión o radiación hacia el exterior. Esta solución permite crear un espacio intermedio muy iluminado en contacto con los espacios principales de la vivienda, ayudando a climatizar e iluminar mejor los espacios interiores solo controlando la incidencia de la radiación.

En el caso de España esta solución la encontramos principalmente en Galicia, País Vasco y cornisa Cantábrica, donde las galerías acristaladas realizan funciones de calefacción natural en invierno.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima marítimo



**Figura 134:** Edificios tradicionales de Espinosa de los Monteros (Burgos)

**Fuente:** Eltitomac 2010

### e. Casas-cueva ubicadas en laderas y cerros orientados a mediodía

Dentro de la arquitectura tradicional mediterránea la tipología constructiva denominada “**casa-cueva**” se ubica en laderas y cerros orientados a mediodía, así como en el borde de los páramos (en “balcón”), facilitando con esta situación el soleamiento de las viviendas.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 135:** Casa-cueva. Isla de Santorini (Grecia)

**Fuente:** Neila 2011

f. **Las tiendas de los nómadas se instalan con su lado abierto orientado al este**

Como se ha definido anteriormente las viviendas de los nómadas proporcionan su propio microclima, ya que protegen del calor extremo durante el día y del frío riguroso durante la noche. Para captar los primeros rayos solares que permitan calentar las tiendas, éstas se instalan con su lado abierto al este.

Esta tipología de vivienda y las soluciones constructivas estudiadas anteriormente demuestran la importancia que tiene dentro de la arquitectura tradicional **la orientación** para favorecer el aprovechamiento de la energía solar.

**Solución constructiva. Ejemplo**

Desierto



**Figura 136:** Tienda nómada

**Fuente:** Callahan 2010

Definida la **captación solar** como estrategia bioclimática a partir de diferentes soluciones constructivas empleadas en la arquitectura tradicional, como resumen, en la siguiente tabla se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Captación solar										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Las viviendas se encuentran orientadas al sur para asegurar un máximo soleamiento.											
b. Grandes ventanales con ausencia de persianas.											
c. Cubiertas de pizarra. Su color oscuro retiene la radiación solar, actuando como acumulador de calor.											
d. Ejecución de espacios intermedios entre los paramentos de vidrio exteriores y las fachadas de los edificios (efecto invernadero).											
e. Casas-cueva ubicadas en laderas y cerros orientados a mediodía.											
f. Para captar los primeros rayos solares que calienten las tiendas de los nómadas se instalan con su lado abierto orientado al este.											

**Figura 137:** Estrategia bioclimática: captación solar

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.4.4 Protección de la lluvia/nieve

La lluvia constituye un factor climático del que se defiende el constructor tradicional con todos los medios disponibles a su alcance. La protección frente a la lluvia o la nieve se resuelve principalmente a través de la cubierta, utilizando para su ejecución los materiales disponibles del lugar.

A continuación se definen las principales soluciones constructivas utilizadas para garantizar la estanqueidad de la propia edificación evitando la humedad en su interior.

##### a. Cubierta compuesta por varias capas de césped

Las cubiertas de césped son habituales en los países del norte donde las temperaturas son muy bajas. En el caso particular de Islandia donde prácticamente no hay madera, las cubiertas se construyen con turba ya que constituye la materia prima predominante, siendo esta solución constructiva idónea para proteger las viviendas de la nieve y de la humedad (Valero, 2013).

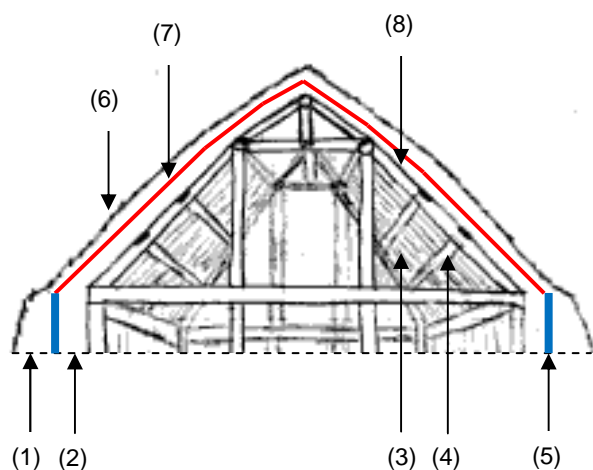
Las cubiertas están formadas por varias capas de césped que garantizan el aislamiento en el interior de las viviendas, ya que su coeficiente de conductividad térmica es muy bajo ( $\lambda=0,04$  W/mK). Para alcanzar la estanqueidad de las cubiertas se intercala una hoja impermeable formada por láminas de corteza de abedul superpuestas entre las capas de turba.

La cubierta apoya sobre la estructura de madera interior de la vivienda pero ligeramente separada de ella por una capa de ramas que permite que el aire circule entre la turba y la estructura, ayudando a su conservación y evitando que se pudra.

Respecto al drenaje de estas cubiertas, los muros están compuestos de dos capas de turba, la exterior, más expuesta a la humedad, y otra interior separada de la exterior por una cavidad llena de piedras; a esta cavidad llega el agua drenada en la cubierta desde la capa impermeable de abedul, y desde la cavidad se evacuaría el agua hacia el exterior del edificio (Figura 138).

## Solución constructiva. Ejemplo

Tundra (Clima ártico)



- (1) Capa exterior de turba húmeda del muro.
- (2) Capa interior de turba seca del muro.
- (3) Capa de ramas que separa la estructura de la capa interior de turba para facilitar su aireación.
- (4) Estructura de madera de la cubierta.
- (5) Cavidad en el muro rellena de piedras.
- (6) Capa exterior de turba húmeda sobre la que crece la vegetación.
- (7) Hoja impermeable formada por láminas de corteza de abedul superpuestas.
- (8) Capa interior de turba seca de la cubierta.



**Figura 138:** Vivienda tradicional islandesa

**Fuente:** Elaboración propia

### Esquema solución constructiva

**Fuente:** <http://yapiguncesi.blogspot.com.es/2012/02/izlandann-geleneksel-mimarisi-torf.html>

### Grafiado y descripción de la cubierta

**Fuente:** Elaboración propia

## **b. Cobertura compuesta por varias capas de fieltro, esteras de caña o lonas de lana**

Dentro del clima ártico en la zona de la estepa vivían los nómadas cuyas moradas eran transportables, en este sentido, **la yurta** como vivienda ha demostrado tener capacidad de adaptación en grandes áreas del mundo.

La yurta está compuesta por un armazón de madera de sauce cubierto por varias capas gruesas de fieltro o esteras de caña y otras veces con lonas de lana, unas por el interior y otras por el exterior. Entre ambas se forma una capa de aire aislante. Estos recubrimientos soportan los intensos cambios climáticos y se impermeabilizan en contacto con el agua manteniéndose permeables a la difusión del vapor interior.

### Solución constructiva. Ejemplo

Taiga (Clima ártico)



**Figura 139:** (1) Yurta. (2) Detalle del recubrimiento  
**Fuente:** Quintans 2012

### c. Terraza de baldosas de piedra calcárea o tierra cocida

Las cubiertas planas son el tipo más habitual en las regiones cálidas. Tienen ligera pendiente y necesitan un mantenimiento permanente. A ello hay que añadir las habilidades del albañil en su ejecución para asegurar la adecuada impermeabilidad a partir de materiales porosos y con geometrías horizontales. Se utilizan baldosas de piedra calcárea o de tierra cocida sobre base de arena, tierra o mortero. Tradicionalmente los materiales porosos pueden ser revocados y las cubiertas al igual que los muros se siguen encalando como se ha hecho durante siglos. El color blanco representa la arquitectura tradicional de climas cálidos con mucha radiación solar.



## Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 140:** Cubierta plana (Túnez)

**Fuente:** <http://www.eldiario.com.ar/extras/impres/imprimir.php?id=55445>

### d. Construcción de cubiertas con mucha inclinación

En la arquitectura tradicional encontramos diferentes tipologías de cubiertas en función de los materiales disponibles del lugar, por este motivo las cubiertas pueden ser de teja, pizarra, lajas de madera y paja sobre estructura de madera. En aquellas zonas donde llueve o nieve con frecuencia las cubiertas tienen mucha inclinación para evacuar rápidamente el agua cuando llueve, evitando la humedad en el interior de la vivienda y la acumulación excesiva de nieve durante los fríos inviernos.

## Solución constructiva. Ejemplos

Clima continental



Clima marítimo



**Figura 141:** (1) Cubierta de lajas de madera. (2) Cubierta mixta de paja y teja

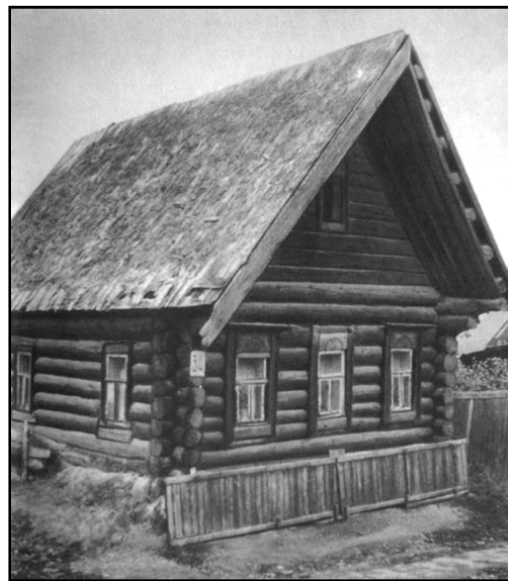
**Fuente:** (1) Packa 2009. (2) Braka 2009

**e. Cubierta de paja sobre capa impermeable de corteza de abedul**

En zonas donde las temperaturas son muy bajas y las precipitaciones son en forma de nieve, la corteza de abedul garantiza la impermeabilidad de las cubiertas. En el caso de la vivienda campesina tradicional rusa denominada “Izba”, la cubierta se compone de una capa impermeable de corteza de abedul, apoyada sobre la estructura de madera de la cubierta. En su ejecución se utiliza tablas de corteza hervidas previamente en agua para garantizar su elasticidad y resistencia. Sobre dicha superficie se coloca una segunda capa densa de paja de centeno.

**Solución constructiva. Ejemplo**

Clima continental



**Figura 142:** Vivienda campesina tradicional rusa “Izba”

**Fuente:** <http://townevolution.ru/books/item/f00/s00/z0000000/st005.shtml>

**f. Protección de la fachada: planta avanzada respecto a la inferior**

Una de las tipologías constructivas representativas dentro del clima continental son las viviendas europeas donde el cerramiento está basado en entramados de madera. Este sistema estructural donde los pilares se encajan en las vigas y las puertas y

ventanas corresponden a los huecos de la estructura permite la ejecución de viviendas con varias plantas.

La estructura estaba basada en entramados de madera que se rellenaban de barro, debido a la abundancia y facilidad de obtención de dicho material. Su elasticidad dependía de la humedad. Cuando se secaba aparecían grietas que producían problemas estéticos. Por este motivo, el barro se asociaba a otros materiales que compensaban esta retracción como la paja. En algunos casos para proteger el barro de la lluvia y de la nieve, cada planta de la vivienda avanzaba respecto a la inferior.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima continental



**Figura 143: Vivienda de entramado de madera**

**Fuente:** <http://nwoodcraft.blogspot.com.es/2012/05/what-is-post-and-beam-timberframing.html>

### g. Ejecución de amplios aleros

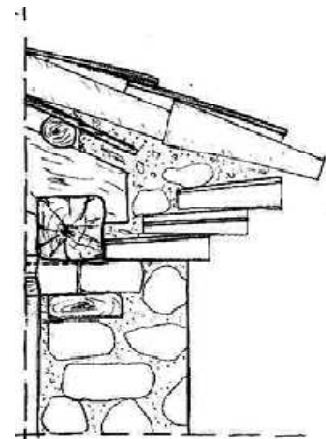
De entre los múltiples elementos constructivos utilizados en la arquitectura tradicional, el alero es uno de los más singulares. En unos casos protege del sol y en otros protege de la lluvia variando sus dimensiones, al mismo tiempo forma parte del propio entramado estructural.

Es normal que en las construcciones tradicionales, el alero sea un apéndice de la cubierta, con la que no sólo establece una relación entre materiales y técnicas, sino que además colabora con su propio esqueleto en la estabilidad del conjunto.

La utilización del alero como prolongación de la cubierta es una seña de identidad de los tejados de la arquitectura tradicional. Al no emplearse canalón, esta prolongación del tejado permite que el muro no se moje con la lluvia. Existen diferentes tipologías: de piedra, piezas cerámicas, madera tallada, maderos revocados con yeso etc.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 144:** Alero de teja árabe

**Fuente:** Noguero Cerdán, Giménez Ibáñez y Barelles Vicente 2010

### h. Espesor mínimo del terreno sobre espacios excavados

El clima continental presenta algunos ejemplos muy singulares de construcción tradicional como es el caso de las “**viviendas trogloditas**” tipología constructiva utilizada desde hace siglos por la humanidad.

Este tipo de vivienda se construye en el interior de las montañas o del suelo, utilizando cavidades en unos casos naturales y en otros creándolas. Cuando la vivienda está enterrada el espesor mínimo del terreno por encima de los espacios excavados está

alrededor de los 3 m. para garantizar su protección contra las infiltraciones de agua de lluvia y obtener una superficie interior que requiera menos conservación y evite que penetre la humedad.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima continental



**Figura 145:** Viviendas enterradas en Matmata (Túnez)

**Fuente:** Anonim01 2010

#### i. Adecuada orientación de las viviendas

En el clima marítimo donde destacan las abundantes lluvias y los fuertes vientos, la arquitectura tradicional para proteger la parte de la vivienda más expuesta al mal tiempo (normalmente la parte oeste, fachada atlántica), las viviendas deben orientarse cuidadosamente o tener unas cubiertas que lleguen muy abajo. De este modo, se consigue una resistencia mínima al viento y una excelente protección contra las inclemencias del tiempo.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima marítimo



**Figura 146:** Vivienda tradicional en Devon (Inglaterra)

**Fuente:** <http://www.devonmasterthatcher.co.uk/>

### j. Revestimiento exterior de madera con tablas solapadas

La pluviosidad constituye uno de los factores climáticos más importantes dentro de la arquitectura tradicional. Por ello las precauciones del “arquitecto popular” no se reducen en conseguir únicamente una cubierta adecuada para sus edificios, sino que, en ocasiones, su previsión le lleva a realizar revestimientos de fachada para eliminar cualquier riesgo de humedades.

Los chapados de tablazón se utilizan frecuentemente para impedir que la humedad alcance el interior de la vivienda. Principalmente en cerramientos en los que el barro y la tierra juegan un papel importante o en aquellos paramentos más expuestos a la lluvia y al viento. La protección por medio de tablas solapadas en sentido longitudinal produce eficaces resultados.

## Solución constructiva. Ejemplos

Clima mediterráneo



**Figura 147:** (1) Sierra de Francia (Salamanca). (2) Valverde de la Vera (Cáceres)

**Fuente:** (1) García 2010. (2) Romero 2008

### k. Entrada a la vivienda a través de un porche o soportal

En el clima subtropical donde la lluvia es frecuente, en muchos casos la entrada a la vivienda se realiza a través de un porche que protege de la lluvia a la fachada principal y hace de transición entre el espacio exterior e interior.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima subtropical



**Figura 148:** Acceso a la vivienda a través de un porche (casa japonesa)

**Fuente:** <http://www.sugoi.com.ar/2006/10/30/la-arquitectura-tradicional-japonesa/>

## I. Elevación de las construcciones con relación al suelo

Muchas de las regiones donde se produce el clima tropical se caracterizan por las grandes crecidas que sufren los ríos en época de lluvias. Por este motivo, para evitar inundaciones provocadas por el crecimiento del agua, en muchos casos las construcciones se encuentran elevadas. En unos casos se elevan del terreno y en otros del agua.

### Solución constructiva. Ejemplos

Selva (Clima tropical)



**Figura 149:** (1) Palafito elevado sobre el terreno. (2) Palafitos en la laguna de Sinamaica (Venezuela)

**Fuente:** (1) <http://wirinokodelta.blogspot.com.es/p/el-campamento.html>. (2) <http://elenalana.wordpress.com/>

## m. Cubierta vegetal con pendiente a dos o cuatro aguas

Dentro del clima tropical muchas edificaciones como es el caso del **palafito**, la cubierta se construye a partir de una estructura de madera o bambú que se cubre con palmas de temiche, enneas o huano atadas con cuerdas vegetales. En estos casos, la pendiente de 40-60° a dos o cuatro aguas permite la rápida evacuación de las aguas procedentes de las tormentas tropicales. En otros tipos de construcciones como las **casas tradicionales de Sumatra** se incorporan grandes aleros que mantienen el agua fuera de la vivienda.



### Solución constructiva. Ejemplos

Selva (Clima tropical)



**Figura 150:** (1) Palafito con cubierta de palma a dos aguas. (2) Casa tradicional de Sumatra

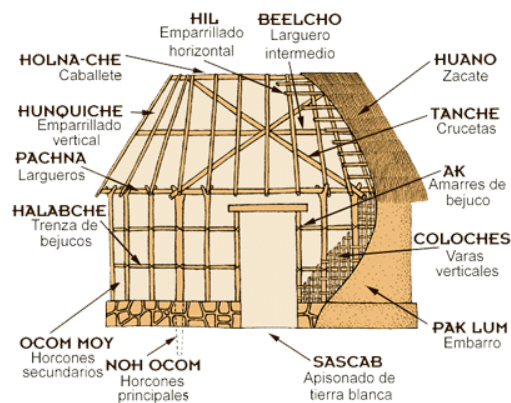
**Fuente:** (1) Bianco 2007. (2) [http://www.travellersbook.net/index.php?option=com\\_content&task=view&id=192&Itemid=395](http://www.travellersbook.net/index.php?option=com_content&task=view&id=192&Itemid=395)

### n. Vivienda asentada sobre plataforma de piedra caliza y tierra blanca

Dentro del clima tropical algunas edificaciones como es el caso de la **casa Maya**, para evitar la entrada de agua en el interior de la vivienda se asienta sobre una base de “sascab” (plataforma compuesta por piedra caliza y tierra blanca compacta) de 15 a 20 cm. de espesor.

### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



**Figura 151:** Casa Maya sobre base de “Sascab”

**Fuente:** (1) Mochales 2009. (2) <http://mayananswer.over-blog.com/article-casa-maya-nah-55623555.html>

#### **o. Cubierta plana compuesta por estructura y base de madera acabada con barro**

En el clima de la estepa las precipitaciones son escasas y se producen normalmente en verano ya que es la época más lluviosa, con valores que no llegan a 250 mm., por este motivo no hace falta que las cubiertas tengan inclinación, siendo en la mayoría de los casos planas y construidas con materiales locales, de fácil acceso, evitando un transporte innecesario, y por tanto, contaminación y costes ambientales. Los materiales utilizados habitualmente son la madera y el barro.

La construcción de la cubierta está compuesta por troncos de árboles a modo de viguetas. Sobre ellas se clavan tablas de madera cubiertas posteriormente con una o varias esteras de junco tejidos. Finalmente, se extienden dos capas de barro y paja mezclados, de 23 cm. de espesor cada una, construyendo de esta forma una ligera pendiente para poder desaguar.

En el desierto donde las precipitaciones son mínimas, no superando los 150 mm. anuales, la impermeabilización de las cubiertas carece de importancia y su ejecución es similar al clima de la estepa.

La cubierta se compone de troncos de madera en algunos casos de palmera (Figura 152), sobre los que se colocan tablas o un entrevigado con hojas de palmera y una capa de barro comprimida ligeramente. Sobre esta capa de barro se le da un acabado de mortero de cal.

La evacuación del agua se realiza mediante la colocación de gárgolas de madera, de muy larga longitud que alejan el agua de los muros. Las gárgolas se construyen con troncos cortados por la mitad y labrados en forma de canal (Figura 152).

## Solución constructiva. Ejemplos

### Desierto



**Figura 152:** (1) Cubierta de troncos de palmera (M'Hamid). (2) Gárgolas de madera

**Fuente:** Baron 2013

### p. Reparación y mantenimiento de las construcciones de barro

En el desierto donde el barro, fue y sigue siendo, uno de los principales materiales de construcción, cuando un edificio está afectado por las fuertes lluvias, se deshace en gran parte y tiene que reconstruirse. Las edificaciones en general tienen un mantenimiento anual, con la finalidad de reparar las grietas y la suciedad ocasionada en la época de lluvias.



**Figura 153:** Reparación una vivienda en Shibam (Yemen)

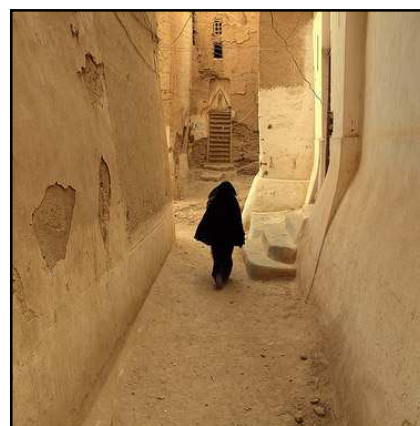
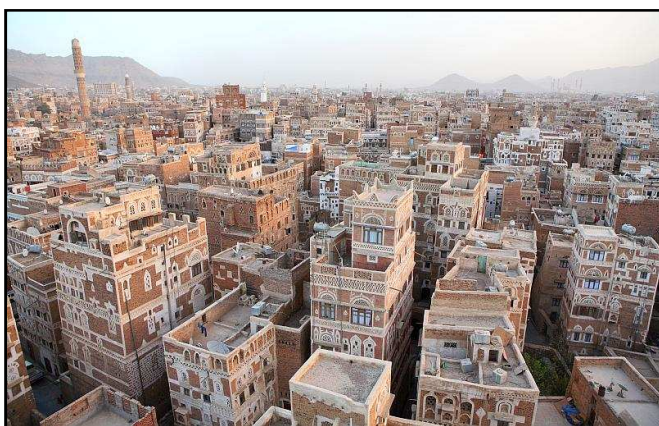
**Fuente:** <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=2942>

#### q. Las calles estrechas protegen de la lluvia y de las tormentas de arena

En el desierto encontramos ciudades cuya característica principal es su masiva concentración de viviendas con calles muy estrechas, en muchos casos con una anchura máxima de 2 m, ofreciendo esta disposición una protección eficaz frente a las lluvias y a las tormentas de arena.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 154:** Calles estrechas en Shibam (Yemen)

**Fuente:** (1) Vidal 2011. (2) Ghadawazeer 2012

Finalizado el estudio y análisis de diferentes soluciones constructivas que ofrece la arquitectura tradicional para garantizar la protección de las edificaciones frente a la lluvia y en otros casos de la nieve, como resumen, en las siguientes tablas se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección de la lluvia/nieve										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Cubierta compuesta por varias capas de césped.											
b. Cobertura compuesta por varias capas gruesas de fieltro, esteras de caña o lonas de lana.											
c. Terraza de baldosas de piedra calcárea o tierra cocida sobre base de tierra, arena o mortero (en algunos casos revocadas).											
d. Construcción de cubiertas con mucha inclinación. Tipologías utilizadas: cubiertas de teja, pizarra, lajas de madera y paja sobre estructura de madera.											
e. Cubierta de paja sobre capa impermeable de corteza de abedul.											
f. Protección de la fachada: planta avanzada respecto a la inferior.											
g. Ejecución de amplios aleros en las cubiertas para proteger de la lluvia a las fachadas.											

**Figura 155:** Estrategia bioclimática: protección de la lluvia/nieve (tabla-1)

**Fuente:** Elaboración propia

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección de la lluvia/nieve										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
h. Espesor mínimo del terreno sobre sobre espacios excavados: 3 m.											
i. Adecuada orientación de las viviendas.											
j. Revestimiento exterior de madera con tablas solapadas en sentido longitudinal para la protección de cerramientos de barro y tierra.											
k. Entrada a la vivienda a través de un porche o soportal.											
l. La elevación de las construcciones con relación al suelo, proporciona protección frente a inundaciones y aguas de escorrentía.											
m. Ejecución de cubierta compuesta por estructura de madera o bambú y palmas de temiche o eneas, con pendiente a dos o cuatro aguas.											

**Figura 156:** Estrategia bioclimática: protección de la lluvia/nieve (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección de la lluvia/nieve										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
n. Vivienda asentada sobre una plataforma compuesta de piedra caliza y tierra blanca compactada de 15 a 20 cm. de espesor que evita la entrada del agua en el interior.											
o. Cubierta plana compuesta por estructura y base de madera acabada con barro.											
p. Reparación y mantenimiento de las construcciones de barro.											
q. Las calles estrechas protegen de la lluvia y de las tormentas de arena.											

**Figura 157:** Estrategia bioclimática: protección de la lluvia/nieve (tabla-3)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4.5 Protección de la humedad

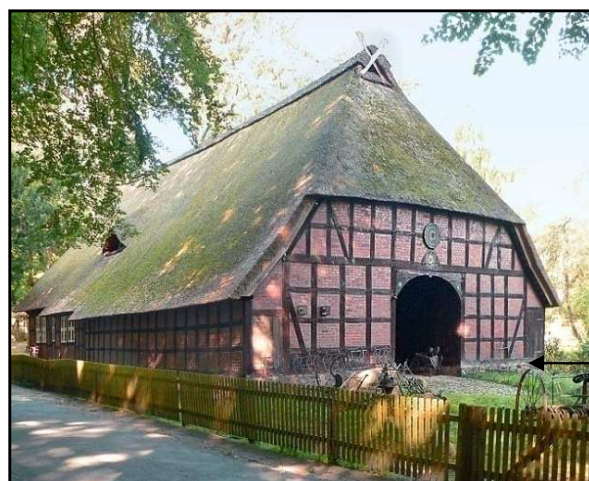
Las diferentes soluciones constructivas definidas anteriormente están diseñadas para garantizar la protección frente a la lluvia y la nieve, evitando al mismo tiempo la humedad en el interior de las edificaciones. Existen otras soluciones constructivas cuyo objetivo principal es la protección frente a la humedad y que se definen en este apartado.

#### a. Muros exteriores separados del suelo mediante una base de piedra

El clima marítimo caracterizado por una humedad relativa alta presenta muchos ejemplos de edificaciones donde los muros exteriores están contruidos con entramado de madera relleno con ladrillos y separados del suelo mediante una base de piedra que los protege de la humedad del terreno. En otros casos los cerramientos son de ladrillo y a veces de piedra. Esta solución constructiva se utiliza también en el clima continental, donde la humedad es un factor climático a tener en cuenta, ya que aunque los inviernos son secos, en verano se alcanzan las máximas precipitaciones.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Clima marítimo



Base de piedra

**Figura 158:** Casa-establo (Hallenhäuser) en el norte de Alemania

**Fuente:** Hindemith 2006



## b. Vivienda elevada del suelo

El clima subtropical caracterizado por una elevada humedad ambiental, en muchos casos las viviendas están ligeramente levantadas del suelo y con el interior despejado para permitir que circule el aire sin restricciones en torno y por debajo de la zona habitada. La superficie de la tierra suele estar húmeda y, para mantener seca la cámara, debe ventilarse.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima subtropical



**Figura 159:** Casa tradicional japonesa

**Fuente:** Schechter 2012

## c. Pilares apoyados sobre dados de piedra

Dentro del clima subtropical en muchas construcciones de madera para proteger los pilares en planta baja de la humedad del terreno se apoyan sobre unos dados de piedra. Esta solución constructiva la encontramos también en el clima continental y marítimo.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima subtropical



**Figura 160:** Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá)

**Fuente:** Farfan 2009

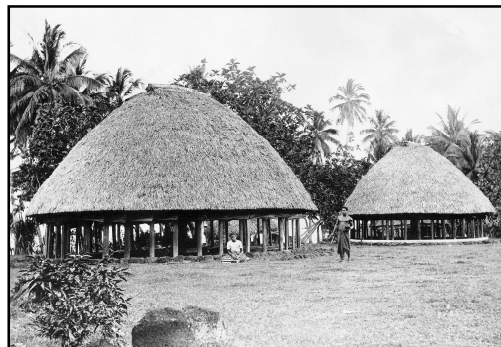
### d. Ausencia de paredes en las edificaciones

La humedad relativa del aire es muy elevada en los países tropicales, frecuentemente alcanza el 80 %. Por otro lado, el ángulo de incidencia de la radiación solar es casi perpendicular al suelo durante todo el año, situación que hace que la temperatura sea alta y que las variaciones diurnas sean también muy altas; por ello, uno de los objetivos del diseño de las construcciones es permitir la máxima ventilación con el fin de enfriar la construcción y eliminar la humedad, por este motivo en ocasiones las edificaciones carecen de paredes.

En la sabana la alternancia estacional de masas de aire húmedo con masas de aire seco dan lugar a un clima con una estación húmeda durante los meses de verano y una estación seca durante el invierno. Las temperaturas son altas durante todo el año y el ritmo de las estaciones está marcado por las precipitaciones en lugar de por la temperatura. En estos casos es fundamental la ventilación para evitar el sobrecalentamiento y para eliminar la humedad, lo que contribuye en muchos casos la ausencia de paredes en las edificaciones.

## Solución constructiva. Ejemplos

Selva (Clima tropical)



**Figura 161:** (1) Palafitos con ausencia de paredes. (2) Fale samoano (Polinesia)

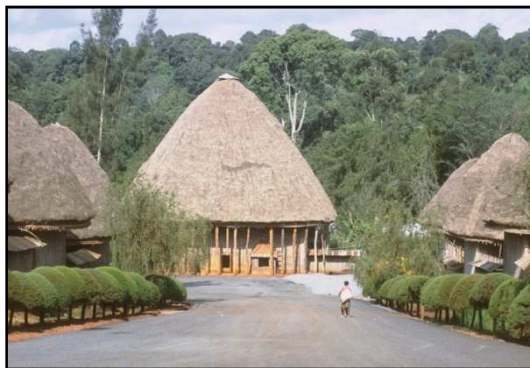
**Fuente:** (1) López 2008. (2) Tattersall 1930

### e. Elevación de la cubierta para obtener grandes volúmenes de aire

En la selva y la sabana la humedad relativa es muy alta llegando a alcanzar en época de lluvias valores del 90 %. La cubierta está ejecutada con materiales vegetales, permeables al aire que facilitan la ventilación. Los materiales son también permeables al vapor de agua y su evaporación evita las condensaciones. La gran altura entre el suelo y el techo están pensado para obtener grandes volúmenes de aire que permitan enfriar la construcción y eliminar la humedad en el interior.

## Solución constructiva. Ejemplo

Sabana



**Figura 162:** Casas de los Mousgoum (Camerún)

**Fuente:** <http://www.ikuska.com/Africa/Etnologia/arquitfocamerun.htm>

#### f. Rodapié de piedra caliza en la base de los muros

En algunas regiones tropicales en la base de los muros de las construcciones se coloca un rodapié de piedra caliza para evitar que la humedad pudra la madera y dañe los muros.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



**Figura 163:** Rodapié de piedra. Casa maya

**Fuente:** Lucia 2012

Como resumen de esta estrategia bioclimática, donde se han definido diferentes soluciones constructivas que utiliza la arquitectura tradicional para garantizar la protección frente a la humedad, en la siguiente tabla se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección de la humedad										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Los muros exteriores construidos con entramado de madera relleno con ladrillos se separan del suelo mediante una base de piedra.											
b. La vivienda elevada del suelo permite la circulación del aire manteniendo seca la cámara.											
c. Pilares apoyados sobre dados de piedra en planta baja.											
d. Ausencia de paredes en las edificaciones.											
e. Elevación de la cubierta para obtener grandes volúmenes de aire.											
f. Colocación de rodapié de piedra caliza en la base de los muros.											

**Figura 164:** Estrategia bioclimática: protección de la humedad

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.4.6 Protección del viento

Dentro de la arquitectura tradicional, el análisis y el manejo del aire y del viento es sumamente importante ya que en un clima frío el viento puede llegar a ser indeseable, mientras que en un clima tropical, cálido-húmedo, posiblemente sea la principal estrategia de diseño.

En este apartado se definen las soluciones constructivas utilizadas por el hombre donde la estrategia bioclimática es la protección frente al viento, ya que en algunos casos su influencia puede resultar perjudicial sobre las propias edificaciones y el nivel de confort alcanzado.

A la hora de diseñar diferentes soluciones constructivas para protegerse del viento, la arquitectura tradicional tiene en cuenta como parámetros principales la intensidad, dirección, frecuencia e influencia a escala local y particular.

Las principales soluciones constructivas que garantizan la **protección del viento** son las siguientes:

#### a. Formas compactas y con factores de forma muy bajos

Dentro del clima polar el iglú es un buen ejemplo del control del viento, éste se logra con cambios de nivel y cámaras esclusas. La misma forma semiesférica ayuda a conseguir dicho control. La esfera es el cuerpo geométrico que ofrece un mayor volumen con la menor superficie, de tal forma que el espacio se aprovecha al máximo, con una exposición mínima a los vientos. Al mismo tiempo se utiliza un sistema constructivo sencillo que utiliza el único material disponible y abundante para la construcción, la nieve compactada por el viento.

En este tipo de arquitectura extrema se logra aumentar la temperatura interior hasta 30 °C con respecto al exterior, a pesar de las bajas temperaturas y los fuertes vientos; lo que la sitúa en una de las soluciones arquitectónicas-energéticas más eficientes.

## Solución constructiva

Ártico (Clima polar)

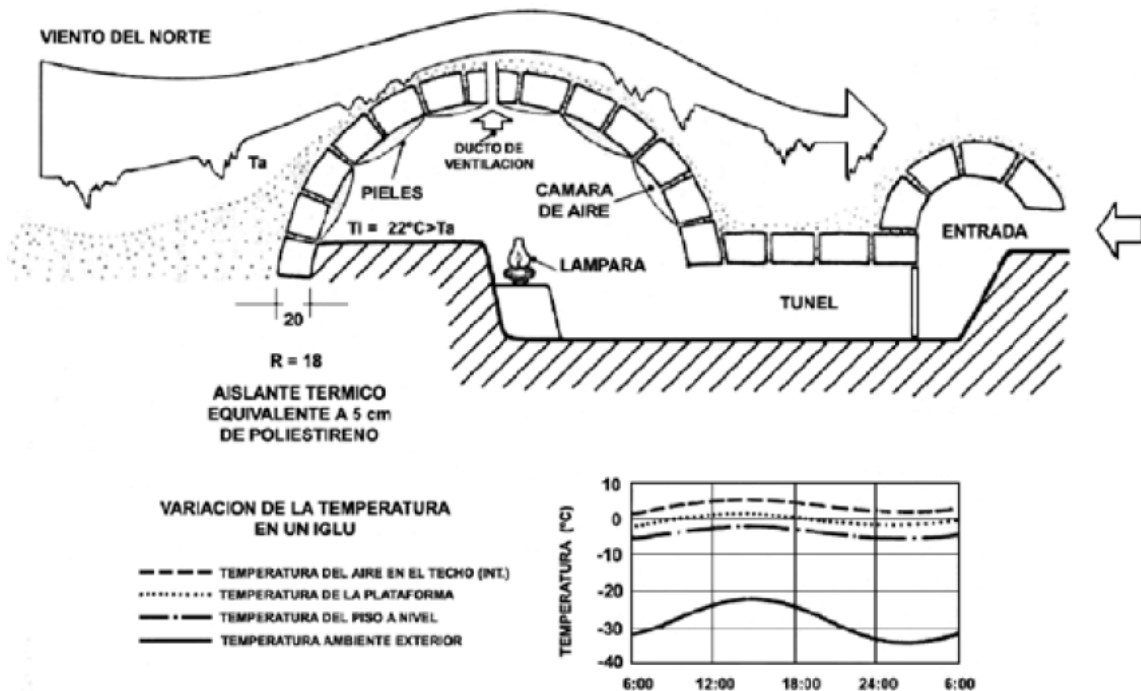


Figura 165: Sección de un iglú. Gráfico de temperaturas

Fuente: Fuentes 2012

### b. Prolongación de la cubierta en el lado expuesto al viento

En las montañas al producirse duras condiciones climáticas, las viviendas tienen que adaptarse y no pueden oponerse a la naturaleza. Las casas tienen que amoldarse al terreno o elevarse sobre él para impedir la entrada de humedad. La orientación y la situación topográfica determinan la exposición al sol y al viento, siendo los principales factores climáticos que condicionan la localización de los núcleos poblados y de las casas aisladas. En este tipo de construcciones en algunos casos la cubierta puede llegar al suelo en su lado expuesto al viento (Figura 166).

### Solución constructiva. Ejemplo

Alta montaña



**Figura 166:** Casa de piedra del valle Verzasca  
**Fuente:** Behling, S., Behling, St., y Schindler 2002

### c. Protección de las cubiertas de teja, losas de caliza o pizarra

En la alta montaña en aquellas zonas donde se producen fuertes vientos se colocan piedras para evitar que las tejas, las losas de caliza o de pizarra sean movidas por el viento. En otros casos se colocan barras de hierro para evitar que puedan caer con la nieve desprendida.

### Solución constructiva. Ejemplo

Alta montaña



**Figura 167:** Colocación de piedras para fijar las tejas durante los vendavales  
**Fuente:** Pascual 2011



#### d. Ubicación de casas-cueva opuestas a la dirección del viento

Las casas-cueva se localizan en los cerros y laderas, en zonas altas utilizando como recurso bioclimático la defensa frente a los vientos dominantes del invierno, por ello, estas edificaciones suelen situarse en muchas zonas de espaldas al mismo, de forma que se minimiza el intercambio energético con el exterior y el espacio de la solana se hace habitable incluso en condiciones de invierno. El viento frío y húmedo del norte tiene poca incidencia sobre los huecos de las cuevas, ya que estos se abren al mediodía.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 168:** Casas-cueva ubicadas en una ladera

**Fuente:** <https://www.pinterest.com/mairisnolan/cave-architecture/>

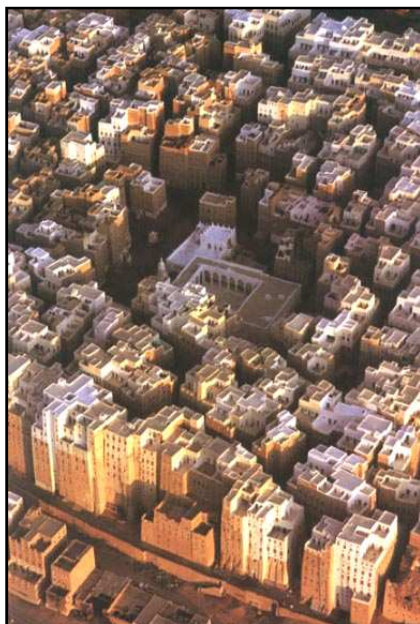
#### e. Calles estrechas con trazado irregular

El modelo de ciudad compacta, con las calles estrechas, trazado irregular y edificios con patios pequeños entrelazados dentro de un tejido urbano en el desierto y en algunas regiones de la estepa, dificulta la circulación del aire diurno caliente y puede

contribuir a generar un microclima, moderando las temperaturas en relación con el clima exterior.

### Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 169:** Calles estrechas e irregulares en Shibam (Yemen)

**Fuente:** <http://descubriremundoblog.wordpress.com/>

#### f. Los toldos de las tiendas de los nómadas

Los nómadas del desierto en la confección de los toldos para la construcción de las tiendas utilizan tiras cosidas de tejido de pelo de cabra, realizándose las costuras sobre las líneas de máxima tensión, como ya se analizó anteriormente al estudiar la tienda negra de los Qashgai (véase pág. 145), donde también se analizaba como el toldo resiste al viento gracias a la combinación de formas alabeadas y al estar atirantado por el perímetro evita que aparezcan compresiones; es decir, arrugas, contribuyendo notablemente a la rigidización y estabilidad estructural, ya que forma parte de la estructura y está tensado.

## Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 170:** Tienda nómada (Irán)

**Fuente:** <http://www.pasthorizonspr.com/index.php/archives/12/2010/newly-discovered-iranian-petroglyph-panels-under-threat>

Una vez definidas las soluciones constructivas que ofrece la arquitectura tradicional para garantizar la protección frente al viento, como resumen, en la siguiente tabla se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Protección del viento										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Formas compactas y con factores de forma muy bajos.											
b. Prolongación de la cubierta en el lado expuesto al viento.											
c. Protección de las cubiertas de teja, losas de caliza o pizarra.											
d. Ubicación de casas-cueva opuestas a la dirección del viento.											
e. Las calles con trazado irregular dificulta la circulación del aire diurno caliente.											
f. En las tiendas de los nómadas, los toldos resisten el viento por su forma alabeada y por estar atirantados por el perímetro.											

**Figura 171:** Estrategia bioclimática: protección del viento

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4.7 Ventilación cruzada/Autoventilación

La ventilación es la principal estrategia de climatización en los climas cálidos, tanto secos como húmedos. Pero también lo es en los climas fríos, ya que es necesario protegerse del viento y controlar las infiltraciones. Por otro lado, en los climas templados habrá épocas con necesidades de ventilación y otras de control.

Para lograr una adecuada ventilación en la arquitectura tradicional es necesario comprender cómo se comporta el viento y de qué manera pueden aprovecharse los patrones que sigue en su recorrido a través de las edificaciones.

A continuación se definen diferentes soluciones constructivas donde el objetivo es mostrar el comportamiento del viento en las construcciones y cómo puede ser utilizado como sistema pasivo de climatización natural.

#### a. Pequeños huecos en la parte superior de las edificaciones

El clima del Polo es sin duda extremo y en estas condiciones el iglú es verdaderamente una prueba de ingenio y capacidad de adaptación.

En el interior del iglú el aire frío principalmente el que proviene del plano inferior, empuja el aire caliente procedente del aporte metabólico humano y de las lámparas de aceite utilizadas y lo expulsa a través del orificio existente cerca de la cúpula, permitiendo la ventilación del iglú y evitando que se derrita. La temperatura corporal alrededor de los 37 °C, por conducción, convección y especialmente radiación se transfiere al aire. El aire próximo al cuerpo alcanza temperaturas de 17 °C y naturalmente en la envolvente del iglú construida con nieve compacta 0 °C. La luz en el interior del iglú la proporciona en algunos casos, una ventana situada sobre la entrada, hecha con una hoja de hielo o con piel de intestino de foca.

Las características que reúne el Iglú en cuanto a diseño permite condiciones de supervivencia muy aceptables.

### Solución constructiva

Ártico (Clima polar)

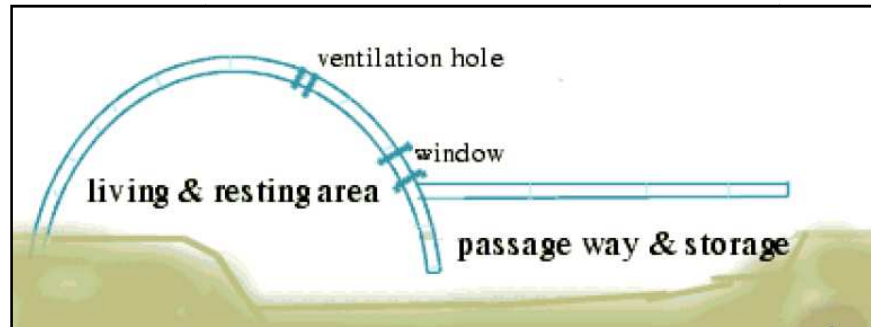


Figura 172: Sección iglú

Fuente: Bellezze, Chiarito, Graziani y Vázquez 2011

### b. Abertura en la cubierta formada por vértebras dorsales huecas de ballena

En el clima ártico ante la escasez de materiales de construcción en la tundra, sus habitantes excavan sus viviendas en el terreno y la entrada al recinto del hogar se encuentra situada en una cota más baja por razones de calefacción. La cubierta está formada por varias capas de césped que garantizan el aislamiento en su interior. La ventilación se consigue mediante una abertura situada en la zona central de la cubierta formada por vértebras dorsales huecas de ballena, habitualmente utilizadas en la arquitectura tradicional para construir viviendas y objetos.

### Solución constructiva

Tundra (Clima ártico)

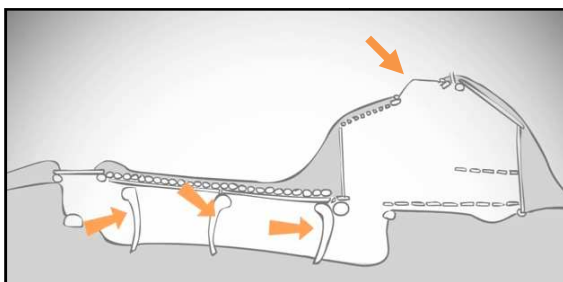


Figura 173: (1) Sección vivienda excavada. (2) Vértebras de ballena

Fuente: Bascón 2012

### c. Granero muy ventilado situado en la parte alta de la vivienda

En la alta montaña los asentamientos localizados en alturas medias, utilizan las laderas soleadas como protección de los vientos y acumulador térmico. Las casas se construyen en altura (dos o tres plantas) donde el ganado se dispone en planta baja y la vivienda en la planta superior. En la parte más alta se ubica el granero donde se seca la cosecha, muy ventilado convirtiéndose en un excelente aislante.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Alta montaña



**Figura 174:** Granero muy ventilado

**Fuente:** Otero 2008

### d. Chimeneas de aireación en la vivienda

En la arquitectura tradicional cuando las viviendas tienen escasez de huecos como ocurre en algunas tipologías constructivas mediterráneas, como el caso del trullo, las casas-cueva etc., se incorporan a la vivienda diferentes sistemas de aireación que garantizan la ventilación higiénica de las misma.

En el siguiente ejemplo correspondiente a una de las casas-cueva localizadas en Alcudia de Guadix (Granada), se aprecia por un lado una edificación convencional adosada a la entrada de la cueva y por otro la ubicación de diferentes chimeneas de aireación sobre la cueva que permiten su ventilación (Figura 175).

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 175:** Chimeneas de aireación. Casa-cueva (Granada)

**Fuente:** <http://www.tiotobas.com/contenido/sobre-las-casas-cuevas>

### e. Sistema dinámico de paredes y puertas correderas

En las regiones donde se produce el clima subtropical se requiere que las edificaciones tengan una buena ventilación para reducir la humedad. Para ello se construyen edificaciones aisladas, con grandes aberturas, protegidas de la radiación y de las frecuentes lluvias. La casa japonesa del sur de Japón, donde los veranos son largos, calientes y húmedos y los inviernos son cortos y suaves, este tipo de construcción es un buen ejemplo de ello, caracterizada por estar ligeramente levantada del suelo y con el interior despejado para permitir que circule el aire sin restricciones en torno y por debajo de la zona habitada.

El espacio diáfano del interior de la vivienda se divide en espacios más pequeños mediante paneles móviles. Se utilizan puertas correderas con materiales traslucidos, lo que permite que la vivienda se convierta en un espacio abierto, diáfano y muy poco definido.

Las paredes de papel de arroz y las puertas correderas crean espacios intermedios entre el interior y el exterior de la vivienda permitiendo una óptima ventilación.



## Solución constructiva. Ejemplos

Clima subtropical



**Figura 176:** Casa tradicional japonesa

**Fuente:** (1) <http://irukina.com/parque-kairakuen.html>. (2) <http://www.sugoi.com.ar/2006/10/30/la-arquitectura-tradicional-japonesa/>

### f. Aberturas con celosía sobre los huecos de las puertas

El clima subtropical caracterizado por una humedad relativa muy alta y constante, en muchos casos para asegurar la ventilación de las edificaciones se incorporan aberturas con celosía sobre los huecos de las puertas sin vidrio. Por otro lado, los huecos enfrentados y los techos altos, permiten la circulación de aire.

## Solución constructiva. Ejemplos

Clima subtropical



**Figura 177:** Construcción de madera en Bocas del Toro (Panamá)

**Fuente:** Farfan 2009

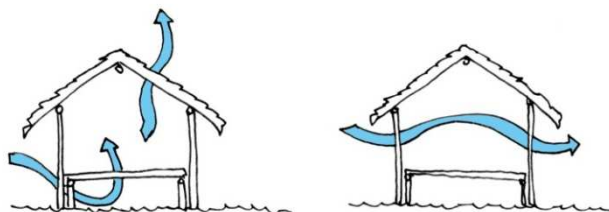
### **g. Elevación del suelo de la vivienda**

Dentro del clima tropical muchas de las construcciones tienen el suelo elevado, por un lado para evitar inundaciones provocadas por las grandes crecidas que sufren los ríos en época de lluvias, como ya se ha analizado anteriormente, y por otro la elevación del suelo permite el paso de aire fresco en contacto con el río.

Los materiales naturales utilizados en la construcción de estas edificaciones permiten las filtraciones de aire en toda la superficie, lo que favorece la autoventilación del interior.

#### **Solución constructiva. Ejemplo**

Selva (Clima tropical)



**Figura 178:** (1) Palafito (Venezuela). (2) Esquema de ventilación del palafito

**Fuente:** (1) <http://flickrhivemind.net/User/Marelita/Interesting>. (2) Farfan 2009

### **h. Accesos opuestos situados en los lados de mayor longitud de la vivienda**

Una de las tipologías constructivas representativas del clima tropical como ya se ha analizado anteriormente es la típica casa maya con bases bioclimáticas sustentables. Este tipo de vivienda no tiene ventanas y en muchos casos cuenta con dos accesos opuestos, uno orientado al este y el otro al oeste, situados en el centro de los lados de mayor longitud, que se abren a los vientos provocando la ventilación cruzada. Por otro lado, la forma cerrada y curva del muro perimetral ayuda al aumento de la velocidad del viento, resultado de las sobrepresiones y depresiones que se generan sobre las caras de la vivienda y que son las responsables de las corrientes en el interior.

### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



**Figura 179:** Casa maya con accesos opuestos

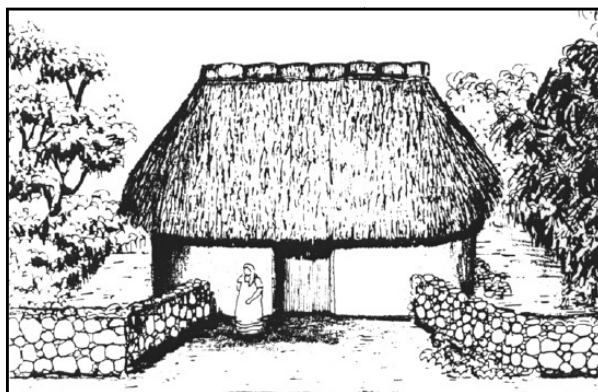
**Fuente:** Betanzos 2012

#### i. Muro de mampostería de piedra unido a la vivienda

La casa maya en algunos casos la propiedad se delimita con un muro de mampostería de piedra en seco, al llegar a la puerta de la vivienda, este muro llamado “*albarrada*” se une a la vivienda en diagonal para dirigir la corriente de aire al interior.

### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



**Figura 180:** Casa maya con albarrada

**Fuente:** (1) <http://www.aprendemaya.com/2013/06/la-casa-yucateca-en-maya.html#axzz2jWqYtujQ>.

(2) Rodríguez 2011

#### j. Ejecución de cubiertas con materiales vegetales permeables al aire

En la selva y en la sabana las cubiertas de las edificaciones se construyen con materiales vegetales, permeables al aire facilitando la autoventilación. Los materiales son también permeables al vapor de agua y su evaporación evita las condensaciones que podrían ser causa de pudrición del material.

La gran altura en algunos casos entre el suelo y el techo ayuda a generar una buena ventilación; el volumen de aire caliente sube provocando una depresión en la parte baja que refresca el ambiente.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Selva (Clima tropical)



Sabana



**Figura 181:** (1) Casa tradicional de Sumatra (Indonesia). (2) Casa con techo de paja en Kenia

**Fuente:** (1) Wabu 2005. (2) <https://sites.google.com/site/cienciassocialescjp/poblaciondeafrica>

#### k. Ejecución de ventanas en la parte alta de la cubierta

En la sabana las temperaturas son elevadas durante todo el año, por ello la ventilación es fundamental en las construcciones para evitar el sobrecalentamiento y para eliminar la humedad excesiva.

Las edificaciones en general son muy permeables al paso del aire y las cubiertas construidas con materiales vegetales cuentan en algunos casos con doble ventana en la parte alta de la techumbre que favorece la evacuación hacia el exterior del aire más caliente y menos denso. Por otro lado, las ventanas producen el efecto chimenea ya que succionan el aire que penetra a través de los muros.

### Solución constructiva. Ejemplo

Sabana



**Figura 182:** Maloca Indígena. Vista exterior e interior

**Fuente:** Echeverri 2012

### I. Viviendas que disponen de conductos de ventilación empotrados

Las casas tradicionales de Bagdad disponen de un *bagdir* que recoge las corrientes de aire dominantes. El *bagdir* es un tipo de chimenea empotrada en la pared y que llega hasta el punto más alto de la cubierta. Este conducto tiene amplias aperturas dispuestas en diagonal respecto a la dirección predominante del viento. Una vez captado el aire, su humedad relativa aumenta en el canal fresco y su temperatura baja al descender. Constituye un ejemplo de sistema de climatización de lo más sofisticado y energéticamente eficaz. Sin embargo para que funcione necesita fuertes oscilaciones de temperatura.

El principio de ventilación del *bagdir* se aplica también en edificios que carecen de patio. En este caso sube el aire captado por un espacio central equipado con aberturas en sus extremos superiores.

Diferentes ejemplos de sistemas de ventilación y de torres de aireación podemos encontrar en países como Irak, Irán o Egipto.

### Solución constructiva. Ejemplos

#### Estepa

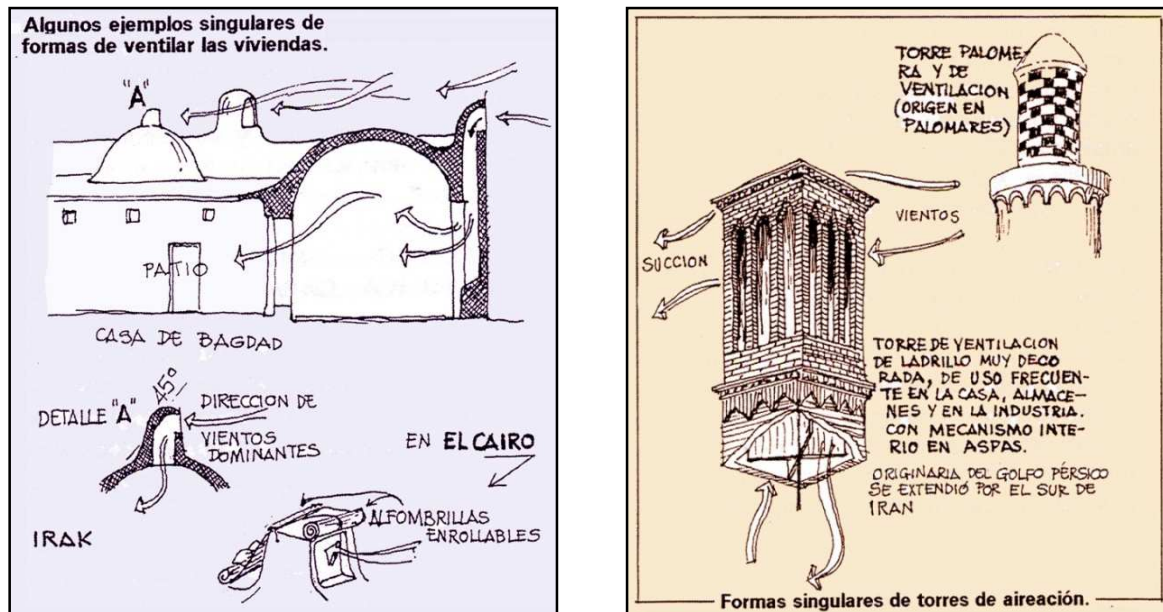


Figura 183: (1) Sistemas de ventilación en viviendas. (2) Torres de aireación "bagdir"

Fuente: Ortega 2008

#### m. Torres eólicas

Uno de los hallazgos más sorprendentes de la arquitectura islámica es la invención de las torres eólicas, construcciones ejecutadas con mampostería y grandes masas que en su interior albergan varios canales que conducen el aire captado en forma ascendente o descendente según la hora del día.

Estas masas, calentadas durante el día por acción de la radiación solar, transmiten ese calor al aire contenido en sus conductos. Este aire asciende por el conducto según efecto chimenea, hasta evacuarse al exterior. El vacío que deja el aire evacuado es ocupado por aire más fresco proveniente de patios o sótanos, barriendo en su desplazamiento a los distintos ambientes. Avanzada la noche, se invierte el proceso y

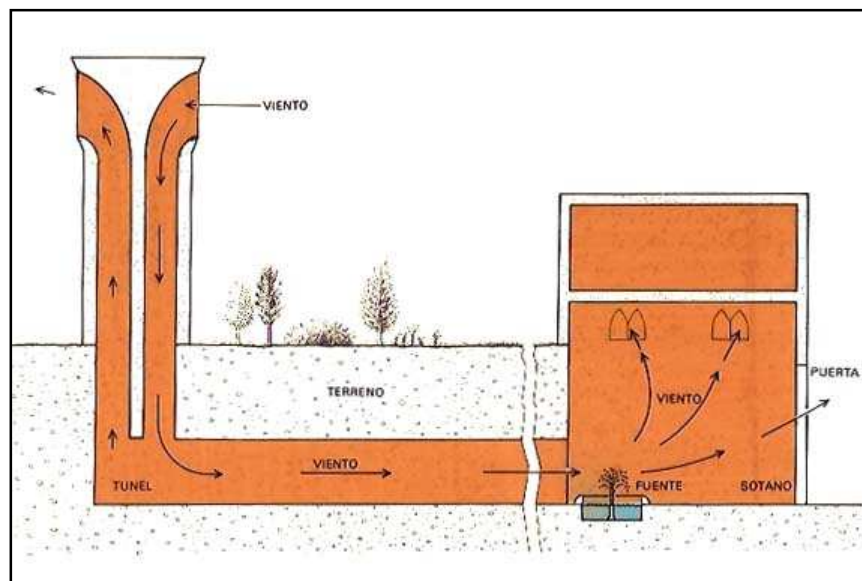
el aire más frío nocturno desciende por los conductos enfriando la masa de mampostería que los conforma. De esta manera se asegura que el interior de la vivienda o edificio se encuentre barrido u ocupado por el aire más fresco disponible (véase pág. 129).

Las torres de ventilación en algunos casos se encuentran separadas de los edificios quedando comunicadas con los mismos mediante túneles enterrados, que al recibir la humedad de los jardines regados, enfrían al aire captado mediante el **enfriamiento evaporativo**.

Los dispositivos de captación del viento, aseguran la ventilación natural en el interior de los espacios. Se utilizan no solo en viviendas sino en diferentes tipos de edificios y en diferentes clases sociales.

### Solución constructiva. Ejemplos

#### Estepa



**Figura 184:** (1) Torres eólicas en Pakistán. (2) Torre de ventilación separada de la vivienda

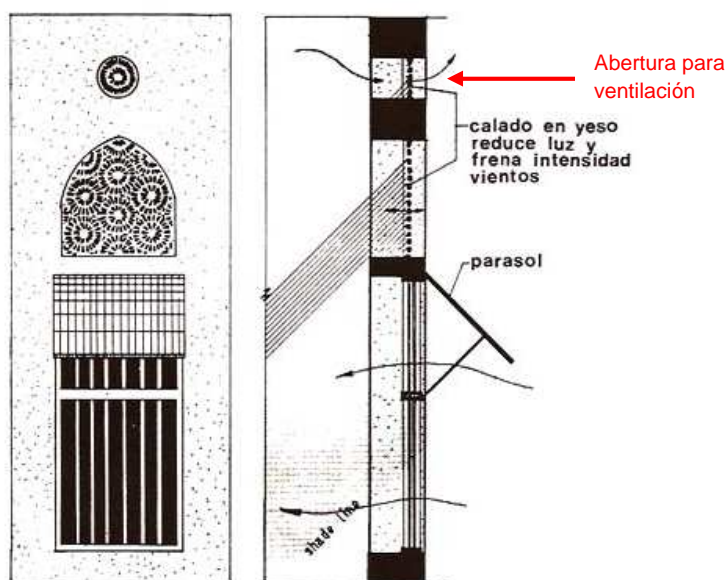
**Fuente:** [http://www.arqsustentable.net/arq\\_islamica.htm](http://www.arqsustentable.net/arq_islamica.htm)

**n. Pequeñas aberturas en la parte alta de las estancias de la vivienda**

Las casas tradicionales de Bagdad para favorecer la ventilación de las estancias se crean pequeñas aberturas en el cerramiento en la parte más alta de las estancias que permiten la evacuación del aire caliente estratificado cerca del cielo raso.

**Solución constructiva. Ejemplo**

Estepa



**Figura 185:** Aberturas para ventilación. Casa de Bagdad

**Fuente:** [http://www.arqsustentable.net/arq\\_islamica.htm](http://www.arqsustentable.net/arq_islamica.htm)

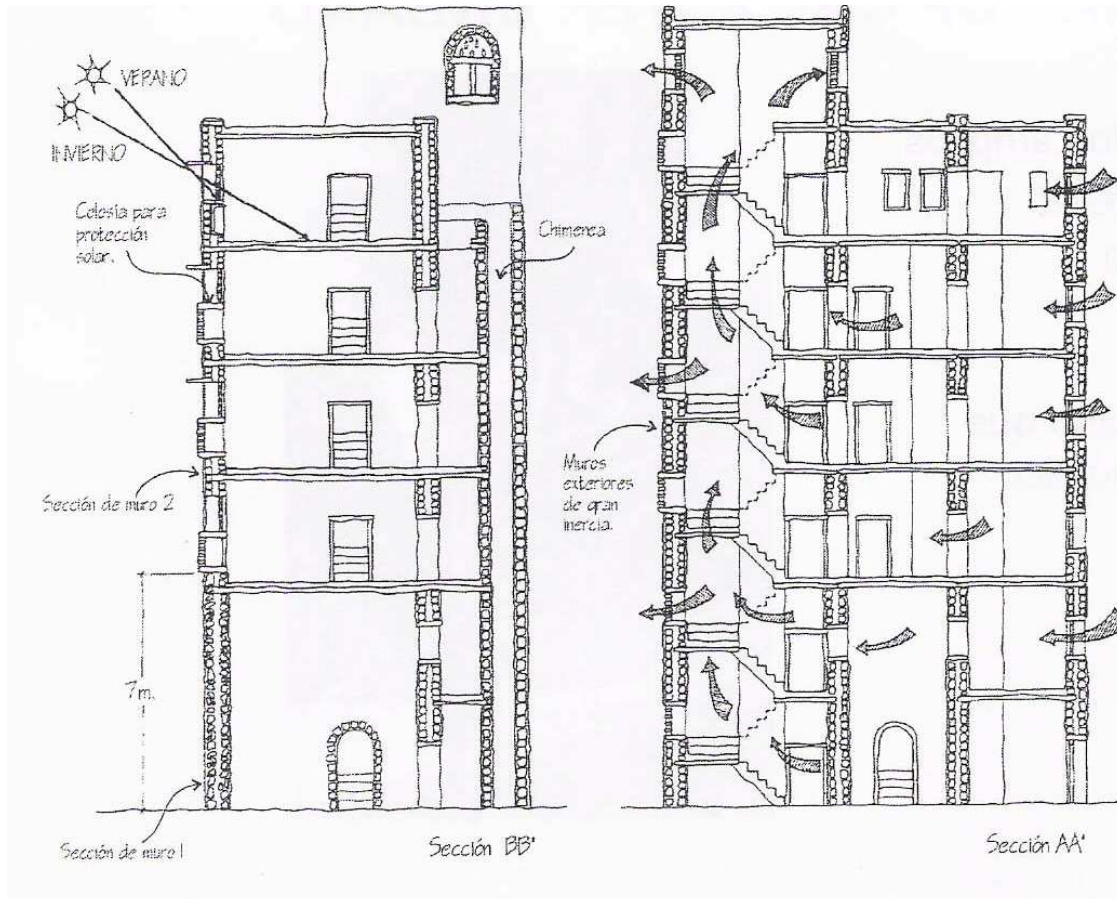
**o. Las escaleras de las viviendas funcionan como torres de ventilación**

En la ciudad amurallada de Shibam, en Yemen se encuentran las casas torre, edificaciones en altura utilizadas como vivienda. En este tipo de construcción los muros de carga de gran inercia térmica permiten alcanzar el confort la mayor parte del año, consiguiendo estabilidad térmica al edificio y amortiguando los golpes de calor del día con el frescor de la noche. Por otro lado, las ventilaciones cruzadas permiten enfriar la casa por la noche, contribuyendo en estos casos la escalera, la cual funciona como torre de ventilación.



## Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 186:** Secciones de la casa torre (Yemen)

**Fuente:** Neila 2003

Una vez definidas las soluciones constructivas que ofrece la arquitectura tradicional para garantizar la ventilación en el interior de las edificaciones, como resumen, en las siguientes tablas se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL												
Estrategia bioclimática	Ventilación cruzada/Autoventilación											
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA											
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie	
a. Pequeños huecos en la parte superior de las edificaciones.	■											
b. Abertura en la cubierta formada por vértebras dorsales huecas de ballena.		■										
c. Granero muy ventilado situado en la parte alta de la vivienda.			■									
d. Chimeneas de aireación en la vivienda.						■						
e. Sistema dinámico de paredes y puertas correderas.							■					
f. Aberturas con celosía sobre los huecos de las puertas.							■					
g. La elevación del suelo de la vivienda permite el paso de aire fresco.								■				
h. Accesos opuestos situados en el centro de los lados de mayor longitud de la vivienda.								■				
i. Delimitación de la parcela mediante muro de mampostería de piedra en seco "albarrada", unido a la vivienda en diagonal.								■				

Figura 187: Estrategia bioclimática: ventilación cruzada/autoventilación (tabla-1)

Fuente: Elaboración propia

ARQUITECTURA TRADICIONAL												
Estrategia bioclimática	Ventilación cruzada/Autoventilación											
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA											
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie	
j. Ejecución de cubierta con materiales vegetales permeables al aire.												
k. Ejecución de ventanas en la parte alta de la cubierta.												
l. Viviendas que disponen de conductos de ventilación empotrados "bagdir" que regulan la temperatura de la vivienda.												
m. Torres eólicas ejecutadas con mampostería que albergan en su interior varios conductos que regulan la temperatura del aire.												
n. Pequeñas aberturas ubicadas en la parte alta de las estancias de la vivienda.												
o. Las escaleras de las viviendas funcionan como torres de ventilación.												

**Figura 188:** Estrategia bioclimática: ventilación cruzada/autoventilación (tabla-2)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4.8 Aislamiento térmico

En la arquitectura tradicional el aislamiento térmico constituye una de las principales estrategias bioclimáticas necesarias para poder alcanzar el confort en las edificaciones. En este sentido, los aislantes térmicos tradicionales impiden que el frío o el calor penetren en su interior.

“El aislamiento térmico, conseguido gracias al espesor de los muros y reforzado en el caso del adobe por la mezcla de barro y briznas de paja, creando pequeñas cámaras de aire, permite limitar pérdidas térmicas en la estación fría y reducir así el consumo energético de la vivienda” (Cortés, 2013).

“El aislamiento térmico en las construcciones es una necesidad primordial y, en particular en los países fríos, un objetivo imprescindible; pero, a diferencia de la mayoría de países de climatologías similares, en Islandia no se pueden emplear muros gruesos de madera para protegerse, ya que no disponen de ella. Sin embargo, la tierra es rica en turba, fase temprana del carbón mineral, en la que el producto es ligero, manejable y aislante” (Neila, 2011a).

A continuación se definen diferentes soluciones constructivas, cuyo objetivo principal es garantizar el confort térmico en la propia construcción.

#### a. Cerramiento de bloques de nieve compacta

En el clima polar la nieve compactada por el viento, es la materia prima con la que se construye el iglú y que por su densidad es un magnífico aislante, ya que sus poros están llenos de aire. Algunos esquimales revisten su interior con pieles de animales para garantizar un mayor aislamiento a través de las pequeñas cámaras de aire entre ellas y las paredes del iglú (ya comentado anteriormente, véase pág. 31). En muchos casos se cubre el suelo con ramas, pieles y musgo. Contribuyen a su aislamiento las pieles colocadas en la entrada, a modo de puerta y la nieve acumulada en el exterior del iglú.

## Solución constructiva

Ártico (Clima polar)

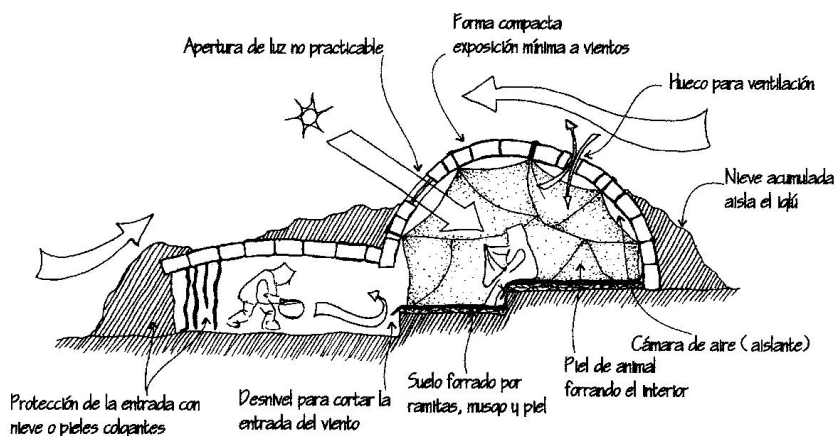


Figura 189: Sección detallada de un iglú

Fuente: Neila 2003

### b. Revestimiento interior de madera

Dentro del bioma de la tundra (clima ártico) se encuentran las viviendas excavadas, revestidas interiormente con tablones y montantes regularmente colocados. La madera es un material que apenas absorbe calor ( $\lambda=0,13 \text{ W/mK}$ ), lo que permite que toda la energía consumida en el interior de la vivienda se utilice única y exclusivamente para calentar el aire.

## Solución constructiva

Tundra (clima ártico)

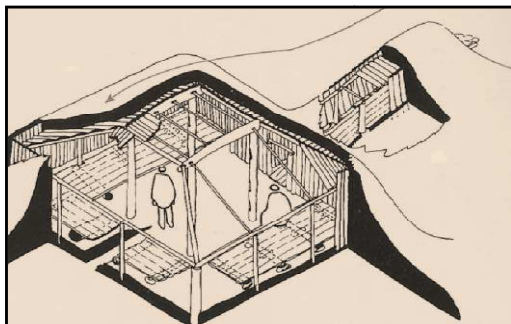


Figura 190: Vivienda excavada revestida interiormente con madera

Fuente: (1) Behling y Schindler 2002. (2) Bascón 2012

### c. Cubierta compuesta por varias capas de césped

En la tundra las viviendas excavadas están cubiertas por varias capas de césped que garantizan el aislamiento térmico en el interior, no obstante, este tipo de cubierta la encontramos también en climas cálidos donde el aislamiento térmico protege de los intensos rayos solares.

En las zonas costeras de Groenlandia, las vertientes árticas de Norteamérica y Eurasia, y norte de Islandia, donde el clima es frío, la cubierta “caliente”, puesto que almacena el calor de los ambientes interiores y en los climas cálidos como Tanzania “enfría”, ya que mantienen aislados los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior.

En este tipo de cubierta, la vegetación junto con la tierra moderan extraordinariamente las variaciones de temperatura en los ambientes de la vivienda. De este modo natural el calor acumulado no sólo se almacena sino que también se absorbe.

La eficacia de la acumulación de calor y la capacidad de aislamiento térmico es fácilmente comprobable en la vivienda tradicional de turba en Islandia habitada durante el invierno sin calefacción artificial, de modo que sólo el calor humano es suficiente para lograr una confortable temperatura ambiente.

#### **Solución constructiva. Ejemplos**

Tundra (clima ártico)



Selva (clima tropical)



**Figura 191:** (1) Vivienda tradicional de turba (Islandia). (2) Vivienda tradicional Hehe (Tanzania)

**Fuente:** (1) Neila 2011. (2) García 2010

#### d. Aislamiento del suelo a través de alfombras y entarimados de madera

Dentro del bioma de la taiga (clima ártico), la cobertura de la yurta como ya se ha estudiado anteriormente (véase pág. 37), tiene un excelente comportamiento frente a la lluvia y la nieve, soportando los intensos cambios climáticos. Por otro lado, el suelo de este tipo de construcción se aísla del terreno utilizando en unos casos alfombras de lana de camello, jack o cabra y pieles, y en otros se utilizan entarimados de madera desmontables elevados del terreno, en ambos casos se consigue un eficaz aislamiento térmico que garantiza el confort en el interior de la yurta.

#### Solución constructiva. Ejemplos

Taiga (clima ártico)



**Figura 192:** Yurta. (1) Suelo cubierto con alfombras. (2) Suelo de madera elevado del terreno

**Fuente:** (1) <http://kids.britannica.com/comptons/art-51422>. (2) <http://www.koatreeyurts.com/yurt-tips/>

#### e. Cerramientos de madera

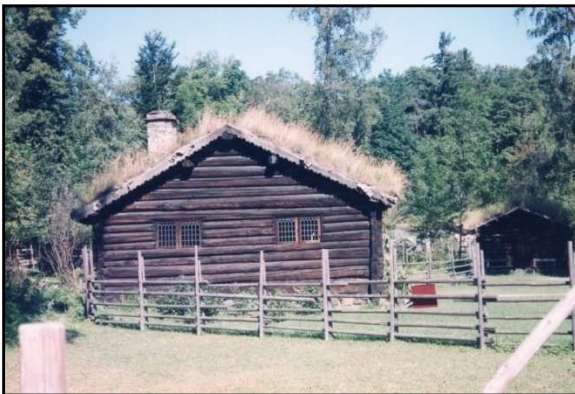
En el clima ártico los inviernos son extremadamente fríos, siendo la temperatura media de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El clima de alta montaña se caracteriza por tener inviernos fríos con temperaturas muy inferiores a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los veranos son frescos y cortos, y en el clima continental aunque los veranos son muy calurosos, ya que se pueden alcanzar temperaturas superiores a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los inviernos son muy largos, fríos y secos con temperaturas inferiores a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Con estas bajas temperaturas durante el invierno, resulta conveniente utilizar en estos climas materiales que transmitan el calor muy lentamente

para que la energía generada en el interior de las viviendas vaya inmediatamente al aire; son los materiales de baja conductividad térmica. Una pequeña cantidad de energía calentará rápidamente el aire. En estos casos el acabado ideal para los cerramientos es la madera, ya que es un excelente aislante térmico ( $\lambda=0,13$  W/mK), conservando el calor en la superficie y compartiendo su energía con el aire.

En las edificaciones se utilizan diferentes tipologías de madera como el pino, abedul, abeto, roble etc., dependiendo del material disponible del lugar, ya que en algunos casos como el clima de alta montaña se utilizan también materiales de alta inercia térmica como se analizará en la siguiente estrategia bioclimática (véase pág. 237).

### Solución constructiva. Ejemplos

Taiga (clima ártico)



Clima continental



**Figura 193:** (1) Vivienda de madera (Noruega). (2) Vivienda campesina tradicional rusa "Izba"

**Fuente:** (1) Neila 2013. (2) Zelenko 2005

### f. Cubierta de paja

Dentro del clima de alta montaña, continental y marítimo es frecuente la utilización de la cubierta de paja que garantiza un buen aislamiento térmico ( $\lambda=0,045$  W/mK) y una excelente protección contra las inclemencias del tiempo, ofreciendo este tipo de cubierta un gran número de variantes.



En estos climas, donde las precipitaciones son frecuentes, especialmente en el clima marítimo, las cubiertas de paja tienen mucha inclinación para evacuar rápidamente el agua cuando llueve, evitando la humedad en el interior de las viviendas.

En aquellas regiones donde las precipitaciones son en forma de nieve, esta contribuye a mejorar el aislamiento de la cubierta, ya que su coeficiente de conductividad térmica es muy bajo ( $\lambda=0,21$  W/mK), no obstante, la inclinación de estas cubiertas evita las sobrecargas de nieve y por lo tanto los hundimientos frecuentes que antiguamente se producían en aquellas cubiertas que tenían poca pendiente.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima marítimo



**Figura 194:** Casa campesina en Normandía  
**Fuente:** Sabos 2013

### g. Contraventanas opacas de madera

En el clima de alta montaña, continental y marítimo no se utilizan las persianas en las ventanas, permitiendo de forma permanente la entrada de luz y calor en la vivienda. En algunos casos se utiliza la contraventana opaca de madera que garantiza el aislamiento térmico, evitando pérdidas de calor en las noches frías invernales, y abriéndose a la luz y a calor solar durante el día.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima marítimo



**Figura 195:** Contraventanas de madera. País Vasco francés

**Fuente:** Guianvarch 2013

### h. Cerramiento de arcilla reforzado con paja y estructura de madera y bambú

El clima subtropical presenta unas temperaturas relativamente altas, con pocas variaciones durante todo el año y no descienden significativamente por las noches. En invierno la temperatura media es de 15 °C y en verano supera los 22 °C. Teniendo en cuenta estos valores, los cerramientos se construyen de madera sin inercia térmica.

Existen algunas variantes como el clima japonés, caracterizado por veranos calurosos y húmedos e inviernos fríos y secos donde el cerramiento perimetral consiste en un muro ligero de arcilla reforzado con paja, de 6 cm. de espesor, con una estructura de madera y de bambú a modo de entramado que mejoran el aislamiento. No obstante, la casa japonesa tiene un comportamiento poco agradable frente a los fríos inviernos, por lo que los japoneses recurren a sistemas ajenos a las estrategias arquitectónicas, aumentando las capas de ropa, utilizando braseros en el interior de la vivienda, etc.

## Solución constructiva. Ejemplo

Clima subtropical



**Figura 196:** Cerramiento de arcilla con estructura de madera y bambú

**Figura:** <http://pinterest.com/search/pins/?q=japanese+house>

### **i. Cerramiento compuesto por estructura de madera anudada y revestimiento de barro**

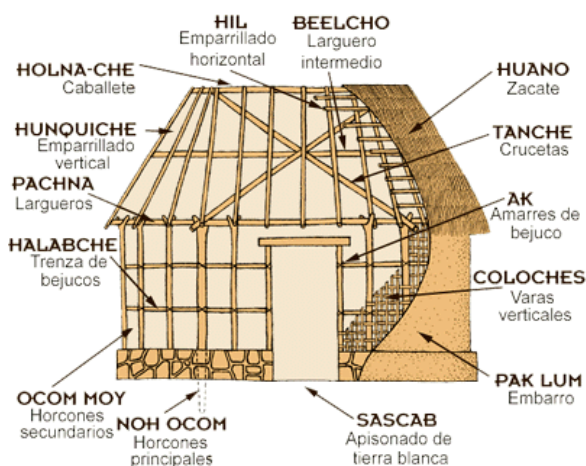
En el clima tropical las construcciones tienen como objetivo facilitar el movimiento del aire. En algunas ocasiones carecen de paredes, lo que permite la máxima ventilación con el fin de enfriar la construcción y eliminar la humedad, en un clima donde en el mes menos cálido se registran temperaturas medias entre 23-24 °C y la humedad relativa del aire alcanza el 80 %.

La abundancia del barro como materia prima y la existencia de bosques permite construir en muchos casos cerramientos que aprovechan las propiedades térmicas de la tierra conservando la frescura en el interior de las viviendas.

La casa maya es una tipología constructiva en cuyo cerramiento se integra la estructura totalmente de madera y el revestimiento de barro.

## Solución constructiva. Ejemplo

Selva (clima tropical)



**Figura 197:** Casa maya. (1) Detalle. (2) Estructura

**Fuente:** (1) <http://mayananswer.over-blog.com/article-casa-maya-nah-55623555.html>.

(2) <http://sipse.com/milenio/la-casa-tradicional-maya-una-opcion-viable-para-vivir-en-yucatan-57988.html>

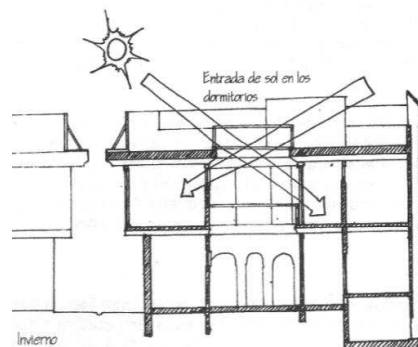
Los soportes de la estructura (Figura 197) son postes de unos 20 cm. de diámetro “*horcones principales*” que junto con otros de menor diámetro “*horcones secundarios*” constituyen la base sobre la que se van colocando las “*varas verticales*” que forman la estructura. Los soportes se refuerzan mediante un trenzado de “*bejuco*” (tiras de corteza) que junto con las varas verticales forman un emparrillado anudado que al ser cubierto posteriormente con barro mezclado con césped dan forma a los muros. En muchos casos se encalan por ambas caras, resultando un muro de 9-10 cm. de espesor.

### j. Ejecución de paredes dobles con ladrillos de barro (cocidos o crudos)

En las casas tradicionales de Bagdad los cerramientos con ladrillo, debido a su espesor, tienen gran inercia térmica, lo que asegura en el interior de las habitaciones una temperatura uniforme durante todo el día. Por otro lado, gracias a las paredes dobles, se aporta suficiente aislamiento térmico y acústico.

## Solución constructiva. Ejemplo

### Estepa



**Figura 198:** Casa tradicional de Bagdad (Irak)

**Fuente:** (1) <http://bahaihistoricalfacts.blogspot.com.es/2013/07/early-1930s-house-of-bahauallah-in.html>. (2) Neila 2003

Como resumen, una vez definidas algunas de las soluciones constructivas que emplea la arquitectura tradicional para garantizar el aislamiento térmico, en la siguiente tabla se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Aislamiento térmico										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Cerramiento de bloques de nieve compacta y revestimiento interior con pieles de animales.	■										
b. Revestimiento interior de madera.		■									
c. Cubierta compuesta por varias capas de césped.		■						■			
d. Aislamiento del suelo a través de alfombras y entarimados de madera elevados del terreno.		■									
e. Cerramientos de madera.		■	■	■							
f. Cubiertas de paja.			■	■	■						
g. Contraventanas opacas de madera.			■	■	■						
h. Cerramiento de arcilla reforzado con paja y estructura de madera y bambú.							■				
i. Cerramiento compuesto por estructura de madera anudada y revestimiento de barro.								■			
j. Ejecución de paredes dobles con ladrillos de barro (cocidos o crudos).										■	

Figura 199: Estrategia bioclimática: aislamiento térmico

Fuente: Elaboración propia

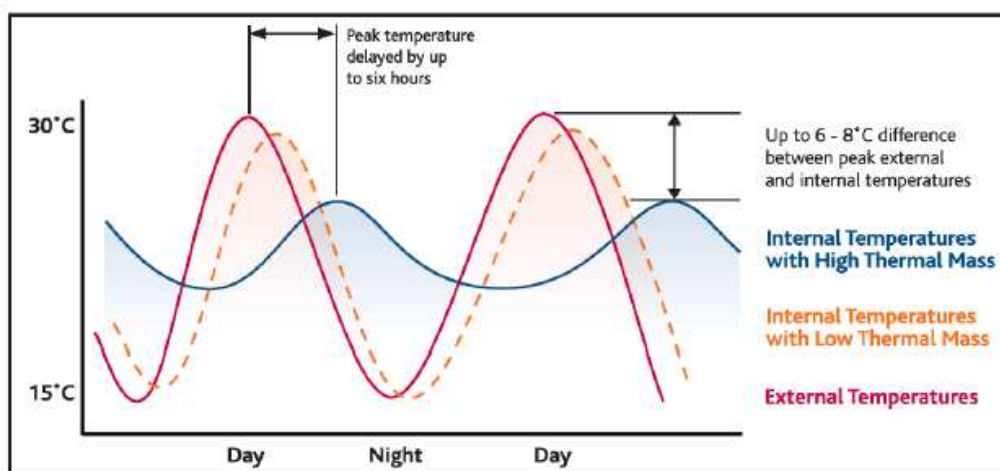
### 3.4.9 Inercia térmica

La inercia térmica es un concepto clave en la arquitectura tradicional ya que la capacidad de acumulación térmica que tienen muchos elementos constructivos es fundamental para conseguir el adecuado nivel de confort.

“Indica el tiempo que tarda en fluir el calor almacenado en un muro o en una techumbre” (Deffis, 1999, citado en Cedeño, 2010).

Depende de la densidad  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ), del calor específico  $C$  ( $\text{J/kgK}$ ), de la conductividad térmica  $\lambda$  ( $\text{W/mK}$ ) y del espesor del material. En general, cuanto mayor sea la densidad, mayor es el nivel de inercia térmica. Igual para la capacidad calorífica y el espesor. Sin embargo, la conductividad térmica debe ser lo suficientemente alta para permitir la transferencia de calor en el material.

La inercia térmica expresa la magnitud del efecto que tiene un material para amortiguar y retardar la temperatura máxima en el interior de un espacio en relación con la temperatura exterior (Barcelo, s.f., citado en Cedeño, 2010). Esta es la principal ventaja de los muros tradicionales frente a los sistemas de construcción basados en menores espesores y muy ligeros. El impacto de la inercia térmica en la temperatura interior se evalúa a través de los siguientes indicadores:



**Figura 200:** Inercia térmica. Distribución de la temperatura (exterior-interior)

**Fuente:** Lafarge 2013

La grafica anterior (Figura 200) es un ejemplo que compara la temperatura exterior (*external temperature*) con la interior considerando dos materiales, uno de alta inercia térmica (*high thermal mass*) y otro de baja inercia térmica (*low thermal mass*). También se representa el tiempo de retardo entre la temperatura máxima exterior e interior y la reducción de la fluctuación de la temperatura interior en comparación con la temperatura al aire libre (LAFARGE, 2013).

De este análisis se deduce que la inercia térmica conlleva dos fenómenos, uno de ellos es el **retardo** de la temperatura interior respecto a la exterior y el otro es el de la **amortiguación** en la variación de las temperaturas.

La dificultad que ofrece un elemento constructivo para cambiar de temperatura está directamente vinculada con la acumulación de energía. De este modo, los cerramientos que tienen una gran masa tienen la propiedad de cambiar la temperatura lentamente, dándoles la posibilidad de acumular mucha energía, actuando como colchón protector ante los cambios de temperatura que se producen en el exterior de un edificio.

En aquellas zonas donde las temperaturas son altas durante el día y bajas durante la noche se utilizan muros con gran inercia térmica que retardan al máximo la transferencia de calor a través de la envolvente del edificio, consiguiendo que el aporte de energía se produzca cuando el edificio lo requiere, que en este caso suele ser por la noche, cuando las temperaturas son más bajas. En esta situación el muro tiene que estar correctamente dimensionado para que la transferencia de calor se produzca en el momento adecuado.

A continuación se definen algunas de las soluciones constructivas más representativas de la arquitectura tradicional donde la inercia térmica juega un papel importante como estrategia bioclimática.



### a. Cerramientos de gran espesor de mampostería de piedra, granito o pizarra

En el clima de alta montaña en unos casos los cerramientos son de madera como ya se ha definido en el apartado anterior y en otros se construyen muros de gran espesor de mampostería de piedra, granito o pizarra, según la disponibilidad del lugar.

Estos muros se caracterizan por su alta inercia térmica, garantizando por un lado un adecuado nivel de confort en el interior de las viviendas y por otro una mayor durabilidad frente a los agentes atmosféricos respecto a otros materiales.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Alta montaña



**Figura 201:** Vivienda con muros de piedra. Sierra de Gredos (Ávila)  
**Fuente:** Martín 2013

### b. Utilización de grandes masas de tierra en las viviendas enterradas

Dentro del clima continental se encuentra un caso singular de construcción tradicional, este es el caso de las viviendas trogloditas, tipología constructiva que podemos encontrar en China, aunque también en otros climas y países como España, Marruecos, Túnez, Turquía, etc.

La arquitectura troglodita incluye como ya se analizó anteriormente (véase pág. 54) todas aquellas edificaciones construidas en el interior de las montañas o del suelo, que utilizan cavidades en unos casos naturales y en otros creándolas.

Esta tipología constructiva utiliza las grandes masas de tierra como sistema de cerramiento de gran inercia térmica, actuando como amortiguador entre el exterior y el interior, garantizando unas condiciones adecuadas de confort. No obstante, en algunos casos es necesario aumentar la temperatura interior de las viviendas mediante hogares de lumbre.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima continental



**Figura 202:** Casas trogloditas en Matmata (Túnez)

**Fuente:** Prado 2009

### c. Utilización de muros de gran espesor, especialmente de piedra calcárea

En el Mediterráneo, los muros más habituales son de piedra, dada la importante presencia de este material, sobre todo la piedra calcárea, presente en casi toda la Cuenca. Por otro lado, la piedra es un material con una alta inercia térmica que garantiza espacios interiores confortables.

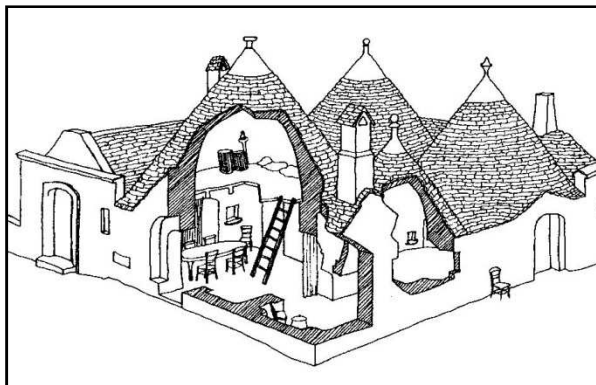
Las superficies expuestas a los rayos solares absorben el calor cuando este se produce con mayor intensidad, pero, dado que los muros de grandes espesores lo transmiten lentamente, los interiores se mantienen frescos durante el día. Posteriormente las paredes actúan como almacenes de calor, y lo transmiten al interior, en las horas más frías manteniendo la temperatura agradable durante la noche, funcionando como reguladores térmicos.

En las construcciones tradicionales, el espesor de los muros varía entre 50 y 70 cm, y pueden incluso llegar a 1 m, proporcionando una transmisión lenta del calor.

Por otra parte, los volúmenes compactos limitan los efectos del calor, ya que la unión de diferentes espacios, permite una protección del calor, minimizando las paredes expuestas.

### Solución constructiva. Ejemplo

Clima mediterráneo



**Figura 203:** (1) Interior de un trullo. (2) Trullo de Alberobello

**Fuente:** (1) Neila 2003. (2) Reggio 2003

#### **d. Ejecución de muros de gran espesor de ladrillos de barro (cocidos o crudos)**

En la zona climática de la estepa los cerramientos con ladrillo debido a su espesor, tienen gran inercia térmica, lo que asegura unas condiciones adecuadas de confort en su interior.

A nivel constructivo, la estructura de estas viviendas se conforma con un sistema de pares de madera, tanto en los muros verticales como en los forjados de piso y cubierta.

Como ya se analizó anteriormente (véase pág. 127), los muros exteriores de planta baja de 35 cm. de espesor, se construyen con ladrillos de barro (cocidos o crudos) entre los pies derechos de madera, siendo el acabado interior de cal. Los muros exteriores de planta primera son similares a los de planta baja disponiéndose maineles de madera cada 90 cm. y entre ellos ladrillos de 12 cm. de espesor. Las particiones interiores de 12 a 23 cm. de espesor, están enlucidas para reflejar mejor la luz del día.

#### e. Ejecución de muros de carga gruesos y pesados de adobe o tapial

El material habitual en el desierto es el barro, en forma de tapial o de ladrillo secado al sol o cocido. Se construyen muros de carga de gran inercia térmica que permiten alcanzar el confort la mayor parte del año, aportando estabilidad térmica al edificio y amortiguando los golpes de calor del día con el frescor de la noche.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 204:** Edificios de adobe en Shibam (Yemen)

**Fuente:** <http://www.fotoaleph.com/Colecciones/Yemen/Yemen-index34.html>

#### f. Cubiertas de gran espesor compuestas por estructura de madera y capa de barro

En el desierto las cubiertas tienen un gran espesor para poder absorber el máximo calor posible. En estas zonas las precipitaciones son mínimas, por lo que la impermeabilización carece de importancia.

Las cubiertas en muchos casos se componen de troncos de madera, sobre los que se colocan tablas y una capa de barro comprimida ligeramente. Sobre esta capa de barro se le da un acabado de mortero de cal.

#### Solución constructiva. Ejemplo

Desierto



**Figura 205:** Cubiertas acabadas con mortero de cal en Shibam (Yemen)

**Fuente:** <http://www.theglobaldispatches.com/yemeni-mud-brick-architecture/1>

Como resumen de este apartado, donde se han definido algunas de las soluciones constructivas empleadas tradicionalmente para garantizar el confort en el interior de las edificaciones utilizando como estrategia bioclimática la inercia térmica, en la siguiente tabla se identifican dichas soluciones constructivas y las zonas climáticas donde predomina su utilización.

ARQUITECTURA TRADICIONAL											
Estrategia bioclimática	Inercia térmica										
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA										
	Ártico	Tundr Taiga	Alta mont	Conti	Marit	Medit	Subtr	Selva	Saba	Estep	Desie
a. Cerramientos de gran espesor de mampostería de piedra, granito o pizarra.											
b. Utilización de grandes masas de tierra en las viviendas enterradas.											
c. Utilización de muros de gran espesor, especialmente de piedra calcárea.											
d. Ejecución de muros de gran espesor de ladrillos de barro (cocidos o crudos) entre soportes y maineles de madera, con acabado interior de cal.											
e. Ejecución de muros de carga gruesos y pesados de adobe o tapial.											
f. Cubierta de gran espesor compuestas por troncos de madera, sobre los que se colocan tablas y una capa de barro comprimida ligeramente, acabada con mortero de cal.											

**Figura 206:** Estrategia bioclimática: inercia térmica

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4.10 Microclima

Las estrategias bioclimáticas estudiadas hasta ahora tienen como objetivo principal alcanzar el confort en el interior de las edificaciones teniendo en cuenta la climatología del lugar. Sin embargo, algunas de las soluciones constructivas ya analizadas anteriormente permiten crear en el exterior de los edificios unas condiciones favorables distintas al entorno, es lo que se denomina “**microclima**”.

El objetivo de un microclima es armonizar los espacios exteriores creando unas condiciones de confort y bienestar a sus ocupantes. Se crean ambientes agradables donde en muchos casos es posible el buen desarrollo de las actividades dentro del espacio exterior construido.

“La arquitectura tradicional busca el cobijo, las vistas agradables, las brisas del mar mediante lo que podríamos llamar unos “espacios intermedios” entre el interior y el exterior que generan microclimas agradables según la época del año y hora del día. La diversidad de estos espacios es lo que proporciona una singularidad muy especial a la arquitectura tradicional mediterránea” (Casanovas & Graus, 2006).

“Usar la vegetación para controlar el microclima es tan antiguo como el hombre mismo, que aún nómada, aprendió a tomar de los árboles frutos, madera, hojas y disfrutar de su sombra. Ya agricultor, en los primeros huertos, que no eran todavía jardines, recolectaba sus alimentos, al mismo tiempo que creaba un ambiente sombreado y fresco. Es entonces en la agricultura donde se le dio un uso consciente a la vegetación como regulador de los elementos climáticos” (Ochoa, 2009).

A continuación se relacionan aquellas soluciones constructivas estudiadas anteriormente y que contribuyen a crear un microclima en el entorno de la propia edificación.

- a) Incorporación de soportales que proporcionan sombra en planta baja (véase pág. 159).
- b) Construcción de pórtico junto a la fachada principal para sombrear, refrescar la casa y como estancia al aire libre (véase pág. 160).

- c) Espacios exteriores convertidos en galerías abiertas (véase pág. 161).
- d) Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra (véase pág. 161).
- e) Calles estrechas autosombreadas (véase pág. 162).
- f) Tienda nómada compuesta por estructura de madera cubierta con lonas de pelo de cabra (véase pág. 168).
- g) Ejecución de espacios intermedios entre los paramentos de vidrio exteriores y las fachadas de los edificios (efecto invernadero, véase pág. 174).

### 3.4.11 Enfriamiento evaporativo

Este proceso permite el enfriamiento del aire, obtenido por evaporación del agua en una corriente de aire. Es una estrategia utilizada para lograr condiciones de confort térmico en el interior de las edificaciones.

Dentro de la arquitectura tradicional existen varias soluciones constructivas ya estudiadas anteriormente, que favorecen este proceso y que se incluyen a continuación.

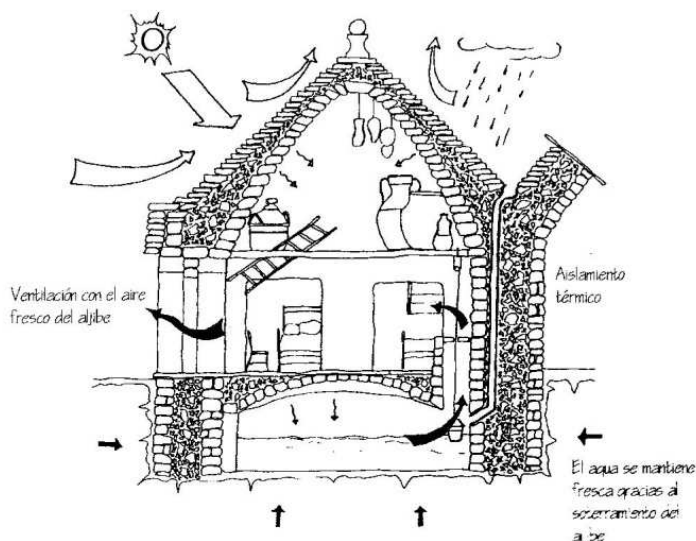
#### a. Patios con fuentes, plantas y zonas de sombra

Esta solución constructiva por su importancia ya ha sido estudiada anteriormente en otras estrategias bioclimáticas (véase pág. 161 y 244).

#### b. Aljibe de agua enterrado situado debajo de la vivienda

En algunas construcciones mediterráneas como en el caso del **trullo**, la presencia de una cisterna como depósito para el aprovechamiento del agua de lluvia situado debajo de la vivienda, permite aumentar la posibilidad de refrescar el ambiente interior en los meses cálidos por enfriamiento evaporativo (véase pág. 71 y 72).





**Figura 207:** Sección tipo de un trullo

**Fuente:** Neila 2003

### c. La cubierta de paja

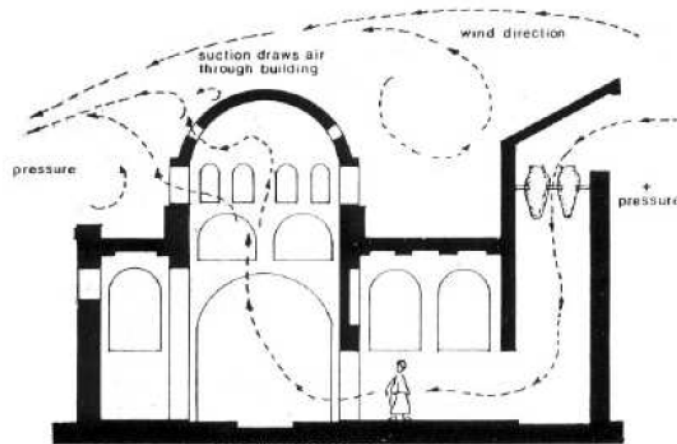
En climas como el subtropical, la selva y la sabana, la radiación solar incide sobre las cubiertas, en muchos casos de paja, manteniéndose baja la temperatura, ya que este tipo de cubierta aprovecha el efecto refrescante que proporciona la evaporación del agua de lluvia.

### d. Túneles de ventilación enterrados

Los dispositivos de captación del viento, utilizados en Oriente Medio aseguran la ventilación natural en el interior de las edificaciones. En algunos casos como ya se ha estudiado anteriormente, se encuentran separados de los edificios a los que pertenecen, comunicándose con los mismos mediante túneles enterrados, que al recibir la humedad de los jardines regados, enfrían el aire mediante el enfriamiento evaporativo (véase pág. 219).

Otra de las soluciones empleadas vinculada con las torres de ventilación consiste en utilizar tinajas cerámicas llenas de agua, para que el viento en contacto con las

superficies humedecidas, penetre en el interior de las estancias más fresco y húmedo (Figura 208).



**Figura 208:** Torre de ventilación. Enfriamiento evaporativo  
**Fuente:** Melero 2010

### 3.4.12 Iluminación interior

Dentro de las estrategias bioclimáticas no hay que olvidar la importancia que tiene dentro de la arquitectura tradicional el aprovechamiento de la luz solar como sistema de iluminación diurna, principalmente en aquellos climas donde los días nublados y en lluviosos suelen ser abundantes.

A continuación se definen algunas de las soluciones constructivas empleadas, en algunos casos singulares, como la utilizada en el clima polar.

#### a. Ventanas ejecutadas con hojas de hielo o piel de intestino de foca

En el clima polar donde las temperaturas son muy bajas, la iluminación diurna en el interior del iglú la proporciona una pequeña ventana situada sobre la entrada, hecha con una hoja de hielo o con piel de intestino de foca. La iluminación nocturna se consigue mediante la utilización de lámparas de aceite de ballena que actúan al mismo tiempo como fuente de calor.

## Solución constructiva. Ejemplo

Ártico (clima polar)



**Figura 209:** (1) Aldea inuit en la isla de Baffin. (2) Ventana construida con una hoja de hielo

**Fuente:** (1) Ilustración de Charles Francis Hall 1865.

(2) [http://www.youtube.com/watch?v=4i6\\_jdl3RIE&feature=player\\_detailpage](http://www.youtube.com/watch?v=4i6_jdl3RIE&feature=player_detailpage)

### b. Aberturas en la cubierta

En la tundra sobre las cubiertas de césped de las edificaciones existían aberturas que permitían la salida del humo del interior y en muchas ocasiones era la única fuente de luz natural que entraba en la vivienda. Existen casos en los que se construía un canal con pequeños orificios en la base del tejado que permitía iluminar la entrada. En algunas viviendas se construyeron chimeneas de madera que proporcionaban iluminación y ventilación, permitiendo la salida del humo (Valero, 2013).

## Solución constructiva. Ejemplo

Tundra (Clima ártico)



**Figura 210:** (1) Aberturas sobre la cubierta. (2) Chimenea de madera

**Fuente:** <http://www.tumblr.com/tagged/longhouse?before=1339262216>

### c. Ventanales con ausencia de persianas

En algunos climas como la alta montaña, continental y marítimo no se utilizan las persianas en las ventanas, como ya se analizó anteriormente, favoreciendo de esta forma la entrada permanente de luz en el interior de las viviendas. En estos casos se busca un equilibrio razonable entre la iluminación y el aislamiento, utilizándose en muchos casos la contraventana opaca de madera que garantiza el aislamiento térmico y evita pérdidas de calor en las frías noches invernales (véase pág. 229).

#### Solución constructiva. Ejemplo

Clima continental



Clima marítimo



**Figura 211:** (1) Vivienda en Göttingen (Alemania). (2) Fachadas con grandes ventanales en Ámsterdam (Holanda)

**Fuente:** (1) Andrés Imhof, Berlín; [www.kudaba.de](http://www.kudaba.de). (2) Elaboración propia

### 3.4.13 Producción de calor

La arquitectura tradicional para alcanzar el confort térmico en el interior de un edificio, considera las condiciones climáticas propias del lugar tanto en verano como en invierno, de forma que un edificio debe aprovechar las aportaciones térmicas del exterior, regular la temperatura en el interior y permitir la aproximación a las condiciones de confort térmico.

Dentro de las estrategias bioclimáticas estudiadas se han definido soluciones constructivas vinculadas con los elementos que constituyen un edificio (muros, cubiertas, ventanas, galerías, etc.) y que lo convierten en un sistema de captación, regulación, acumulación y distribución de la energía que necesitan sus ocupantes.

Existen soluciones que complementan al edificio y que combinan recursos energéticos y elementos constructivos ajenos a la esencia del mismo. A continuación se definen algunos ejemplos.

#### a. Calor corporal

En el clima polar en el interior de un iglú el calor lo proporciona por un lado las lámparas de aceite de ballena utilizadas y por otro el calor corporal de las personas que lo ocupan, en torno a 108 W por persona en posición sentada y en reposo. Como ya se indicó anteriormente (véase apartado 3.3.1 Ártico), un iglú con cuatro personas y dos lámparas de aceite puede llegar a tener una temperatura interior de hasta 5 °C, con temperatura en el exterior de -40 °C.



**Figura 212:** Familia esquimal en el interior de un iglú

**Fuente:** Pelly (anónimo) 2012

### **b. Presencia de ganado en el interior de la vivienda**

En el clima de alta montaña, se utilizan diferentes soluciones donde se aprovecha el calor de los animales durante el invierno para calentar el interior de las edificaciones. En unos casos las casas se construyen en altura (dos o tres plantas) donde el ganado se dispone en planta baja y la vivienda en planta superior, separadas por un delgado entrepiso de tablas que permite aprovechar el calor de los animales (Figura 213).

En otros casos como ya se analizó anteriormente (véase pág. 42, vivienda y lechería en los Alpes), en el edificio se combina vivienda, taller y establo bajo un mismo techo. De este modo, los animales se encuentran protegidos, desprendiendo calor adicional a las habitaciones situadas en la parte central del edificio.

Soluciones similares donde los animales se aprovechan como recurso energético, las encontramos también en otros climas como el continental, marítimo y mediterráneo.



**Figura 213:** Edificio de dos plantas. Establo en planta baja y vivienda en planta primera

**Fuente:** [http://www.truchillas.com/cabreravillar\\_del\\_monte.htm](http://www.truchillas.com/cabreravillar_del_monte.htm)

### **c. Instalación de hogar**

En el clima ártico, como ya estudiamos anteriormente, la yurta es un ejemplo de vivienda transportable que dispone de hogar, situado en la zona central garantiza la perfecta distribución del calor.



**Figura 214:** Interior de una yurta con hogar en la zona central  
**Fuente:** Gutiérrez 2011

En otros climas como la alta montaña, continental, marítimo o mediterráneo existen soluciones adaptadas a cada tipología constructiva que garantizan el aporte energético necesario para alcanzar el confort en el interior de las edificaciones, utilizándose en muchos casos esta fuente de calor también para cocinar.

Clima continental



Clima mediterráneo



**Figura 215:** (1) Horno ruso. Vivienda campesina "Izba". (2) Cocina (casa-cueva). Isla de Santorini  
**Fuente:** (1) Zelenko 2007. (2) Neila 2011



#### d. Efecto invernadero

En el clima marítimo es habitual encontrar edificaciones con paramentos de vidrio tras los cuales se encuentran las fachadas, que utilizan el “**efecto invernadero**”. Esta solución constructiva estudiada anteriormente por su importancia en otros apartados (véase pág. 63 y 174) crea espacios intermedios entre los paramentos de vidrio exteriores y las fachadas de los edificios, ayudando a climatizar los espacios interiores solo controlando la incidencia de la radiación.

#### 3.4.14 Forma adaptada al terreno

La arquitectura tradicional se caracteriza por la adaptación al medio y al terreno concreto en el que se construye. La búsqueda de la mejor adecuación posible al medio físico a partir de los materiales locales y según técnicas constructivas preindustriales, definen unas tipologías y modelos arquitectónicos estrechamente vinculados al entorno natural.

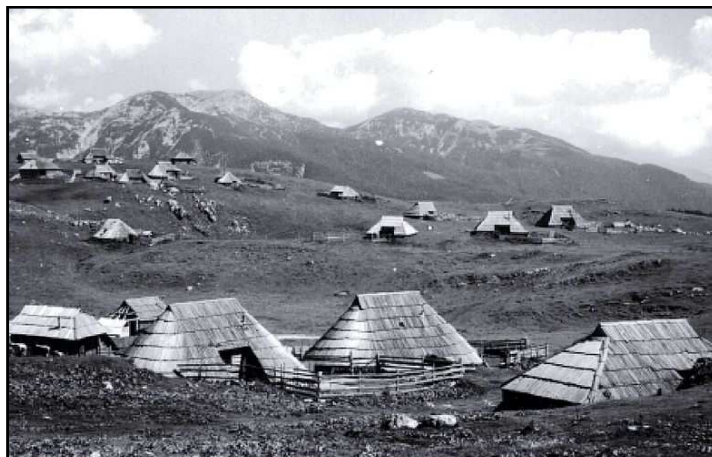
Dentro de este apartado se recogen algunos ejemplos de edificaciones y soluciones constructivas que responden a la forma y a los condicionantes del terreno.

##### a. Viviendas elevadas o adaptadas al terreno

La alta montaña se caracteriza por las abundantes precipitaciones. En primavera y en verano suelen ser en forma de agua y en invierno en forma de nieve. En muchos casos las viviendas tienen una escalera exterior que asegura la entrada y salida de la misma cuando se producen fuertes nevadas.

En las montañas al producirse duras condiciones climáticas, las viviendas tienen que adaptarse y no pueden oponerse a la naturaleza. Las casas tienen que elevarse para impedir la entrada de humedad o adaptarse al terreno para protegerse de los fuertes vientos, siendo la cubierta en muchos casos la mayor parte de la edificación (Figura 216).





**Figura 216:** Viviendas en Velika Planina (Eslovenia). Alpes de Kamnik  
**Fuente:** Kopač 1984

#### **b. Viviendas enterradas o excavadas en laderas**

Según se ha analizado anteriormente (véase pág. 237), en el clima continental y mediterráneo encontramos edificaciones que son un claro ejemplo de adaptación al terreno, ya que están construidas en el interior de las montañas o del suelo, utilizando cavidades en unos casos naturales y en otros creándolas. En ambos casos, como ya se ha estudiado, las grandes masas de tierra actúan como sistema de cerramiento de gran inercia térmica, garantizando unas condiciones adecuadas de confort en el interior de las viviendas.



**Figura 217:** Viviendas excavadas. Capadocia (Turquía)  
**Fuente:** <http://www.stare1.com/tuerkei.htm>

### c. Vivienda con estructura de madera adaptada a los temblores de tierra

Dentro del clima subtropical existe un caso particular de adaptación al terreno, la casa japonesa, por un lado se encuentran ligeramente levantada del suelo para permitir que circule el aire en torno y por debajo de la zona habitada ya que la superficie de la tierra suele estar húmeda y, para mantener seca la cámara, debe ventilarse. Por otro lado, la estructura de madera tiene que estar adaptada a los temblores de tierra, fenómeno frecuente en Japón.



**Figura 218:** Casa japonesa separada del suelo

**Fuente:** <http://www.sugoi.com.ar/2006/10/30/la-arquitectura-tradicional-japonesa/>

### d. Elevación de las construcciones con relación al suelo para evitar inundaciones

Dentro del clima tropical muchas regiones están afectadas por las grandes crecidas que sufren los ríos en época de lluvias, por este motivo, para evitar inundaciones provocadas por el crecimiento del agua, las construcciones se encuentran elevadas. En unos casos se elevan del terreno y en otros del agua (véase pág. 188).



### 3.4.15 Forma integrada en una estructura urbana singular

En el clima de la estepa y en el desierto encontramos poblaciones que presentan una estructura urbana singular con calles estrechas y trazado irregular, lo que facilita que las viviendas se produzcan sombra entre sí, reduciendo el impacto de la radiación solar y su calentamiento, y ofreciendo protección contra las tormentas de arena.

El clima mediterráneo caracterizado por el intenso calor durante los meses de verano utiliza también esta estrategia bioclimática en muchos casos.

Las calles se encuentran autosombreadas por los propios edificios que las conforman, proporcionando un microclima fresco. Como consecuencia la iluminación natural es menor durante el día y en muchos casos el trazado irregular de las calles dificulta la circulación del aire reduciendo la ventilación.

### 3.4.16 Aprovechamiento de energías renovables

Esta estrategia bioclimática incluye las soluciones constructivas ya analizadas anteriormente al estudiar la **captación solar** (véase pág. 172), ya que el aprovechamiento de la energía solar es una de las fuentes de energía renovables.

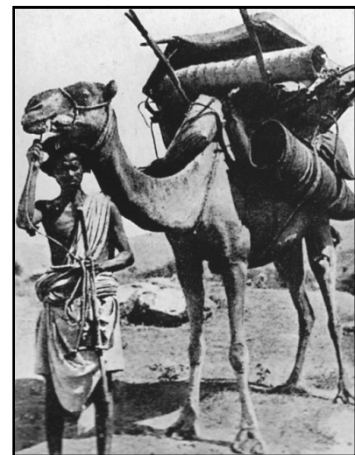
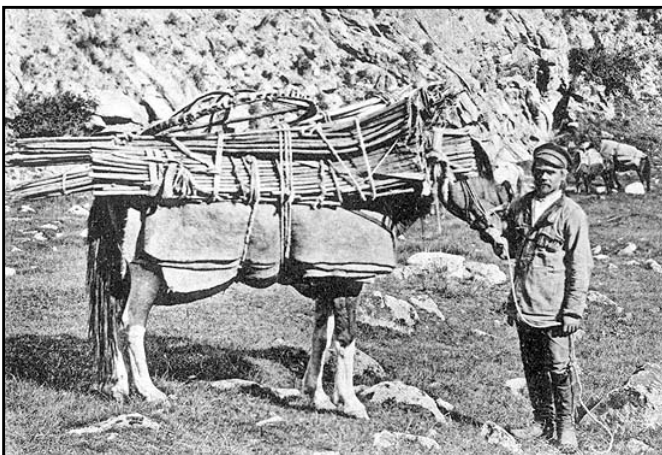
Este apartado incluye también los diferentes ejemplos de sistemas de ventilación y torres de aireación que podemos encontrar en países como Irak, Irán o Egipto, estudiados anteriormente por su importancia dentro de la estrategia bioclimática **ventilación cruzada/autoventilación** (véase los apartados “viviendas que disponen de conductos de ventilación empotrados” pág. 217 y “torres eólicas” pág. 218), donde se aprovecha la energía eólica como fuente de energía renovable, obtenida del viento.

### 3.4.17 Transportabilidad

Dentro de la arquitectura tradicional podemos encontrar dos ejemplos muy representativos de vivienda transportable, la yurta utilizada a lo largo del recorrido que hay entre Irán y Mongolia, atravesando Asia Central y la tienda de los pueblos nómadas del desierto.

Tradicionalmente el desmontaje de la yurta lo hacen la mujeres, mientras que los hombres ayudan a cargar el material en un camello, jack o en un caballo. Toda la yurta incluidos sus marcos de madera, ocupan un volumen muy reducido al desmontarla, de forma que se puede cargar en un único animal. El “*tündük*” la corona de madera de la estructura, siempre se carga en la parte superior.

Con relación a la tienda de los pueblos nómadas del desierto, como ejemplo, una familia tuareg puede llevar todo su hogar y sus enseres sobre dos camellos cuya capacidad de carga es aproximadamente de 700 Kg.



**Figura 219:** (1) Transporte de yurta sobre un caballo. (2) Transporte de tienda tuareg sobre un camello

**Fuente:** (1) Köçümkulkızı y Waugh 2001. (2) Behling y Schindler 2002

## ***CAPÍTULO IV - ARQUITECTURA SOSTENIBLE***





## CAPÍTULO IV - ARQUITECTURA SOSTENIBLE

### 4.1 Introducción

A lo largo del capítulo III se han estudiado y analizado las tipologías constructivas más representativas de la arquitectura tradicional, dentro de cada una de las zonas climáticas de la tierra.

Se han definido las estrategias bioclimáticas utilizadas en los edificios a partir de diferentes soluciones constructivas tradicionales adaptadas al lugar, al clima y a la materia prima predominante.

Todos los ejemplos estudiados y analizados son el fruto de un lento proceso de ajuste que se ha desarrollado durante siglos dentro de la arquitectura tradicional, destinados a la creación de condiciones de confort ambiental, utilizando del mejor modo los recursos locales. En algunos casos se han alcanzado resultados sorprendentes que unen un extremado refinamiento arquitectónico a un sofisticado uso de los materiales y principios físicos.

Este patrimonio que hemos heredado de la arquitectura tradicional representa una fuente inagotable de información y un claro ejemplo de sostenibilidad, y debemos contar con ella en la actualidad para poder desarrollar una arquitectura cuyo fundamento sea la sostenibilidad, ya que la estabilidad del planeta que nos sustenta no va a mantenernos de forma indefinida.

Dentro de este capítulo se analizará de qué forma se tienen en cuenta las aportaciones que ofrece la arquitectura tradicional, ya sea en el diseño, forma, materiales o proceso constructivo, utilizando los medios y las técnicas de las que disponemos hoy en día y donde comprobaremos las interpretaciones contemporáneas de estas construcciones espontáneas.



## 4.2 El impacto ambiental en la actualidad. El cambio climático

El hombre habita desde hace 3 millones de años en un planeta que se formó hace unos 4.550 millones de años. Desde ese momento ha vivido en unión y armonía con la naturaleza, y al mismo tiempo se ha servido de ella.

“La evolución del hombre se ha realizado gracias a su extraordinaria capacidad de adaptación al medio, que ha exigido una estrecha relación con los elementos naturales de la tierra, el agua y el aire” (González, 2004).

Sin embargo, en los últimos cien años esa antigua relación de respeto del hombre con su planeta ha desembocado en otra, mucho más dura, que parece ignorar sus leyes de funcionamiento. El hombre vive de espaldas a la naturaleza, como consecuencia se han producido daños ambientales importantes, resultado de actos de continua agresividad y de irresponsabilidad.

Los daños ambientales más populares y conocidos son los relacionados con la contaminación atmosférica y las emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), el principal gas causante del efecto invernadero (Green houses gases, GHGs<sup>11</sup>). El 50% del calentamiento global resulta del empleo de combustibles fósiles en los edificios y el 50 % restante se genera en el transporte de personas y mercancías a esos edificios, siendo las ciudades responsables del 75-80% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> que produce el hombre, y constituye la principal causa del calentamiento global.

Actualmente los debates se centran en el alcance del calentamiento; los cálculos varían desde 1,5 °C a 4° C en 100 años. Considerando la vida útil de los edificios (normalmente de 50 a 150 años), resulta evidente que muchos de los edificios que se diseñan hoy tendrán que soportar condiciones de temperatura muy distintas en el futuro (Edwards & Hyett, 2004).

---

<sup>11</sup> Los principales gases implicados en el efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) y los gases fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).





Otros de los daños importantes son los producidos por el aumento del agujero en la capa de ozono de la atmósfera, la desertización, la deforestación, el agotamiento de las fuentes energéticas etc.

Fue en la década del 60, cuando el problema ambiental de la sociedad industrial alcanzó un relieve mundial y despertó por primera vez el interés común. En 1972 el Club de Roma publicaba el informe **“Los límites del crecimiento”** y desde entonces para muchas personas en todo el mundo, ya no fue posible pensar en el desarrollo económico sin tener en cuenta la afectación de los recursos naturales.

Más tarde, en 1987 desde el Club de Roma, a través del llamado Informe Brundlandt, cuyo auténtico título fue **“Nuestro futuro común”**, se produce un primer acuerdo mundial sobre la concepción contemporánea del problema ambiental, con la incorporación del concepto de sostenibilidad en muchas disciplinas, entre ellas la arquitectura.

Posteriormente comenzaron a tomarse medidas concretas, y en la Cumbre de la Tierra de Rio de Janeiro de 1992 y en Johannesburgo de 2002, difundieron el acuerdo a escala global gracias al aporte de decenas de gobiernos, centenares de organizaciones y miles de personas participando en diferentes actividades. La toma de conciencia de la gravedad del problema ambiental mundial implicaba un antes y un después.

El concepto de sostenibilidad, da origen a lo que podría llamarse arquitectura sostenible y fue Gro Harlem Brundtland quien definió por primera vez este concepto en 1987. El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias. Pretende una mejor calidad de vida para todos y busca el desarrollo tecnológico respetando los recursos.

La arquitectura se materializa a través de la construcción que, al igual que otras industrias, se basa en el modelo productivo dominante cuyo origen se remonta a la revolución industrial. Hasta ese momento la sociedad se caracterizaba por un uso de los recursos que no sobrepasaba la capacidad de la naturaleza para producirlos. El hombre no tenía capacidad de producir un daño ambiental a escala global.

El cambio comenzó a producirse con la disposición indiscriminada de fuentes de energía que permitieron acceder a los recursos minerales como nunca antes se había hecho. Se produjo un crecimiento ilimitado en el consumo de recursos y en la generación de residuos.

El modelo productivo dominante, ya mencionado anteriormente caracteriza a la producción de la arquitectura que puede sintetizarse en la secuencia lineal **extracción-fabricación-residuo**.

Todo producto está diseñado para convertirse finalmente en un residuo, de este modo un edificio cuya duración es temporal acaba convirtiéndose finalmente en un residuo. Esta conversión de recursos en desperdicios implica una disminución, de lo único verdaderamente valioso: el stock de capital natural con el que cuenta nuestro planeta.

Las principales causas del impacto ambiental de la arquitectura se encuentran en el consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes, ambos de aumento acelerado. Su principal efecto es la destrucción del stock del capital natural.



**Figura 220:** Extracción de materia primas. Recursos no renovables

**Fuente:** Icarito 2012

La construcción está directa o indirectamente implicada en la tala de los bosques nativos, el agotamiento de los combustibles fósiles, la disminución de las reservas de



agua dulce, los residuos sólidos o la contaminación de la atmósfera a través de la emisión de gases como el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, los óxidos de nitrógeno NOX y los óxidos de azufre SOX que se traducen en el efecto invernadero, la lluvia ácida y la destrucción de la capa de ozono, como ya se ha comentado anteriormente.

Teniendo en cuenta que el modelo energético que tenemos no es sostenible, por el uso de recursos no renovables y por el impacto ambiental que genera. La duración estimada de los principales combustibles fósiles es la siguiente:

#### **Reservas mundiales de combustibles fósiles**

Petróleo	50 años
Gas natural	60 años
Carbón	300 años
Uranio	60 años

**Fuente:** Ribera 1999. Programa ambiental  
Instituto Politécnico Nacional (México)

Los edificios suponen una parte importante de la energía que consume la sociedad, utilizada principalmente en la fabricación de los materiales de construcción y en mantener las condiciones de habitabilidad deseadas de los edificios. La utilización de la energía es uno de los indicadores más difundidos y aceptados como unidad de medida global del impacto ambiental de la edificación, ya que expresa la potencia y el trabajo empleados así como un consumo de recursos no renovables y una liberación de emisiones contaminantes. Tal consumo de energía producida mayoritariamente al quemar combustibles fósiles, es responsable de una parte importante de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Reyes, Baraona, & Pirillo, 2007).

Los edificios tienen un efecto ecológico que, conforme ha ido aumentando en las últimas décadas el consumo de materiales y el uso de la energía en ellos, se ha ido agrandando. A este efecto ecológico hay que añadir el aumento de la presencia humana en los ecosistemas. En particular el medio edificado urbano y el industrial son los sistemas más intensivos que ha creado la humanidad, ya que consumen porciones



sustanciales de recursos de la Tierra (incluyendo espacio) para su construcción y funcionamiento, y también contribuyen en una importante medida en los residuos que se introducen en la biosfera.

Dado que la extracción y la elaboración de todos los recursos materiales y energéticos utilizados en el medio edificado producen cambios en los ecosistemas, el proyectista ha de ser consciente del alcance de dichos recursos ya que su uso conlleva alteraciones importantes.

“El proyecto del medio edificado puede ser concebido como una forma de gestión de los recursos energéticos y materiales” (Yeang, 1999).

En el planteamiento ecológico, cualquier edificio incluido dentro del ecosistema representa una fase transitoria, en la que el hombre reúne una cantidad de energía y materiales de uso predeterminado sobre ese ecosistema. Cuando la vida útil del edificio llega a su fin, es frecuente que los materiales se retiren o eliminen en otro lugar, o bien que se proceda a su reutilización.

Se puede establecer que para valorar las implicaciones ecológicas de cualquier proyecto, el proyectista ha de analizar el medio edificado en función de sus flujos de materia y energía a través de su ciclo de vida, desde sus fuentes de origen hasta sus lugares de vertido o evacuación. En fase de proyecto, el proyectista ha de prever simultáneamente todos los impactos indeseables sobre el ecosistema. Algunos de ellos pueden ser controlados parcialmente gracias a la innovación en el diseño de productos, soluciones constructivas, edificios o urbanizaciones. El rumbo puede ser corregido y en ello los grandes acuerdos globales alcanzados por la sociedad juegan un gran papel.

Hace algunos años la capa de ozono, el estrato de la atmósfera que retiene parcialmente la radiación ultravioleta del sol evitando que sus efectos nocivos lleguen a la superficie del planeta, estaba siendo atacada por los gases CFC (clorofluorocarbonos) y HCFC (hidroclorofluorocarburos) que formaban parte de ciertos líquidos refrigerantes, agentes extintores y propelentes utilizados en ciertos materiales de aislamiento térmico e instalaciones de aire acondicionado. La puesta en marcha del Protocolo de Montreal



(1987) impulsó la sustitución masiva de este tipo de gases, reduciendo drásticamente su liberación a la atmósfera.

Si bien la labor del Protocolo de Montreal aún no ha finalizado y queda mucho por conseguir antes de que podamos asegurar la protección de la capa de ozono para las generaciones presentes y futuras, se ha logrado mucho en todo este tiempo desde su firma en 1987 (PNUMA, 2007):

Desde el punto de vista de cooperación, más de 190 países y la Comunidad Europea han ratificado el Protocolo.

A partir del 2005 se ha eliminado la producción y el consumo de más del 95% de los productos químicos controlados con arreglo al Protocolo. Se estima que con la aplicación de las disposiciones vigentes la capa de ozono deberá volver a su estado anterior a 1986, entre 2050 y 2075.

Los países en desarrollo han eliminado de forma permanente desde 2005 más de 190.000 toneladas de sustancias que dañan el ozono, utilizadas para la producción de diferentes productos.

El Protocolo también ha proporcionado importantes beneficios al clima. Debido a que las sustancias que dañan el ozono también son gases que contribuyen al calentamiento global, la reducción de esas sustancias entre 1990, cuando alcanzaron niveles máximos, y el año 2.000 ha dado lugar a una reducción aproximada de 25.000 millones de toneladas de gases de efecto invernadero.

Estas importantes reducciones hacen que el Protocolo de Montreal figure entre los principales contribuyentes mundiales en la lucha contra el calentamiento global.

En la actualidad, el mayor desafío ambiental que ha propuesto la civilización, a través del Protocolo de Kioto (1997), es la limitación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero para intentar frenar el cambio climático que se está produciendo a partir del aumento global de la temperatura en la superficie de la tierra. Este problema es de gran complejidad ya que afecta también al uso de la energía en

todas las etapas de la vida útil del edificio, aunque se espera que los alcances de este gran acuerdo modifiquen de forma radical la forma en que son concebidos y producidos.



**Figura 221:** Emisiones de CO<sub>2</sub>. El cambio climático

**Fuente:** [http://cambioclimaticoenlosandes.blogspot.com.es/2011\\_05\\_01\\_archive.html](http://cambioclimaticoenlosandes.blogspot.com.es/2011_05_01_archive.html)

La huella ecológica de los edificios debe reducirse y ello supone un reto importante para la arquitectura cuya propuesta de construir de forma menos dañina para el medio es de aplicación a toda clase de edificios, ya que se trata de una forma de afrontar el diseño, una metodología que no destruye, sino que mejora, la forma convencional de diseñar.

Tradicionalmente se ha construido para un clima, un lugar, un entorno y con los materiales del lugar. Posteriormente esta adaptación al medio se ha perdido a consecuencia de la industrialización, pero la nueva conciencia de respeto al medio ambiente la está recuperando. Aunque ello exige la eliminación de algunas barreras, como considerar que una arquitectura sensible con el entorno sólo puede realizarse en edificios pequeños, o en condiciones aisladas. Al tratarse de una metodología, cualquier edificio, independientemente de su forma, escala, uso o ubicación, es susceptible de adoptar los mejores criterios de consideración al medio y en este sentido la arquitectura sostenible tiene un papel primordial.



### 4.3 Características de la arquitectura sostenible

La evolución de la sociedad y la industrialización, han dado como resultado estilos arquitectónicos que tienen como base el uso de materiales no sostenibles y dañinos para el medio ambiente. La arquitectura sostenible propone una vuelta al origen y a los materiales nobles propios de cada región. Supone una nueva mentalidad respecto a la forma de construir, de habitar, o de organizar el espacio diario. Ante este hecho arquitectónico se abren dos alternativas según se tenga en cuenta o no la cuestión ambiental:

“Destruimos los recursos naturales actuales hipotecando nuestro futuro o buscamos los procedimientos para ajustar los diversos aspectos de la construcción tratando de preservarlos de tal forma que dejemos a quienes nos sucedan un entorno igual o mejor que el que en estos momentos estamos disfrutando” (Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, 2005).

Valorando las consecuencias y el resultado final de ambas alternativas es indiscutible que debemos orientar la arquitectura hacia el camino de la sostenibilidad.

“Los arquitectos deben de respetar y conservar los sistemas de valores y el patrimonio natural y cultural de la comunidad en la que desarrollan su trabajo. Deben tratar de mejorar el medio ambiente, la calidad de vida y el hábitat de la comunidad de una forma sostenible, siendo plenamente conscientes del efecto de su trabajo” (Edwards & Hyett, 2004).

La sostenibilidad tiene una dimensión social y estética. La función de la tecnología es servir de puente entre ambas, compaginando mejora social y armonía ecológica. De este acuerdo surge un nuevo orden arquitectónico, con nuevas tipologías para todo tipo de edificios y nuevas tecnologías para equiparlos.

La arquitectura sostenible plantea a los arquitectos cuestiones como la reutilización y el reciclaje, la importancia de tener en cuenta tanto el origen como la manipulación de los materiales, el ahorro de agua y la salud de los trabajadores de la construcción y los usuarios del edificio. Esta nueva aproximación requiere tecnologías



innovadoras, provengan éstas de otras industrias, de tecnologías alternativas, o tecnologías en desuso recuperadas por la nueva demanda de sostenibilidad, u otras tecnologías todavía por desarrollar.

La arquitectura sostenible tiene en cuenta el impacto que va a tener un edificio durante todo su ciclo de vida, desde su construcción, pasando por su utilización y su demolición final.

Constituye un modo de concebir el diseño arquitectónico aprovechando los recursos naturales con el menor impacto posible, desde los procesos de extracción y fabricación de los materiales, las técnicas de construcción, la ubicación del proyecto y su impacto con el entorno, el consumo de energía y el reciclado de los materiales cuando la construcción ha cumplido su objetivo y se procede a su demolición.

La arquitectura sostenible tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Conocimiento de las condiciones climáticas locales para obtener el máximo rendimiento, con el menor impacto posible.
- La eficacia y moderación en el uso de materiales ecológicos, reciclables o multifuncionales, utilizando aquellos que favorezcan el ahorro de materias primas y de menor contenido energético.
- Reducir al máximo el consumo de energía en los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación de las edificaciones, tratando de suplir esta demanda con recursos o fuentes de energía renovables.
- La minimización del balance energético global de la edificación, que incluye las fases de diseño, construcción, utilización y final de su vida útil, teniendo en cuenta el reciclaje y la reutilización de los residuos.
- Cumplir los requisitos de comodidad, sanidad y habitabilidad de las edificaciones, aumentando la calidad de vida de sus ocupantes.





Para poder desarrollar estos aspectos que definen a la arquitectura sostenible necesitamos una sociedad preparada para comprender este nuevo programa de actuación. Necesitamos arquitectos, ingenieros y constructores capaces de crear productos sociales útiles (edificios) utilizando un mínimo de recursos, de modo que las generaciones futuras, como ya se ha comentado anteriormente, no hereden un legado hipotecado. Para conseguirlo, es necesario un nuevo enfoque educativo en el ámbito de la construcción, y que la sociedad adopte nuevos valores. También es preciso reconocer que la sociedad es, además, un recurso y que el buen diseño de las ciudades ayuda a generar cohesión social (Edwards & Hyett, 2004).

El concepto de sostenibilidad vincula el valor cultural y el valor social con el buen **diseño constructivo**, este último es el que analizaremos dentro de este capítulo.

#### 4.3.1 Criterios generales de sostenibilidad

La introducción de criterios de sostenibilidad en la edificación implica la necesidad de alcanzar un equilibrio entre economía, sociedad y medio ambiente, debiendo ser asumido desde la responsabilidad compartida de los agentes que intervienen en el proceso de planeamiento, edificación y construcción.

De este modo se podrá incidir eficazmente y obtener resultados tangibles y satisfactorios para todos los actores implicados y para los usuarios y destinatarios finales, desde el punto de vista social de su grado de bienestar.

La arquitectura sostenible propone la aplicación de seis criterios generales para alcanzar la sostenibilidad en los proyectos arquitectónicos:

1. Conocimiento del lugar donde se desarrolla el proyecto.
2. Ahorro de energía.
3. Optimizar y reducir el consumo de agua.
4. Minimizar el impacto de los materiales de construcción.
5. Reducir y gestionar los residuos.
6. Control del confort interior del edificio.



## 1. Conocimiento del lugar donde se desarrolla el proyecto

Es necesario fomentar el uso racional del suelo para edificar y el espacio destinado para los medios de transporte, ya que ambos aspectos (edificación y transporte) impactan al medio ambiente. Hay que considerar los ciclos de vida de los edificios y las construcciones relacionadas con el transporte, para mejorar las condiciones y evitar el uso inapropiado del suelo y del espacio. En relación con el transporte, es necesario incentivar el transporte público de la localidad (Hernández & Delgado, 2010).

El uso del suelo comienza con la elección del lugar donde vamos a edificar, teniendo en cuenta el planeamiento urbano y las infraestructuras existentes. Los edificios deben ubicarse según el tipo y uso al que vayan destinados, teniendo en cuenta las vías de comunicación, así como la accesibilidad y el tráfico que se pueda originar.

El transporte público reduce el tráfico y ayuda en el ahorro de combustible, disminuyendo el impacto ambiental originado por la contaminación de los vehículos. Es fundamental considerar la relación que tiene el uso del suelo con los medios de transporte. Prever correctamente la localización del lugar es determinante para el impacto ambiental del edificio y su diseño arquitectónico sostenible.

El uso y distribución del suelo debe permitir que el ser humano pueda realizar todas sus necesidades de habitabilidad respetando el medio ambiente, teniendo en cuenta que los recursos que le rodean en su mayoría son limitados, por tanto el espacio del suelo destinado a la edificación debe de ser racional respecto al espacio destinado a los medios de transporte.

Cuando se puede influir sobre el desarrollo y distribución del suelo, hay una buena oportunidad para crear mejores servicios de transporte, respetando además el uso del suelo. Es importante saber que nuestras decisiones dependen de los planes de desarrollo urbano vigentes, pero podemos establecer una balanza entre lo que vamos a construir y el impacto que esto genera.



**Figura 222:** Desarrollo de una ciudad sostenible

**Fuente:** Revista digital apuntes de arquitectura nº 20, octubre 2010. Mirando al futuro

Generalmente, diseñamos en lugares ya establecidos, donde tenemos la oportunidad de aplicar el diseño sostenible en nuestras edificaciones (con relación al transporte), de dos maneras:

1. Facilitando formas de transporte alternativo, como la creación de andenes para bicicletas, regulando el tránsito del transporte público, tráfico ligero y pesado, creando viales de fácil acceso, promoviendo así la adecuada planificación del transporte con relación a las edificaciones.
2. Definiendo las zonas donde los vehículos tienen que estacionar, tanto en horas de servicio como en horas de descanso.

Todo ello, se puede estudiar y planificar con la ayuda de especialistas en infraestructuras de transporte.

En muchos casos el lugar destinado a aparcamientos puede ocupar más espacio que los edificios, sobre todo en edificios públicos. Cualquier alternativa que pueda reducir este espacio destinado a aparcamientos, permite aumentar los espacios destinados a esparcimiento, zonas verdes, etc., lo cual beneficia al medio ambiente, reduciendo también el calentamiento del ambiente urbano (Hernández, 2001 citado en Hernández & Delgado, 2010), debido principalmente a que en los aparcamientos, los pavimentos



acumulan calor. Otra de las ventajas es que se mejora la calidad del aire debido al aumento de la superficie destinada a zonas verdes.

La correcta ubicación de un edificio en un lugar determinado puede aportar beneficios si se desarrolla un buen diseño aprovechando la luz solar, el agua, los vientos dominantes y la propia topografía. Un buen aprovechamiento del lugar puede permitir conservar la vegetación existente y por lo tanto ahorrar en jardinería y en mantenimiento. La conservación de la vegetación mejora el confort en el interior del edificio, ya que en muchos casos se puede reducir el consumo de la energía utilizada en aire acondicionado en lugares cálidos y semi-templados, debido a los microclimas que se pueden crear.

La elección del lugar debe ser considerada como parte inicial del proceso general de diseño y construcción del edificio, particularmente en lo relacionado al diseño bioclimático, en temas como la ventilación e iluminación natural, captación solar y del agua de lluvia, evitar el uso excesivo de sistemas artificiales de acondicionamiento del aire en los diferentes espacios del edificio, calentamiento del agua, etc.

La evaluación del terreno o lugar donde se ubicará el edificio se debe de realizar por objetivos, a través de estudios de geología, topografía, orientación y aspectos del tipo de suelo, hidrología, vegetación y vida silvestre.

Finalmente para terminar el estudio de este primer criterio general de sostenibilidad, indicar que los proyectistas tienen la responsabilidad de seleccionar además del terreno, la adaptación sostenible del entorno y los recursos que nos van a ayudar en la construcción, uso y mantenimiento de los edificios.

## 2. Ahorro de energía

“Para avanzar hacia una construcción sostenible en el uso de la energía, hace falta una gestión inteligente de los recursos disponibles para la construcción, el uso y el reciclaje de los edificios y el territorio” (Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, 2005).



El consumo de combustibles fósiles en los edificios representa aproximadamente la mitad de la energía que se consume en todo el mundo. La calefacción, iluminación y ventilación de los edificios se basa en la combustión de petróleo, gas o carbón en el edificio o en una central generadora. El problema principal reside en la relación entre el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub>, no en la energía en sí. Si la sociedad tuviera la capacidad de generar toda la energía necesaria a partir de fuentes renovables, no habría ningún conflicto.

Existen varios acuerdos intergubernamentales para limitar la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992) y el Protocolo de Kioto (1997) como ya se ha comentado anteriormente, la Conferencia de la Haya (2000) y, más recientemente la Conferencia de Copenhague (2009) sobre el cambio climático han intentado alcanzar un consenso internacional sobre el tema. Uno de los principios establecidos en Kioto fue el canje de emisiones, que permite a una nación rica comprar las emisiones de CO<sub>2</sub> de una nación pobre, lo que ha permitido a EE. UU. comprar las emisiones admisibles a la antigua Unión Soviética, de forma que la contaminación actual de EE. UU. es dos veces superior a la media europea y unas veinte veces mayor que la media mundial. Las emisiones medias de CO<sub>2</sub> por persona cada año son:

EE.UU.	6 toneladas
Europa	3 toneladas
Japón	2,5 toneladas
Rusia	2 toneladas
India	0,25 toneladas
China	0,65 toneladas

(Fuente: Edwards y Hyett 2004)

“Los ricos destrozan el medio ambiente con su dispendio de energía. Al mismo tiempo los pobres sufren un incremento en la escasez de energía por el uso de tecnología extremadamente ineficaz. Un radical aumento de la eficiencia energética y una concentración en la aplicación de energías renovables podría ofrecer el deseado nivel de



vida a todos los seres humanos de este planeta” (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

A escala mundial está previsto que la demanda energética mundial aumente más del 50 % en los próximos 25 años, según el Instituto Internacional de la Energía. En gran parte esta demanda es y será satisfecha por las fuentes de energía convencionales predominantes: carbón, gas natural y petróleo, con las conocidas consecuencias medioambientales.

Así que es imprescindible que en los países más desarrollados consigamos controlar nuestro consumo energético, tanto para liderar la transición hacia un desarrollo más sostenible y una economía solar, como para dejar un margen de maniobra para los sistemas climáticos dado el crecimiento previsto en los países en vías de desarrollo.

Para poder reducir los niveles de las emisiones de CO<sub>2</sub> existen tres opciones: la energía nuclear, la transformación del carbono y la energía renovable.

La energía nuclear se promovió en un principio como fuente limpia de energía, pero presenta problemas medioambientales específicos.

La transformación del carbono es una manera útil de analizar la relación entre el desarrollo y la capacidad de carga del suelo que lo acoge. El método consiste en aprovechar la capacidad de los árboles y los bosques para convertir el CO<sub>2</sub> de nuevo en oxígeno (a través de la fotosíntesis). Todo depende, sin embargo, del tamaño y del tipo de árbol y de la eficiencia energética del elemento productor de CO<sub>2</sub>. En muchos países la producción nacional de CO<sub>2</sub> es tan elevada que es imposible que se pueda compensar incluso con superficies muy extensas de arbolado. Esto indica la gravedad del problema en el ámbito mundial.

La energía renovable, sin embargo, ofrece un gran potencial, ya que puede sustituir a los combustibles fósiles en la calefacción, refrigeración o ventilación de los edificios. Las principales fuentes de energía renovable en arquitectura son la energía solar, eólica y geotérmica; sin embargo, el fácil acceso a los combustibles fósiles ha



desincentivado un mayor desarrollo de la energía renovable en el ámbito de la arquitectura y el urbanismo.

Hasta hace poco, la existencia de reservas relativamente aseguradas a largo plazo (entre 40 y 200 años, dependiendo del tipo de combustible fósil), impuestos bajos y un coste asequible había sembrado el interés entre clientes y promotores. La amenaza del calentamiento global ha desplazado actualmente la atención hacia las fuentes de energía renovable, baratas, infraexplotadas y accesibles.

Los nuevos objetivos para limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> que se acordaron en la Conferencia de Kioto (1997) y los incentivos que ha proporcionado la Unión Europea han contribuido a fomentar el interés en este tipo de energía. Por otro lado, los consumidores han empezado a relacionar el consumo de energía con una preocupación más amplia por un estilo de vida saludable que vincula la energía renovable con un bienestar tanto físico como psicológico (Edwards & Hyett, 2004).

Teóricamente, la energía renovable podría satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad, ya que el sol genera un flujo de energía muy superior al consumo humano. El problema reside en cómo distribuir, almacenar, transformar y utilizar esta energía solar de forma que sea útil para calentar edificios, impulsar maquinaria y realizar las innumerables tareas que hasta ahora se realizan mediante combustibles fósiles.

A la hora de redactar un proyecto es importante tener presentes las posibles fuentes de energía renovable. Como ejemplo, una colina orientada al sur, facilita una óptima explotación de la energía solar, y un lugar expuesto al viento ofrece la posibilidad de producir electricidad *in situ* mediante aerogeneradores. Después de seleccionar el lugar, otras decisiones tomadas en una fase inicial del proyecto pueden ayudar a obtener un mayor rendimiento de la energía renovable. La orientación, las características del edificio y la situación en el terreno permiten el aprovechamiento eficiente de la energía solar, eólica y de otras fuentes naturales.

Aunque existen muchas fuentes de energía renovable, en la presente tesis solo se incluyen aquellas que ofrecen mayor facilidad para su explotación.

## La energía solar

Comparadas con la fuerza natural del sol, el resto de fuentes de energía de las que disponemos en nuestro planeta son despreciables. No existe ninguna fuente de energía más importante que el sol. Desprende alrededor de dos trillones de veces más energía que el más potente reactor nuclear (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

La radiación solar es la base de la fotosíntesis y la principal fuente de energía renovable. La energía solar da vida a la vegetación que puede utilizarse como combustible directamente o extrayéndolo de cultivos energéticos como la colza. La energía solar procesada por las plantas es el fundamento de la vida animal y humana en la tierra. Todas las sustancias orgánicas pueden definirse como biomasa (productora de energía). Para un alto porcentaje de la población mundial, las plantas representan una fuente de energía importante. El portador de energía actual más importante de biomasa es la leña.

En general, la energía solar se utiliza de forma pasiva en los edificios para calentar, ventilar e iluminar espacios, también de forma activa para calentar agua en colectores dispuestos sobre la cubierta del edificio y para generar electricidad mediante células fotovoltaicas.



**Figura 223:** Placas solares sobre la cubierta de un edificio (Murcia)

**Fuente:** <http://www.solarsostenible.org/tag/murcia/>

En nuestro país, la región de Murcia es un buen ejemplo de aprovechamiento de la energía solar de forma activa, donde este tipo de energía ocupa un papel importante.





Esta región está actualmente en condiciones de liderar, con relación al autoconsumo eléctrico a partir del uso de la energía producida en instalaciones fotovoltaicas sobre cubiertas en viviendas, edificios comerciales, administraciones públicas y naves industriales entre otras posibilidades.

La explotación de la energía solar mediante paneles fotovoltaicos es cada vez más frecuente en edificios a medida que bajan los costes de la tecnología fotovoltaica y aumenta la confianza en su eficacia. El uso de esta tecnología aumenta un 10 % cada año en todo el mundo, mientras que los costes se reducían, inicialmente un 12 % y ahora aproximadamente un 4 % cada año.

Con relación a este tipo de instalación se han llevado a cabo numerosos proyectos modelo, como la *aldea de los atletas* de los Juegos Olímpicos de Sydney, que contaba con 665 casas calefactadas, iluminadas y ventiladas casi en su totalidad mediante electricidad generada por paneles fotovoltaicos situados en la cubierta.

La energía solar se utiliza también en la iluminación, y la mayoría de los diseñadores combinan el diseño solar pasivo con el aprovechamiento máximo de la luz solar. La iluminación artificial representa en muchos edificios un porcentaje elevado del consumo eléctrico. Así, el porcentaje de energía eléctrica dedicado a iluminación puede llegar a alcanzar en algunos casos más del 50% (Escan, S.A., 2006). La forma más económica de reducir la cantidad de energía destinada a la iluminación es aprovechar al máximo la luz solar.

Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
<b>Oficinas</b>	50 %
<b>Hospitales</b>	20-30 %
<b>Industria</b>	15 %
<b>Colegios</b>	10-15 %
<b>Comercios</b>	15-70 %
<b>Hoteles</b>	25-50 %
<b>Residencial</b>	10-15 %

Fuente: Escan, S.A. 2006

## La energía eólica

La energía eólica aprovecha el viento para generar electricidad en una gran variedad de localizaciones, desde la costa al interior, o en el propio edificio. La fuerza eólica gana popularidad dada su capacidad de generar energía con una fuente renovable. En todo el mundo se instalan cada año tantas turbinas eólicas que pueden llegar a generar hasta 4750 MW de energía eléctrica (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).



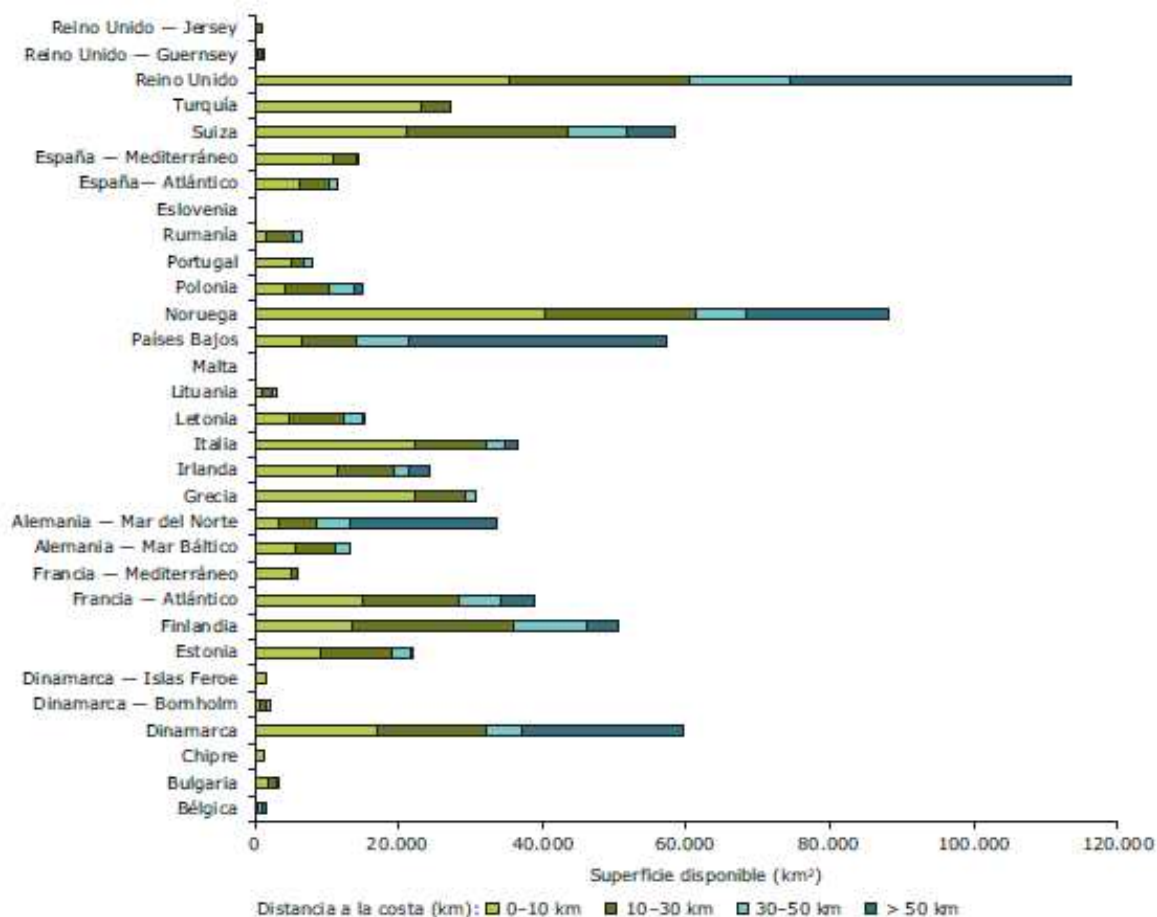
**Figura 224:** Proyecto de energía eólica. Mohave (Arizona)

**Fuente:** Thompson 2012

Los costes de instalación y mantenimiento han descendido tanto que su explotación local en las proximidades o en la cubierta del edificio es actualmente viable. Existen diversas tecnologías y nuevos diseños de bombas eólicas. Algunas instalaciones producen electricidad directamente, mientras que otras se utilizan para ventilar o para bombear agua. Las condiciones para la explotación de la energía eólica, comercialmente rentable en una amplia variedad de ubicaciones a nivel geográfico, son especialmente favorables en Reino Unido (Edwards & Hyett, 2004).

El Reino Unido (114.000 Km<sup>2</sup>) y Noruega (88.000 Km<sup>2</sup>) cuentan con el mayor porcentaje de zona marina disponible para la generación de energía eólica (AEMA, 2012). En el siguiente gráfico (Figura 225) se establece una relación entre potencial de

energía eólica y distancia a la costa, las zonas marinas se han dividido en categorías según su distancia a la costa. El potencial de cada categoría se muestra en el gráfico.



**Figura 225:** Superficie marina disponible para parques eólicos dentro de los límites jurisdiccionales nacionales

**Fuente:** AEMA 2012

Las fuentes de energía renovables, como la eólica y la solar, operan según un régimen de explotación similar. La electricidad generada puede venderse a la red nacional y ser adquirida más tarde, en caso de ausencia de viento. También puede utilizarse para proporcionar energía para la iluminación y los aparatos eléctricos (aunque se necesitan circuitos especiales). Normalmente las centrales eólicas suministran energía a las grandes redes de distribución, aunque también pueden alimentar a redes locales,



edificios individuales (una vivienda, un centro escolar, un supermercado, etc.) o comunidades.

La energía eólica es importante en lugares que carecen de combustibles fósiles (por ejemplo, en islas) o cuando el suministro eléctrico es intermitente. También es útil como complemento de la energía solar, si se tiene en cuenta que los días grises y de viento suelen producirse cuando no brilla el sol.

La combinación de generadores de electricidad mediante células fotovoltaicas y de aerogeneradores proporciona una autosuficiencia mucho mayor que la energía solar por sí sola. Sin embargo, al contrario que la energía solar, que alcanza su máxima producción cuando la demanda es más baja (en verano), la energía eólica está disponible sobre todo cuando la demanda es más alta (en invierno).

Las turbinas eólicas varían desde los pequeños aparatos domésticos que pueden producir 5 W a las grandes turbinas capaces de generar más de 1,5 MW. La mayoría de las turbinas comerciales tienen una capacidad de aproximadamente 400 Kw, y los parques eólicos tienden a funcionar de forma más eficaz con varias turbinas pequeñas (de 300 a 500 Kw) que con una o dos de mayor tamaño. Igual ocurre en los edificios, donde varias microturbinas son más eficaces que una única turbina grande. No obstante, en la actualidad algunas empresas han comenzado a realizar pruebas con grandes turbinas, como la multinacional Siemens que instaló en octubre de 2012 en Østerild (Dinamarca) su nueva turbina eólica de 6 MW, dotada con 154 m. de diámetro de rotor (Figura 226), que supone un paso trascendental en el desarrollo de tecnologías competitivas para los parques eólicos marinos del futuro (para los que ha sido diseñada). Se calcula que una vez instalada en dichos parques producirá 25.000 MWh al año, electricidad suficiente para abastecer a 6.000 hogares (Merino, 2012).



**Figura 226:** Aerogenerador para abastecer a 6.000 hogares  
**Fuente:** Merino 2012

### **Otras fuentes de energía renovable**

A parte de la energía solar y eólica, encontramos otras fuentes de energía renovable. La energía geotérmica es muy abundante, aunque no se utiliza con frecuencia en edificios. Se necesita realizar perforaciones muy profundas para poder llegar hasta la energía calorífica almacenada en los acuíferos geotérmicos (situados en profundidades hasta 2.000 m.) que, en el caso de las bombas geotérmicas de menor profundidad, han de penetrar 50 m. en el subsuelo.

La biomasa, procedente de cultivos específicos o de residuos (municipales, agrícolas o forestales), constituye también una fuente de energía renovable que se utiliza cada vez más. La producción de energía a partir de biomasa suele realizarse en centrales generadoras comunitarias o directamente en los edificios. La forma más simple de explotar los combustibles vegetales es a través de estufas de leña, aunque también se utilizan habitualmente en plantas locales de cogeneración de calor y electricidad, que aprovechan el calor residual que se produce al generar electricidad para abastecer una red urbana de calefacción, y con menor frecuencia, en unidades gasificadoras, que



aprovechan las altas temperaturas que produce la combustión del gas. La integración de los combustibles vegetales producidos localmente (como sauces provenientes de explotaciones forestales), las plantas de cogeneración de calor y electricidad y los edificios configura un sistema que no compromete el futuro del medio ambiente.

### 3. Optimizar y reducir el consumo de agua

“Si a lo largo de los tiempos en alguna actividad el hombre ha desplegado todo su ingenio esa ha sido el manejo del agua. Necesitándola tanto para vivir como para alimentarse, los primeros regadíos aparecen ya en las civilizaciones más antiguas” (Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, 2007).

La historia de la ingeniería del agua está estrechamente vinculada a las antiguas civilizaciones mediterráneas. Para la mayoría de ellas, el agua fue siempre un recurso escaso, principalmente, durante los periodos de sequia que sufrían con cierta regularidad. Esta escasez originó una cultura ligada al agua. Tanto para la propia alimentación humana, como para cultivar el forraje del ganado, la agricultura era del todo imprescindible, y el poder asegurar un suministro de agua exigía dedicar los esfuerzos y recursos más valiosos.

En la actualidad, el ahorro del agua se apoya en otros motivos, de índole ambiental, dado que la técnica y los usos actuales cubren la demanda de nuestras necesidades en los países Occidentales. Los métodos necesarios para reducir el consumo de agua se basan fundamentalmente en la gestión, la descentralización, campañas de asesoramiento a los consumidores, y métodos para la clasificación y reciclaje de aguas limpias, grises y negras (González, 2004).

#### **El consumo de agua**

El consumo del agua varía mucho de un país a otro, como media, en el año 2000 cada español consumió 168 litros por día. Esta media no es muy alta si la comparamos con la de otros países de consumo mucho mayor. En Canadá, donde el agua es un



recurso abundante, el consumo doméstico medio es de 326 litros por habitante y día. Sin embargo un camerunés sólo cuenta con 15 litros a su disposición.

El consumo del agua es muy diferente en medios rurales y en medios urbanos, jugando dentro de ellos un papel muy significativo el nivel de industrialización y de servicio de la ciudad.

El sector doméstico no es el mayor consumidor de este recurso comparado con otros sectores, sobre todo el agrario. En las ciudades hasta un 21% como media, se pierde en fugas, roturas y desconroles de la red. Como ejemplo, la empresa suministradora de la ciudad de Madrid, el Canal Isabel II, considera que un 64% del consumo es para uso residencial, un 13% para uso comercial e industrial y el resto se distribuye entre uso no facturado y pérdidas del sistema. Además de otras pérdidas causadas por sistemas irracionales de riego, aunque los mayores descuidos se encuentran en la limpieza mediante agua de arrastre. Todos estos datos exigen una gestión más eficaz dirigida hacia la reducción y la eficacia en los sectores que nos afectan.

Con relación al mundo de la edificación, es en el sector doméstico, frente a los sectores de servicios u oficinas, donde más se consume. Pueden buscarse sistemas de control de esa demanda e incluso su reducción con medios técnicos a nuestra disposición, siendo posible un ahorro del 65% del gasto en el sector doméstico sin variar nuestros hábitos de uso. En estos casos, las soluciones se basan en administración eficaz, reducción de gasto y reutilización de aguas (González, 2004).

### **Gestión del consumo**

Los patrones de consumo actuales no diferencian entre agua para beber y agua para uso higiénico, hábito que habrá de ser tenido en cuenta. Nuestros sistemas de uso habitual de agua potable resultan algo absurdos. Carece de sentido potabilizar constantemente un agua cuyo destino es principalmente como vehículo de evacuación de residuos, de hecho el 45% del agua doméstica se utiliza de este modo. Al mismo tiempo, el agua de lluvia es desperdiciada, canalizada y mezclada con las aguas grises y negras.



El consumo también está relacionado con los hábitos higiénicos de cada país. Según Klaus Daniels, analizando los parámetros de uso alemanes, un 56% del agua consumida en viviendas podría ser sustituida por aguas grises, y tan sólo el resto, un 44%, debería ser agua potable.

### **Sistemas comunitarios**

Todos los sistemas comunitarios de recogida de aguas, de riego, jardines, piscinas, lavandería, etc. consumen mucha menos agua que los sistemas individuales. Esta situación se produce en comunidades altamente sensibilizadas con el tema ambiental, aunque resulta difícil generalizar.

En algunos países como Dinamarca y Holanda existen comunidades sensibilizadas con el medio ambiente y ayudadas por sus respectivos gobiernos donde se han adoptado medidas para el ahorro y la reutilización del agua, incluyen lavanderías comunes, la recogida del agua de lluvia para riego y el tratamiento de las aguas grises para su reutilización en los inodoros.

Holanda posee un índice pluviométrico muy superior al español, y su problema de sequía es muy inferior, a pesar de lo cual toman medidas a nivel experimental para introducir campañas de ahorro de agua, como el resto de países del norte de Europa.

### **Sistema separativo**

En la escala urbana, un correcto empleo comienza por los sistemas separativos de recogida de aguas. En ellos se utilizan colectores independientes para la recogida de aguas negras (fecales) y grises (de duchas, lavadoras, etc.) y para las aguas pluviales. En este caso la separación de redes supone un aumento del coste inicial de la instalación. Sin embargo, el uso tan diferente que puede proporcionarse a cada red compensa el coste inicial y sobre todo desde el punto de vista ambiental, a medio y largo plazo.





**Figura 227:** Sistema separativo de saneamiento en Gran Canaria  
**Fuente:** Alemán 2004

Un sistema unitario permite el ahorro de canalizaciones, a pesar de utilizar mayores diámetros, ya que el cálculo debe contemplar la posibilidad de lluvias con cierta periodicidad. Pero la mezcla de aguas pluviales, grises y negras supone reducir la posibilidad de reutilización, aumentando los costes de tratamiento previo a su vertido o depuración, según los casos.

En España, en el año 2007, se recogieron 5.200 Mm<sup>3</sup> de agua a través de las redes de alcantarillado (vertido urbano). De este volumen, se trató un 88% en centrales de tratamiento de aguas residuales, descontando el volumen de agua reutilizado (501 Mm<sup>3</sup>), el volumen de agua vertido fue de unos 4.069 Mm<sup>3</sup> al año (INE, 2007a citado en Hardy & Garrido, 2010).

El vertido ganadero y agrario recoge aguas contaminadas por pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos. El 65% de los 60.000 vertidos directos que hay en España son responsabilidad de la ganadería. Estos vertidos se realizan de manera directa, es decir sin pasar por la red de alcantarillado urbano, por lo cual, son más difíciles de controlar y depurar (Hispagua, 2006 citado en Hardy & Garrido, 2010).



### Recuperación del agua de lluvia

El sistema de recuperación del agua de lluvia en los edificios y viviendas desde la cubierta hasta su acumulación en un depósito no es nuevo en la tradición española. La arquitectura tradicional adoptaba formas sencillas de cubierta en las que el agua recogida de las escasas lluvias se canalizaba, mediante un sistema visto de tuberías abiertas, hasta un aljibe o depósito junto a la casa o alquería.

Actualmente el sistema de recogida de aguas pluviales dentro de la red de agua de un edificio se realiza ya con cierta facilidad en muchas edificaciones en el Norte de Europa.

El destino de esta agua puede ser finalmente el riego de jardín, el relleno de cisternas para inodoros de bajo consumo, determinado tipo de limpieza o en aquellos casos que no necesiten agua estrictamente potable, en función de las necesidades particulares. El procedimiento se aplica a usos industriales, como la limpieza de toneles en la industria vinícola, limpieza por arrastre, etc. También se emplea para sistemas de riego por goteo unido a la utilización de plantas autóctonas, acercándonos a la gestión óptima de un jardín.

#### **4. Minimizar el impacto de los materiales de construcción**

Los materiales que se utilizan en la construcción de edificios tienen un gran impacto medioambiental, causado por su extracción, procesamiento, transporte, uso y eliminación. Este impacto se produce en el ámbito mundial, regional y personal, y afecta tanto al clima y a la biodiversidad como a la salud de las personas.

Los recursos empleados en la fabricación de materiales de construcción pueden recuperarse y reconvertirse en productos aprovechables al final de la vida del edificio. Proyectar de forma que un edificio y sus partes puedan reutilizarse, y sus componentes reciclarse, es el modo más sencillo de ahorrar energía con relación a los materiales. Cuando utilizamos el término “**reutilización**” hacemos referencia a nuevos usos sin someter el material a ningún proceso importante de transformación. El **reciclaje**, en

cambio, implica que el material vuelva a ser procesado para convertirse en un nuevo producto. El grado de reciclaje depende de los precios mundiales de los productos.

La energía es un criterio útil para determinar el grado de sostenibilidad de los materiales de construcción elegidos, aunque no el único. Existen otros impactos que deben tenerse en cuenta, como la contaminación del aire y del agua, los daños producidos al patrimonio paisajístico, ecológico y cultural y el agotamiento de las reservas de recursos.

La sociedad debe reducir la demanda de recursos no renovables, como los combustibles fósiles, el agua, los minerales, el suelo agrícola o los depósitos geológicos. La reducción del consumo conlleva mayores reservas para las generaciones futuras y nos proporciona más tiempo para desarrollar fuentes de energía renovables.

Actualmente necesitamos una cultura de la reducción, no del consumo desenfrenado. Se debe tratar de alcanzar un mayor equilibrio entre el consumo de recursos y las prestaciones de los edificios.

El edificio construido, se convierte en un activo fijo. Su construcción implica un gran gasto en recursos e inversiones que las futuras generaciones deberían poder reutilizar y adaptar a nuevos usos. Esto implica que un edificio debería ser durable en su forma y construcción, gozar de valoración social y de buena situación. La reutilización del conjunto o parte de él es preferible a la demolición o el reciclaje.



**Figura 228:** Antigua fábrica textil en Lodz (Polonia) transformada en un moderno centro comercial

**Fuente:** <http://www.ticcih.es/page/4/>



En algunos casos la reutilización de un edificio entero no es posible, aunque los elementos constructivos que lo componen (vigas de acero, madera, ladrillos etc.) deberían poder reutilizarse en otros edificios.

Muy pocos edificios nuevos se diseñan o construyen teniendo en cuenta las posibilidades de reutilización. La filosofía de la reutilización requiere un cambio en su diseño y construcción (Edwards & Hyett, 2004).

El siguiente paso consiste en reciclar. El reciclaje consiste en la recuperación de un material mediante su extracción y reprocesamiento. Si lo comparamos con la reutilización, el reciclaje utiliza más energía al transformar el material, pero esta opción es preferible a su pérdida total.

Algunos materiales de construcción, como el acero, aluminio, plomo y cobre, se reciclan habitualmente. El grado de reciclaje depende en parte del mercado, pero los diseñadores podrían hacer que aumentase si eligieran materiales con un alto porcentaje de contenido reciclado.

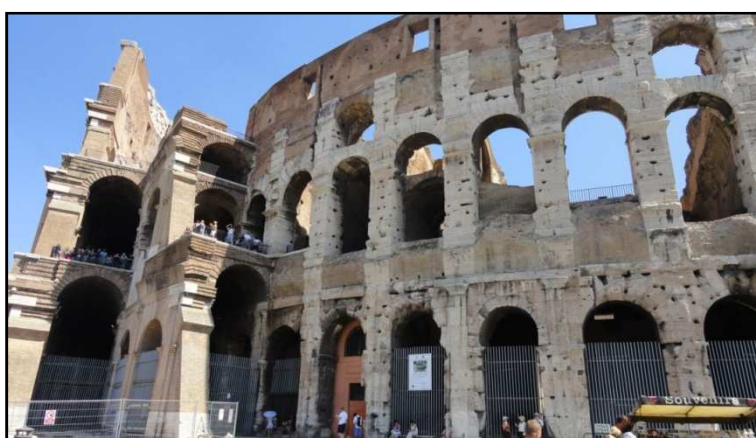
El reciclaje conlleva habitualmente la extracción de energía de un material y la separación de sus partes para su futura reutilización. Es importante tener en cuenta las posibilidades de reciclaje, los impactos medioambientales en cada etapa y las consecuencias del ciclo de vida completo de cada una de las opciones de reutilización y reciclaje.

## 5. Reducir y gestionar los residuos

Durante siglos el ser humano ha explotado los recursos que le ofrecía la naturaleza con el fin de fabricar productos, que luego abandonaba cuando ya no le eran útiles. Sin embargo, el impacto ambiental de los residuos generados por la actividad humana era poco significativo mientras la población mundial era reducida. Los residuos de construcción y demolición prácticamente no existían, ya que las materias primas utilizadas para la construcción (madera, ladrillo, piedra etc.) eran demasiado valiosas para abandonarlas. Por otra parte, su extracción, fabricación y transporte requería

demasiados esfuerzos para que se desechasen después de haber terminado el uso de la edificación. La reutilización y el reciclado eran la norma.

Muchos edificios antiguos, como el Coliseo de Roma (Figura 229) o las pirámides de Egipto sirvieron como cantera para construcciones más modernas. Cuando una infraestructura perdía su utilidad, era frecuente reutilizar sus materiales (piedra en estos casos) en nuevos usos.



**Figura 229:** Coliseo de Roma

**Fuente:** Elaboración propia

En la actualidad, la capacidad para mover grandes volúmenes de materiales con relativamente poco esfuerzo y la necesidad de hacerlo ha dado lugar a la aparición de los vertederos de escombros. Existe una costumbre de usar y tirar trasladada a la edificación y a la obra civil, y una capacidad tecnológica que permite una extracción masiva de materias primas, el uso durante un periodo determinado y el posterior abandono de los residuos en vertederos. Este modelo a medio y largo plazo no es sostenible, desde el punto de vista social y ambiental.

La construcción es una actividad de gran importancia en todos los países y gran generadora de residuos, de los cuales el 75% corresponde a residuos inertes de origen pétreo y el 25% restante es una combinación de materiales de múltiples orígenes, algunos tóxicos o peligrosos (De Santos, Monercillo & García, 2011).



Es importante conocer, diferenciar y clasificar los distintos residuos para conseguir el máximo resultado en los procesos de reutilización, reciclado, valoración y vertido. La clave del éxito reside en la clasificación y separación de los residuos según su **origen**, lo que nos da una idea de sus características y según su **naturaleza**, donde se tiene en cuenta los problemas de gestión.

Según su origen los residuos pueden ser:

- Residuos procedentes de puntos de extracción de áridos o puntos de la obra donde se realizan movimientos de tierras. Son residuos de origen pétreo sin contaminación de otras sustancias.
- Residuos procedentes de obras de construcción. Son residuos compuestos principalmente de escombros (75%) y otros materiales procedentes de la obra, con una gran cantidad de plástico y papel.
- Residuos procedentes de obras de demolición. Son residuos con composición similar a los de las obras de construcción, pero mucho más contaminados, lo que dificulta su clasificación y gestión.

Según su naturaleza los residuos pueden ser:

- Residuos inertes, formados por restos de hormigón, ladrillos, tejas, vidrios y cualquier tipo de tierra.
- Residuos no peligrosos, compuestos por madera, algunos plásticos, papel, yeso, textiles y la mayor parte de los metales.
- Residuos peligrosos, formados por pinturas y disolventes (incluidos los envases), plomo, amianto y sus derivados y residuos radioactivos.



La actividad de la construcción y demolición produce unos impactos negativos en el medio que se atribuyen a los residuos producidos. Éstos se producen en dos momentos: durante la extracción de los áridos con lo que se fabrican los materiales de construcción y su propia fabricación y durante la actividad de construcción y demolición.

Durante la actividad extractiva el mayor impacto negativo es la propia extracción donde se inicia el ciclo de generación de residuos, ya que si no se extrajeran materias primas no se generarían residuos a partir de ellas.

Durante la ejecución de la obra los impactos negativos que se producen en el medio ambiente se deben exclusivamente a los residuos generados.

Dentro de la cadena del proceso edificatorio, el método previo y preventivo más eficaz para reducir los residuos que se generan es diseñar para el reciclaje. Es decir, utilizar metódicamente pautas entre las que podríamos destacar:

- La utilización de pocos materiales o, al menos, su utilización claramente clasificada o sistematizada, facilita el reciclaje.
- Los materiales deben estar en el estado más puro posible, con los mínimos aditivos, que puedan inutilizar su recuperación.
- La ejecución de unidades de fácil desmontaje, como la unión en seco, las juntas mecánicas etc., previendo la construcción de capas superpuestas que cumplen diferentes funciones.
- Procurar la fácil identificación de los materiales y sobre todo de los plásticos, para que durante su desmantelamiento sea más factible su clasificación.
- Diferenciar o distinguir unos elementos constructivos de otros como instalaciones, aislamiento etc., teniendo en cuenta sus diferentes duraciones, de forma que sean fácilmente reemplazables sin dañar otras partes del edificio.



- Prever las diferentes vidas de cada parte del edificio, ya sea para utilizar materiales de características acordes con su durabilidad, o prever la reutilización.

La desaparición de un edificio constituye un problema que generalmente no se tiene en cuenta. Normalmente son generaciones distintas quienes construyen un edificio y quienes lo demuelen, sin embargo uno de los factores que definen la construcción sostenible es precisamente tener en cuenta a las generaciones futuras.

Existe una decisión europea de reducción drástica de los residuos de la construcción, que como media recicla el 40% de sus materiales procedentes de los derribos. En España solamente se recicla el 2% de los residuos de construcción y demolición, mientras que algunos países consiguen llegar al 60% como es el caso de Suiza, Dinamarca y Austria.

El 98% no reciclado llega a los vertederos sin tratar, convirtiéndose a veces en verdaderas montañas residuales. Aproximadamente en España se producen anualmente 30 millones de toneladas, la mayor parte residuos inertes que podrían ser tratados (González, 2004).

La demolición debería limitarse a casos extremos, para los que se aconseja la “deconstrucción”, más que el derribo por colapso. Una demolición genera problemas, polvo, materiales de desecho etc. por lo que el periodo de vida debe prolongarse. Cuando se procede a la demolición del edificio, para que la recuperación de los materiales constructivos pueda llevarse a cabo, el diseño del edificio como ya se ha comentado anteriormente debe haber previsto en su origen este destino final. Por ello, es preferible utilizar sistemas constructivos recuperables, desmontables, montaje en seco, o al menos reciclables.

La arquitectura tradicional es el punto de referencia al que hay que mirar, ya que reducía a la nada los edificios de la misma forma que los había construido, pero a la inversa. Es decir, pieza a pieza cada elemento se desmonta de su colocación primitiva, mediante la acción a la inversa de su puesta en obra, cerrándose el ciclo completo.





## 6. Control del confort interior del edificio

El confort es fundamental para la creación de ambientes humanos saludables y debe englobar el confort térmico, la humedad, la ventilación y la iluminación. Necesitamos sentirnos cómodos, tener luz suficiente libre de deslumbramientos y lograr el equilibrio adecuado entre humedad y ventilación. Los ambientes saludables suelen basarse en una iluminación, una ventilación y unos materiales naturales.

El confort puede alcanzarse también por medios mecánicos, los sistemas de aire acondicionado, por ejemplo, son necesarios en gran parte del mundo para garantizar el confort, aunque siempre que sea posible, los sistemas y tecnologías naturales son preferibles a los medios mecánicos.

“El aislamiento sistemático, las envolventes transpirantes, mediante las cuales el edificio funciona como pulmón que responde a los cambios en las condiciones externas, o la eliminación de movimientos de aire no deseados (corrientes) constituye otras tantas medidas para lograr el confort de modo natural” (Edwards & Hyett, 2004).

En muchos casos la ausencia de las condiciones de confort adecuadas favorece el desarrollo de moho y bacterias perjudiciales para la salud, siendo el diseño inadecuado el origen del problema.

Un edificio puede ser eficiente en cuanto al consumo de energía pero si está contaminado no es saludable. En estos casos la contaminación se puede presentar de muchas formas: toxicidad (baja calidad del aire), contaminación acústica, e incluso contaminación espacial (el estresante efecto psicológico producido por la masificación). Todas ellas deben ser entendidas por el proyectista.

Los edificios como ya hemos comentado anteriormente tienen una dilatada existencia. Toda contaminación que puedan acumular durante su ejecución puede perjudicar a lo largo de su vida útil. Como ejemplo, el aislamiento de fibra de vidrio permite aumentar la eficiencia energética del edificio, sin embargo resulta menos sano que el aislamiento a base de materiales naturales (como la fibra de celulosa o la lana de oveja). Por ello, la menor durabilidad de los materiales orgánicos exige un mayor cuidado

de los detalles constructivos. Cuando se utilizan materiales naturales, es necesario prestar especial atención a los niveles de humedad, ventilación y la presencia de roedores.

Dado que la salud tiene una dimensión psicológica, los proyectistas tienen la responsabilidad de crear ambientes que reduzcan el estrés y que respondan a las necesidades de los usuarios. El efecto de la luz solar sobre las paredes, las estancias bien ventiladas y bañadas de luz diurna, la presencia de plantas en el interior y el contacto con los árboles y arbustos en el exterior, etc. constituyen fuentes naturales de estímulo para los sentidos.



**Figura 230:** La distribución de espacios con ambientes naturales son saludables

**Fuente:** <http://www.viviendasaludable.es/blog/distribucion-de-espacios-interiores/>

La capacidad del edificio para adaptarse a las necesidades de los ocupantes depende también en parte de que éstos puedan utilizar los sistemas de control con facilidad. Cuando son demasiado complejos aíslan a las personas de su entorno.

La interacción visual y auditiva entre el mundo interior y exterior también es importante, salvo que el entorno exterior sea hostil en cuyo caso es mejor evitarlo.



### 4.3.2 Elección de los materiales

La elección de los materiales es por sí mismo un tema muy complejo ya que dependiendo de quién realice el encargo del proyecto y cuáles sean sus fines “impone” diversos condicionantes que en muchos casos no nos llevan a la solución óptima. Si, además, queremos dar un paso adelante y ser sostenibles (no comprometer los recursos actuales para las necesidades de futuras generaciones), el problema es aún mayor y una paradoja teniendo en cuenta que ese criterio medioambiental, que en la mayoría de los casos se ignora o no se tiene muy en cuenta, sería el más lógico y eficiente (Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, 2005).

A pesar de esta realidad, en la actualidad encontramos ejemplos de edificaciones que demuestran que ya hemos empezado a adoptar este enfoque medioambiental, aunque nos encontramos con dificultades en su aplicación debido principalmente a los siguientes motivos:

- No se entiende que el diseño constructivo es la principal herramienta para poder optimizar el uso de los materiales, tanto durante la vida útil del edificio, como para su posterior desmontaje y aprovechamiento.
- Se ignora que existe y que se puede aplicar.
- No disponemos de estructuras adecuadas y suficientemente desarrolladas que permitan generalizar su uso: la normativa es muy vaga, no existen vertederos específicos y separados para materiales de construcción etc.
- La industria del ramo es muy reacia a las innovaciones medioambientales.
- Nos falta cultura del reciclaje.

Dentro del diseño constructivo (que se analizará y desarrollará en el siguiente apartado) el que quiere hacer edificación sostenible no sólo tiene que conocer las disciplinas normales, sino también los materiales, sus características y criterios para su elección, aspectos que estudiaremos a continuación.

La mejor garantía de que la arquitectura ocasione el menor impacto posible al ecosistema natural es utilizar materiales naturales, y energía natural. Sin embargo, la naturaleza genera muy pocos materiales que puedan ser utilizados directamente por el hombre, para satisfacer las necesidades de cobijo que pueda tener en la actualidad, muy diferentes a las necesidades que ha tenido durante siglos como nos demuestra la arquitectura tradicional. Por este motivo, los materiales naturales deben manipularse para obtener materiales de construcción más adecuados.



**Figura 231:** Materiales naturales. (1) Madera. (2) Piedra. (3) Corcho

**Fuente:** (1) Audry 2012. (2) Piedras Archidona 2009. (3) Maderamen 2011

A la hora de fabricar un material determinado, se debe garantizar que la cantidad de energía que se vaya a consumir sea la menor posible, así como los residuos que puedan generarse. En este sentido, la estrategia más efectiva es intentar alargar al máximo la vida útil de los edificios; es decir, su durabilidad, asegurando que la cantidad de energía, recursos y residuos sea la menor posible.

La mejor estrategia para garantizar la durabilidad de los edificios es utilizar materiales **duraderos** que necesiten un escaso mantenimiento, al mismo tiempo para que los materiales sean sostenibles deberán poder **recuperarse**, **reutilizarse**, y **reciclarse**, como ya se ha comentado anteriormente, (véase pág. 286, “Minimizar el impacto de los materiales de construcción”), siendo importante además su **biodegradabilidad**.



La durabilidad de un edificio también la podremos garantizar utilizando sistemas constructivos adecuados. Estos sistemas constructivos deberán permitir la renovación continuada de sus componentes y hacer un uso óptimo de los materiales utilizados.

## 1. Utilización de recursos naturales

Como se ha indicado anteriormente, la primera acción que debe tomarse en arquitectura, para causar el menor impacto posible a la naturaleza, es utilizar materiales directamente extraídos de la misma, con la menor manipulación posible. Hay que tener en cuenta que cuanto menos se manipule un material, menos energía se consume, y menos residuos y emisiones se generan.

“Los recursos naturales que se pueden utilizar en arquitectura son muy abundantes, económicos y accesibles: el sol, la lluvia, el viento, la tierra, la nieve, el agua etc. Por ello no se entiende como, de forma paulatina, la arquitectura haya ido dando la espalda a su utilización. Quizás sea una prueba de la arrogancia y la ignorancia que en algunos aspectos, muestra la raza humana” (De Garrido, 2012).

Como ya se ha comentado con anterioridad, con respecto a los materiales naturales, son muy pocos los que se pueden utilizar de forma directa, como la piedra, el granito, la pizarra, tierra pisada, barro cocido o secado al sol, vegetales, troncos de árboles etc., materiales que según se ha analizado a lo largo de la presente tesis han permitido durante siglos desarrollar la arquitectura tradicional, aunque actualmente no son capaces de satisfacer las necesidades del sistema económico y social.

## 2. Utilización de materiales duraderos

Una vez que se ha decidido fabricar un determinado material duradero, hay que asegurar que tenga el menor impacto medioambiental, aunque es posible que este tipo de materiales requieran una gran cantidad de energía en su fabricación, y que generen cierta cantidad de residuos frente a otros materiales alternativos. Sin embargo, esta situación queda compensada con creces por su durabilidad.



Dentro del edificio existen elementos constructivos que deben tener la mayor durabilidad posible (cimentación, estructura, cubierta, impermeabilización etc.) por lo cual no se deben de reducir esfuerzos para utilizar en su ejecución materiales con una gran durabilidad. En cambio, otros elementos no tienen porqué ser tan duraderos, ya que pueden sustituirse en cualquier momento dentro de la vida útil del edificio (sanitarios, acabados, mobiliario etc.), en este caso deberían de fabricarse estos últimos utilizando la menor cantidad de energía y manipulación posible.

### 3. Utilización de materiales recuperados

Debe entenderse como material recuperado aquél que ha sido previamente abandonado, y al cual se desea proporcionar una nueva utilidad.

Con el paso del tiempo y debido al uso continuado, los materiales pueden perder algunas de sus propiedades (físicas, químicas, mecánicas, funcionales o visuales) por lo que pueden dejar de ser útiles para la función que tenían prevista, y alguien puede decidir desecharlos y convertirlos en residuos ocasionando un cierto daño al ecosistema natural. Por ello, debemos recuperarlos para reutilizarlos o reciclarlos. De esta forma, evitamos residuos, disminuimos el consumo energético y las emisiones asociadas, reduciendo el impacto medioambiental.

“En el planteamiento ecológico, cualquier edificio incluido dentro del ecosistema representa sólo una fase transitoria, en la que el hombre reúne una cantidad de energía y materiales en ciertos modos y formas de uso predeterminados sobre ese ecosistema. Cuando la vida útil del edificio llega a su fin, es frecuente que los materiales se retiren o eliminen en otro lugar; o bien que se proceda a su reutilización” (Yeang, 1999).

### 4. Utilización de materiales reutilizables

A pesar de la durabilidad que puede ofrecer un material, en un futuro dejará de ser útil para una determinada función. Por este motivo, para poder disminuir el consumo energético y los posibles residuos, debemos volver a utilizarlo, aunque en algunos casos

sea necesario repararlo o manipularlo ligeramente. El material podría reutilizarse en el mismo lugar donde se encontraba, o en cualquier otro, con la misma o diferente funcionalidad, de esta forma estamos alargando su vida útil. Un ejemplo de ello, es la utilización de las tejas procedentes de un derribo. En este caso estamos reutilizando el material, ya que simplemente se ha cambiado de lugar. Esta situación se puede aplicar a muchos de los materiales que proceden de los derribos (mosaicos, carpintería de madera, rejas etc.).

El concepto de reutilización en arquitectura no es nuevo. La construcción tradicional en piedra y madera ha sido, y es, un ejemplo de reutilización directa de los elementos constructivos, donde las piedras labradas y las vigas de madera siguen siendo en muchos pueblos materiales muy preciados. Muchas construcciones, algunas célebres como la Mezquita-Catedral de Córdoba, es un excelente ejemplo de la reutilización de elementos pertenecientes a otros edificios (Rey, 2010).



**Figura 232:** Materiales reutilizables. (1) Ladrillo macizo. (2) Teja árabe

**Fuente:** Derribos Sales 2013

La reutilización de un material es una acción sumamente importante desde el punto de vista medioambiental, ya que apenas consume energía y no genera residuos. Por ello, los materiales deben fabricarse y utilizarse de forma que puedan reutilizarse de nuevo.

En este sentido, es importante que un edificio tenga la mayor cantidad posible de materiales que se puedan reutilizar varias veces. Como ejemplo un falso techo de escayola no se puede volver a utilizar, en cambio sí un falso techo desmontable.

Después de reutilizar un material muchas veces en un mismo edificio o en muchos otros y llegado el momento en el que ya no se pueda volver a utilizar se procederá a su reciclado. Un material se podría utilizar inicialmente en un hotel, luego en una vivienda, después en un estudio, más tarde en un edificio industrial, posteriormente en una granja o construcción más precaria etc., cuando ya no hubiera posibilidad de reutilizarse habría que reciclarlo o biodegradarse para volver al ecosistema natural.

Hay materiales que son más fácil de reutilizar que otros, aunque su capacidad de reutilización se debe principalmente a la solución constructiva empleada. Como ejemplo, una estructura de hormigón armado “in situ” no puede reutilizarse y en muchos casos, sobre todo en pequeñas obras, el escombros se deposita en pequeños vertederos descontrolados. En cambio, si se utilizan elementos prefabricados de hormigón armado atornillados entre sí, cada uno de sus componentes se pueden reutilizar una y otra vez. Por este motivo, la arquitectura sostenible debe ir orientada hacia los sistemas constructivos prefabricados, donde el diseño debe permitir el mayor grado de reutilización posible.



**Figura 233:** (1) Vivienda unifamiliar prefabricada. (2) Detalle de anclaje atornillado

**Fuente:** (1) <http://esp.pujolweb.org/productos/pilares.html>. (2) Vivas 2013





Se debe buscar la estandarización e industrialización de los elementos y procesos constructivos ya que mejoran la calidad de los productos, optimizan los gastos de producción y posibilitan la reutilización al final de la vida útil del edificio al que pertenecen. Por ello, se deben primar los sistemas de montaje en seco, ya que facilita el desmontaje de componentes y su posterior inserción en otras construcciones. Al mismo tiempo las labores de acoplamiento de las distintas partes, generan menos residuos y un menor coste global, que los sistemas de unión de tipo húmedo (Baño, 2003).

Estos costes disminuirán si se utilizan elementos de fácil manejo y transportabilidad y cuyo mantenimiento no requiera de operaciones de envergadura, ya sea por su buena calidad, lo que incidirá de manera decisiva en su durabilidad, ya sea por su accesibilidad, lo que permitirá revisiones periódicas de control y con ello la prevención de deterioros de consideración y de reparaciones cuantiosas. Se reducirá en estos casos la producción de residuos de construcción y demolición, factor determinante en cualquier fase de obra, debiendo además gestionarlos adecuadamente.

No hay que olvidar, que en el plano estructural, un dimensionado estricto de las secciones minimiza el aporte de material y de elementos auxiliares.

## 5. Reparación de materiales reutilizables

Como se ha indicado anteriormente, un material para poder disminuir el consumo energético y los posibles residuos, debemos volver a utilizarlo, aunque en algunos casos sea necesario repararlo o manipularlo ligeramente, con independencia de la funcionalidad y ubicación que vaya a tener. Por ello, debemos utilizar materiales de fácil mantenimiento y reparación, así como soluciones constructivas que permitan que todos los elementos de un edificio puedan ser fácilmente desmontados, reparados y sustituidos, de esta forma estaremos garantizando un menor consumo energético, y generando la menor cantidad posible de residuos.

Se deben utilizar diseños constructivos cuyos componentes puedan ser fácilmente ensamblados y desensamblados, utilizando sistemas atornillados, por presión, clavos, o



incluso soldadura parcial de baja calidad. Se deben evitar soluciones en las que sea difícil extraer un material sin dañarlo y potenciar el uso de tecnologías reparables.

## 6. Utilización de materiales reciclados

Básicamente, reciclar un material consiste en obtener un nuevo material, alterando su estructura mecánica, física y/o química, de este modo, un material puede tener características similares a las que tenía con anterioridad, u otras completamente diferentes.

Cuando obtenemos un material a partir de materias primas procedentes de la naturaleza, este proceso requiere mucha energía y genera residuos, aunque el proceso de reciclaje de un material ya existente requiere menos energía, también genera residuos. Por ello, es necesario retrasar al máximo el proceso de reciclaje, fomentando la durabilidad, el correcto mantenimiento, la reparación y la reutilización de un determinado material o componente (De Garrido, 2012).

Teniendo en cuenta todo lo expuesto hasta ahora dentro de este apartado, se puede concluir que el reciclaje es la actividad menos interesante en arquitectura sostenible. En este sentido, resulta llamativo que se argumente en muchos casos esta cualidad para justificar el grado de sostenibilidad de un material.

Cabe indicar que prácticamente cualquier material es reciclable, independientemente de la cantidad de energía necesaria, residuos y emisiones generados, y la calidad del producto obtenido. Debemos tener en cuenta que el proceso de reciclaje es completamente diferente para cada material.

Los materiales, tanto ferrosos (hierro, acero, etc.) como los no ferrosos (cobre, aluminio, etc.) son materiales fáciles de reciclar. Normalmente se funden y se producen nuevos productos. En su reciclaje se compensa el impacto ambiental causado en el proceso de extracción, reduciéndose el consumo de energía hasta un 70% de la requerida en el proceso completo de producción, en el caso del acero, y hasta un 95% en el caso del aluminio (Rocha, 2011).



Con el reciclaje de materiales como los polímeros y el vidrio, con un alto consumo de energía, se logran ahorros importantes de energía en comparación con la producción de nuevos productos. En el caso de los polímeros el reciclaje contribuye, además, a reducir el consumo de petróleo.

El ladrillo, el hormigón y otros materiales pétreos presentan mayores limitaciones para su reciclaje. Sin embargo pueden ser triturados para uso como áridos para bases y rellenos.

Algunos materiales reciclados conservan características similares a las que tenía. Por el contrario, otros materiales resultan bastante degradados, ya sea en su aspecto, características físicas, químicas o mecánicas. Es decir, no se puede generalizar con respecto al proceso de reciclaje. En algunos casos puede ser efectivo desde el punto de vista medioambiental; en cambio, en otros casos no está justificado el proceso. Cuando el material es adecuado a nivel medioambiental, es interesante que se estimule su reutilización y su biodegradación. En cambio, si el material no es adecuado desde el punto de vista medioambiental, debería evitarse su utilización.

## 7. Carga energética de los materiales

Después de analizar los diferentes criterios a tener en cuenta a la hora de valorar la elección de un material, no debemos de olvidar el concepto de **energía incorporada**<sup>12</sup>. Aunque a lo largo de la vida útil de un edificio la energía incorporada de los materiales utilizados representa sólo en torno a un 10% de la energía total consumida por el edificio en uso. Sin embargo, el concepto de energía incorporada sirve para poner en evidencia los altos costes energéticos, que entraña el transporte de materiales voluminosos (como piedra, áridos, ladrillos u hormigón) y la fabricación de algunos materiales ligeros muy empleados como el aluminio (Edwards & Hyett, 2004).

---

<sup>12</sup> Este concepto integra el gasto energético consumido en los procesos de elaboración de un material, su gasto en transporte o mantenimiento y puesta en obra, en unidades energéticas.



La piedra, los áridos, los ladrillos etc., son materiales que deberían obtenerse en canteras o fabricantes situados cerca de la obra, lo que permitiría ahorrar energía en el transporte y reducir el impacto ambiental (molestias, ruido, contaminación, etc.). Lo ideal sería que los materiales pudiesen fabricarse in situ, (como los ladrillos secados al sol que se elaboran en África u Oriente Medio como parte del proceso de construcción) u obtenerse dentro de un radio razonable de la obra, ya que aparte de reducir el impacto ambiental, este principio característico de la arquitectura tradicional ayudaría a mantener vivas las técnicas de construcción locales.

En la actualidad la utilización de materiales locales resulta difícil de conseguir. Por ello, para disminuir el consumo energético en la construcción de un edificio, hay que empezar por elegir materiales y componentes cuya obtención y fabricación haya requerido la menor cantidad posible de energía.

En los materiales simples puede resultar sencillo contabilizar su consumo energético; en cambio, hay que tener mucho cuidado al calcular el consumo energético asociado a un material compuesto, ya que en este caso se debe tener en cuenta el consumo energético de todos los procesos que hayan intervenido en su fabricación, incluido el transporte, posibilidades de reciclaje, proceso de gestión de residuos etc. Por tanto, hay que tener mucha precaución con los datos que suministran los fabricantes de determinados materiales, por lo que conviene hacer cálculos propios, y contrastar la información obtenida con estudios realizados por centros tecnológicos sin ningún ánimo de lucro, ni financiación empresarial. Es sorprendente la cantidad de tablas que existen con diferencias en su contenido, lo que demuestra la falta de veracidad. Ello sugiere que el consumo energético en muchos casos es más elevado de lo que se declara (De Garrido, 2012).

A continuación se incluyen varias tablas con los datos proporcionados por diferentes autores que muestran la energía incorporada de los materiales de construcción más habituales, donde podemos comprobar también las diferencias en su contenido.

En ellas se define el consumo energético por peso del material fabricado y en algunos casos con relación al volumen del material. También se podrían reordenar para

que mostraran el consumo energético relacionado con la resistencia característica del material, aunque el orden no varía prácticamente.

Material	Referencia (año)							
	1 (1997)	2 (1982)	3 (1978) (b)	4 (1995)	5 (1998)	6 (1979) (c)	7 (2000) (e)	8 (1990)
Acero	8,06	10	7,67	7-13	7-11	13	11	14 (g)
Acero reciclado				2,5-4,17	2,5-3,3			4,7
Acero inoxidable	3,06							15
Aislantes térmicos plástico 1.125 kWh/m <sup>3</sup>								
Aluminio	27,0			42-61	42-67	73	44-60	81 (g)
Aluminio en chapa	58	56						65
Aluminio reciclado	3,89			2,8-4,2	3-11			13-29
Áridos		0,01				0,02	0,04	
Asfalto (tela)							3	12
Cal		1,5						
Cemento		2,2	1,8			2,4	2	
Cinc		15						
Cobre (chapa)	19,4	16		19-47	20-24	22	25	
Cobre reciclado				3-22	11-14			
Fibra de celulosa 133 kWh/m <sup>3</sup>								
Hormigón	0,28	0,2	0,5	0,2		0,3	0,7	
Hormigón ligero		0,5						
Ladrillo cerámico	0,86	1,2		0,7-1,69		0,09	1,25	
Ladrillo silicocalcáreo		0,4					0,5	
Ladrillo de tierra compactada (d)						0,02	0,13-0,4	
Lana ovina (a)	30,6 kWh/m <sup>3</sup>							
Lana mineral	231 kWh/m <sup>3</sup>	3,9						
Madera		0,1		1,25				
Mampostería en seco						1,4		
Plástico	45	10	2,73	22-61		2,65	20-40	21-23
Plástico reciclado				14-44				
Papel					6,51			
Plomo	52,8	14				14		
Plomo reciclado	2,78							
Poli-carbonatos								30
Poli-propilenos								20
Poli-uretanos								33,3
Porcelana		6,1					7,5	
PVC								20,7
Resinas termoestables								24
Teja cerámica plana							4,4	
Titanio						154		
Vidrio	9,19	6,0		3,6-7	3,3-8,3	7,4	5,3	22,5 (f)
Vidrio celular	4,69							
Vidrio reciclado				2,8-5,6	2,8			

Referencias. 1: [Wooley et al, 1997]. 2: [Vale y Vale, 1991] (datos de 1982). 3: [Daumal y García, 1978]. 4: [Roodman y Lenssen, 1995]. 5: [Edwards, 1999] (datos de 1998). 6: [Mazria, 1979]. 7: Estimaciones propias basadas en diversas fuentes. 8: [Estevan et al. 1992].

Notas: a: no incluye transporte. b: no incluye transporte de materias primas ni infraestructura. c: energía de fabricación. d: incluye estabilización con cemento. e: incluye transporte local, hasta 100km, en España, por carretera o ferrocarril. f: mínimo coste para vidrio en automóviles. g: piezas mecanizadas.

La energía está expresada en kWh/kg y en algunos materiales en kWh/m<sup>3</sup>

**Figura 234:** Energía incorporada por distintos materiales de construcción, según diversos autores  
**Fuente:** Vázquez 2001



ARCHITECTURE AND THE ENVIRONMENT. COMPARISON OF BUILDING ELEMENTS – LIFE CYCLE ANALYSIS NEW ZEALAND INSTITUTE OF ARCHITECTS Y ELABORACIÓN PROPIA DEL AUTOR

Energía Incorporada (MJ/Kg) Emisiones CO<sub>2</sub> (KgCO<sub>2</sub>/Kg)

1.- ESTRUCTURA	Hormigón	Hormigón en masa 30 Mpa	1,20	0,0194
		Hormigón (acero reciclado)	10,10	0,1631
	Acero	Acero virgen:	32,00	0,5168
	Madera	Secada al aire:	1,20	0,0000
	Aluminio	Aluminio virgen:	191,00	3,0847
	Tierra	Adobe, tapial	0,40	0,0065
4.- CUBIERTAS REVESTIMIENTOS	Teja de Hormigón		0,80	0,0129
	Teja Cerámica		2,50	0,0404
	Teja de Fibrocemento		9,50	0,1534
5.- CUBIERTAS - IMPERMEABILIZANTES	Láminas Impermeabilizantes	Poliéster:	53,70	0,8673
	Goma Sintética	Goma sintética general:	110,00	1,7765
6.- CERRAMIENTOS VERTICALES	Ladrillo Cerámico		2,50	0,0404
	Tabique cartón - yeso	Prefabricado	6,10	0,0985
7.- CARPINTERÍA - OTROS	Perfiles PVC	PVC (general):	66,00	1,0659
	Perfiles	Aluminio:	191,00	3,0847
8.- CARPINTERÍA DE MADERA	Maderas del lugar	Secada al aire:	2,00	0,0000
9.- REVESTIMIENTOS	Madera	Chapados secados en autoclave:	3,10	0,0015
	Enfoscado de Cemento		7,80	0,1260
	Guarnecido de yeso		4,50	0,0727
12.- SOLADOS	Solado Cerámico	Baldosa Cerámica:	2,50	0,0404
	Madera	Parquet:	3,10	0,0000
	Piedra artificial		2,50	0,0404
	Solados de piedra natural	Local	5,90	0,0953
	Alicatado de Azulejo		2,50	0,0404
	Solado de Terrazo		2,50	0,0404
14.- RECUBRIMIENTO DE TECHOS	Húmedo in situ	Yeso	4,50	0,0727
	Chapado	Escayola	6,10	0,0985
17.- AISLAMIENTOS VERTICALES	Poliestireno Expandido		117,00	1,8896
	Poliuretano Rígido		72,20	1,1660
	Corcho	Láminas:	0,20	0,0032
18.- IMPERMEABILIZACIONES INTERIORES	Polietileno	Alta Densidad:	98,20	1,5859
19.- IMPERMEABILIZACIONES SUELOS	Láminas Asfálticas	Goma sintética:	110,00	1,7765
	Polietileno	Baja Densidad:	90,00	1,4535
20.- VIDRIOS	Vidrio	Vidrio Sencillo:	15,90	0,2568
21.- TUBERÍAS	Tubería sintética PVC	General PVC	66,00	1,0659
	Tubería sintética PE	Baja Densidad:	90,00	1,4535
	Tubería sintética PP	Baja Densidad:	90,00	1,4535
	Cobre	Sin reciclar	70,00	1,1305

Figura 235: Energía incorporada de materiales de construcción

Fuente: González 2004

MATERIALES ELABORADOS	ENERGÍA CONSUMIDA	
	MATERIAL	MJ/kg
Arena	0,10	0,03
Grava	0,10	0,03
Hormigón H-150	0,99	0,28
Mortero M-40/a	1,00	0,28
Hormigón H-175	1,03	0,29
Hormigón H-200	1,10	0,31
Mortero M-80/a	1,34	0,37
Fábrica ladrillo perforado	2,85	0,79
Fábrica ladrillo macizo	2,86	0,79
Fábrica ladrillo hueco	2,96	0,82
Madera clima templado	3,00	0,83
Madera tropical	3,00	0,83
Yeso	3,30	0,92
Arcilla, ladrillos, tejas	4,50	1,25
Madera contrachapado	5,00	1,39
Fibrocemento de amianto	6,00	1,67
Cemento	7,00	1,94
Fibrocemento de fibras o madera	9,00	2,50
Arcilla, cerámica vitrificada	10,00	2,78
Tela asfáltica	10,00	2,78
Madera, aglomerado sin metanal	14,00	3,89
Madera, aglomerado con metanal	14,00	3,89

**Figura 236:** Materiales elaborados. Energía incorporada (tabla-1)

**Fuente:** Tabla adaptada (De Garrido 2012)

MATERIALES ELABORADOS	ENERGÍA CONSUMIDA	
	MATERIAL	MJ/kg
Acero (100% reciclado)	17,00	4,72
Vidrio plano	19,00	5,28
Pintura plástica al agua ecológica	20,00	5,56
Pintura plástica al agua	20,00	5,56
Aluminio (100% reciclado)	23,00	6,39
Arcilla, sanitarios	27,50	7,64
Fibra de vidrio	30,00	8,33
Acero (20% reciclado)	35,00	9,72
Poliuretano (PUR) con HCFC	70,00	19,44
Poliuretano (PUR) con CO2	70,00	19,44
Poliestireno (PE)	77,00	21,39
Polipropileno (PP)	80,00	22,22
Polivinilocloruro (PVC)	80,00	22,22
Cobre	90,00	25,00
Esmaltes orgánicos ecológicos	100,00	27,78
Esmaltes orgánicos	100,00	27,78
Poliestireno expandido (EPS)	100,00	27,78
Poliestireno extrusionado (XPS)	100,00	27,78
Policloropreno (neopreno)	120,00	33,33
Aluminio (30% reciclado)	160,00	44,44
Aluminio	215,00	59,72

**Figura 237:** Materiales elaborados. Energía incorporada (tabla-2)

**Fuente:** Tabla adaptada (De Garrido 2012)





A pesar de las diferencias que se observan en el contenido de las tablas anteriores, coinciden en que algunos materiales como cemento, hormigón, madera, cerámica, acero, vidrio, etc. tienen un consumo energético aceptable. En cambio, materiales ligeros como el aluminio, PVC y algunos aislamientos tienen un consumo energético muy elevado, siendo los más dañinos para el medio ambiente.

En estos últimos el grueso de la energía incorporada proviene del proceso de fabricación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una vez que la energía ha permitido que se desarrolle el proceso de fabricación, la sociedad dispone de una reserva de recursos materiales que pueden utilizarse, reutilizarse o reciclarse.

Si consideramos el aluminio, es un material que en su primera producción está utilizando yacimientos de bauxita, luego se le ha de añadir una gran cantidad de energía para poderlo fabricar o extraer y posteriormente tiene un tratamiento de superficie que necesita también un consumo de energía. En cambio es un material muy reciclable. (Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, 2005).

Durante su vida, los materiales ligeros cumplen una función energética muy importante que reduce su carga de energía incorporada. El aluminio utilizado para construir invernaderos, por ejemplo, ayuda a captar la energía solar, de forma que con el paso del tiempo la energía obtenida de este modo compensa con creces su elevada energía incorporada. Del mismo modo, el aluminio utilizado en mecanismos de control solar protege con su sombra el edificio y reduce eficazmente las necesidades de refrigeración de oficinas o centros escolares.

A pesar del uso favorable del aluminio en algunos casos, existe una opinión contraria de algunos arquitectos sobre la utilización de este material dentro de la arquitectura sostenible debido al elevadísimo consumo energético que presenta desde su obtención a partir de la bauxita.

Con relación al transporte de los materiales, es uno de los aspectos menos estudiados a la hora de hablar del consumo energético de la construcción, debido principalmente a dos grandes razones. En primer lugar es muy difícil determinar con precisión el consumo energético real. Y en segundo lugar porque el sistema económico



global ha permitido una enorme reducción en el coste económico de los transportes de mercancías, lo que asociado a unas enormes diferencias sociales de unos países con otros, ha incrementado exponencialmente el comercio internacional y el transporte de materiales. Hay que tener en cuenta que es posible que se haya reducido el precio de los transportes, pero no la energía consumida. En consecuencia, “el escenario de una futura construcción sostenible tendrá como uno de sus ingredientes el carácter local de los materiales empleados” (Vázquez, 2001), cercanos al lugar en el cual se encuentra la edificación, como lo ha hecho desde siempre la arquitectura tradicional.

## 8. Materiales más utilizados y su impacto

Tras el estudio y análisis desarrollado, consideramos materiales sostenibles aquellos que en su elaboración y utilización se ahorra energía, evitando al máximo la contaminación y respetando la salud de los usuarios que ocupan las edificaciones.

Como se ha comentado anteriormente, daremos prioridad a la utilización de materiales de procedencia local y de bajo coste energético, procurando que sean naturales (poco elaborados), saludables (libres de toxicidad), duraderos, recuperables, reutilizables, reciclables y biodegradables.

A continuación analizaremos los materiales más empleados en la construcción y su comportamiento dentro de la arquitectura sostenible.

### MADERA

#### ➤ Composición

La madera es uno de los materiales más sostenibles, mientras se respeten algunas pautas. Cuando procede de bosques gestionados de forma sostenible, es un recurso altamente renovable, debido a su fácil regeneración y porque su proceso de crecimiento beneficia y no perjudica a la atmósfera. Realmente es el único material en muchos casos estructural cuya procedencia es una energía renovable: “Una pieza de



madera es algo así como un acumulador de energía solar” (Nevado, 1999, citado en González, 2004).

Su disponibilidad depende principalmente del lugar en el que se realice la construcción. Según el clima se crea el tipo de madera y sus posibilidades constructivas, como hemos podido comprobar dentro de la arquitectura tradicional.

La madera, utilizada ecológicamente, tiene unas características técnicas y biológicas excepcionales: calor, vitalidad, olor agradable, resistente, elástica, ligera, baja conductividad, aislante térmico y acústico, permeable a la radiación terrestre y no se carga electrostáticamente (Periago, Tornero, & Pérez, 2008).

Con relación a las maderas tropicales y especies exóticas resulta dañino su uso, ya que la producción en estos casos es escasa, su extracción nunca se renueva, se agotan los recursos en países en vías de desarrollo, y producen un enorme gasto en transporte. El impacto social que genera la explotación de maderas exóticas es especialmente adverso, ya que en la mayoría de los casos proceden de países con conflictos armados originados o favorecidos por la explotación de los recursos naturales.

En nuestro país es aconsejable el uso de maderas locales, ya que una gran parte de la madera semi-facturada que se utiliza proviene de Norteamérica, países bálticos y países nórdicos, con alto consumo energético en su transporte.

#### ➤ **Adquisición de la materia prima**

Todos los aspectos relacionados con la producción de madera dependen enormemente del lugar y de las especies elegidas. El daño producido en el levantamiento de los árboles es reparable. La maquinaria empleada en su transformación produce ruido, polvo, consume combustibles fósiles e influye fuertemente en el transporte.

➤ **Transformación del material**

La manipulación y transformación de la madera no produce elementos tóxicos. En algunos casos, se considera negativa su aportación de CO<sub>2</sub>, y en otros casos nula (balance neutro entre las emisiones del transporte y la absorción de dióxido en la fotosíntesis).

Los tratamientos de conservación de la madera ante los insectos, los hongos y la humedad pueden ser tóxicos y producir residuos peligrosos. Si los residuos no se gestionan adecuadamente pueden producir contaminación en el agua y en el suelo. Los productos químicos utilizados para los tratamientos de la madera deben utilizarse con cuidado y precaución. Actualmente se comercializan tratamientos compuestos de resinas vegetales. La energía incorporada en los procesos de secado, puede llegar a ser el cuádruple en autoclaves y hornos que la secada al aire libre (González, 2004).



**Figura 238:** Madera tratada en autoclave  
**Fuente:** Navarro 2013

➤ **Durante la construcción**

Los residuos generados de materiales sobrantes, recortes etc. son enviados a vertederos o quemados. Los tratamientos adheridos a las superficies de madera deben ser controlados, ya que su contenido en tóxicos puede ser elevado. También el polvo que se produce durante su manipulación, y el serrín que se genera al cortar y aserrar debe

ser evitado, pues su aspiración es un posible cancerígeno. En su favor ha de indicarse que un aserradero puede generar hasta un 80% de la energía que necesita desde la transformación de sus propios residuos.

### ➤ Durabilidad

Depende del tipo de madera, los cuidados y mantenimiento que se hayan realizado. Su durabilidad es muy alta sobre todo si ha sido correctamente secada y se mantiene en buenas condiciones, lejos de humedades, protegida de los insectos y muy bien ventilada, tanto en estructura como en carpintería. Su vida puede superar con facilidad los cincuenta años. Si bien conocemos extraordinarios edificios construidos con estructura de madera con trescientos años, como la iglesia de la Transfiguración en Rusia, construida a principios del siglo XVIII, en 1714, que con 37 metros de altura, es uno de los mayores edificios construidos con troncos en el mundo.



**Figura 239:** Iglesia de la Transfiguración (Rusia)

**Fuente:** Elaboración propia

### ➤ Efectos sobre la salud

El componente químico o dañino de la madera es muy escaso. Sus microporos permiten una cierta respiración del material, lo que facilita la circulación del aire, de la



contaminación interior al exterior. Los tratamientos no naturales para protección de la madera, y de origen petroquímico pueden ser perjudiciales y son fuertemente emisores de partículas volátiles tóxicas como formaldehidos, etc.

#### ➤ **Posibilidades de demolición**

La reutilización de maderas es más fácil si se han empleado maderas del lugar. El uso de pegamentos, barnices, etc., puede dificultar su recuperación. El quemado de madera tratada puede producir productos tóxicos, CO<sub>2</sub>, VOC, SO<sub>2</sub>, CO Y NO<sub>x</sub>.

Al concluir su vida útil, la madera puede reciclarse para fabricar tableros aglomerados o para su valoración energética como biomasa.

#### ➤ **Características particulares**

El uso de maderas de larga duración y los tratamientos naturales pueden reducir el impacto de los materiales conservantes y acabados fungicidas, antixilófagos, etc. La utilización de preservantes naturales, como tratamientos de bórax o barnices menos impactantes, ya existentes en el mercado, son muy recomendables.

Para facilitar su desmontaje y reutilización es preferible la utilización de fijaciones mecánicas que químicas o de otro tipo, como clavos, etc.

Por otro lado, debemos tener garantías de la sostenibilidad de la gestión del espacio forestal de donde proviene. Para ello se creó en 1993 en Toronto (Canadá) una certificación, el sello **FSC** (Forest Stewardship Council) que garantiza el origen legal de la importación, y la sostenibilidad del proceso de gestión y transporte. Con este sello se intenta frenar la deforestación masiva de los bosques del planeta y el comercio de madera ilegal, y supone el origen de la certificación forestal a nivel mundial.



**Figura 240:** Certificación FSC para la madera

**Fuente:** <http://redminka.com/construir-con-madera-es-sustentable/>

En España la superficie forestal certificada FSC en diciembre de 2012 es de 160.177,01 hectáreas, lo que supone el 0,58% de los 27.715.213 hectáreas de superficie forestal total española (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2011 citado en Estévez, Martínez, Anguita, & Rojo, 2013).

Gran parte de la superficie certificada FSC en España (un 67,72%) se corresponde con montes gestionados por administraciones públicas en algunos casos con montes de clara función protectora. Sin embargo, existe una alta demanda de productos certificados FSC, que está provocando la importación de materia prima de terceros países, con el correspondiente impacto que esto genera, no sólo desde el punto de vista ambiental (a consecuencia de las emisiones derivadas del transporte), sino también desde la perspectiva económica y social.

## PÉTREOS

Estos materiales en general tienen un impacto pequeño. El impacto más importante se produce en la etapa de extracción, por la variación que provoca en el terreno, el cambio de paisaje y de ecosistemas. Por su uso generalizado, este tipo de material es el que ocasiona mayores problemas en el colapso de vertederos.



Generalmente se sugiere el uso de materiales del lugar, ya que debido a su peso, trasladarlos implica un alto consumo energético. El mayor beneficio radica en su larga duración, una de las mayores de los materiales sostenibles.

Dentro de este grupo de materiales aunque con un cierto impacto se encuentra el **hormigón**, muy utilizado en arquitectura sostenible, ya que su alto consumo de energía en la fase de fabricación y transporte queda compensado con su alta durabilidad, su fácil puesta en obra y recuperación (en el caso de estructuras prefabricadas de hormigón armado atornilladas) y su alto calor específico (880 J/KgK) que lo vuelve muy necesario para utilizar estrategias pasivas de aprovechamiento de la radiación solar (inercia térmica).

A continuación desarrollaremos los aspectos y características más importantes que ofrece este material.

#### ➤ **Composición**

Sus componentes son, principalmente, áridos de diferentes granulometrías, como grava (natural o de machaqueo), arena, cemento y agua. Otras adiciones para aumentar su resistencia y características son de origen químico, cenizas de diferentes orígenes, humo de sílice etc.

El cemento se obtiene por la pulverización de clinker, consistente en residuos de escorias machacadas y sometidas a grandes temperaturas, cenizas, piedra caliza y yeso o anhidrita. Existen aditivos muy variados, como el polvo de aluminio, que se utiliza en una pequeña proporción, alrededor del 1% en los hormigones aligerados.

#### ➤ **Adquisición de la materia prima**

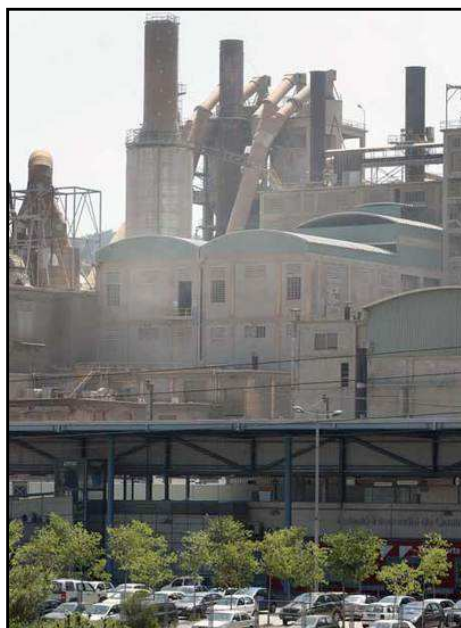
Los áridos utilizados en la fabricación del hormigón en teoría pueden proceder de medios locales y naturales, como la arena de río, áridos de machaqueo, de hormigones anteriores, etc. La extracción de las canteras puede producir la erosión del suelo,



modificación de los paisajes, y producir contaminación en el agua y emisiones de polvo si no se controla cuidadosamente. La influencia en el transporte puede ser importante, ya que el hormigón se produce generalmente en plantas cercanas a las grandes obras, o grandes capitales donde su uso va a ser requerido.

### ➤ Transformación del material

La energía utilizada para la producción de estos materiales suele ser carbón y petróleo. El cemento portland uno de los componentes principales del hormigón, libera durante su fabricación importantes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera, de manera que contribuye al cambio climático.



**Figura 241:** Cementera en Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

**Fuente:** Sáez 2008

La producción mundial anual de cemento de 1,6 billones de toneladas ocasiona aproximadamente el 7% de la carga total de dióxido de carbono en la atmósfera. La producción de 1 tonelada de cemento portland requiere aproximadamente 4 GJ (giga julio, unidad de energía equivalente a mil millones de julios) de energía, y su fabricación



libera aproximadamente 1 tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera. Las grandes cantidades de extracción de materias primas como la caliza y la arcilla, y el combustible como el carbón, a menudo originan una deforestación extensiva y pérdida de suelo superficial (Kumar, 2001).

El hormigón común contiene aproximadamente un 12% de cemento y un 80% de áridos. Esto significa que para fabricar el hormigón, se está consumiendo arena, grava y roca triturada a una velocidad de 10 a 11 billones de toneladas al año. Las operaciones de extracción, procesado y transporte que involucran tales cantidades de áridos consumen a su vez mucha energía, y puede ser perjudicial para ciertos hábitats naturales como son las áreas forestales y los lechos de los ríos.

La industria del hormigón también emplea grandes cantidades de agua en su fabricación. Se consume aproximadamente un trillón de litros al año. No hay estimaciones exactas, pero un consumo importante de agua se utiliza como agua de lavado en la industria del hormigón y para su curado.

Además de los tres componentes primarios (cemento, áridos y agua), la incorporación de numerosas adiciones químicas y minerales al hormigón, contribuyen también a un consumo importante de energía y materiales en el producto final.

Existen muchas maneras de mejorar el uso del hormigón desde el punto de vista ecológico, tanto en su composición como en su empleo. Una de ellas consiste en emplear cenizas volantes sustituyendo al cemento portland. La ceniza industrial está constituida por escorias de los residuos de plantas industriales.

#### ➤ **Durante la construcción**

Una buena gestión puede minimizar el impacto ambiental y reducir el consumo de agua, su contaminación y el residuo de masa del hormigón. El sobrante se puede utilizar como relleno del terreno. En la obra, la exposición al cemento en polvo, altamente alcalino, puede irritar los ojos, la piel y las mucosas, daños que pueden prevenirse.



Los encofrados utilizados durante la ejecución de las estructuras de hormigón armado suelen realizarse a partir de madera con pocas puestas, por lo que se trata de un uso poco eficiente de este material.

➤ **Durabilidad**

Depende del tipo de hormigón, de sus condiciones de trabajo, exposición a los agentes atmosféricos y de la calidad de la ejecución. No obstante, puede considerarse una vida útil que excede los cien años si se ha realizado una correcta estrategia.

➤ **Efectos en la salud**

Cuando el hormigón ha fraguado es inerte y no afecta a la calidad del aire interior. Incluso puede absorber componentes químicos emitidos por otros materiales y expulsarlos tras un tiempo.

➤ **Condiciones de demolición**

Como se ha comentado anteriormente, la arquitectura sostenible debe ir orientada hacia los sistemas constructivos prefabricados de hormigón armado, donde los diferentes elementos van ensamblados entre sí, de forma que se pueden desmontar y reutilizar una y otra vez en diferentes edificaciones sin generar residuos. En cambio cuando la construcción se lleva a cabo con hormigón armado “in situ” se complica enormemente su recuperación. En la demolición puede separarse el acero del hormigón, ya que su recuperación mediante machaqueo es perfectamente posible, como también es posible la recuperación del acero de la armadura.

Los residuos de la demolición del hormigón pueden utilizarse como relleno del terreno casi en un 50 %. Debemos tener en cuenta que las demoliciones pueden producir importantes cantidades de polvo y consumir energía.



### ➤ Características particulares

La inercia térmica de grandes masas de hormigón, en muros o forjados, puede utilizarse para el diseño solar pasivo. El consumo energético de calefacción en estos casos se puede reducir entre un 2 y un 15%, contribuyendo también el uso de componentes reciclados.

La elevada capacidad de almacenar calor del hormigón permite que un edificio, en el que la estructura, los forjados, los muros exteriores y las particiones entre viviendas sean de hormigón, tenga una inercia térmica que reduzca el consumo energético anual en 8 Kwh/m<sup>2</sup>, en relación con el consumo de energía necesario para la climatización del mismo edificio construido con materiales que proporcionan baja inercia térmica como la madera o los metales (“Eficiencia energética utilizando hormigón”, 2008).

“Una correcta combinación de la calefacción, ventilación, del soleamiento, de la estructura del edificio y del enfriamiento nocturno, puede mejorar aún más la utilización de la inercia térmica del hormigón, dando lugar a edificios que se adaptan mejor a las variaciones de temperatura, ayudándoles a mantenerse confortables sin la necesidad de la climatización” (“Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica”, 2008).

Con relación a las estructuras ya existentes de hormigón armado “in situ” una buena gestión consiste en prever la posibilidad del refuerzo, ya que es mejor que su demolición y sustitución.

## METALES

Los metales, fundamentalmente el **acero** y el **aluminio**, representan la dualidad existente en casi todos los materiales de construcción con una serie de beneficios y de perjuicios. El principal impacto de los metales se produce en la fase de transformación y en los tratamientos de acabado y protección. Materiales que requieren un elevado consumo energético, como hemos podido comprobar anteriormente (véase pág. 303: **carga energética de los materiales**), además de producir la emisión de sustancias



nocivas a la atmósfera. Estos materiales presentan interesantes prestaciones mecánicas que nos permiten soportar las mismas cargas con una menor cantidad de material. Los metales requieren tratamientos de protección a base de pinturas férricas o galvanizados altamente impactantes. En la actualidad existen múltiples sistemas que incorporan productos naturales.

A continuación desarrollaremos los aspectos y características más importantes que ofrecen estos materiales.

## **ACERO**

### ➤ **Composición**

El acero estructural se compone de hierro, carbono y de pequeñas cantidades de otros elementos como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le aportan características específicas. El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina acero estructural al carbono, con límite de fluencia de 250 MPa (megapascal).

### ➤ **Adquisición de la materia prima**

Este material genera mucho residuo y puede afectar al entorno, el agua del subsuelo y la calidad del aire. La minería de donde proceden sus componentes puede destruir hábitats completos. El mineral de hierro se adquiere localmente, es separado por procedimientos no químicos y el residuo sobrante devuelto al lugar original. El mineral puro se transporta a los altos hornos, donde es transformado.

### ➤ **Transformación del material**

La producción intensiva de acero necesita un fuerte gasto de energía, procedente mayoritariamente de combustible fósil.



En la actualidad se produce acero mediante dos rutas básicas, a partir de materias primas (mineral de hierro, caliza y coque) en el **alto horno**, continuando con la acería donde se utilizan convertidores con oxígeno o a partir de chatarra como única materia prima en el **horno de arco eléctrico**. Cerca del 60% del acero producido actualmente se obtiene mediante el primero de ellos. En esta ruta se utiliza entre el 25% y el 35% de acero reciclado, mientras que el porcentaje en el horno de arco eléctrico es aproximadamente el 95%.

Ambos procesos conducen a consumos de energía bastante diferenciados. La producción de perfiles laminados mediante el alto horno es de aproximadamente 29 GJ por tonelada de acero y en el horno de arco eléctrico se aproxima a 10 GJ (Gervásio, 2010).

Partiendo de la base de que son diferentes los porcentajes de acero reciclado utilizados en dichos procesos es fácil constatar que las respectivas emisiones de carbono y de otras partículas también son considerablemente inferiores para el horno de arco eléctrico, que lo convierte en un proceso más eficiente en términos ambientales. Por cada tonelada de acero reciclado se ahorra 1,25 toneladas de mineral de hierro, 630 Kg de carbón y 54 Kg de caliza (de Sopt, 2002 citado en Gervásio, 2010). A ello se añade que el proceso de reciclaje requiere menos energía, crea menos residuos y emite menos cantidades de partículas contaminantes que la elaboración de la misma cantidad de acero a partir de materias primas.

Entre las emisiones de partículas contaminantes destacan las del CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. En este sentido, la producción de 1 Kg de acero en el horno de arco eléctrico emite cerca de 462 g de CO<sub>2</sub>, mientras que en el alto horno la misma cantidad de acero emite aproximadamente 2.494 g de CO<sub>2</sub>.

Con relación al agua utilizada en la fabricación del acero debe ser tratada antes de verterla.

➤ **Durante la construcción**

El acero estructural es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras para edificios residenciales, comerciales e industriales. Se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que le permite una gran flexibilidad en su uso.

Las estructuras metálicas, por lo general, están compuestas por elementos prefabricados, lo que implica un proceso de construcción más eficiente. Al tratarse de estructuras con dimensiones más reducidas que en el caso del hormigón, permite preservar el suelo, ya que son menores los movimientos de tierra.



**Figura 242:** Acero estructural

**Fuente:** Alacero 2013

La gestión previa de los recortes puede minimizar el residuo, que además es reciclable. Los productos protectores utilizados para el acero muchas veces pueden ser tóxicos y emitir VOC (compuestos orgánicos volátiles) durante y después de su aplicación.

La existencia de grandes superficies vidriadas, normalmente asociadas a este tipo de construcción, permite la ejecución de fachadas, cubiertas más transparentes y una mejor gestión de la luz natural, favoreciendo la utilización de la energía solar (Figura 243).



**Figura 243:** Torre Hearst (edificio de oficinas) Nueva York. Arquitecto: Norman Foster

**Fuente:** Pleitavino 2010

#### ➤ **Durabilidad**

El acero debe protegerse de la corrosión, lo que puede asegurar una expectativa de vida de 50 años. El mantenimiento y una buena protección en circunstancias climáticas adversas son definitivas para su duración.

#### ➤ **Efectos sobre la salud**

El acero es inerte y tiene un bajo potencial químico. Los recubrimientos y pinturas de protección pueden producir un considerable grado de VOC.

#### ➤ **Posibilidades de demolición**

En la fase final de la vida útil, las estructuras metálicas al estar compuestas por elementos prefabricados, es posible su desmontaje y volver a reutilizarlas en otro tipo de estructura o lugar. Si el destino final fuera la demolición, podría procederse al reciclaje del acero, proceso que resulta más fácil cuantos menos aditivos posea. Cabe destacar que el



acero puede ser reciclado innumerables veces sin perder sus propiedades, contribuyendo de esta forma a la minimización del consumo de recursos naturales y a la maximización de la reutilización de esos mismos recursos. En caso de ser enviado a vertedero, puede llegar a oxidarse y volver a formar parte de la naturaleza.



**Figura 244:** Reciclaje de acero. Planta de Marion, Ohio (EE. UU.)

**Fuente:** <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-12213>

### ➤ Características particulares

La capacidad de reciclaje del acero depende de su composición. Algunas mezclas, con plásticos, cobre, zinc, son particularmente difíciles de reciclar, por la dificultad que presenta en la separación. En algunos países, como en Reino Unido, se recicla hasta el 70% de la producción. El proceso de reciclaje consume el 30% de energía primaria que consume una primera fabricación (González, 2004).

## **ALUMINIO**

### ➤ Composición

El aluminio está compuesto principalmente de bauxita, sosa cáustica y cal. La bauxita se trata y se disuelve en un concentrado de sosa cáustica, produciéndose alúmina ( $Al_2O_3$ ) en polvo, tras la cristalización y calcinación. La sosa cáustica es fácilmente recuperada y reutilizada. La alúmina se disuelve en criolita ( $Na_3AlF_6$ ) a una

temperatura de 950°. A través de la electrolisis, se obtiene el aluminio. Su fabricación es fuertemente contaminante.

➤ **Adquisición de la materia prima**

La bauxita, el mineral del que se extrae el aluminio primario, se origina principalmente en Australia, Brasil, África Occidental, las Indias Occidentales y en algunas regiones tropicales y subtropicales. Las nuevas áreas mineras se equilibran con la rehabilitación de las zonas mineras existentes (Figura 245). El 98% de las minas cuentan con planes de rehabilitación y la reforestación en la zona de bosques nativos se espera que sea mayor que la vegetación original antes de la explotación (4º Sustainable Bauxite Mining Report International Aluminium Institute, 2008 citado en Gilmont, Leroy, & Vatavalis, 2012). En cuanto a la disponibilidad de este mineral se estima en 200 años.



(1) Reposición de las capas de recubrimiento. (2) Rehabilitación acabada, con troncos, rocas y plantación



(3) Paraje rehabilitado después de 1 año. (4) Paraje rehabilitado después de 14 años

**Figura 245:** Rehabilitación de minas de bauxita. Bosque de Jarrah (Australia)

**Fuente:** Gardner 2001



### ➤ **Transformación del material**

La fabricación del aluminio consume mucha energía y produce una gran cantidad de residuos. El aluminio es reciclable, y tanto su producción como este proceso de reciclado producen emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, partículas con alto contenido en FFC, que aumentan el efecto invernadero. Sin embargo, las emisiones totales de gases de efecto invernadero de aluminio europeo se redujeron en un 45% entre 1990 y 2005.

Más de la mitad del aluminio que actualmente produce la Unión Europea se origina a partir de materias primas recicladas, y esta tendencia va en aumento. Como la energía requerida en el proceso de reciclado del aluminio es solo un 5% de la energía necesaria para la producción primaria, los beneficios ecológicos del reciclaje son evidentes (Gilmont, Leroy, & Vatavalis, 2012).

Debido a la larga vida útil de los edificios y vehículos de transporte, el volumen disponible de chatarra de aluminio es mucho menor que las necesidades actuales, así que la cantidad restante tiene que ser suministrada por la industria del aluminio primario.

### ➤ **Durante la construcción**

Los productos de aluminio que llegan a la obra no se limitan a los perfiles de aluminio o laminados; basados en estos productos, se aportan soluciones completas para satisfacer las necesidades del mercado. Se diseñan ventanas y muros cortina de acuerdo con los estándares establecidos en las normas europeas e internacionales. Lo mismo ocurre con los laminados y paneles compuestos utilizados para el revestimiento. Estos son diseñados y probados para cumplir los requerimientos europeos de seguridad contra incendios.

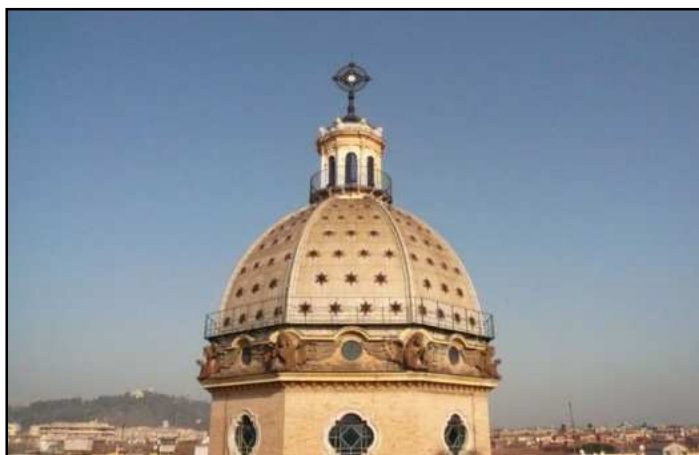
Se deben controlar también los sistemas de anclaje y recibido, algunas veces contaminantes. A pesar de ser el aluminio un material reciclable, los restos y recortes son enviados a vertedero.

### ➤ Durabilidad

A pesar de la gran cantidad de energía utilizada en su fabricación es un material muy duradero y reciclable. Su vida útil puede superar fácilmente 50 años en condiciones adecuadas de mantenimiento.

Los productos de aluminio para la construcción están fabricados con aleaciones resistentes al agua, a la corrosión e inmunes a los efectos dañinos de los rayos UVA, garantizando un rendimiento óptimo durante un largo periodo de tiempo.

En 1898, la cúpula de la iglesia de San Gioacchino en Roma, fue recubierta de láminas de aluminio, que aún, hoy en día, se encuentran en perfectas condiciones, más de 100 años después.



**Figura 246:** Cúpula de la iglesia de San Gioacchino (Roma)

**Fuente:** <http://www.sangioacchino.org/cupola.htm>

### ➤ Efecto sobre la salud

Varios estudios concluyen que los productos de aluminio para la construcción no representan un peligro para los usuarios o el medio ambiente circundante. Por otro lado, los estudios actuales demuestran que las aleaciones utilizadas, sus tratamientos superficiales (lacado o anodizado) y los materiales utilizados son todos neutrales, con



emisiones muy bajas. Los productos de aluminio para la construcción no tienen un efecto negativo, ya sea en la calidad del aire o en el suelo, aguas superficiales y subterráneas (Gilmont, Leroy, & Vatavalis, 2012).

### ➤ Posibilidades de demolición

El proceso del aluminio es reciclable. Para ello es necesario una adecuada deconstrucción o desmantelamiento cuidadoso del edificio. El reciclaje del aluminio es también susceptible de consumo de energía en el transporte y en su tratamiento para una segunda vida del material.

El reciclaje del aluminio produce los mismos desechos que la primera transformación, como arena y óxidos. La calidad de un aluminio reciclado es sensiblemente igual a la del primer aluminio (la chatarra de aluminio se puede reciclar varias veces sin perder sus propiedades), en cambio se consume mucha menos energía, como ya se ha comentado anteriormente.

Un estudio de la Universidad Tecnológica de Delft (Holanda) reveló que la tasa de recuperación del aluminio al final de la vida útil es considerable en el sector de la construcción. Las tasas de recogida de aluminio de una muestra de edificios comerciales y residenciales de 6 países europeos, se encontraron por encima del 92% (con un promedio del 96%), lo que demuestra el valor y la conservación del material al final del ciclo de vida.

En Holanda, el 94% del aluminio procedente de la construcción y de la demolición es recogido y procesado. Las escorias (óxidos) que son el desecho de la producción pueden ser utilizadas para usos diversos, como materiales cerámicos, rellenos en asfaltos, para purificación de agua etc.

### ➤ Características particulares

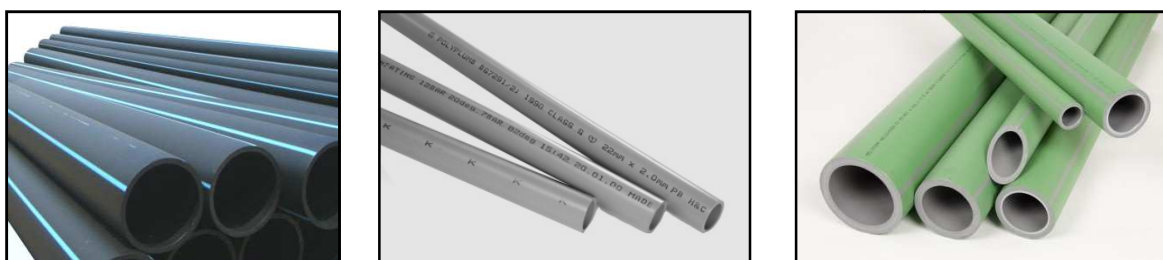
El aluminio utilizado en perfiles y carpinterías es difícilmente reciclable cuando se utiliza de forma combinada, como carpinterías mixtas madera-aluminio.

En muchos casos, el aluminio se combina con otros materiales como el acero o el plástico, que son separados mecánicamente del aluminio antes de ser fundido en el proceso de reciclaje.

## PLÁSTICOS

Procedentes del petróleo, se comportan de forma similar a los metales, por su alto consumo energético y altas contaminaciones en su proceso de fabricación. Como material de construcción tiene amplias propiedades, como su estabilidad, ligereza, alta resistencia y posibilidades de uso como aislamiento.

Algunos materiales tradicionales utilizados para instalaciones como el plomo, el cobre, el fibrocemento etc. se están reemplazando por plásticos como **polietilenos**, **polibutilenos** y **polipropilenos** por sus excelentes prestaciones y mejor comportamiento ambiental (Figura 247). A continuación describimos sus características principales.



**Figura 247:** Tuberías. (1) Polietileno. (2) Polibutileno. (3) Polipropileno

**Fuente:** (1) Multirreforma 2012. (2) BigMat 2014. (3) Valsan 2014



## **POLIETILENO, POLIBUTILENO Y POLIPROPILENO**

### ➤ **Composición**

Todos estos termoplásticos proceden de la industria petroquímica, con diferentes tratamientos. El polibutileno y el polietileno reticulado comienzan a introducirse en el mercado en tuberías para instalaciones de calefacción y fontanería. Para las uniones se utiliza la termofusión o el accionamiento mecánico, al no utilizar adhesivos, respetan el medio ambiente. El polietileno se utiliza como protección contra la humedad y aislante acústico en forma de láminas. Todos estos plásticos y resinas proceden de tratamientos químicos del petróleo, del cual hay reserva para unos 30 años (González, 2004).

### ➤ **Adquisición de la materia prima**

Las refinerías de petróleo y el proceso de obtención de los polímeros sintéticos son una de las mayores fuentes de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, metano y otros gases que contribuyen al efecto invernadero, a la contaminación ambiental, y a la producción de lluvia ácida.

### ➤ **Transformación del material**

Los residuos producidos en su fabricación son mínimos. En comparación al PVC y otros derivados como el poliuretano, su transformación es mucho menos dañina y perjudicial para el medio, en parte por la falta de cloro en su composición.

### ➤ **Durante la construcción**

El poliestireno expandido y extruido se fijan de manera mecánica a la obra, y el residuo producido se lleva a vertedero. El poliuretano rígido puede ser fijado mecánicamente, con puntas, o a través de pegamentos y adhesivos que provocan VOC. Los residuos producidos en obra incluyen, además de los restos, polvo, cuya inhalación debe ser evitada.



➤ **Durabilidad**

La durabilidad del polipropileno es alta, el material no se pudre y a no ser que sufra daños mecánicos o de sujeción, mantiene sus propiedades, y su durabilidad es larga. Las normas UNE exigen, además, una durabilidad mínima de 50 años para su uso.

➤ **Efectos sobre la salud**

El polipropileno es un polímero de baja capacidad tóxica. Su colocación habitual es en tuberías interiores, sin contacto con el aire interior. En caso de fuego, producen CO<sub>2</sub> y CO en proporción similar a la madera.

➤ **Posibilidades de demolición**

Son termoplásticos y potencialmente reciclables. Sus efectos en el vertedero a través del tiempo son desconocidos. Su combustión produce gases tóxicos y denso humo negro, por lo que este sistema de desaparición debe evitarse.

➤ **Características particulares**

Las cualidades fisicoquímicas de durabilidad, densidad y ligereza de los termoplásticos han hecho su uso insustituible en obra. Por ello, el polipropileno (PP), el polibutileno (PB) y el polietileno (PE), que mantienen todas sus características, son casi la única alternativa al PVC.

## PINTURAS

Las pinturas presentan una composición muy variada, pigmentos, resinas, disolventes, etc., muchos de ellos derivados del petróleo. De forma paralela, y al tratarse de un material comúnmente empleado, se han desarrollado multitud de productos que



sustituyen los originales hidrocarburos por componentes naturales, las llamadas pinturas ecológicas y naturales.

En 1994, la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) elaboró la primera norma, la UNE 48-300-94. que recogía los requisitos que un material de construcción debía cumplir para recibir el certificado de producto ecológico.

El principal impacto provocado por las pinturas se origina con los sobrantes del proceso de puesta en obra, ya que son vertidos en lugares no adecuados con el riesgo de emanaciones contaminantes. Entre las pinturas convencionales están las que utilizan como disolvente el agua; son las denominadas pinturas plásticas o de base acuosa.

## AISLANTES

Los aislantes más utilizados en construcción son las espumas en forma de proyectado o en forma de panel. El uso de agentes espumantes causantes de la reducción de la capa de ozono y del efecto invernadero ha hecho que los gases CFC (clorofluorocarbonos) se vieran sustituidos por otros productos como el HCFC (hidroclorofluorocarbono) y el HFC (hidrofluorocarbono) que, aunque evitan daños a la capa de ozono, son responsables del calentamiento global. Existen en el mercado otras opciones como las fibras minerales (fibra de vidrio o de roca), el vidrio celular y, sin duda las más interesantes desde el punto de vista ambiental, las procedentes de fuentes renovables (corcho, cáñamo, celulosa, etc.) (Baño & Vigil-Escalera, 2005).



**Figura 248:** (1) Fibra de cáñamo. (2) Panel flexible de fibra de cáñamo

**Fuente:** Beyond Sustainable 2013



El cáñamo (cannabis) es una fibra de rápido crecimiento y fácil cultivo con la que se elaboran mantas aislantes, naturales y transpirables, siendo su coeficiente de conductividad térmica  $\lambda=0,041$  W/mK y su energía incorporada: 1228 W/kg (Neila & Acha, 2009).

Este tipo de fibra a parte de su uso como aislante, principalmente en cerramientos, se utiliza también como base en pavimentos flotantes y como aislamiento térmico y acústico en techos con estructura de madera, en particiones y como revestimiento. Como material es reciclable, estable en el tiempo y tiene resistencia natural a los insectos y roedores.

#### 4.4 Estrategias bioclimáticas en la arquitectura sostenible

La edificación como proceso sostenible tiene en la arquitectura tradicional un claro referente para modificar la producción de la vivienda convencional. La cuestión es cómo enfocar el aprendizaje que se puede desprender del análisis de la arquitectura tradicional.

Durante largos periodos de tiempo la arquitectura tradicional ha definido el diseño de sus construcciones a través de un proceso de depuración, con continuas modificaciones, realizadas por generaciones de habitantes, hasta definir un espacio doméstico y productivo que aprovecha al máximo la técnica y los límites ecológicos del ecosistema local.

“El arquitecto actual ha de recuperar formas de pensar análogas a las que se han demostrado como sostenibles en la arquitectura tradicional y recomponerlas en las condiciones de producción existentes para conseguir formas que respondan a las exigencias ecológicas y sociales de hoy en día. No se trata de copiar formas, ni soluciones tecnológicas, sino de copiar metodologías” (De Santiago, González, & Pérez, 2007).

Para desarrollar una arquitectura sostenible hay que retomar los aspectos ambientales de la arquitectura y utilizar eficazmente las estrategias bioclimáticas que nos permitan una relación equilibrada con el medio y sobre todo eficiente. De esta forma, el



arquitecto tiene que asumir el papel de gestor de recursos materiales, (como ya se ha analizado anteriormente, véase apartado: 4.3.2 Elección de los materiales) y tecnológicos que permitan dar en cada caso la respuesta correcta frente al medio de la manera más eficiente.

A continuación vamos a estudiar las estrategias bioclimáticas utilizadas actualmente para diseñar una arquitectura sostenible, partiendo de las aportaciones que ofrece la arquitectura tradicional y desarrolladas a lo largo de la presente tesis. Es importante en este caso distinguir entre lo que son soluciones constructivas aprovechables y que dan respuesta a nuestras necesidades actuales, de aquellas utilizadas por el hombre condicionadas por el entorno y las circunstancias en que vivía.

#### 4.4.1 Protección solar

En la actualidad diseñar pensando en las condiciones de verano es mucho más complejo que hacerlo para las condiciones de invierno, ya que no existen fuentes naturales de refrigeración como alternativa al sol; sin embargo, se deben de compaginar ambas exigencias, frío y calor, verano e invierno a la hora de diseñar. La dificultad radica en la propia naturaleza, que no ha sido tan generosa en el verano como lo es en invierno. En cualquier lugar del mundo, por muy frío que sea, y en cualquier época del año, siempre se puede generar calor gratuito aprovechando la radiación solar o la combustión de la biomasa. En cambio, en verano el entorno no aporta mecanismos de enfriamiento tan sencillo como la radiación solar, y únicamente en climas muy fríos, donde no se necesita la refrigeración en verano, podemos encontrar fuentes energéticas frías disponibles como el agua, el aire o incluso el hielo (Neila & Acha, 2009).

Inicialmente, las estrategias bioclimáticas ante situaciones calurosas no deberían diferir excesivamente de las estrategias para invierno. No obstante, en condiciones de verano la conservación de energía resulta menos necesaria que en invierno. El motivo fundamental es que en invierno se capta o genera energía calorífica. En cambio, en verano no hay una clara aportación de energía frigorífica, sino una protección frente a los rayos solares para evitar el exceso de calor. Esta situación genera tres limitaciones que en principio, no son fácilmente compatibles con la protección solar:



- A. Los deseables aportes térmicos en épocas frías.
- B. La visión directa y nítida del exterior.
- C. El máximo nivel de iluminación interior.

**A.** Cualquier filtro que no sea regulable o escamoteable presenta el inconveniente de que en invierno reduce las ganancias térmicas que puede ofrecer la aportación solar. Es el caso de los vidrios con filtros solares o algunas celosías fijas. En la orientación sur este problema se puede solucionar. Un amplio alero en algunos edificios puede proteger los huecos de una fachada sur frente al sol de julio y sin embargo permitir la entrada del sol de invierno. Este recurso difícilmente es útil en las fachadas este y oeste que son castigadas por un sol más bajo, y en estos casos habrá que utilizar filtros regulables o escamoteables. En cualquier caso en el momento de diseñar una protección solar se deberá tener en cuenta el papel que se desea que juegue ese hueco para beneficiarse del sol invernal.

**B.** Indicar que casi todos los sistemas de protección solar limitan de alguna manera la visión exterior. Los filtros en la masa del vidrio modifican su color o transparencia. También las lamas o brisoleils limitan la visión del exterior y por este motivo son preferibles las protecciones orientables.

**C.** Es deseable el máximo aprovechamiento de la luz natural para conseguir el ahorro energético, y la reducción de aportes térmicos internos que supone la iluminación artificial. Es una razón más para evitar los vidrios teñidos, las celosías y lamas fijas.

Para protegernos del sol debemos conocer su recorrido y ser capaces de determinar su situación en cada momento del año. El movimiento del sol depende de la latitud del punto de observación. En la península ibérica la latitud se mueve entre los 36° de Gibraltar y los casi 44° de la costa cantábrica (Paricio, 1998).

Hay que calcular para cada estación, la inclinación de la radiación solar, a diferentes horas del día. Es especialmente importante conocer la máxima y la mínima inclinación solar. Esta información da una idea de ciertos aspectos básicos de la estructura del edificio (profundidad de los espacios, altura de los huecos, posición de

núcleos de comunicación, etc.), y de la estructura formal de la fachada (tipos de huecos, dimensiones de las protecciones solares, etc.).

Ciudad	Latitud	Ángulo de incidencia Solar 21 Diciembre *	Ángulo de incidencia Solar 21 Junio *
Madrid	40°26	27°	73°
Monterrey	25°44	42°	88°
Guadalajara (Mex) (1)	20°42	47°	87°
México DF (1)	19°24	48°	86°
Mérida (Mex)(1)	20°57	47°	87°
Antofagasta	-23°38	90°	44°
Santiago (Chile)	-33°26	80°	34°
Puerto Montt	-41°28	72°	26°
Punta Arenas	-53°10	60°	14°
Buenos Aires	-34°36	79°	33°

**Figura 249:** Ángulo de incidencia de la radiación solar en diferentes ciudades

**Fuente:** <http://www.sitiosolar.com/arquitecturasolarpasiva/>

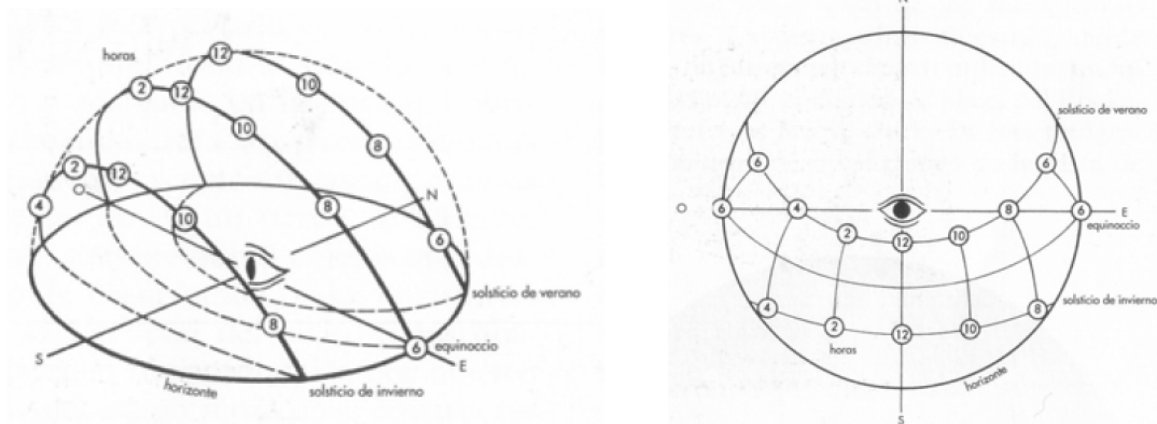
**(1) Ángulo de incidencia solar de 90°:**

Guadalajara: del 18-05 al 22-05 y del 22-07 al 26-07. México: del 14-05 al 17-05 y del 27-07 al 30-07. Mérida: del 18-05 al 22-05 y del 22-07 al 26-07

La altura y azimut del sol varían según el día y la hora, así como las sombras proyectadas. Para estudiar la protección de las paredes y aberturas de un edificio de la radiación solar, es indispensable conocer la localidad, el movimiento del sol y las sombras. Lo ideal es elaborar diagramas solares, para conocer el comportamiento durante todo el año (Ugarte, s.f.).

Para determinar la necesidad de sombra en función de la posición del sol, los diagramas solares nos permiten describir gráficamente las posiciones y trayectorias del sol en la bóveda solar sobre un plano donde las líneas curvas representan los movimientos del sol en las fechas dadas y las líneas que parten del polo norte indican las horas.

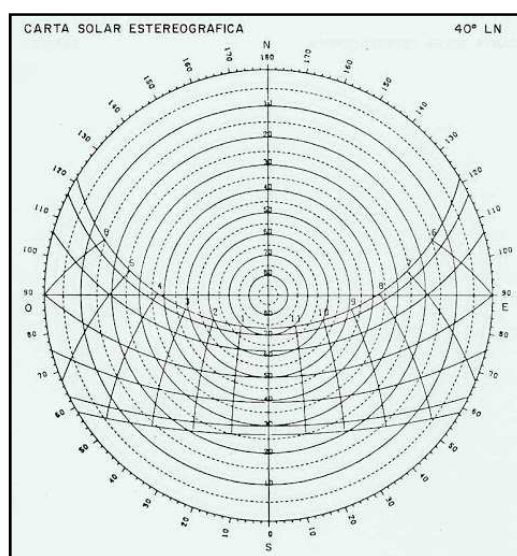
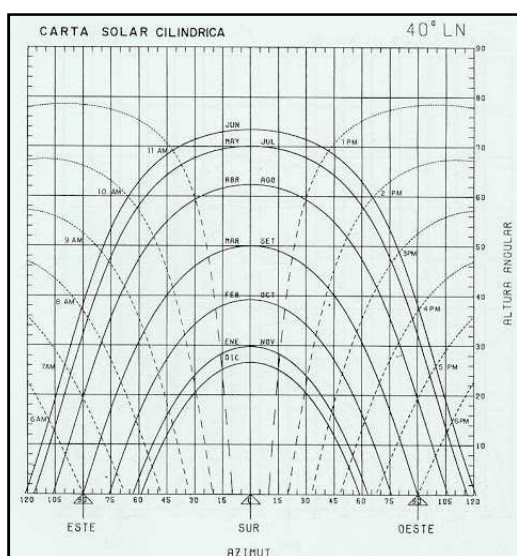
En el siguiente diagrama (Figura 250) se representa media esfera de la bóveda solar imaginaria con el recorrido solar. Las proyecciones de dicho recorrido en el plano horizontal se indican con líneas de trazos discontinuos.



**Figura 250:** Diagrama de la proyección de la bóveda solar “diagrama del recorrido solar”

**Fuente:** Olgay 1998

La incidencia de la radiación solar puede ser determinada en función de la dirección y de la inclinación de los rayos. Las cartas solares nos muestran gráficamente **la altura solar** o ángulo de elevación respecto a la horizontal y **el azimut solar** o ángulo de desviación respecto al sur. Este análisis debe tenerse muy presente tanto en el diseño de una obra nueva como en la evaluación del comportamiento de una edificación y su posterior reacondicionamiento. La incidencia de la radiación solar determina la ubicación y posición de las aberturas y de las partes ciegas, de los elementos de protección etc.



**Figura 251:** Cartas solares cilíndrica y estereográfica para una latitud de 40° N

**Fuente:** Baño 2003



La proyección sobre una superficie cilíndrica de las trayectorias del sol dibujadas sobre la bóveda solar, da lugar a las cartas cilíndricas solares. Si la representación se realiza sobre la propia bóveda solar, es decir, sobre una semiesfera, dará lugar a la carta solar estereográfica o esférica (Figura 251).

Un estudio cuidadoso en cada proyecto nos llevará a determinar los días y las horas en los que se desea evitar la radiación solar. A partir de este análisis se diseñarán las protecciones necesarias para evitar dicha radiación.

A continuación estudiaremos diferentes soluciones utilizadas en la arquitectura sostenible para garantizar la protección solar, cuyo origen y diseño parten de la arquitectura tradicional.

#### a. Protecciones fijas

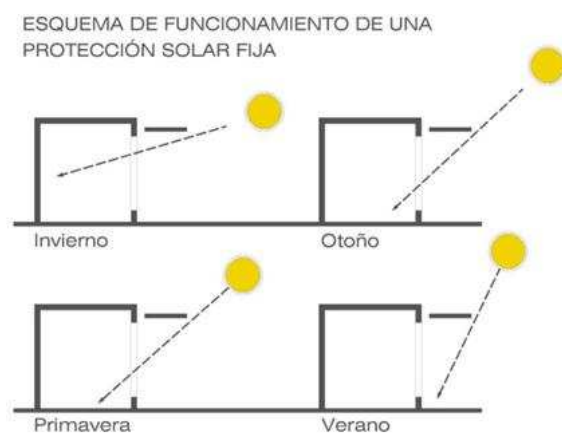
A la hora de diseñar protecciones solares que no permiten ningún tipo de movilidad es importante tener en cuenta tanto la relación visual con el exterior como la correcta iluminación del interior con luz natural.

Para compatibilizar la protección visual con la protección solar fija se pueden utilizar tres tipos de recursos:

1. Separar la protección del hueco situándola de forma que arroje sombra sobre éste a las horas deseadas sin obstruir la visión deseada.
2. Situar la protección ante el hueco formando una malla de finura suficiente de forma que la imagen de las formas exteriores se reconstruya con facilidad.
3. Recurrir a materiales opacos a la radiación infrarroja pero relativamente transparentes a un espectro visual.

En este punto se estudiará el primer tipo. Los otros dos se analizarán dentro del apartado correspondiente a **celosías** y **vidrios** respectivamente.

La protección más simple será la que puedan proporcionar los propios elementos constructivos. Se utilizarán aleros, voladizos, lamas fijas, tejadillos, galerías, brise-soleils, etc. soluciones que protegen los huecos del soleamiento directo. En este sentido, la arquitectura tradicional ha sido fértil en el diseño de elementos constructivos de protección solar. En general son elementos diseñados para proteger del sol en verano, y a la vez, permitir la entrada del sol en invierno.



**Figura 252:** Protecciones solares fijas  
**Fuente:** Alberich y López de Asiain 2012

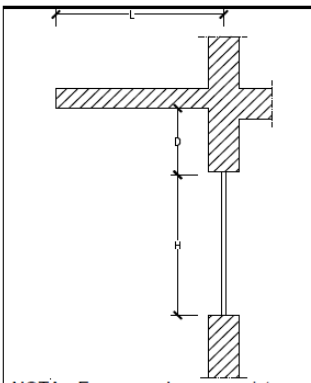
La diferente inclinación con que los rayos solares inciden en verano e invierno sobre la superficie terrestre, con una divergencia de  $46^{\circ} 54'$  entre los solsticios<sup>13</sup>, permite la utilización de elementos arquitectónicos que permiten la entrada del sol con una inclinación determinada, según interese. Su cálculo se obtiene de forma geométrica, ya que determinada la fecha a partir de la cual se desea que los rayos solares no penetren en el ventanal o en un punto determinado, la inclinación del sol en esa fecha proyectada sobre la altura de la ventana nos indicará la medida de la profundidad del parasol o de la inclinación de las lamas. La misma colocación del acristalamiento en haces interiores o exteriores del muro de cerramiento tiene efecto distinto con respecto a la aportación solar (González, 2004).

<sup>13</sup> Debido a la inclinación del eje terrestre, la altura del sol en el invierno llega a  $23^{\circ} 27'$  por debajo de la línea del ecuador, y en el verano alcanza la misma altura, pero encima del ecuador. Estos dos puntos del cielo se denominan solsticios.



Dentro del Código Técnico de la Edificación (CTE), la exigencia básica correspondiente a la “Limitación de la demanda energética” DB HE 1 (septiembre 2013), contempla que los edificios dispondrán de una envolvente de características que limite la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano e invierno. En el documento de apoyo al documento básico DA DB HE 1 (octubre 2013) se considera la influencia que tiene el retranqueo de los acristalamientos de los huecos para determinar el factor de sombra  $F_s$ <sup>14</sup> de los sistemas de protección solar.

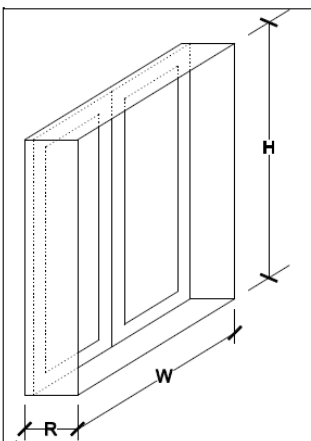
Tabla 11 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo



ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,2 < L/H ≤ 0,5		0,5 < L/H ≤ 1		1 < L/H ≤ 2		L/H > 2			
		S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	
S	0 < D/H ≤ 0,2	0,82	0,50	0,28	0,16	SE/SO	0 < D/H ≤ 0,2	0,90	0,71	0,43	0,16
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,87	0,64	0,39	0,22		0,2 < D/H ≤ 0,5	0,94	0,82	0,60	0,27
	D/H > 0,5	0,93	0,82	0,60	0,39		D/H > 0,5	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	0 < D/H ≤ 0,2	0,92	0,77	0,55	0,22	E/O	0 < D/H ≤ 0,2	0,92	0,77	0,55	0,22
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,96	0,86	0,70	0,43		0,2 < D/H ≤ 0,5	0,96	0,86	0,70	0,43
	D/H > 0,5	0,99	0,96	0,89	0,75		D/H > 0,5	0,99	0,96	0,89	0,75

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Tabla 12 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo



ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,05 < R/W ≤ 0,1		0,1 < R/W ≤ 0,2		0,2 < R/W ≤ 0,5		R/W > 0,5			
		S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39	SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35		0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17		R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65	E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61		0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39		R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

Figura 253: Factor de sombra para obstáculos de fachada

Fuente: CTE DA DB HE 1 (2013)

<sup>14</sup> **Factor de sombra (Fs):** es la fracción de la radiación solar incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

A continuación analizaremos los elementos constructivos y las protecciones fijas más utilizadas dentro de la arquitectura sostenible.

## Aleros

La utilización del alero como prolongación de la cubierta plana o inclinada es una solución constructiva muy extendida dentro de la arquitectura tradicional, como ya se ha estudiado anteriormente. En unos casos se utiliza como protección solar y en otros para proteger los muros de la lluvia.

En una orientación sur la protección solar con un alero es importante, y en las orientaciones este y oeste, donde la radiación es más oblicua, puede llegar a ser interesante un protector de radiación colocado en posición vertical. Como ejemplo práctico, para una ventana orientada al sur, en un lugar de latitud  $41^{\circ} 40'$ , una ventana de 1,30 m. de altura con alféizar situado a 0,90 m. del suelo, necesitaría un alero de 50 cm. de profundidad para evitar totalmente la radiación estival (González, 2004).

Dentro de la arquitectura sostenible podemos comprobar cómo la solución constructiva del alero se mantiene vigente en la actualidad como se ha hecho durante siglos dentro de la arquitectura tradicional.

## Solución constructiva. Ejemplo



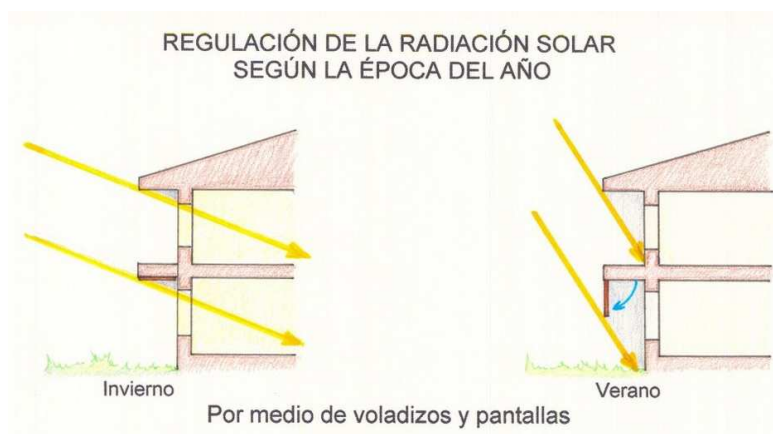
**Figura 254:** Alero (1) Vivienda sostenible en Yumbo (Colombia). (2) Arquitectura tradicional en Riotinto (Huelva)

**Fuente:** (1) <http://www.grupocuna.com/proyectos-grupo-cuna.php>. (2) Vázquez 2010

## Voladizos

La construcción de amplios voladizos o pantallas que protegen las fachadas de la radiación solar directa es otra solución muy empleada dentro de la arquitectura sostenible que garantiza la sombra en verano y permite la entrada de luz en el interior de la vivienda durante el invierno.

### Solución constructiva. Ejemplo



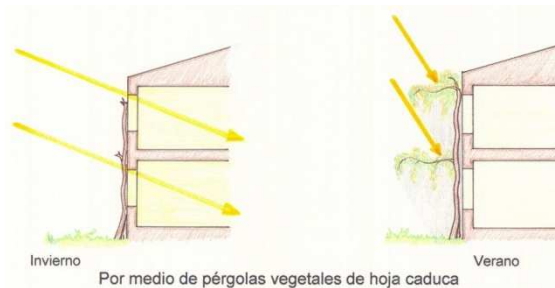
**Figura 255:** (1) Protección solar en acceso acristalado por medio de voladizo. (2) Esquema de regulación solar mediante voladizos y pantallas

**Fuente:** (1) Grupo Gubia 2013. (2) García 2008

Estos amplios voladizos (Figura 255) desde el punto de vista climático funcionan de la misma forma que los pórticos tradicionales adosados a la fachada principal, que permiten refrescar la vivienda y sirven como estancia al aire libre.

Los porches tradicionales ubicados en la fachada sur del edificio, en muchos casos están cubiertos con plantas de hoja caduca, trepadoras o árboles que dan sombra en verano y dejan pasar la luz en invierno, solución utilizada también dentro de la arquitectura sostenible.

## Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 256:** (1) Casa de labranza. Málaga. (2) Esquema de regulación solar mediante pérgolas vegetales

**Fuente:** (1) Farfan 2011. (2) García 2008

## Lamas fijas

La protección solar mediante un sistema de lamas fijas tiene su origen en la contraventana de lamas utilizada en la arquitectura tradicional, que permite iluminar el interior, sin que el sol llegue a introducirse, evitando de este modo el exceso de calor y el deslumbramiento.

En la actualidad los dispositivos externos de sombreado se incorporan en la fachada o envolvente térmica para limitar el aumento del calor procedente de la radiación solar en el interior del edificio. Es por tanto una estrategia de ahorro energético enfocada a limitar la demanda de refrigeración en condiciones climáticas de verano. Teniendo en cuenta que el soleamiento es a su vez una forma de aportar calor y reducir la demanda de calefacción en condiciones de invierno, un protector solar diseñado correctamente no debe penalizar este aporte solar (Martín-Consuegra, 2008).

Las protecciones fijas tienen la ventaja de exigir poco mantenimiento y, si están bien diseñadas y dimensionadas, no se pueden utilizar incorrectamente variando sus funciones.

La utilización de los diferentes dispositivos de protección viene determinada en función de la situación del edificio, y de la superficie y orientación del acristalamiento. Debido al ángulo de incidencia solar, los dispositivos fijos horizontales son recomendables para fachadas con orientación sur, para asegurar la protección solar durante el final de la primavera, todo el verano y principio del otoño.

La radiación solar directa con baja altura solar (este y oeste) es más difícil de garantizar su protección. Las lamas verticales fijas, si son realmente efectivas, excluyen una gran parte de luz natural y obstruyen la visión, es preferible que sean lamas móviles como analizaremos en el apartado de **protecciones orientables**.

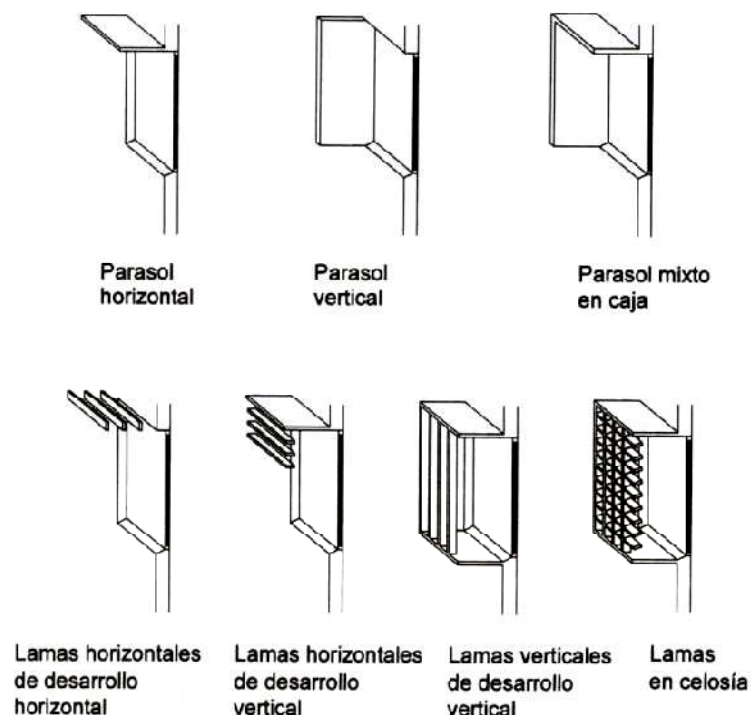
### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 257:** (1) Contraventanas de lamas tradicional. (2) Piel de fachada compuesta por lamas fijas horizontales

**Fuente:** (1) García 2012. (2) Lascano 2011

A continuación se representan los apantallamientos exteriores fijos más característicos, partiendo de los constituidos por un único dispositivo, ya sea horizontal, vertical, mixto horizontal-vertical, también denominado perimetral, y por último frontal. De la misma manera, estos apantallamientos pueden constituirse a partir de dispositivos múltiples o lamas, con las mismas posibilidades (Figura 258).



**Figura 258:** Apantallamientos verticales y horizontales

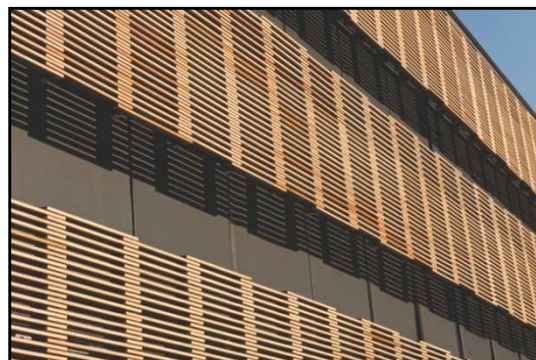
**Fuente:** Neila y Acha 2009

“Las protecciones solares de los huecos juegan un importante papel, ya que a la vez que protegen de la radiación solar mejoran el aislamiento térmico” (Neila & Acha, 2009).

Como ejemplo de arquitectura moderna con protecciones solares fijas destacar el edificio Transoceánica en Santiago de Chile, construido entre 2008 y 2010, obra del estudio de arquitectura *+arquitectos*<sup>15</sup>. Este edificio sostenible cuenta con una protección solar que reduce en gran parte la radiación solar directa sobre los vidrios de la fachada, mediante un sistema compuesto por soportes de aluminio y elementos horizontales fijos de madera que aseguran una adecuada protección frente al sol. Cuando el ángulo de incidencia del sol permite que penetren los rayos solares en el interior de los locales,

<sup>15</sup> Estudio de arquitectura ubicado en Santiago de Chile. Equipo formado por: Alex Brahm, David Bonomi, Marcelo Leturia, Maite Bartolomé, Felipe de la Jara, Diego Parra, Sebastián Infanta, Manuel Brahm, Mauricio Sánchez, Manuel Pulgar, Javier Rolando e Ignacio Abé.

automáticamente descenden unas cortinas exteriores que no bloquean las vistas al paisaje. Estas protecciones solares, combinadas con cristales de baja transmisión térmica impiden el sobrecalentamiento (“Edificio Transoceánica, el primero en obtener la certificación LEED Gold en Chile”, 2012).



**Figura 259:** Edificio Transoceánica en Santiago de Chile. Proyecto de +Arquitectos

**Fuente:** <http://www.masarquitectos.cl/>

#### **b. Protecciones escamoteables**

La movilidad del sol, la necesidad de un mayor aprovechamiento de la luz natural los días nublados y la visibilidad hacia el exterior hacen necesarias en muchos casos la utilización de las protecciones escamoteables, ya que se pueden mover dejando libre la superficie del hueco. Se pueden escamotear por desplazamiento lateral o vertical, enrollar o plegar y apilar. Se utilizan guías, articulaciones, motores, sensores etc. elementos que o son muy simples y exigen cierta intervención manual o son sofisticados y tienen un costoso mantenimiento.

En la arquitectura tradicional las protecciones escamoteables han sido las más utilizadas y han formado parte de la variedad de filtros (visillos, cortinas, toldos privados y urbanos y persianas) con los que un individuo podía matizar su relación con el exterior hasta conseguir el soleamiento, iluminación y vista deseada en cada momento.



## Cortinas y contraventanas interiores

Las protecciones interiores en las ventanas, como las cortinas, visillos, persianas interiores y pantallas, reducen las ganancias de calor al disminuir la cantidad de luz solar directa hacia el interior de los espacios. Sin embargo, estos elementos no funcionan tan eficientemente como las protecciones exteriores, debido a que el aire que circula entre el vidrio y el protector se calienta y, eventualmente, se transmite al interior del ambiente.

Adicionalmente, estas protecciones pueden reducir la temperatura interior, ya que evitan el contacto de los rayos solares con los materiales de elevada masa térmica, como los forjados de hormigón.

Las protecciones solares se encuentran en paralelo y a poca distancia del vidrio, formando una cámara de aire entre ambos que sirva para aumentar la resistencia térmica del hueco. Protegen del sol en condiciones de verano, obstruyéndolo total o parcialmente, y por otra parte reducen la transmisión térmica por las noches en condiciones de invierno.

## Toldos

Los tejidos se han utilizado siempre para protegerse del sol. Las imágenes tradicionales nos muestran que hasta la mitad del siglo XIX era más frecuente el toldo como cortina exterior que la persiana que hoy consideramos tan tradicional.

El toldo inicialmente tenía vuelo hacia el exterior del edificio para proyectar sombra sobre el hueco. Solía ser un tejido claro con alta reflexión y con una trama abierta que permitía cierta circulación del aire. El único inconveniente que plantea es la atención que exige. Al ser frágil al viento es necesario recogerlo casi a diario para evitar que se pueda deteriorar. Quizás por este motivo las soluciones textiles exteriores no progresan. “Se utilizan para terrazas de restaurantes, segundas residencias y para solucionar problemas relativamente domésticos que aseguran un mantenimiento relativamente atento” (Paricio, 1998).





**Figura 260:** Diversidad de toldos a principios del siglo XX. (1) Plaza del mercado en Zaragoza. (2) Barriada de la plaza del mercado

**Fuente:** Baron 2010

En su versión moderna y como protección solar de los huecos acristalados, el toldo se confecciona con tejidos de fibras diversas, siempre resistentes a la intemperie. Su manipulación ha sido tradicionalmente manual. Hoy en día las protecciones escamoteables en muchos casos se suelen motorizar y sus controles se centralizan o automatizan, lo que conlleva la complejidad de instalación y coste de mantenimiento.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 261:** Toldos automatizados

**Fuente:** (1) Decosutol 2011. (2) [www.warema.com](http://www.warema.com)

Como ejemplo de protección solar dentro de la arquitectura actual, donde la fachada, en este caso, de vidrio y acero, está protegida por toldos dispuestos de forma

paralela a los huecos, hoy día llamados **screenes**, podemos destacar la Fundación Cartier en París, edificio inaugurado en 1994, obra del arquitecto Jean Nouvel.



**Figura 262:** Fundación Cartier en París (Francia). Arquitecto: Jean Nouvel

**Fuente:** Duque 2010

## Persianas

Las persianas son un tipo de protección solar utilizada tradicionalmente en la Cuenca mediterránea que permiten protegerse en todo momento de la intensa luminosidad tanto en invierno como en verano.

Existen diferentes tipos de persianas con elementos móviles y graduables que permiten controlar en todo momento la intensidad lumínica en el interior del edificio.

### 1) Persiana practicable

Este tipo de persiana tradicional ya comentada en el apartado de **lamas fijas**, por su tipología de lama, consiste en introducir las mismas en un marco practicable. Es la tradicional persiana mallorquina que se sitúa enrasada en el exterior de la fachada. Tradicionalmente ha sido siempre de madera pero desde hace unos años se fabrica también en aluminio tanto en su versión de lama fija como móvil.

## Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 263:** (1) Persiana mallorquina. (2) Persiana practicable con lamas orientables de aluminio

**Fuente:** (1) Gómez 2014. (2) <http://www.acertec.cat/es/persianas-lamas-orientables->

## 2) Persiana corredera

La manera más elemental de escamotear una protección es desplazarla lateralmente. El arquitecto español José Antonio Coderch (1913-1984) fue el artífice de la incorporación definitiva a la mejor arquitectura de este tipo de protección solar. La utilizó en toda clase de edificios residenciales y la convirtió en unos de los elementos característicos de su arquitectura.



**Figura 264:** Casa Uriach (1961) en L'Ametlla del Vallés (Barcelona). Arquitecto: José Antonio Coderch

**Fuente:** Albors 2008

Desde entonces se ha utilizado ampliamente este tipo de protección, incluso en edificios no residenciales. En su diseño se deben tener en cuenta las dificultades que puede plantear la localización de la corredera en todas sus posiciones.

Actualmente la motorización de este tipo de persianas está abriendo nuevas posibilidades, ya en la Expo 92 hubo una muestra de ello, como es la protección de lamas del pabellón de Siemens que giraba siguiendo el movimiento del sol (Figura 265).

### Solución constructiva. Ejemplos



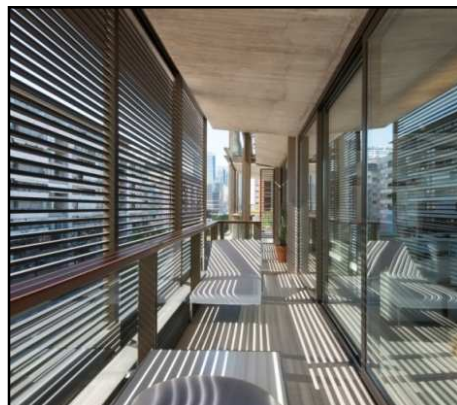
**Figura 265:** (1) Pabellón de Siemens (Expo 92). (2) Residencia de la 3ª Edad (Vilanova i la Geltrú)

**Fuente:** (1) <http://www.legadoexposevilla.org/siemens-encarga-su-pabellon-de-la-expo-92/>

(2) <http://www.tamiluz.es/>

Dentro de la arquitectura moderna en el ámbito residencial destacar el edificio “Faena Aleph” en Buenos Aires, terminada su construcción en 2012, constituye el primer proyecto en Sudamérica de Foster & Partners (Figura 266).

El edificio inspirado en la arquitectura tradicional de Buenos Aires se caracteriza por la combinación de pantallas móviles y balcones con amplios voladizos que permiten que la sombra pueda ser modificada según los ángulos solares, lo que garantiza la privacidad y una iluminación óptima en los espacios de estar y en las terrazas (“Faena Aleph: Foster + Partners completa su primer proyecto en Sudamérica”, 2013).



**Figura 266:** Edificio Faena Aleph en Buenos Aires (Argentina). Arquitectos: Foster & Partners

**Fuente:** <http://www.plataformaarquitectura.cl/?p=231645>

### 3) Persiana de cuerda

La persiana de cuerda ha sido dentro de la arquitectura tradicional la solución universal del soleamiento. Es la solución más simple de protección escamoteable y su manipulación es a la vez sencilla y eficaz. La posición normal de este tipo de persiana totalmente desplegada protege completamente el hueco de la radiación solar directa.

#### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 267:** Persianas de cuerda

**Fuente:** (1) Diez 2012. (2) Elaboración propia

Con la puerta o ventana abierta y la persiana proyectada hacia el exterior permite una amplia ventilación y una buena visión lateral hacia el exterior. La madera actualmente está siendo sustituida por plástico, aunque las exigencias de comodidad de hoy en día, y su imagen asociada a la arquitectura tradicional, están limitando su futuro.

#### 4) Persiana enrollable

En España la solución más representativa como protección solar es la persiana enrollable. Aparece como versión urbana y confortable de la persiana de cuerda. Ofrece la ventaja de que se puede enrollar desde el interior del edificio, está guiada, protegida del viento y además permite el oscurecimiento total.

A pesar de su uso muy extendido, es una solución poco rigurosa, tal y como la utilizamos. La colocación del cajón de la persiana hacia el interior de la vivienda cerrado con una carpintería elemental en muchos casos, ocasiona problemas de aislamiento térmico y acústico, e incluso estanqueidad al aire. Actualmente se está difundiendo la solución del cajón prefabricado de PVC y aluminio con aislamiento en su interior que mejora las condiciones térmicas y de estanqueidad.

#### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 268:** Persiana de aluminio perfilado rellena de poliuretano (Donosti)

**Fuente:** Persianas Noáin Garés 2014

Las persianas enrollables son casi siempre de lama fija, de PVC o aluminio y sus variantes sólo incluyen calidad y tamaño de la lama o complementos que mejoran su seguridad al robo o su capacidad de aislamiento térmico. Este tipo de protección puede estar enrollada o cerrando el hueco, en este caso se reduce drásticamente la iluminación exterior e impide completamente la visión.

## 5) Persiana plegable

En este tipo de persiana las hojas o lamas que la forman se pueden escamotear también por plegado. Se utilizan habitualmente dos tipos de plegado: el de hojas verticales en la jamba, la tradicional persiana de librillo formada por una serie de marcos que se pliegan alternativamente sobre ejes verticales, y la persiana veneciana que constituye la versión tradicional de la persiana apilable, donde las delgadas lamas de madera, plástico o aluminio cuelgan de pares de cordones de forma que sus posibilidades de giro son totales.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 269:** (1) Persiana de librillo con lamas de madera. (2) Persiana veneciana con lamas de aluminio

**Fuente:** (1) Persianas y puertas Miquel 2014. (2) Enxebre Decoración 2014

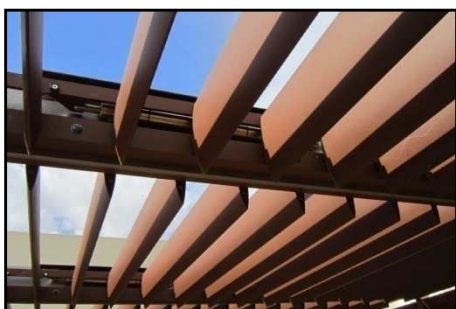
### c. Protecciones orientables

Una solución intermedia entre las protecciones fijas y las escamoteables son las lamas orientables o móviles que pueden girar sobre un eje horizontal o vertical, pueden impedir totalmente el paso de la radiación solar o convertirse en un filtro interpuesto respecto al exterior. La infinidad de posiciones intermedias permite que se puedan adaptar a las distintas estaciones, horas del día, actividades que se vayan a desarrollar en el interior del local y que puedan interceptar la radiación solar en cualquier orientación.

Es importante que este tipo de protectores solares sean de buena calidad, ya que al estar situados a la intemperie van a ser atacados continuamente por el sol, la lluvia, el viento, los cambios de temperatura, estropeándose fácilmente sus mecanismos si no cuentan con una calidad aceptable.

En las fachadas orientadas al este u oeste, al estar sometidas a una altura solar reducida, es preferible utilizar mecanismos verticales regulables para controlar la radiación solar y permitir la entrada de luz y las vistas en los momentos del día en los que la protección solar no sea necesaria.

#### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 270:** (1) Pérgola de lamas orientables, tipo brise-soleil motorizado. (2) Sistema brise-soleil de lamas regulables horizontales

**Fuente:** Tamiluz (2012, 2013)

Los sistemas de celosías o “brise-soleil” son sistemas de lamas que permiten el paso de la luz (luminosidad) pero que, a la vez, impiden, total o parcialmente, la radiación



solar directa en el interior del edificio en condiciones de verano. Los materiales más utilizados son el aluminio, la madera y el PVC. En cuanto a la geometría de lamas, las más comunes son la lama elíptica, la lama tipo Z y la lama arqueada. La lama elíptica, actualmente, es la más utilizada en el campo de la protección solar de fachadas, permitiendo la disposición de las lamas en vertical u horizontal, fijas o móviles, ya sean manuales o mediante motor eléctrico.

#### d. Las celosías

Las celosías son protecciones que interponen cuerpos opacos para limitar la radiación solar que atraviesa el hueco. Esta solución constructiva ya estudiada anteriormente dentro de la arquitectura tradicional, su origen lo encontramos en la estepa y en el desierto.

“Las celosías árabes aún no han sido superadas por ningún dispositivo moderno para crear sombras. El diseño de la filigrana y el dramático juego de luz y sombra crean espacios virtuales en las estancias” (Behling, S., Behling, St., & Schindler, 2002).

#### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 271:** (1) Celosía de ventana en Isfahan (Irán). (2) Celosía en fachada. Edificio de la Corp. Andina de Fomento en Montevideo (Uruguay)

**Fuente:** (1) De Mena 2012. (2) <http://mapaarq.com.uy/158373/1029853/-/caf-corp-andina-de-fomento->

Este tipo de protección se caracteriza porque proporciona un adecuado nivel de luz y ventilación, reduciendo al mismo tiempo la intensidad de los vientos.

Las celosías se encuentran situadas ante el hueco formando una malla de finura suficiente de forma que la imagen de las formas exteriores se reconstruyen con facilidad.

Dentro de la arquitectura moderna podemos destacar como ejemplo de edificación donde la celosía ocupa un papel importante en la fachada, el Instituto del Mundo Árabe en París, construido entre 1981 y 1987, obra del arquitecto Jean Nouvel. Este edificio destaca por el uso de la tecnología en su fachada meridional para el control de la entrada de la luz natural y por los simbolismos del mundo musulmán.

En este proyecto se retoma el concepto de limitada exposición al exterior y transparencia de la arquitectura árabe y lo potencia con una propuesta altamente tecnológica, permitiendo que en el interior del edificio goce de un espectacular manejo de la luz y vistas, aunque manteniendo la privacidad de los recintos.



**Figura 272:** Instituto del Mundo Árabe en París (Francia). Arquitecto: Jean Nouvel  
**Fuente:** Duque 2013

Esta propuesta la constituye la fachada, compuesta por 240 paneles cuadrados que agrupan 30.000 pequeños diafragmas mecánicos de acero (Figura 273), conectados a sensores fotosensibles, que se abren y se cierran de acuerdo a la intensidad lumínica, y cuya forma geométrica se asemeja a los frecuentes patrones encontrados en la arquitectura islámica tradicional (Duque, 2013).



**Figura 273:** Diafragmas mecánicos de acero. Celosía fachada  
**Fuente:** Duque 2013

#### e. Vidrios

El vidrio sin ningún tipo de complemento no es un material que proteja del sol, por este motivo la arquitectura tradicional utiliza grandes y desnudos ventanales que permiten la entrada de luz natural de modo generoso, en aquellos países donde los días nublados y lluviosos suele ser abundantes, aunque siempre buscando un equilibrio razonable entre iluminación y aislamiento.

Cuando un rayo de longitud de onda conocida incide sobre un vidrio, una parte del flujo incidente es reflejada, otra parte absorbida y el resto transmitida a la otra cara. La relación de cada una de estas tres partes con el flujo incidente, definen los factores de reflexión, absorción y transmisión de cada longitud de onda, permitiendo de esta forma estudiar y realizar la curva espectral de transmisión de los rayos solares a través de un vidrio.

El vidrio refleja solo el 8% de la energía total incidente y transmite el 80%. El 12% restante lo absorbe y luego lo irradia hacia el exterior y hacia el interior. Se considera



como referencia un vidrio sencillo que sumando la transmisión y la radiación permite la entrada de un 87% de la energía recibida (Paricio, 1998).

El **factor solar** ( $F_s$ ) de un vidrio es la relación entre la energía total que penetra en un local a través de ese vidrio y la energía solar incidente; el factor solar permite evaluar, por tanto, la protección que ofrece el vidrio utilizado en el acristalamiento para evitar que el calor del verano, provocado por la radiación, penetre en el interior (Neila & Bedoya, 1997).

Para mejorar el comportamiento protector del vidrio hoy en día se utilizan dos recursos: el teñido en masa y la adición de films específicos.

Los vidrios teñidos en masa limitan su papel protector a la absorción de una gran parte de la energía recibida, luego la emiten hacia el exterior y hacia el interior, por lo que su eficacia se reduce. Por este motivo su uso exclusivo está disminuyendo, evolucionándose hacia el uso de films adheridos.

Ante esta opción caben dos soluciones:

- **Las capas reflectantes** que protegen reflejando la energía, y reduciendo por tanto la absorción.
- **Las capas de baja emisividad** que reducen la radiación de calor hacia el interior limitando la transmisión total de los vidrios.

Actualmente están mejorando las características de estos films consiguiendo un filtrado selectivo. La gama de soluciones es muy amplia, aunque para conseguir una protección térmica significativa se debe renunciar a la transparencia.

Aunque pueda parecer anecdótico, una solución que permite disminuir la transmisividad del vidrio es la fachada inclinada. Se trata de aprovechar la reducción de la transmisión solar en los vidrios variando el ángulo de incidencia.

La transmisividad del vidrio se reduce radicalmente cuando el ángulo de incidencia se separa de la perpendicular a la superficie del vidrio,  $70^\circ$  para el vidrio sencillo y  $60^\circ$  para el vidrio doble. Esta solución se utiliza en algunos proyectos para conseguir una protección eficaz en verano, diseñándose la fachada escarpada hacia afuera, ya que al aumentar el ángulo de incidencia, disminuye la transmisividad del vidrio.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 274:** (1) Fachada de vidrio reflectante. (2) Fachada de vidrio de baja emisividad

**Fuente:** (1) Cristal Termo Panel 2014. (2) Pilkington Italia 2014

#### 4.4.2 Captación solar

Para garantizar una arquitectura sostenible en el uso de la energía, hay que saber gestionar de forma inteligente los recursos disponibles. El aprovechamiento pasivo de los recursos que aporta la naturaleza ha estado siempre presente en el comportamiento de los seres humanos. Si analizamos la estructura de la arquitectura tradicional, comprobamos que se fundamenta en tres pilares: la captación de la energía, su acumulación y su distribución. Dentro de este control de la energía es imprescindible la captación; sin embargo, sin una correcta y efectiva acumulación no se podría aprovechar esa energía. Hay que tener en cuenta que la captación de la energía es variable en el tiempo y el espacio; se recibe durante unas pocas horas del día, sin tener la seguridad de que al día siguiente se pueda repetir la misma captación. Por tanto, si queremos que esa energía se distribuya durante todo el día, incluso sirva de reserva para otros días, habrá que acumularla adecuadamente.



El tercer pilar es la distribución; la energía se capta en general a través de una parte concreta del edificio y es preciso trasladarla a la totalidad de los locales, con el correcto diseño de los mismos. Si falla la acumulación, habrá una concentración excesiva de energía mientras se recibe y una ausencia en el resto del tiempo. Si falla la distribución, tendremos locales acondicionados y locales no acondicionados.

La captación de la energía, concretamente la calorífica, se puede realizar empleando dispositivos mecánicos, diseñados para este fin, o mediante sistemas pasivos.

En este sentido se denominan sistemas de acondicionamiento pasivos a aquellos que forman parte del edificio, ya sea como elementos constructivos básicos (muros, ventanas, cubiertas, etc.) o como elementos básicos modificados en su función (invernaderos, galerías, chimeneas, sótanos, etc.). De esta modo, la edificación se convierte, de forma natural, en el sistema de captación, control, regulación, acumulación y distribución de la energía que necesitan sus ocupantes para vivir, sin generar un sobrecoste en la construcción (Neila & Acha, 2009).

En condiciones de invierno, la fuente de energía térmica natural exterior al edificio por excelencia es la **radiación solar**, aunque en ocasiones se pueda contar con la energía geotérmica, la combustión de la biomasa, o del biogás generado por ella. Desde el punto de vista del diseño del edificio y de la concepción de los sistemas pasivos de aprovechamiento, todo se orienta a la captación, acumulación y distribución de la energía solar.

A continuación estudiaremos las diferentes soluciones constructivas utilizadas en la arquitectura sostenible que garantizan la captación solar partiendo del diseño pasivo.

Los elementos constructivos de captación solar pueden ser de forma **directa**, si la energía penetra en el edificio en el mismo momento en el que incide, este es el caso de las ventanas y lucernarios, y **retardada o indirecta**, si entre el momento en el que se recibe la energía y en el que se aprovecha transcurre un período prolongado de tiempo, esta forma de captación incluye los muros y las cubiertas.



### a. Las ventanas

La captación directa en este caso se limita a la disposición de suficiente superficie acristalada orientada correctamente. En la arquitectura tradicional, como ya estudiamos anteriormente, en aquellos lugares del hemisferio norte caracterizados por tener inviernos fríos y en muchos casos veranos frescos y cortos, las viviendas se encuentran orientadas al sur para asegurar un máximo soleamiento. Una orientación sureste en estos casos, facilita un aprovechamiento de la energía solar durante los largos inviernos.

En la actualidad en muchos edificios se cuida la orientación, como lo ha hecho siempre la arquitectura tradicional y para garantizar la captación solar de forma directa sólo exige un correcto diseño del edificio y no representa ningún coste adicional. Tiene como inconveniente la dependencia absoluta de las horas de sol, lo que unido al incontrolado proceso de acumulación, que se produce en los suelos y paredes cercanos al punto de captación, provoca una irregular distribución del calor del local (Neila & Bedoya, 1997). El uso de las ventanas como sistema de captación solar es el más habitual y se emplea en infinidad de edificios en los que se valora la orientación.

“La captación solar es la primera característica de las 10.000 viviendas pasivas que ya hay levantadas por Europa” (Zuleta, 2011).

Debido al clima de nuestro país, es posible aprovechar durante el invierno la radiación solar directa a través de los acristalamientos, mientras que en verano es necesario evitarla. Existen mecanismos y sistemas ya estudiados anteriormente (véase: protección solar, pág. 335), que permiten regular la radiación solar que incide sobre los cerramientos. Partiendo de la premisa de que existe una necesidad de acristalamiento determinada, no cabe duda que, a efectos energéticos, debe haber una distribución óptima de las ventanas en las distintas fachadas de una edificación.

La dificultad inicial radica en la definición de ese óptimo energético, ya que no se puede diseñar únicamente para condiciones de invierno o de verano de forma independiente, ya que si los óptimos no coinciden, las soluciones adecuadas en una estación del año pueden ser inadecuadas en otras. Por ello, hay que analizar de forma global el problema de la distribución del acristalamiento a lo largo de todo el año.



“Uno de los factores concretos más importantes que afecta al consumo de energía del edificio es la situación y tamaño de las ventanas. Si éstas se colocan sin considerar la cantidad de asoleo que pueden recoger, normalmente serán la causa de un importante déficit térmico” (Mazria, 1983). Suponiendo que las ventanas tienen pérdidas similares para cualquier orientación, es importante situarlas de manera que obtengan las máximas ganancias posibles (de asoleo), de forma que éstas superen a las posibles pérdidas.

El estudio para nuestras latitudes de la distribución de la irradiancia a través de vidrios con distintas orientaciones, a lo largo de todo el año, permite determinar que la orientación sur es la más favorable para el acristalamiento, ya que es la única en la que se obtienen mayores ganancias en invierno que en verano, ofreciendo el óptimo energético que inicialmente había que definir.

Los valores de irradiancia a través de un vidrio orientado al sur son los mayores que se obtienen para cualquier orientación, e incluso proporciona los mínimos en verano en muchas localidades españolas, aunque lo normal es que este mínimo se obtenga en la orientación norte. Este comportamiento se basa en la mayor altura que alcanza el sol durante los meses de verano.

Si analizamos el caso concreto de Madrid, la altura solar al mediodía del solsticio de verano es de  $73,4^\circ$ , lo que implica una abertura aparente de huecos para esos rayos del 29% de la real; sin embargo, ese mismo hueco ofrece a los rayos solares del solsticio de invierno, momento en el que la altura solar es de  $26,6^\circ$ , el 89% de la dimensión total, lo que supone una autentica reducción del tamaño de los huecos en verano en comparación con el invierno, período en el que se mantiene muy cerca de su dimensión real.

Las orientaciones este y oeste, son las más desfavorables. En ellas se obtienen siempre los mayores valores en verano y bajísimos en invierno, únicamente rebajados en las orientaciones que dan total o parcialmente al norte.

Normalmente, las edificaciones con ventanas a una sola fachada no son frecuentes, y siempre hay que considerar, al menos, pequeñas distribuciones en una segunda fachada, generalmente la opuesta a la primera. Analizando de forma general los





distintos edificios que pueden tener acristalamiento a norte, sur, este y oeste simultáneamente, los óptimos son los que tienen el máximo acristalamiento orientado al sur, y el mínimo al este y al oeste, mientras que los pésimos son los que tienen el máximo acristalamiento orientado a este y oeste (Neila & Bedoya, 1997).

Las ventanas deberían situarse cuidadosamente de acuerdo con las necesidades de luz y de calor de cada espacio. Una zona de dormitorios puede requerir ventanas al este o el sudeste para captar el sol de las mañanas en el espacio interior. Es importante tener en cuenta que, los vidrios simples o dobles colocados al este y al oeste, presentan en casi todos los climas, un balance invernal equilibrado o deficitario. Como el sol no incide en invierno en la fachada norte de un edificio, las ventanas instaladas en este lugar son una fuente continua de pérdidas (Mazria, 1983).

En cuanto a la superficie de captación necesaria, para el tipo de clima moderado que se disfruta en España, sería suficiente la colocación de una superficie de vidrio entre 0,25 y 0,80 m<sup>2</sup> por cada metro cuadrado de superficie a acondicionar; este amplio margen se debe a las posibles variaciones de aislamiento del local y las variaciones climáticas (Neila & Acha, 2009).

El siguiente ejemplo de edificación (Figura 275) representa la primera vivienda certificada como pasiva en España (PHPP). Diseñada por el arquitecto leridano Josep Bunyesc, se trata de un inmueble perfectamente aislado que ahorra hasta un 90% del consumo energético.

La vivienda situada a la afueras de Lleida gracias a su orientación y a sus grandes ventanales está diseñada para absorber el sol. Las paredes interiores y los muros de fachada, de placas de fibra de madera compacta, con 20 cm. de espesor de lana de oveja mantienen la temperatura de la vivienda. Cuando no brilla el sol, las placas solares recurren a la energía que han acumulado para compensar la pérdida de calor (Zuleta, 2011).

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 275:** Primera vivienda certificada como pasiva en España. Arquitecto: Josep Bunyesc  
**Fuente:** Zuleta 2011

#### b. Galerías acristaladas e invernaderos adosados

El vidrio es permeable a la radiación solar a causa de su longitud de onda, entre 0,3 y 2,5 micras. La luz que penetra a través del vidrio es absorbida por todo lo que hay tras él: aire, objetos, paredes, suelos etc. por este motivo se calientan, y a su vez emiten radiaciones, en esta caso la longitud de onda es superior a 5 micras, a la que el vidrio es impermeable. Esta situación produce un elevado calentamiento en el interior del espacio existente tras el vidrio que se conoce como “efecto invernadero” (González, 2004).

La arquitectura tradicional como ya hemos estudiado a lo largo de la presente tesis utiliza este efecto, que controlado a través de las diferentes estaciones puede matizar los efectos térmicos de un edificio, utilizando elementos constructivos de captación directa, como los tradicionales miradores, las típicas galerías acristaladas gallegas o los invernaderos adosados al edificio utilizados tradicionalmente en buena parte del norte de España.

La galería acristalada permite crear espacios para vivir o de tránsito integrados en el edificio y el invernadero atrapa la energía aportada por la radiación solar para calentar una masa de aire.



Estos elementos utilizados actualmente consiguen un rápido calentamiento, pero también un enfriamiento igualmente rápido al cesar la fuente que le proporciona la energía. Se pueden utilizar con eficacia para alojamientos cuyo régimen de funcionamiento requiera un periodo corto o puntual de estancia.

Aquellas construcciones que tengan una inercia térmica importante y estén decididas a servirse de ella, obtendrán un ambiente interior con menores oscilaciones térmicas, más estable, con calentamientos y enfriamientos más prolongados. Este caso puede ser aconsejable para alojamientos con estancias prolongadas, en general, viviendas permanentes (Baño, 2003).

Según Yáñez (2008), podemos resumir los cuatro mecanismos que contribuyen a la calefacción:

- 1) Reducción de las pérdidas caloríficas desde el interior del local hacia el espacio exterior debido a que la temperatura del invernadero es generalmente más alta, sobre todo cuando incide sobre él, la radiación solar.
- 2) Ganancia directa a través de las ventanas situadas entre el invernadero y el espacio interior.
- 3) Precalentamiento del aire de ventilación en la galería acristalada.
- 4) Absorción de calor en la superficie externa del muro, en el interior del invernadero, y conducción a través de él, hacia el espacio interior.

El balance térmico de un invernadero adosado mejora en invierno si se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Utilización de vidrio doble.

- b) Muro de cerramiento, entre el invernadero y el espacio interior, de gran capacidad térmica y con acabado exterior absorbente, ya que el color de la superficie del muro debe facilitar la captación de la radiación solar.
- c) Establecimiento de una circulación de aire caliente desde el invernadero hacia el interior de forma natural o forzada a través de huecos practicables, reduciendo así las temperaturas del mismo y, en consecuencia, también sus pérdidas de calor.

La naturaleza compleja de los flujos térmicos entre un invernadero y la edificación hace difícil el dimensionado exacto de un invernadero y prever el rendimiento del sistema de calefacción solar.

La cantidad de energía aportada depende de varias variables como la latitud, el clima, la masa térmica de almacenamiento y del tamaño y características de aislamiento del invernadero.

Según Mazria (1983), es recomendable construir el invernadero a lo largo de la fachada sur del edificio, junto a los locales que se pretende calentar. En climas fríos se debe utilizar entre 0,65 y 1,5 m<sup>2</sup> de vidrio doble en la orientación sur por cada metro cuadrado de superficie útil del edificio (anexo). En climas templados se utilizará entre 0,33 y 0,9 m<sup>2</sup> de vidrio por metro cuadrado de superficie útil. Respetando estas proporciones de la superficie acristalada se captará energía suficiente para mantener el interior del invernadero y el espacio anexo a una temperatura media entre 15 y 21 °C en un día despejado de invierno.

Las superficies aproximadas de vidrio doble para climas fríos y templados se establecen en la siguiente tabla (Figura 276), para combinaciones de invernadero/edificio con una pared de obra común o una pared de almacenamiento de agua entre los espacios.

<i>Temperatura exterior media de invierno (°C) (grados-día mensuales)<sup>1</sup></i>	<i>Superficie de vidrio del invernadero<sup>2</sup> en relación a la superficie útil interior</i>	
	<i>Muro de obra</i>	<i>Muro de agua</i>
<b>Climas fríos</b>		
- 7 °C (750)	0,9 -1,5	0,68-1,27
- 4 °C (670)	0,78-1,3	0,57-1,05
- 1 °C (580)	0,65-1,17	0,47-0,82
<b>Climas templados</b>		
+ 2 °C (500)	0,53-0,90	0,38-0,65
+ 5 °C (420)	0,42-0,69	0,30-0,51
+ 7 °C (330)	0,33-0,53	0,24-0,38

Notas: 1. Las temperaturas y los grados-día se dan para diciembre y enero, usualmente los meses más fríos.  
2. En cada margen de valores se elegirá el coeficiente según la latitud. Para bajas latitudes (35° de LN) se tomarán los menores y para altas latitudes (48° de LN), los mayores. Para mal aislamiento del invernadero o del edificio se aumentará la proporción de vidrio.

**Figura 276:** Dimensionado de un invernadero adosado en distintas condiciones climáticas  
**Fuente:** Mazria 1983

Como ejemplo, en Madrid (40° de LN y temperatura media de enero de +5 °C), un invernadero adosado con un muro separador de obra necesitará 0,5 m<sup>2</sup> de vidrio doble por metro cuadrado de superficie útil del local anexo. Es decir, una habitación de 20 m<sup>2</sup> necesitará un invernadero con una superficie de vidrio de 10 m<sup>2</sup> orientado al sur.

Como acristalamiento pueden utilizarse vidrios normales, coloreados, doble acristalamiento o plásticos. Si queremos llevar a cabo una rehabilitación bioclimática, estos últimos deberían estar justificados biológicamente: los poliésteres son muy desfavorables por su poca durabilidad, siendo mejores los policarbonatos, a pesar de que resultan más costosos económicamente y poco resistentes a los productos de limpieza que contengan sosa (Martín-Consuegra, 2008).

El grado de efectividad de un invernadero como fuente de calor depende de los detalles de la conexión térmica entre el invernadero adosado y el edificio. En aquellos casos que recuperan la mayor parte del calor a través de la pared común entre el invernadero y el ambiente anexo, la eficacia del sistema depende en gran medida de la superficie de la pared, de su espesor, del material y del color de la superficie (Mazria, 1983).

Cuando el sistema principal de transferencia de calor entre el invernadero y el edificio es una pared térmica (muro de gran inercia térmica), se puede utilizar la siguiente tabla como guía para seleccionar su espesor:

Material	Espesor recomendado (cm)
Adobe	20-30
Ladrillo	25-35
Hormigón	30-45
Agua	20 cm. o 200 l por m <sup>2</sup> de vidrio al sur

**Figura 277:** Espesor recomendado para una pared térmica entre invernadero y edificio  
**Fuente:** Mazria 1983

Con relación al color de la pared térmica, según indica Mazria (1983), “Debe acabarse la superficie de la pared en color medio u oscuro y debe cuidarse de no bloquear la radiación directa que llega sobre ella. En climas frescos y fríos, deben colocarse pequeñas ventilaciones o ventanas practicables en la pared para transferir calor directamente del invernadero al edificio durante el día”.

Los invernaderos adosados a la fachada del edificio orientada al sur para maximizar la ganancia solar es necesario tomar alguna medida para evitar pérdidas de calor durante la noche, ya que el vidrio es buen transmisor del calor, ya sea mediante persianas aislantes, o diferenciando el invernadero del resto de la vivienda mediante un muro de cerramiento.

En la gran mayoría de las zonas climáticas del país que contempla el CTE, es imprescindible prever sistemas de ocultación solar durante los meses de verano, además de dotar a los invernaderos de sistemas que permitan la ventilación hacia el exterior, ya que la incidencia de la radiación solar puede ocasionar sobrecalentamiento. En esta época del año y durante las horas de sol las temperaturas pueden ascender por encima de las condiciones de confort térmico necesarias para el uso de los locales. Debido a un aumento de la intensidad y horas de sol, el ambiente interior sufre un sobrecalentamiento unido a un enfriamiento nocturno insuficiente. En estos casos, el balance térmico permanente es positivo, cuando en estos momentos las necesidades se inclinan hacia el enfriamiento.



Respecto al ángulo que debe tener el cerramiento de vidrio de los invernaderos, la luz solar atraviesa de forma más eficaz aquellos vidrios que están instalados formando ángulo recto respecto a los rayos solares. Es evidente que no se puede cambiar el ángulo de los vidrios para mejorar la penetración de la luz solar al producirse cambios en la posición del sol tanto durante el día como durante las diferentes estaciones del año.

El ángulo que se considera óptimo para recoger la luz solar durante la temporada de calefacción depende del clima, la latitud, y la cantidad de ganancia térmica solar deseada. Este ángulo de máximo aprovechamiento solar para la calefacción durante el invierno se puede calcular de forma aproximada sumando entre  $10^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  a la latitud del lugar. Como ejemplo, la pendiente del acristalamiento de un invernadero en Pamplona, a  $43^{\circ}$  de latitud norte sería de  $53^{\circ}$  a  $58^{\circ}$  respecto a la horizontal (Martín-Consuegra, 2008).

Sin embargo, optimizar el ángulo del vidrio para maximizar las ganancias solares durante el invierno en algunos casos puede no ser el mejor diseño para el invernadero, ya que se deben valorar algunas cuestiones:

- La resistencia estructural del sistema tiene una mayor exigencia si el vidrio tiene inclinación, ya que se debe aumentar su espesor para contrarrestar su fragilidad o aumentar el número de apoyos estructurales.
- Se debe valorar su exposición a la intemperie, ya que el granizo, la nieve y el viento pueden causar el fracaso del material. Para garantizar la seguridad de los usuarios, se exige normalmente que los vidrios con inclinación sean de seguridad, laminados o una combinación de ambos.
- Resulta difícil controlar la ganancia de calor solar indeseable durante el verano en un invernadero donde el vidrio tiene pendiente.

Analizando las cuestiones anteriores, se puede recomendar que el acristalamiento vertical es la mejor solución para invernaderos destinados al ahorro energético en viviendas, en la mayoría de las zonas climáticas del país. El acristalamiento vertical absorbe menor cantidad de calor en invierno que el acristalamiento con pendiente, sin embargo, se evitan muchos inconvenientes. La instalación del vidrio es más sencilla y

menos susceptible de fugas. Por otro lado, es más fácil de protegerlo del sol mediante mecanismos de sombra durante el verano. Un voladizo horizontal bien diseñado permitirá sombrear el invernadero durante el verano y los dispositivos de sombra y aislamiento móvil, como persianas son más fáciles de instalar y utilizar.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 278:** Efecto invernadero. (1) Edificios tradicionales de Espinosa de los Monteros (Burgos). (2) Boreal, Casas Invernaderos. Nantes (Francia). Estudio de arquitectura: Tétrarc Architectes  
**Fuente:** (1) Elitomac 2010. (2) VNorte 2012

Este ejemplo de arquitectura moderna, *Boreal Casas Invernaderos* (Figura 278), está concebido como un proyecto de interés social de forma sostenible, tanto por lo que se refiere a las tecnologías, materiales y formas. Situado en la localidad de Nantes en Francia y diseñado por el estudio de arquitectura Tétrarc Architectes, aprovecha parte de la estructura arquitectónica construida en 1930, empleando materiales respetuosos con el medio ambiente.

Las viviendas presentan una fachada tipo invernadero orientado al sur, con la que se consigue ahorrar energía por dos vías, por un lado, iluminando el interior de los pisos con luz natural y por otro bioclimatizando a una temperatura constante la superficie de las viviendas (VNorte, 2012).





### c. Muro Trombe

Desde la antigüedad, el ser humano a través de la arquitectura tradicional, ha utilizado gruesos muros de piedra y adobe para captar el calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche hacia el interior de las viviendas. En la actualidad las modernas viviendas sostenibles han recogido y mejorado esta vieja técnica incorporando un sistema de almacenamiento y distribución del calor denominado **Muro Trombe**. Este sistema solar de captación indirecta es uno de los más populares. La utilización del muro trombe toma su nombre de su inventor el francés Félix Trombe, quien, junto con el arquitecto Jacques Michel, realizó en 1967 en Odeillo, Pirineo francés, una vivienda experimental. Este sistema consiste básicamente en un invernadero de reducidas dimensiones, consta de una pequeña masa de aire aislada entre un vidrio exterior y un muro interior de gran espesor y densidad, cuya superficie exterior debe ser de color oscuro para evitar pérdidas por reflexión y permitir que absorba el máximo de energía. El muro dispone de orificios, unos situados en la parte alta, y otros en la parte inferior.

El muro trombe cumple con tres funciones, la captación directa de la radiación solar a través del vidrio, su acumulación en el muro y la distribución del aire que al calentarse, asciende por convección natural y, atravesando el muro por los orificios situados en la parte superior, pasa al interior del local. El pequeño vacío que se crea en la cámara es suficiente para arrastrar, a través de los orificios inferiores que tiene el muro, el aire frío del local que se encuentra estratificado a nivel del suelo. De esta forma se crea una circulación de aire frío del local al muro y, una vez caliente, del muro al local.

La captación directa es función de la superficie y orientación del acristalamiento, que debe ser lógicamente al sur. La gran inercia térmica que tiene el muro cubre las necesidades de energía cuando deja de incidir el sol sobre el mismo y durante la noche, ya que esta acción la realiza con la energía que tiene acumulada. Para ello es necesario dimensionar su espesor, de forma que coincida el momento en el que deja de dar el sol sobre el muro, con el momento en el que la onda de calor lo ha atravesado en su totalidad. Debido a que la energía comienza a atravesar el muro en el mismo momento en el que empieza a recibir la radiación solar, el **desfase de la onda térmica**; es decir, el número de horas que tarda el calor en atravesarlo, debe coincidir con el número de horas de soleamiento del muro (Neila & Bedoya, 1997).

Este desfase de la onda térmica  $df$  (h), que es generalmente de varias horas, depende de la conductividad térmica  $\lambda$  (W/mK), de la densidad  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>), del espesor  $d$  (m), del calor específico  $c$  (J/kgK) y de su duración  $t$  (h), que para aplicaciones climáticas es de 24 horas. Los desfases mayores se obtienen para los materiales más densos y con mayor espesor, con el calor específico alto y una baja conductividad térmica. Su expresión, considerando los periodos de tiempo en horas, es la siguiente:

$$df = 0,53 \cdot \frac{t}{2} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{\pi \cdot \lambda \cdot t}} \cdot d$$

En función de la difusividad térmica  $\left[ a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \right]$  y para un periodo de 24 horas la expresión queda de la siguiente manera:

$$df = \frac{0,73 \cdot d}{\sqrt{a}}$$

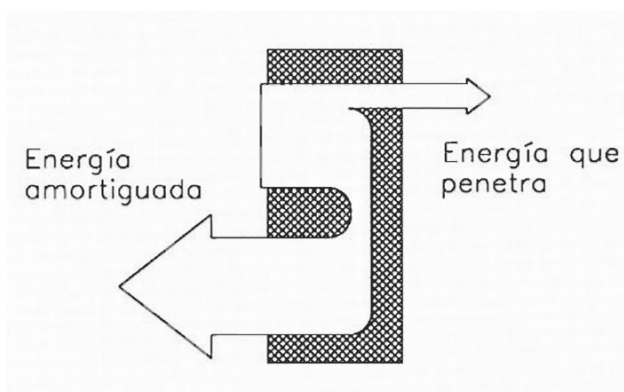
Sin embargo, no es éste el único fenómeno que se detecta en los cerramientos como consecuencia del régimen variable. Durante el lento proceso de conducción del calor a través del muro, las condiciones exteriores pueden cambiar: deja de dar el sol y baja la temperatura. Esta situación provoca que parte del calor que se había acumulado dentro del muro encuentre una salida térmicamente razonable hacia el exterior, produciéndose un rebote de la onda de calor. A este fenómeno se le denomina **amortiguación de la onda térmica  $f_a$**  (%).

$$f_a = 1 - e^{\left[ -0,53 \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{\lambda}} \cdot d \right]}$$

En función de la de la efusividad térmica  $(b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda})$  y para un periodo de 24 horas la expresión queda de la siguiente manera:

$$f_a = 1 - e^{\left[\frac{-0,19 \cdot b \cdot d}{\lambda}\right]}$$

La amortiguación de la onda térmica, que depende de los mismos parámetros que el desfase de la onda, es muy elevada, generalmente por encima del 60% (Figura 279).



**Figura 279:** Amortiguación de la onda térmica

**Fuente:** Neila y Bedoya 1997

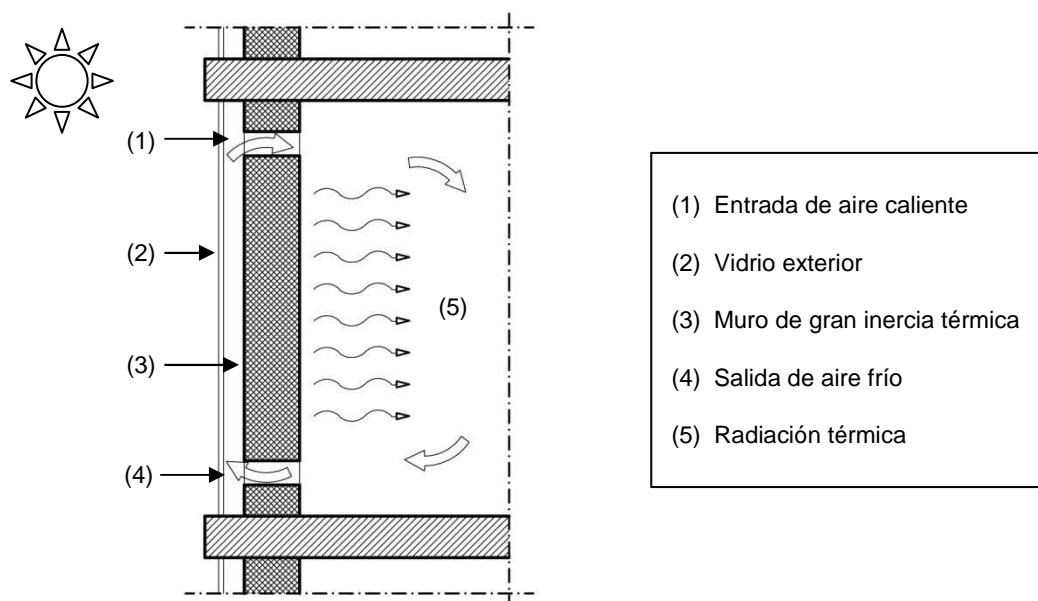
Sin embargo, la energía amortiguada no se pierde, ya que se invierte en seguir calentando el aire de la cámara que forma con el vidrio, forzando su circulación a través del local.

Para que realmente no se pierda, dado que aflora durante las horas de la tarde y de la noche, en estos casos, habrá que proteger el vidrio exteriormente para que no se enfríe.

La protección que debe utilizarse durante las horas que no actúa el sol sobre el muro y, sobre todo, en las horas frías de la noche, puede consistir en la instalación de una persiana exterior, que mejorará su función cuanto mayor sea su aislamiento. De esta forma se evita que el vidrio se enfríe en exceso y robe calor por radiación y por convección al muro.

En verano, cuando es necesario evitar el calentamiento del muro, se incluirá una protección sola exterior. La solución ideal consiste en diseñar una visera fija sobre el vidrio de forma que deje pasar la radiación en invierno pero que arroje sombra sobre dicho vidrio en verano. Un alero de cubierta o voladizo puede realizar esta función. Tienen la ventaja de que funcionan sin intervención del usuario. Como solución alternativa se puede utilizar también una protección solar móvil (persianas, contraventanas etc.) de forma que en verano no se caliente la cámara de aire y se pueda refrigerar el interior del local a través de una ventilación cruzada (Martín-Consuegra, 2008).

### Esquema de funcionamiento



**Figura 280:** Sección vertical muro trombe

#### Esquema de funcionamiento

**Fuente:** <http://www.ecoedility.it/e3news/?p=155>

#### Descripción del sistema

**Fuente:** Elaboración propia

## Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 281:** Muro trombe. (1) Casa ecológica en Tucumán (Argentina). (2) Vivienda sostenible

**Fuente:** (1) <http://ecofactory.blogspot.com.es/2008/10/soluciones-bioclimaticas-ii.html>.

(2) <http://www.ison21.es/2009/09/09/el-muro-trombe-diy-gallery/>

Dentro de la captación solar existen otras soluciones constructivas que aprovechan la radiación solar aunque de forma indirecta o retardada como hemos comentado anteriormente. Estas soluciones dependen de la inercia térmica de los materiales que intervienen en su diseño constructivo, por ello, serán estudiadas dentro del apartado de **inercia térmica** como estrategia bioclimática.

### 4.4.3 Protección de la lluvia y de la humedad

A través del análisis de la arquitectura tradicional hemos podido comprobar como el hombre ha utilizado según el lugar, el clima y la materia prima predominante, diferentes soluciones constructivas que le han permitido protegerse de la lluvia, evitando la entrada del agua en el interior de la vivienda y las filtraciones a causa de la humedad del terreno. Algunas de estas soluciones se utilizan en la arquitectura sostenible, aunque evolucionadas y adaptadas según las circunstancias actuales.

La cubierta, recibe continuamente la acción solar, a lo largo de todo el día y necesita la mayor protección frente a las lluvias y humedades. En la arquitectura sostenible en general las cubiertas se caracterizan por su gran espesor que garantiza su

alto aislamiento e inercia térmica, necesaria para que el edificio disminuya su consumo energético y se comporte de una forma adecuada, desde el punto de vista térmico y medioambiental. En este sentido, las cubiertas ajardinadas juegan un papel muy importante.

Dentro del estudio de la arquitectura tradicional hemos analizado como existen multitud de soluciones constructivas a la hora de garantizar la estanqueidad de las cubiertas frente a la lluvia, donde el hombre en todo momento ha utilizado materiales y técnicas locales para evitar la entrada del agua y de la humedad en el interior de las viviendas. Hoy en día estas soluciones en la mayoría de los casos han sido sustituidas por sistemas adaptados según las técnicas y exigencias actuales.

En el desarrollo de la arquitectura sostenible se incorporan materiales impermeabilizantes que preservan el medio ambiente reduciendo la contaminación atmosférica e hídrica, generando energía o mejorando el aislamiento y la estabilidad térmica del edificio. Estos materiales en muchos casos, libres de halógenos y sin plastificantes en su composición garantizan una alta durabilidad, permitiendo su posterior reciclaje.

Se emplean láminas protegidas por materiales en base a  $\text{TiO}_2$  (dióxido de titanio), agente descontaminante por fotocatalisis, que bajo el efecto de los rayos UVA procedentes de la radiación solar, provoca una descomposición de los óxidos contaminantes  $\text{NO}_x$  en subproductos que se evacuan a través de las aguas pluviales (Figura 282).



**Figura 282:** Lámina protegida por material descontaminante  $\text{TiO}_2$ .

**Fuente:** Icopal 2014



El efecto descontaminante obtenido es permanente, a lo largo de la vida útil de la impermeabilización. La concentración de nitratos producidos por fotocatalisis es muy baja, por lo que no tiene ningún impacto en la calidad de las aguas pluviales (Icopal, 2014).

Se utilizan también láminas de betún acabadas con pintura acrílica de color blanco, de alta reflectancia solar (reflejan el 75% de la radiación solar) y devuelven el 85% del calor al ambiente<sup>16</sup>, mejorando el aislamiento térmico de la cubierta y reduciendo el consumo de energía de los aparatos de climatización.

Se diseñan sistemas de impermeabilización y retención de las aguas pluviales, que permiten su reutilización para el riego de zonas verdes. Hay que tener en cuenta que dentro de la arquitectura sostenible existe una preocupación por el aprovechamiento del agua de lluvia. Por ello, las edificaciones cuentan actualmente con sistemas que permiten recoger, acumular y distribuir el agua para su reutilización.

El agua de lluvia está disponible en casi cualquier parte del mundo, por lo que se puede recoger de forma generalizada, y se puede almacenar para su posterior tratamiento y consumo. En general, el agua de lluvia tiene buena calidad, ya que solo ha podido contaminarse por contaminantes atmosféricos en suspensión locales, y por los contaminantes incluidos en las propias cubiertas (o terrenos de recogida) en las que ha caído la lluvia. Por este motivo, el tipo de tratamiento habitual es muy sencillo (con procedimientos de desinfección) y se convierte fácilmente en agua potable (De Garrido, 2012).

A continuación estudiaremos algunas de las soluciones constructivas que utiliza la arquitectura sostenible para garantizar la protección frente a la lluvia y a la humedad, partiendo de las fuentes tradicionales.

---

<sup>16</sup> Según el ensayo ZAE 2-1212-05 (2012) de ZAE Bayern

### a. Porches y soportales

En aquellos climas donde son frecuentes las lluvias, la arquitectura tradicional protege el acceso a la vivienda mediante un porche o soportal que actúa como elemento de transición entre el espacio exterior e interior. Durante el verano esta solución constructiva garantiza la protección solar, utilizándose en muchos casos como estancia al aire libre.

En el diseño de las viviendas sostenibles se utiliza este sistema de protección, que en algunos casos (Figura 283) incorpora claraboyas que permiten la captación solar directa de forma localizada, evitando la radiación solar en el interior de la vivienda. Es importante que se proponga un diseño adecuado del techo, ya que cuando llueve, el porche debe seguir siendo un espacio funcional protegido.

#### Solución constructiva. Ejemplos

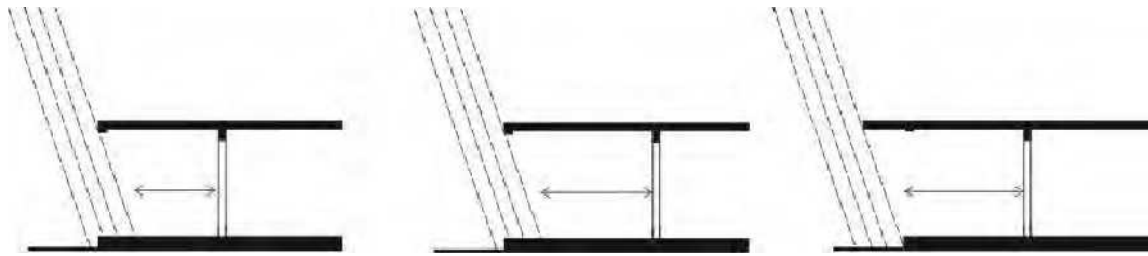


**Figura 283:** (1) Casa criolla (Nueva Orleans). (2) Vivienda sostenible en Gold Country (California)

**Fuente:** (1) Henry 2007. (2) Dazne 2011

En el caso de fuertes lluvias puede reducirse considerablemente la superficie útil del porche. Por ello, a pesar de que funciona como un gran alero, es necesario en estos casos, que la cubierta se prolongue más allá del límite del suelo para proteger el interior del porche de forma efectiva sin reducir el espacio habitable (Figura 284).





**Figura 284:** (1) Reducción de la superficie útil. (2) Recuperación de la superficie útil aumentando la profundidad. (3) Recuperación de la superficie útil prolongando la cubierta

**Fuente:** Vieira 2010

### b. Aleros y voladizos

Los aleros y amplios voladizos son elementos constructivos utilizados habitualmente en la arquitectura sostenible, como hemos estudiado anteriormente, que protegen las fachadas de la radiación solar directa. En época de lluvias estos elementos protegen los cerramientos y los huecos, evitando la humedad en el interior de la vivienda.

#### **Solución constructiva. Ejemplo**



**Figura 285:** Vivienda sostenible con amplios voladizos

**Fuente:** Ecohabitar 2011



### c. Cubiertas ajardinadas

Dentro de la arquitectura sostenible se utilizan habitualmente las cubiertas ajardinadas, cuyo origen lo encontramos en la arquitectura tradicional (véase pág. 178). Los sistemas de naturación de cubiertas incorporan masa vegetal a las edificaciones y su técnica constructiva ha sido empleada desde hace siglos, como en el caso de Islandia (Valero, 2013).

Actualmente estos sistemas han evolucionado ofreciendo una gran variedad de alternativas en fachadas y cubiertas. El agua de lluvia se aprovecha en esta tipología de cubierta y el gran espesor que tiene en general facilita su alto aislamiento e inercia térmica. Su estudio y análisis detallado lo desarrollaremos dentro de la estrategia bioclimática correspondiente al **aislamiento térmico**.

### d. Viviendas elevadas del suelo

Esta solución constructiva corresponde a los **palafitos**. Las construcciones palafíticas, estudiadas dentro de la arquitectura tradicional, aunque se han encontrado numerosos restos en Europa, esta tipología es más propia de zonas tropicales donde predominan las altas temperaturas, la humedad y las abundantes lluvias, siendo los ejemplos más representativos los del norte de Venezuela, junto con otros emplazamientos en el sudeste asiático.

El palafito se diseña como solución en aquellas regiones tropicales caracterizadas por las grandes crecidas que sufren los ríos en época de lluvias, ya que para evitar inundaciones provocadas por el crecimiento del agua, las construcciones se encontraban elevadas. En unos casos se elevaban del terreno y en otros del agua.

“Construir sobre el agua puede parecer una idea revolucionaria, compleja técnicamente y que remite a imágenes futuristas de sofisticadas estructuras anfibia. Sin embargo, estamos hablando de una de las tipologías de arquitectura vernácula más antiguas y que más se ha extendido en nuestro planeta: el palafito” (Bahamón & Álvarez, 2009).



**Figura 286:** (1) Palafito elevado sobre el terreno. (2) Conjunto de palafitos elevados sobre el agua  
**Fuente:** (1) <http://wirinokodelta.blogspot.com.es/p/el-campamento.html>. (2) López 2008

El palafito se trata de una tipología que ha evolucionado en el tiempo y cuenta con un gran número de ejemplos alrededor del mundo, cabe destacar dos viviendas significativas de la arquitectura del siglo XX como herederas parciales de la arquitectura tradicional de los palafitos: la casa Farnsworth de Mies van der Rohe, construida en Estados Unidos entre 1945 y 1951; y la casa construida por Ronnie Tallon en Irlanda en 1970 (Figura 287).

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 287:** (1) Casa Farnsworth (Estados Unidos). Arquitecto: Mies van der Rohe. (2) Casa Tallon (Irlanda). Arquitecto: Ronnie Tallon  
**Fuente:** (1) García 2013. (2) Map (anónimo) 2013

Existen pocos estudios en torno a este tipo de arquitectura y, aunque hay numerosos edificios que la recuerdan, las recientes interpretaciones tienen poco que ver



con la idea de protección y confort climático que originalmente proporcionan los palafitos. Las versiones actuales mantienen el espíritu de esta tipología tradicional, en cuanto a la construcción con materiales respetuosos del entorno, como la madera (que constituye el recurso predominante en la zona intertropical del planeta), la ubicación de las estructuras sobre el agua y la distribución de las edificaciones en conjuntos urbanos compactos.

Se construyen edificaciones que, aunque no se localizan siempre en los lugares donde esta tipología es tradicional, si recurren a los elementos característicos de los palafitos. Muchos arquitectos actuales, tanto locales como internacionales se han inspirado en el palafito para el diseño de algunas de sus obras recientes (Bahamón & Álvarez, 2009).

El palafito resuelve el problema del encuentro de una edificación con el terreno, aspecto que ha sido siempre uno de los más importantes dentro de un proyecto. La manera más común de resolver este detalle es mediante la utilización de zócalos que tradicionalmente se han ejecutado con materiales distintos al de la fachada (piedra, ladrillo etc.).

En la actualidad muchos proyectistas se olvidan de la importancia que tiene evitar el contacto directo de la fachada con el terreno, y es frecuente encontrar edificios con fachadas de vidrio cuyos encuentros con la acera no están bien resueltos, principalmente en ciudades donde se piensa que el propio pavimento actúa como protección del edificio. Algo que las nuevas normativas de la edificación pretenden minimizar, obligando a proteger las zonas de contacto entre el edificio y el terreno (García, 2013).

Cuando los edificios no resuelven de forma correcta su encuentro con el terreno pueden tener problemas de suciedad en la parte baja de las fachadas, filtraciones de humedad en los pisos inferiores y un deterioro del material de la fachada más acelerado que en otras zonas más elevadas. Aunque para evitar estos problemas no es necesario elevar un edificio, sino resolver de forma correcta este encuentro. No obstante, su elevación sobre el terreno puede proporcionar algunas ventajas que enumeramos a continuación:



- Evita que puedan entrar animales en el interior del edificio.
- Protege el interior de la filtración y de las humedades.
- Evita y protege la parte baja de un edificio del contacto con personas, animales u objetos, ya que provocan un deterioro más rápido de la fachada.
- En determinados casos puede ayudar a aislar mejor el interior del edificio.
- Permite salvar de forma sencilla, las irregularidades del terreno sin necesidad de acondicionarlo con movimientos de tierras.

#### e. Recogida del agua de lluvia

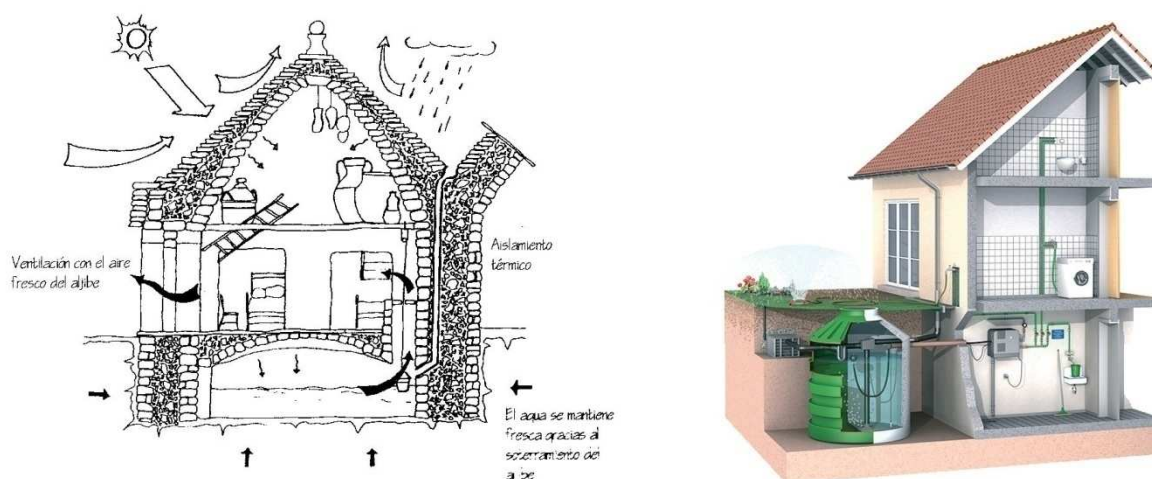
En la actualidad, debido a la progresiva desertización de muchas zonas, consecuencia directa del cambio climático y del consumo irracional del agua, se está volviendo a la tradicional y sostenible costumbre de recoger, almacenar y aprovechar el agua de lluvia.

Históricamente el agua de lluvia se ha utilizado para beber, cocinar, higiene personal, etc. Hoy en día los criterios son más restrictivos y no aconsejan el consumo de agua de lluvia para estos usos; sin embargo, es relativamente sencillo adaptarla como fuente de suministro y utilizarla para diferentes usos domésticos. Se consume habitualmente en el llenado de las cisternas de los inodoros, limpieza externa, alimentación de la lavadora y para el riego del jardín, como ya se comentó anteriormente en el apartado: **recuperación del agua de lluvia** (véase pág. 286).

Tradicionalmente en nuestro país, principalmente en las zonas rurales, el agua se almacenaba en pozos, depósitos y aljibes. Actualmente el almacenamiento del agua de lluvia está ganando importancia nuevamente en áreas rurales y especialmente en países en vías de desarrollo, donde es necesario garantizar el abastecimiento de agua a través de todas las fuentes posibles.

La recogida del agua de lluvia requiere una infraestructura relativamente sencilla para su captación, almacenamiento y distribución, integrada en muchos casos dentro del diseño constructivo de la propia vivienda. Como medida sostenible se recomienda diseñar sistemas de recogida de agua de lluvia que permitan canalizar el agua de la cubierta y de las zonas exteriores. Para su almacenamiento se deberán utilizar depósitos cubiertos y se tendrá en cuenta los materiales utilizados en su construcción, ya que existen algunos tipos de materiales que contaminan el agua. También es necesario instalar una canalización que conduzca los excesos de agua de lluvia a la red de saneamiento para evitar la inundación del sistema de almacenamiento (AIDICO, 2009).

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 288:** (1) Sección tipo de un trullo. Aljibe. (2) Instalación para la recogida de aguas pluviales  
**Fuente:** (1) Neila 2003. (2) <http://www.habitatsustentable.com/?p=808>

El agua de lluvia se puede utilizar para suplir el 60% de las necesidades de agua por persona y día:

$$(150 \text{ litros/persona} \cdot \text{día}) \times 0,60 = 90 \text{ litros/persona} \cdot \text{día}$$

$$90 \text{ litros/persona} \cdot \text{día} = (\text{inodoro: } 50 \text{ litros/persona} + \text{lavadora: } 20 \text{ litros/persona} + \text{riego: } 20 \text{ litros/persona})$$



Convenientemente tratada se puede suplir el 100%. Por ello, partiendo del cálculo anterior, en un año será necesario suplir 32.850 litros/persona.

$$(90 \text{ litros/persona} \cdot \text{día}) \times 365 \text{ días} = 32.850 \text{ litros/persona} \cdot \text{año}$$

Por tanto, si consideramos como reserva anual por persona al consumo que tiene durante un mes, es decir, resolver en un año la necesidad que tiene durante un mes un usuario, se deduce que en los edificios se debe acumular como reserva anual una cantidad de 2.700 litros por persona:

$$(32.850 \text{ litros/persona} \cdot \text{año}) \times (30 / 365) = 2.700 \text{ litros/persona} \cdot \text{mes} = \text{reserva anual/persona}$$

Este dato nos permite tener una idea aproximada del volumen que necesitan los depósitos de acumulación de agua de lluvia (De Garrido, 2012). También proporciona una información aproximada de la superficie de recogida de agua necesaria, según se analiza a continuación.

Si partimos de una pluviometría anual de 150 litros/m<sup>2</sup> (correspondiente a una pluviometría muy baja), y suponiendo que se recoge toda el agua que incide sobre la cubierta, obtenemos que la superficie de cubierta por persona es la siguiente:

$$2.700 \text{ litros/persona} \cdot \text{mes} (\text{reserva anual/persona}) / (150 \text{ litros/m}^2 \cdot \text{año}) = 18 \text{ m}^2/\text{persona}$$

Partiendo de este resultado, si consideramos una familia de 4 componentes se debería diseñar una cubierta con una superficie mínima de 72 m<sup>2</sup> para cubrir la reserva anual de toda la familia.

$$18 \text{ m}^2/\text{persona} \times 4 \text{ personas} = 72 \text{ m}^2 (\text{superficie cubierta})$$

Lógicamente si la pluviometría media anual es mayor, se necesitará una superficie de recogida menor, aunque este dato proporciona una idea inicial para el predimensionado de las cubiertas de recogida de agua en arquitectura sostenible.



Es evidente que la mejor tipología de cubierta para recoger agua de lluvia es la cubierta ajardinada, ya que proporciona un primer filtrado natural al sistema general de tratamiento.

#### 4.4.4 Ventilación natural

El diseño constructivo está íntimamente relacionado con los parámetros ambientales y el uso que se hace de ellos. El viento es uno de los parámetros ambientales principales dentro de la arquitectura sostenible, ya sea para captarlo, evitarlo o controlarlo. Como elemento de climatización pasiva ha desarrollado un papel muy importante en la arquitectura tradicional.

La ventilación es la principal estrategia de climatización en los climas cálidos, tanto secos como húmedos. Pero también lo es en los climas fríos, ya que es necesario protegerse del viento, y controlar las infiltraciones. Por otro lado, en los climas templados habrá épocas con necesidades de ventilación y otras de control, como ya se indicó anteriormente dentro del análisis de la arquitectura tradicional.

Sin embargo, lo que es común a todos los climas es la necesidad de renovar el aire del espacio interior para proporcionar unos niveles de calidad adecuados y evitar sensaciones de malestar de sus ocupantes e incluso problemas de estabilidad en las edificaciones. Para ello, es fundamental proporcionar a los espacios interiores una ventilación adecuada y controlada a través de la cual renovamos el aire sin producir un gran impacto en el consumo energético del edificio.

“Los movimientos favorables del aire deben utilizarse para refrescar durante las épocas calurosas y como alivio en aquellos periodos en que los valores de humedad absoluta son muy altos. Por el contrario, los movimientos del aire deberán bloquearse o evitarse durante el tiempo frío. La valoración de los movimientos del aire la proporciona un análisis bioclimático de la región, el cual divide el año en dos periodos, el frío y el cálido, y define las exigencias del confort” (Olgay, 1998).





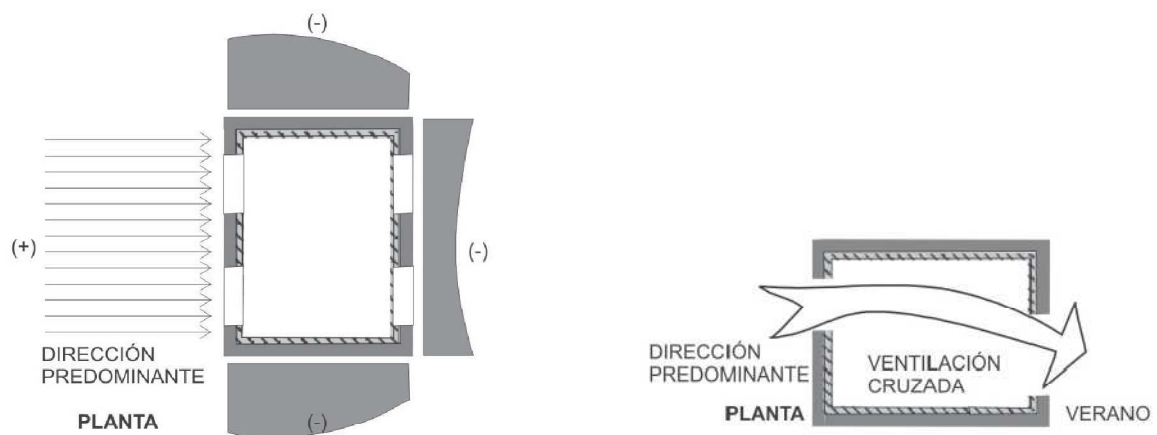
La ventilación natural se desarrolla mediante la ubicación adecuada de superficies, aberturas o conductos aprovechando las depresiones o sobrepresiones creadas en la edificación por el viento, humedad, sol, convección térmica del aire o cualquier otro fenómeno, no siendo necesario ningún dispositivo mecánico, como nos ha demostrado la arquitectura tradicional.

“La diferencia de temperatura, la diferencia de densidad que ésta provoca y la velocidad y presión del viento son los mecanismos que se emplean, solos o combinados” (Neila & Bedoya, 1997).

La ventilación natural ha sido la técnica empleada durante siglos, e incluso en la actualidad es la más utilizada. En climas benignos, como es el caso de los países mediterráneos, la ventilación natural no solamente es muy eficaz, sino que además resulta gratificante, elimina el sobrecalentamiento y reduce la sensación de calor. Por el contrario, en climas fríos, donde el gasto de energía para el acondicionamiento es muy elevado, resulta imprescindible utilizar técnicas que controlen el nivel de ventilación a lo estrictamente necesario, en estos casos se debe recurrir a dispositivos mecánicos.

La ventilación natural más empleada en nuestro clima es la renovación de aire a través de las ventanas abiertas durante un periodo de tiempo al día. En este caso, los dos ambientes puestos en contacto tienden a equilibrar su presión intercambiando masas de aire. Debido a que la mayor presión está en el ambiente más cálido, en invierno, el aire interior tiende a salir del edificio. Si para ventilar solo contamos con el hueco de la ventana, se forma un gradiente de presiones, de modo que, en invierno, en la parte superior de la misma se forma una zona de mayor presión por la que sale el aire y en la parte inferior una depresión que succiona aire exterior; en verano, ocurre lo contrario, la salida de aire se produce por la parte inferior y la entrada por la parte superior.

En el caso de que existan huecos en varias fachadas, la diferencia de presión que provoca el viento sobre ellas crea un plano de entrada por la fachada de mayor presión (dirección predominante), y otro de salida por el hueco de menor presión, en este caso, estamos hablando de la **ventilación cruzada**, provocada por la diferencia de presiones de viento sobre diferentes fachadas con huecos (Figura 289), sistema muy utilizado en la actualidad y que estudiaremos posteriormente.



**Figura 289:** Ventilación cruzada

**Fuente:** [http://www.vivienda.mosp.gba.gov.ar/programas/normas\\_tec.pdf](http://www.vivienda.mosp.gba.gov.ar/programas/normas_tec.pdf)

Dentro del análisis bioclimático de la ventilación natural, existen varios sistemas pasivos utilizados en la arquitectura sostenible, cuyo origen lo encontramos en la arquitectura tradicional:

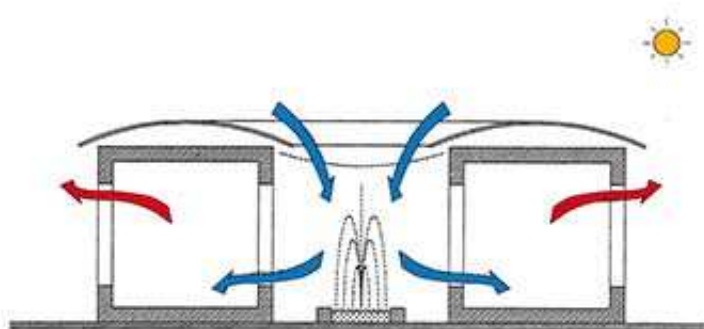
- a. El patio
- b. La ventilación cruzada
- c. Efecto chimenea
- d. Chimenea solar
- e. Torre de viento
- f. Torre evaporativa
- g. Torre eólica
- h. Conductos enterrados

#### a. El patio

El patio es una solución constructiva aparentemente muy sencilla, que resulta compleja por el hecho de que actúan en el mismo muchos fenómenos simultáneos, que hacen difícil aislar el efecto de cada uno del conjunto.

El efecto ambiental de un patio consiste en crear un espacio abierto dentro del volumen de un edificio, que genera un microclima específico relativamente controlado y actúa como filtro entre las condiciones exteriores y las interiores. Como otros espacios intermedios el patio no actúa únicamente sobre las condiciones térmicas, ya que también tiene efectos lumínicos y acústicos. Como sistema de tratamiento del aire, actúa sobre su temperatura y humedad (Serra & Coch, 1995).

Puede actuar sobre la temperatura del aire por efecto evaporativo, en aquellos casos en que exista una fuente o un estanque dentro de este microclima. También puede actuar, protegiendo este ámbito de la radiación directa del sol, para mantener más baja la temperatura del aire dentro del espacio sombreado. El mismo efecto evaporativo también actúa sobre la humedad del aire del patio, contribuyendo también la posible vegetación que pueda tener.



**Figura 290:** Sistema evaporativo de un patio

**Fuente:** Serra y Coch 1995

El patio ha sido una tipología constructiva muy utilizada dentro de la arquitectura tradicional como ya analizamos anteriormente y que se ha adaptado a climas muy variados, aunque su actuación basada en acondicionar el aire por efecto evaporativo, es típica en zonas de clima caliente o de veranos muy cálidos.

La radiación solar que penetra en el interior de un patio la absorben las fachadas interiores soleadas. Por otro lado, el patio es un espacio que suele estar protegido del viento. En definitiva, actúa reduciendo el impacto de la radiación solar y la velocidad del aire exterior, factores que favorecen la refrigeración del patio.



La temperatura ambiente de un patio será menor que la exterior, especialmente por la noche, si durante el día ha sido protegido del sol y se ha utilizado vegetación y agua que al evaporarse, absorba el calor latente del aire ambiente reduciendo su temperatura (Yáñez, 2008).

El intercambio radiante, por la noche con cielo despejado y sin viento, entre la superficie de la cubierta del edificio y las altas capas de la atmósfera, que están a varios grados bajo cero, permite que se pueda enfriar dicha superficie.

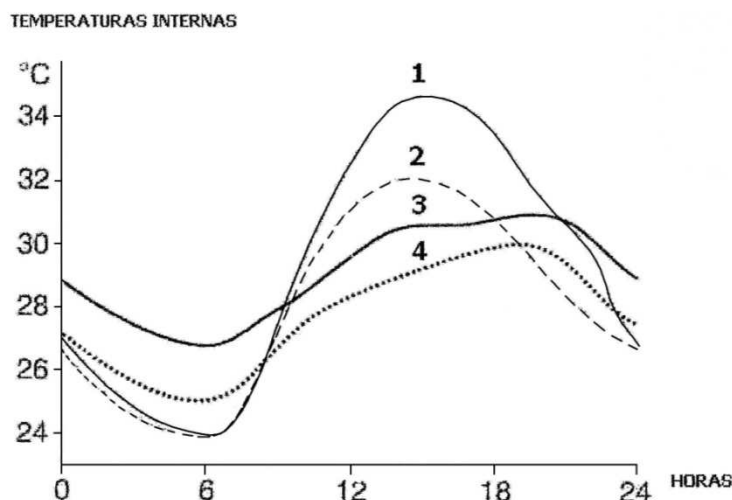
Al enfriarse la superficie de la cubierta se enfría el aire en contacto con ella, formándose una capa de aire más frío que el aire ambiente exterior. Para aprovechar las frigorías contenidas en dicha capa y acumularlas en el patio se inclinan las vertientes de la cubierta hacia su interior, de este modo el aire frío se vierte en él. Para evitar que el viento exterior incida sobre la cubierta es conveniente construir un peto perimetral en la parte superior de la misma. Si la cubierta cuenta con un buen aislamiento térmico se enfriará con mayor rapidez.

El patio se convierte de este modo en un *depósito de frigorías* que se pueden aprovechar mediante **ventilación nocturna**. Si la vivienda se ventila con el aire de la noche y la construcción es suficientemente masiva, forjados y tabiques pesados, y fachadas con aislamiento por el exterior, las paredes se enfriarán y mantendrán la temperatura durante casi todo el día. Mediante este proceso se consigue el enfriamiento directo del aire, su acumulación en la masa del edificio, incluso, la reducción de la sensación de calor de 2 °C con relación al muro convencional caliente (Neila & Acha, 2009).

Un edificio con gran capacidad térmica, en teoría podría mantener prácticamente constante la temperatura interior  $T_i$ , con un valor próximo a la temperatura media exterior  $T_m = (T_{max} + T_{min}) / 2 = T_i$ .

Durante el día se deberá impedir la entrada de radiación directa permitiendo la entrada indispensable de luz difusa para iluminación natural.

En el caso de que la dirección predominante del viento en verano sea, por ejemplo, desde el SO o desde el NE, para aprovechar la presión del viento y mejorar la ventilación natural nocturna debemos abrir huecos a dichas orientaciones creando, a ser posible, una ventilación cruzada (Yáñez, 2008).



**Figura 291:** Ventilación nocturna. Temperaturas internas alcanzadas en distintos edificios  
1) Construcción ligera; 2) Construcción ligera con ventilación nocturna; 3) Construcción pesada;  
4) Construcción pesada con ventilación nocturna; (Según Szokolay)

**Fuente:** Yáñez 2008

Cuando el aire destinado para ventilación no se puede captar fresco, los patios diseñados con vegetación permiten que se pueda enfriar.

En zonas con clima seco se puede aumentar el enfriamiento por medio de la evaporación del agua, incorporando fuentes o superficies húmedas expuestas a las corrientes de aire, facilitando la entrada de aire fresco en el interior del edificio. Si forzamos el movimiento de este aire, su recorrido por el interior de la vivienda servirá para capturar calorías del espacio interior antes de su salida al exterior.

En el diseño de los patios la mayor parte de las habitaciones pueden agruparse alrededor de los mismos para beneficiarse de las corrientes de aire fresco que se

generan. Esta solución constructiva muy utilizada en la arquitectura tradicional se incorpora actualmente en muchas edificaciones dentro de la arquitectura sostenible.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 292:** Patio. (1) Vivienda en Sanghai (China). (2) Vivienda en México

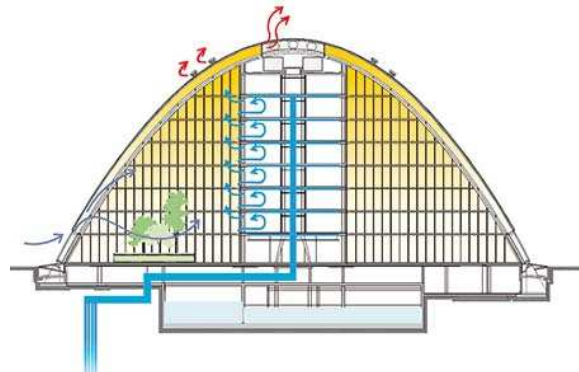
**Fuente:** (1) Acosta 2012. (2) <http://es.paperblog.com/casa-unipersonal-636707/>

El microclima que se crea en los patios, tiene que ver con la capacidad del aire para crear una estratificación de capas que permite situar las de mayor frescor, las más pesadas en la parte inferior y beneficiar directamente a las estancias que se encuentran en contacto directo con él (Baño, 2003).

Como ejemplo de arquitectura moderna donde se utiliza la ventilación natural como estrategia bioclimática podemos destacar el edificio de oficinas Berliner Bogen en Hamburgo (Alemania), diseñado por el estudio de arquitectura BRT Architekten e inaugurado en el 2002 (Araujo, 2011).

Este edificio se caracteriza porque no cuenta con sistema de aire acondicionado, aprovecha su diseño climático, con un amplio uso de la ventilación natural y la refrigeración nocturna.

La ventilación natural utiliza la doble envolvente y los atrios ajardinados, con entradas de aire a través de los arranques del cerramiento de los atrios y salidas en su coronación, apoyada en la diferencia de temperatura entre las dos caras del edificio (Figura 293).



**Figura 293:** Edificio Berliner Bogen en Hamburgo (Alemania). Estudio de arquitectura: BRT Architekten

**Fuente:** Araujo 2011

La doble envolvente constituye una de las principales soluciones constructivas empleadas actualmente como estrategia bioclimática, ya que funciona como elemento de protección en el verano, aislante en el invierno, y como cavidad de ventilación controlada para edificios de grandes alturas donde el viento incide con mucha fuerza.

### **b. Ventilación cruzada**

Dentro del estudio de la arquitectura tradicional, hemos analizado a través de diferentes soluciones constructivas, como el hombre ha garantizado la ventilación en el interior de las edificaciones debido a la presión del viento, evitando el sobrecalentamiento, aumentando la sensación de frescor y reduciendo la humedad.

“La estrategia pasiva fundamental en condiciones de verano es la ventilación. Por ello, la estructura del edificio debe facilitar la ventilación natural. Los elementos básicos serían las ventanas opuestas para permitir la ventilación cruzada y, cuando sea posible,



en espacios a diferente altura, de manera que se fuerce una ventilación estratificada” (Albaladejo & Rodríguez, 2008).

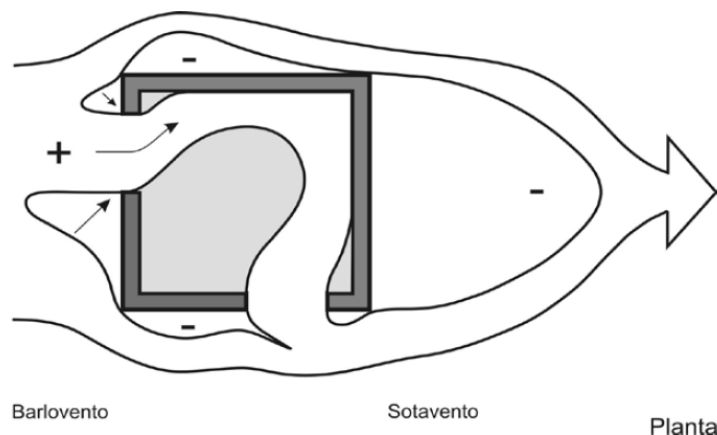
La ventilación cruzada consiste en favorecer el movimiento de aire de un espacio o de una sucesión de espacios asociados. Se logra cuando existen dos aberturas que abren hacia dos fachadas. Una tiene que estar situada forzosamente en el lado de barlovento (presión positiva), ya que es por donde entra el viento. La otra abertura debe estar en sotavento o en cualquier zona de presión negativa, ya que de otra manera el viento no podrá salir y por lo tanto el flujo de ventilación no se establecerá, por este motivo, las habitaciones con una sola ventana tienen ventilación deficiente. En este caso se pueden diseñar dispositivos de ventilación que provoquen la formación de presiones positivas y negativas para que se pueda establecer un flujo de ventilación (Fuentes & Rodríguez, 2004).

La ventilación cruzada es aconsejable en climas cálidos húmedos y también en climas templados en verano. Las aberturas se deben situar en fachadas que estén en comunicación con espacios exteriores con condiciones de radiación o de exposición al viento que sean muy diferentes. En rehabilitación no es difícil crear ventanas en paredes opuestas para forzar la ventilación cruzada, aunque puede resultar sencillo asegurarla con aberturas en techos o con cerramientos permeables o celosías.

Los valores típicos que genera una ventilación transversal son de 8 a 20 renovaciones horarias del aire ( $rh$ ), en presencia de un viento débil en el exterior (Serra & Coch, 1995).

La localización y tipo de abertura de entrada determina el patrón del flujo de aire a través de un edificio. Cuando la abertura está localizada en el centro del muro, la presión es igual a ambos lados de dicha abertura, por lo que el viento entrará de frente en la habitación. En el caso de que la abertura no se encuentre en el centro, la presión a ambos lados del muro será desigual, lo que originará que el flujo de entrada sea diagonal con el sentido que provoca la zona de mayor presión (Figura 294).





**Figura 294:** Comportamiento del viento en un edificio. Resultado de presiones

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/102028439/Arquitectura-Bioclimatica-Victor-Armando-Fuentes-Freixanet>

El tipo de abertura también es muy importante, existen muchos tipos de ventanas en el mercado que al utilizarse en aberturas de entrada nos ofrecen una gran variedad de patrones de flujo de aire. Debemos conocer las ventajas y limitaciones de los diferentes tipos de ventanas para poder emplearlas de forma inteligente en cada caso particular.

Una ventana tipo corredera presenta una eficacia para la ventilación natural de aproximadamente un 50% respecto a su área total, ya que mantiene una hoja fija. El modelo de ventana más eficiente para la ventilación natural es el de hojas batientes con un índice de eficacia de 90% (Martín-Consuegra, 2008).

La ubicación y tipo de abertura de salida tienen poca influencia en los patrones internos del flujo de aire, aunque cuanto más cambios de dirección sufra el aire en el interior, más se reducirá su velocidad.

La velocidad del aire interior en una ventilación, con hueco de entrada y otro de salida, es función de la presión ejercida por el viento en el hueco de entrada. La propia ventana y las obstrucciones interiores que puedan haber suponen una cierta resistencia que reducirá la velocidad interior del aire, que se cuantifica mediante un coeficiente de permeabilidad  $K < 1$  (Yáñez, 2008).

El caudal de aire a través de un hueco depende de la velocidad del viento incidente y de su dirección. Si el viento incide de forma perpendicular al plano del hueco, el flujo o caudal ( $q$ ), será:

$$q = K \cdot A_e \cdot v \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Siendo:

$K$  = coeficiente de permeabilidad, que depende de la resistencia total que ofrece al flujo tanto los huecos como las obstrucciones interiores, (sin dimensiones).

$A_e$  = área efectiva del hueco en  $\text{m}^2$ .

$v$  = velocidad en  $\text{m/s}$ .

A partir de esta expresión obtenemos el caudal de aire ( $q$ ). Partiendo de su equivalente ( $\text{m}^3\text{/hora}$ ) y conociendo el volumen ( $\text{m}^3$ ) del local, obtendremos el número de renovaciones/hora necesarias para ventilar el interior de dicho local.

El área efectiva  $A_e$  de la expresión anterior será la correspondiente a la de un hueco si ambos huecos, de entrada y de salida, son iguales; en caso contrario se escogerá como área efectiva la menor. El valor de  $K$  para una ventilación cruzada donde no existen obstrucciones internas sería  $K = 0,7$ . Si existen obstrucciones internas dicho valor puede reducirse notablemente.

Según Szokolay, si los huecos se encuentran en un mismo cerramiento, es decir, no existe ventilación cruzada, el valor de  $K = 0,1$ . En el caso de que exista ventilación cruzada, los huecos de entrada y salida sean iguales y no existan particiones, en este caso  $K = 1$ .

La resistencia al flujo del aire depende, a parte de la tabiquería interior, de la ubicación de las aperturas interiores, principalmente de los huecos de puertas. Los cambios de la dirección del flujo y las turbulencias, junto con las contracciones y dilataciones de la vena de aire suponen una reducción mayor de su velocidad. Dichas resistencias son difíciles de evaluar y por ello hay que apoyarse en valores experimentales (Yáñez, 2008).

Para conseguir una efectiva ventilación cruzada entre fachadas opuestas en un edificio es necesario que el hueco de entrada tenga una buena orientación eólica, el cual junto con sus elementos de regulación (aperturas, lamas, contraventanas, viseras etc.), determinará la dirección de la corriente de entrada del aire. Cuanta mayor área tengan ambos huecos, de entrada y de salida, mayor será el flujo de aire a través del edificio.

La ventilación en el interior de los edificios a parte de utilizarse como estrategia bioclimática asegurando el bienestar de sus ocupantes, evitando el sobrecalentamiento, aumentando la sensación de frescor y reduciendo la humedad, como medida sostenible tiene una exigencia adicional vinculada con la calidad del aire interior según recoge el CTE DB HS 3, donde se puntualiza que los edificios dispondrán de ventilación que aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes que se producen de forma habitual durante el uso normal de los edificios. En este sentido, también el RITE (Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio, actualizado en abril de 2013) tiene en cuenta estos aspectos en su artículo 11, Bienestar e Higiene.

Partiendo de las ventajas que ofrece la ventilación cruzada, el proyectista deberá valorar la solución más adecuada en función del espacio a ventilar y de las renovaciones necesarias para garantizar el confort y la calidad del ambiente interior en las viviendas.

### Solución constructiva. Ejemplos



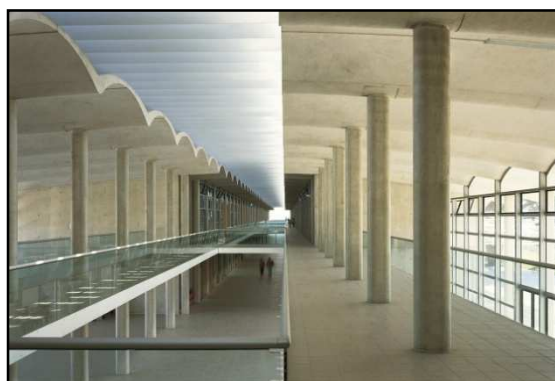
**Figura 295:** Ventilación cruzada. (1) Vivienda en Bangkok (Tailandia). Ayutt and Associates Design. (2) Vivienda en Queensland (Australia). BGD Architects

**Fuente:** Dossier de arquitectura 2013

Como ejemplo representativo de arquitectura moderna donde la ventilación cruzada como estrategia bioclimática tiene un papel importante podemos destacar el Liceo Polivalente Albert Camus en Fréjus (Francia), diseñado por el estudio de arquitectura Foster & Partners y construido entre 1992 y 1993.

El edificio está concebido en respuesta a un concepto de bajo consumo energético acorde al clima mediterráneo. El plano lineal de la escuela se diseñó para mantener el consumo energético del edificio en unos niveles mínimos.

“Curiosamente, al reducir este consumo se comprobó que el diagrama ecológico más efectivo se correspondía con el diseño social más lógico, integrado por una “calle” lineal en el corazón de la escuela que sirviera tanto como sistema de circulación del aire natural como de espacio central para el desplazamiento de las personas” (Foster & Partners, 2014).



**Figura 296:** Liceo Albert Camus en Fréjus (Francia). Estudio de arquitectura: Foster & Partners  
**Fuente:** <http://www.fosterandpartners.com/es/projects/lyc%C3%A9e-albert-camus/>



El edificio utiliza la ventilación cruzada, canalizándose el aire fresco a través de dicha calle, ubicada en el atrio central donde se produce la estratificación térmica del aire, el cual sale al exterior a través de las aberturas localizadas en la parte superior de la cubierta.

### c. Efecto chimenea

Es un sistema de ventilación muy utilizado dentro de la arquitectura tradicional, principalmente en la zona climática de la selva y la sabana donde la temperatura y la humedad son muy elevadas. Las casas de Sumatra en Indonesia o las malocas construidas por lo nativos colombianos, son algunos de los ejemplos analizados en la presente tesis y que muestran la eficacia de este sistema de ventilación natural.

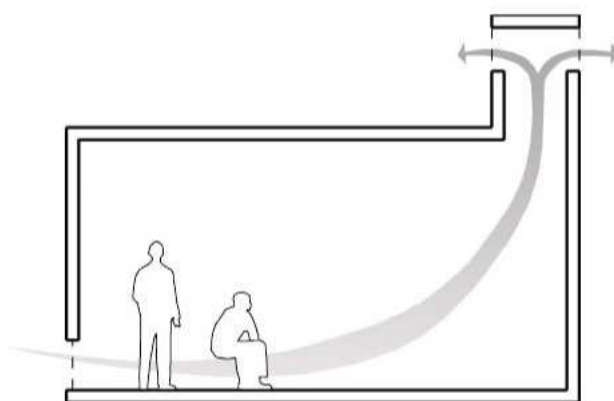
El efecto chimenea denominado también **efecto Stack**, es un movimiento natural causado por diferencias térmicas y de presión de aire entre los distintos estratos, y que se presenta en todo el edificio. Este continuo movimiento permite alcanzar el confort interior y el enfriamiento de cualquier edificación.

Este sistema de ventilación consiste en crear una salida de aire mediante aberturas situadas en la parte superior del espacio, conectadas si es posible a un conducto de extracción vertical. La diferencia de densidad del aire, en función de la temperatura, provoca que el aire caliente, menos denso, salga al exterior a través de dichas aberturas superiores.

El sistema se completa con la presencia de aberturas inferiores para entrada de aire más frío, de mayor densidad, que garantizan su funcionamiento. En este caso la ventilación que genera no es muy alta, del orden de 4 a 8 renovaciones horarias (**rh**), aunque suficiente para evitar la estratificación del aire caliente en la parte superior de los ambientes interiores. Sin embargo, no funciona muy bien en el caso de que la temperatura exterior sea alta (Serra, 1999).

Para que funcione de forma correcta debe existir una diferencia de temperatura entre el aire caliente que está en la parte más alta del espacio habitable y el aire exterior.

En espacios con gran conexión vertical es muy fácil que se produzca la estratificación del aire, que se puede evitar si se han previsto las salidas de extracción. En el caso, de que no se hayan previsto inicialmente, el aire caliente queda acumulado en la parte superior del espacio habitable y ello representa un problema de difícil solución.



**Figura 297:** Sistema de extracción de aire por efecto chimenea (efecto Stack)

**Fuente:** <http://utzero.utk.edu/SmartLab/ventilation.shtml>

El flujo o caudal de aire debido al efecto Stack se puede calcular en función de las diferencias de presión generadas por dicho flujo, o en función de las diferencias de temperatura.

El efecto Stack aprovecha la ascensión del aire debido a las diferencias de presión entre un aire frío y otro cálido. Por ello, se considera como un efecto convectivo. (Szokolay, 2004).

El efecto aumentará, a mayor diferencia de temperatura y a mayor diferencia de altura entre las distintas aberturas, y funcionará únicamente cuando la temperatura interior sea mayor que la exterior. La diferencia de presión según Szokolay se puede determinar a través de la siguiente expresión:

$$\Delta p = h \cdot g \cdot (d_o - d_i)$$

Donde:

$\Delta p$  = diferencia de presión en Pa (Pascal).

$h$  = diferencia de altura (m).

$g$  = aceleración gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$d_o$  = densidad del aire exterior (kg/m<sup>3</sup>).

$d_i$  = densidad del aire interior (kg/m<sup>3</sup>).

De tal forma, el flujo o caudal de aire debido al efecto Stack se puede estimar mediante la siguiente expresión (Szokolay, 2004):

$$v_r = 0,827 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p}$$

Donde:

$v_r$  = flujo o caudal de aire (m<sup>3</sup>/s).

$A$  = área efectiva de la abertura de salida o sección del conducto (m<sup>2</sup>).

$\Delta p$  = diferencia de presión entre las dos aberturas de ventilación en Pa (Pascal).

El flujo de aire se puede expresar también, en función de la diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior, según hemos indicado anteriormente, para ello, utilizaremos la siguiente expresión (Yáñez, 2008):

$$q = K \cdot A \cdot (h \cdot \Delta T)^{0.5}$$

Donde:

$q$  = flujo o caudal de aire (m<sup>3</sup>/s).

$K$  = factor de permeabilidad. ASHRAE propone, para un 65% de apertura efectiva, un valor medio de  $K = 6.96$ .

$A$  = Área efectiva de apertura (m<sup>2</sup>).

$h$  = distancia vertical entre los centros de los huecos superior e inferior (m).

$\Delta T$  = diferencia de temperaturas entre el aire interior y el exterior (°C).

Dicha expresión corresponde a la presentada por Olgay, y también publicada por ASHRAE<sup>17</sup> en 1977 (Fuentes & Rodríguez, 2004).

El efecto Stack se establece de manera importante en ausencia de viento, sin embargo en ocasiones la ventilación cruzada y la originada por el efecto Stack se pueden presentar de manera simultánea.

Como ejemplo emblemático de arquitectura moderna donde el efecto chimenea juega un papel importante podemos destacar el Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia<sup>18</sup>, construido entre 1991 y 1998, obra del arquitecto Renzo Piano. El proyecto lo componen 10 cáscaras curvadas construidas con vigas y listeles de madera, dispuestas alrededor de un atrio cubierto, como el de una aldea tradicional. El lugar elegido es una península que se extiende hasta el océano, rica en vegetación y capaz de garantizar un contacto directo con la naturaleza.



**Figura 298:** Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia. Arquitecto: Renzo Piano

**Fuente:** (1) <http://inhabitat.com/jean-marie-tjibaou-cultural-center-inspired-by-native-architecture/tjibaou-cultural-center-5/> (2) <http://www.3dsign.es/blog/2011/03/29/arquitecto-del-dia-renzo-piano/>

<sup>17</sup> Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción. ASHRAE es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados con la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación. Compuesta por más de 55.000 miembros voluntarios en más de 130 países, que participan en el desarrollo tecnológico creando estándares, recomendando procedimientos y guías, investigando y publicando artículos técnicos.

<sup>18</sup> Archipiélago de Oceanía situado en el sudoeste del océano Pacífico, a 1.500 km al este de Australia, y 2.000 km al norte de Nueva Zelanda, al sur de Vanuatu y al suroeste de Fiji.

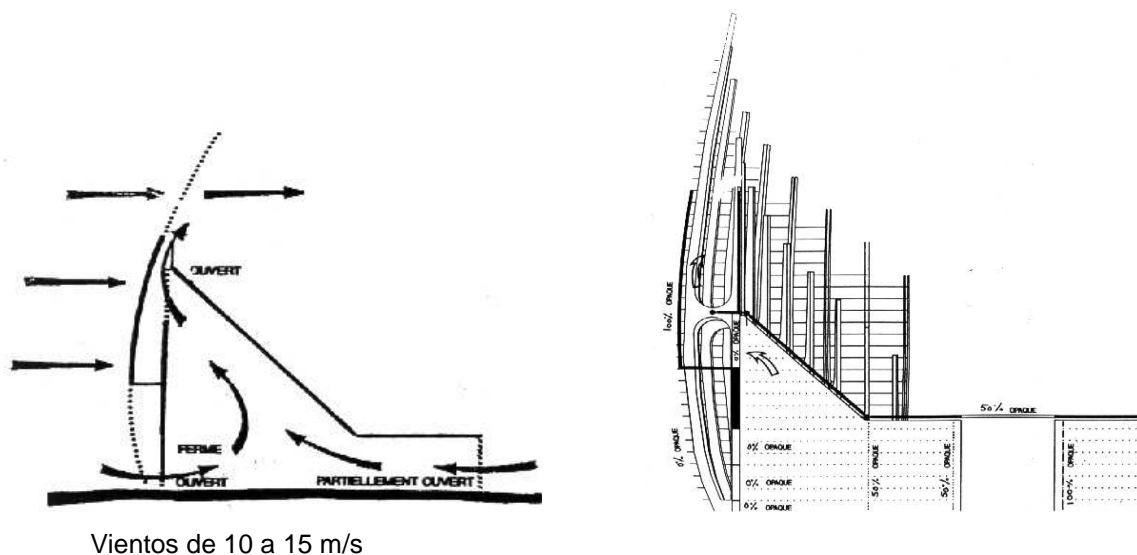


El complejo está ejecutado completamente en iroko, madera importada desde Ghana, muy resistente a la humedad y a los insectos.

Su diseño permite la canalización del aire fresco de la parte baja y arbolada del terreno. Mediante estratificación térmica el aire asciende y sale por las torres de extracción situadas en la parte más elevada del edificio (Figura 299).

El edificio cuenta también con patios interiores abiertos y con muros de celosía que permiten una alta permeabilidad al viento. El diseño de las torres está adaptado a las condiciones de los vientos locales y al flujo de aire del edificio. De forma conjunta los materiales y el propio diseño del edificio, permiten el paso constante de aire.

“Renzo Piano, en el Centro Cultural de Nouméa (Nueva Caledonia), interpretó las brisas y los vientos dominantes a través del estudio de las construcciones y materiales tradicionales de la zona, alejándose totalmente de los patrones de la lejana cultura europea” (González, 2004).



**Figura 299:** Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia. Sistema de ventilación natural

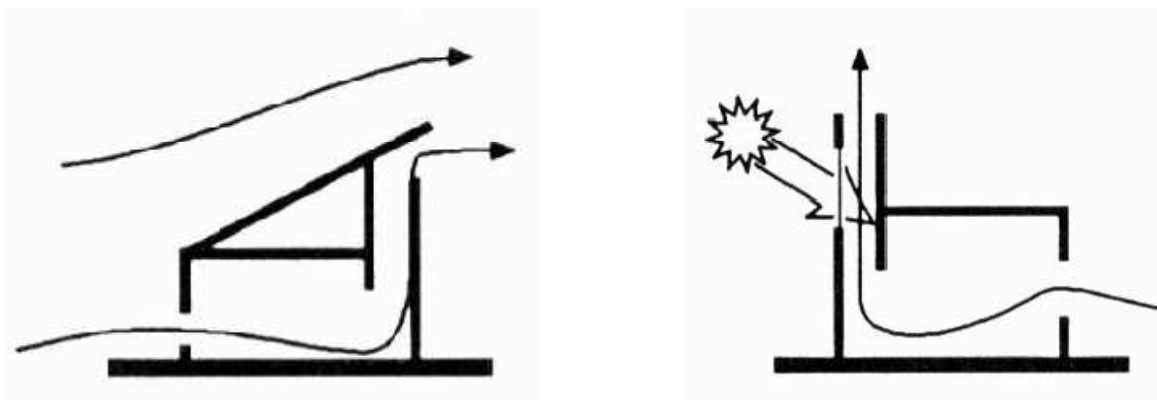
**Fuente:** [http://www.arch.mcgill.ca/prof/sjpkcs/arch304/winter2001/mmorri11/passive\\_solar/index/demo/demo\\_1.htm](http://www.arch.mcgill.ca/prof/sjpkcs/arch304/winter2001/mmorri11/passive_solar/index/demo/demo_1.htm)

#### d. Chimenea solar

Es recomendable para favorecer la circulación del aire por efecto chimenea especialmente en horas nocturnas y durante el verano, el diseño de chimeneas solares, que actúan como elementos de succión o dispositivos de acceso, aunque no siempre en verano las temperaturas interiores son superiores a las exteriores, puede funcionar muy bien con ventilación nocturna.

De todas formas, la mejor ventilación es siempre la que produce el viento y en este caso, si existe un viento notable se produce un efecto de diferencia de presiones superior a los efectos térmicos y ello es lo que genera el flujo de aire. En invierno, las aberturas deberán estar cerradas mediante sistemas mecánicos o manuales para lograr una eficiente ventilación cruzada.

La chimenea solar favorece el efecto Stack, ya que utiliza el sol para calentar el interior de la misma, calentar de esta manera el aire que contiene y aprovechar su efecto de elevación para aspirar el aire interior.



**Figura 300:** Extracción de aire. (1) Efecto chimenea. (2) Chimenea solar

**Fuente:** [http://www.new-learn.info/packages/tareb/docs/lea/lea\\_ch2\\_es.pdf](http://www.new-learn.info/packages/tareb/docs/lea/lea_ch2_es.pdf)

Este sistema de ventilación se ha utilizado durante siglos, especialmente en el Oriente Medio y el Cercano Oriente por los persas y en Europa por los romanos.

Actualmente las chimeneas solares pueden tener diferentes configuraciones: planas, cónicas, cilíndricas etc. (Figura 301), aunque todas ellas se basan en permitir la entrada de la energía solar al interior a través de cerramientos transparentes, produciéndose el efecto invernadero, que al calentar durante el día el aire interior de la chimenea aumenta la diferencia de temperatura y, por lo tanto el tiro.

En las chimeneas solares se favorece también el tiro (diferencia de presión) por las dos causas siguientes:

- 1) La diferencia de densidades entre el aire exterior, y el interior, diferencia de temperaturas. La zona climática donde se diseñe la chimenea puede favorecer su funcionamiento.
- 2) La disminución de la presión, debido al viento, en la salida exterior del conducto (efecto Venturi). Cuanto mayor sea la velocidad del aire y menor el tamaño del hueco de extracción mejor será la ventilación natural.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 301:** (1) Chimenea solar tradicional. Condado de Kent (Inglaterra). (2-3) Diferentes configuraciones de chimeneas solares

**Fuente:** (1) Paraxo 2013

(2) <https://www.edificacion.upm.es/santacruz/Documentos/Sistemas%20Bioclimaticos.pdf>

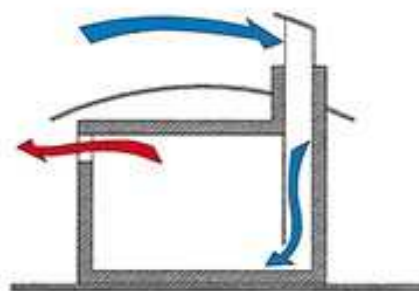
(3) Stilo 2011

La superficie captadora de la chimenea se orienta siempre hacia la máxima intensidad de la radiación solar. Según la latitud pueden ser aconsejables tanto la orientación sur, como la este y oeste combinadas, de acuerdo también con el horario previsto de utilización.

Las chimeneas solares no crean una ventilación demasiado alta, ya que las renovaciones horarias ( $rh$ ) acostumbra a dar valores entre 5 y 10 volúmenes por hora. Aunque presenta otras ventajas importantes, como el hecho de que pueden combinarse fácilmente con los sistemas de tratamiento de aire, o que el rendimiento del sistema aumenta con la intensidad de la radiación y por lo tanto es más efectivo cuanto más calor hace y más necesario es (Serra & Coch, 1995).

#### e. Torre de viento

Dentro del análisis de la ventilación natural como estrategia bioclimática, también se pueden diseñar sistemas que permiten crear el movimiento del aire hacia el interior del edificio; es decir, en sentido contrario al efecto chimenea, como es el caso de la torre de viento, conocida tradicionalmente como *bagdir* en Irak.



**Figura 302:** Torre de viento (Bagdir)

**Fuente:** (1) Serra y Coch 1995. (2) Archinect 2009

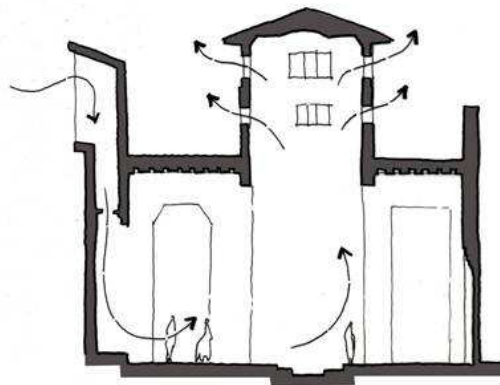
Este sistema pasivo de ventilación se ha utilizado durante siglos dentro de la arquitectura tradicional, como ya estudiamos anteriormente, para garantizar la

refrigeración, tanto en edificios que disponían de patio, como en edificios que carecían de ello.

Las torres de viento se han construido principalmente en países con climas cálidos y vientos frecuentes e intensos como Irán, Irak, Egipto, Siria o Arabia Saudí, siendo su objetivo principal producir ventilación natural aprovechando los vientos dominantes de la zona donde se encuentran ubicadas.

Este objetivo se conseguía elevando las torres hasta una altura suficiente por encima de la cubierta del edificio, permitiendo recoger el viento donde éste es más intenso. El aire captado se conducía hasta la parte más baja mediante conductos.

La ventilación que genera este sistema no es muy grande, con renovaciones horarias entre 3 y 6 volúmenes por hora (Serra, 1999). La ventaja que ofrecen estas torres es que se pueden combinar con diversos sistemas de tratamiento del aire y con los sistemas de extracción anteriormente analizados.



**Figura 303:** Entrada de aire (torre de viento). Extracción de aire (efecto chimenea)

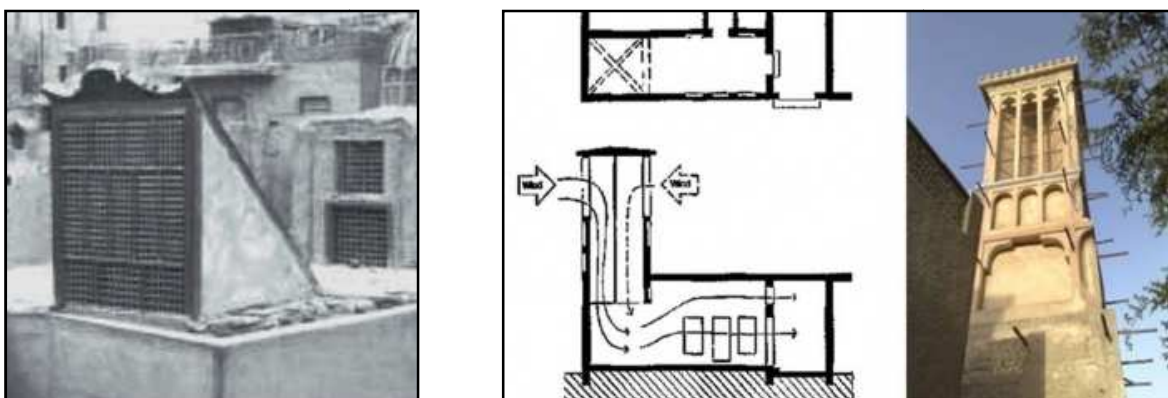
**Fuente:** <http://ajhsslab.com/name/bahrain/bahrain.htm>

Este sistema permite que un determinado caudal de aire de ventilación pueda mejorar sus condiciones iniciales, ya que una vez captado, su humedad relativa aumenta en el canal fresco y su temperatura baja al descender, constituyendo un sistema de climatización energéticamente eficaz.

Para el diseño de los captadores (parte alta de la torre) se deberá tener en cuenta la dirección e intensidad de los vientos dominantes del lugar, según se indica a continuación:

- En regiones donde los vientos dominantes fluyen siempre en una misma dirección, los captadores tienen la abertura solamente en dicha dirección, permitiendo que el aire entre y descienda al interior de la vivienda.
- En zonas donde las brisas cambian de dirección, los captadores llevan separaciones en diagonal para poder captar las brisas en cualquier dirección.
- En aquellos lugares con poco viento se construyen captadores abiertos hacia los dos lados y con el techo inclinado para poder guiar el aire hacia el interior.
- En construcciones más sencillas, los captadores están situados sobre la propia cubierta o sobre torres de muy poca altura. En estos casos suelen tener una compuerta para regular la abertura desde el interior de la vivienda, y por lo tanto, el flujo de aire entrante.

### Solución constructiva. Torres de viento tradicionales



**Figura 304:** (1) Captador de viento con una abertura. (2) Torre de viento con cuatro aberturas  
**Fuente:** (1) Pino 2011. (2) Abdel-moniem El-Shorbagy 2012.

### Solución constructiva. Torres de viento actuales



**Figura 305:** (1-2) Torre de viento con una abertura. (3) Captador de viento con cuatro aberturas

**Fuente:** (1) <http://rmaarchitects.com/> (2) <http://www.kaikai.co.za/architecture.htm> (3) Payer 2009

*Imagen 1* (Figura 305). Torres de viento situadas sobre la cubierta del Instituto Tata de Ciencias Sociales (TISS) en Tuljapur, en el interior del estado indio de Maharashtra. Este edificio diseñado siguiendo patrones tradicionales de la región, está compuesto por varios bloques agrupados en torno a un patio central, favoreciendo el efecto de ventilación natural a través de torres de viento ubicadas en cada bloque.

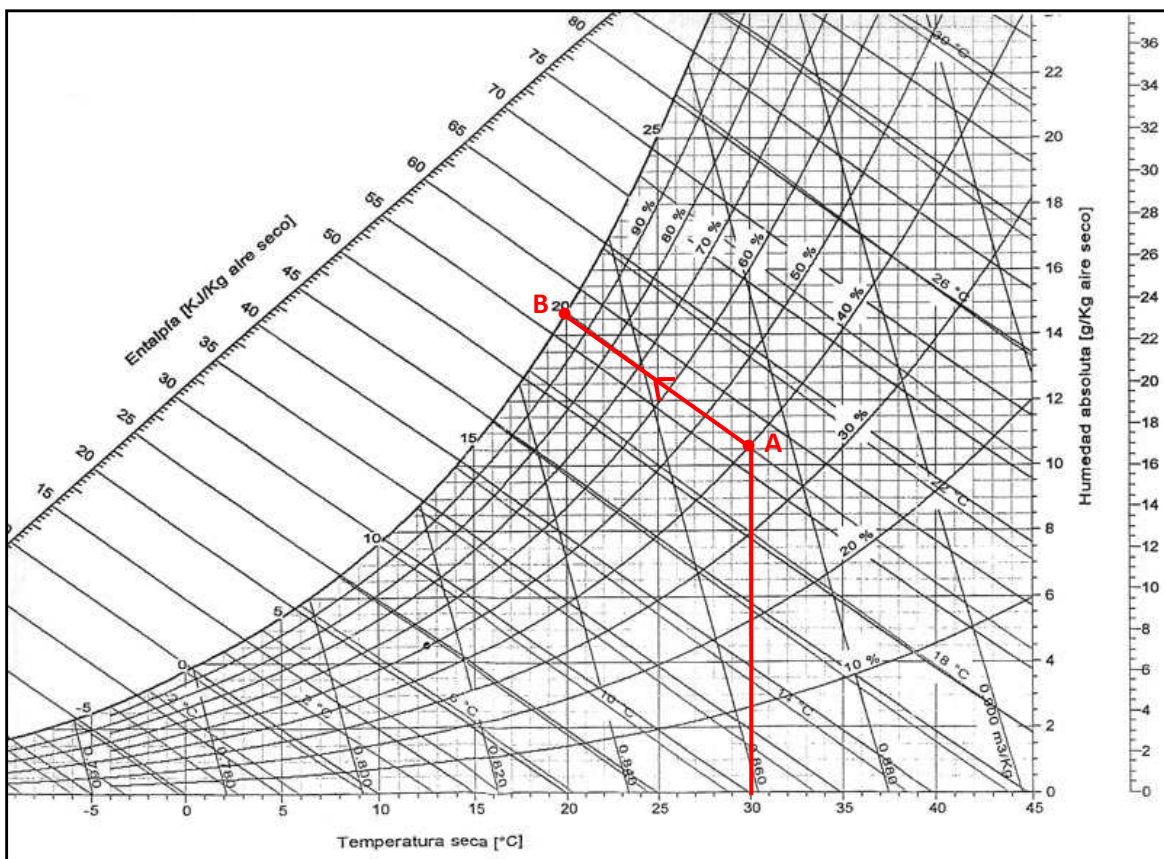
*Imagen 2.* Vivienda sostenible construida en la región costera de Namaqualand en Sudáfrica, donde se han incorporado protecciones solares diseñadas teniendo en cuenta el recorrido del sol y su situación en cada momento del año, y torres de viento que captan los vientos dominantes de la costa permitiendo crear una envolvente climática adecuada.

*Imagen 3.* Captadores de viento sobre la cubierta de la Universidad de Qatar en Doha. Este edificio cuenta con captadores de viento a diferentes niveles para poder recoger los vientos dominantes. La forma de los captadores expresa el espíritu de la época moderna, aunque manteniendo su función original como dispositivo de generación de flujo de aire en el edificio. Los captadores tienen los cuatro lados abiertos y cubiertos con motivos geométricos perforados a modo de celosías (El-Shorbagy, 2012).

### f. Torre evaporativa

La arquitectura árabe ha sabido utilizar durante siglos el agua y la vegetación con sabiduría, aprovechando su efecto refrigerante, para el acondicionamiento natural de ambientes externos e internos.

Existen dispositivos que combinan la acción del viento con la evaporación del agua para refrigerar los locales. Si el aire exterior, muy caliente y seco, antes de introducirse en el interior de la vivienda, se pone en contacto con el agua, se produce entonces una saturación adiabática, enfriándose y, en contrapartida, aumenta su grado de humedad. Este proceso se representa en un diagrama de aire húmedo donde el desplazamiento del punto, que refleja el estado del aire, se realiza según una transformación adiabática (Yáñez, 2008).



**Figura 306:** Enfriamiento evaporativo en un diagrama psicrométrico

**Fuente:** (Diagrama) Surinyach 2010, (Datos) Yáñez 2008



El aire se introduce con una temperatura ( $T$ ) y con un grado de humedad ( $x$ ). Al entrar el aire en contacto con el agua se satura, cediendo el calor necesario para la evaporación y reduciendo su temperatura a ( $T'$ ), denominada *temperatura de saturación adiabática*. Si el proceso se desarrolla a presión constante podemos expresar el balance de calor mediante la siguiente ecuación:

$$(c_p + x \cdot c'_p) \cdot (T - T') = L \cdot (x'_{\text{sat}} - x)$$

Donde:

$c_p$  = calor específico a presión constante del aire fresco (J/kg K).

$c'_p$  = calor específico a presión constante del vapor de agua (J/kg K).

$x$  = grado de humedad del aire de entrada a la temperatura  $T$  (kg/kg).

$x'_{\text{sat}}$  = grado de humedad de la mezcla saturante a la temperatura  $T'$  (kg/kg).

$T$  = temperatura del aire de entrada (K).

$T'$  = temperatura del aire saturado (K).

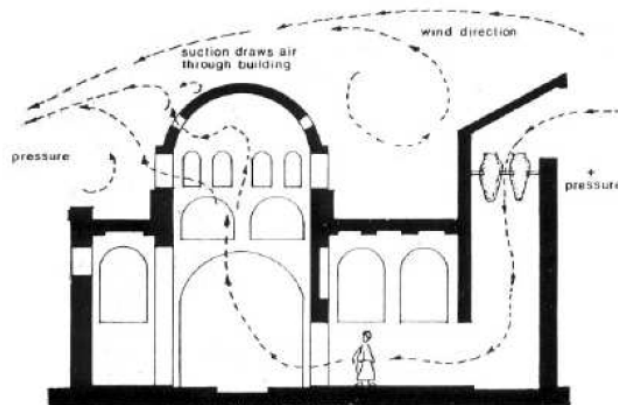
$L$  = calor latente de vaporación del agua (2.47 kJ/kg en condiciones de verano).

En un clima seco la temperatura de saturación  $T'$  baja notablemente respecto a la temperatura de aire,  $T$ .

Este proceso aplicado a la refrigeración natural de una edificación, se conoce desde la antigüedad en Oriente Medio, donde se alcanzan temperaturas muy elevadas en verano en torno a los 46 °C.

Uno de los procedimientos ya estudiados anteriormente dentro de la arquitectura tradicional (enfriamiento evaporativo), consiste en someter el aire exterior a un proceso de *humectación*. Al pasar alrededor de una tinaja que rezuma agua por sus poros, el aire entra posteriormente en el interior de la edificación más frío. Al mismo tiempo se refresca el agua de la tinaja (Figura 307).

En algunas regiones hacen pasar el aire frío procedente de la torre de viento sobre un estanque con agua o una fuente. En tiempo frío se cierra el paso entre la vivienda y la torre.



**Figura 307:** Torre evaporativa  
**Fuente:** Melero 2010

En la actualidad este proceso de humectación del aire se consigue mediante dos sistemas:

- 1) En viviendas diseñadas con torres de viento, galerías o conductos de ventilación, al final del tramo se incorpora una fuente con pulverizador para el agua, de forma que al pasar el aire fresco alrededor de la fuente, el aire se vuelve a enfriar por la evaporación del agua antes de introducirse en el interior de la vivienda. Este sistema no requiere una gran superficie para producir el efecto de refrigeración buscado.
- 2) En ambientes externos donde se utilizan las torres de viento como sistema de refrigeración, se pueden incorporar en el interior de las mismas, micronizadores de agua a distintas alturas que producen agua pulverizada. Al introducirse el aire caliente procedente del exterior, a través del captador de viento, el aire se enfría por la evaporación del agua pulverizada, descendiendo hasta llegar al ambiente que se desea refrigerar. Como ejemplo de ello, podemos recordar las torres de viento instaladas en la Exposición Universal de Sevilla de 1992 en la Avenida de Europa, con el objetivo de mejorar las condiciones de confort térmico de los espacios abiertos.

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 308:** (1) Torres de viento. Avenida de Europa (Exposición Universal de Sevilla, 1992). (2) Estructura interior de la torre de viento

**Fuente:** (1) Grez 2007. (2) Portillo 2009

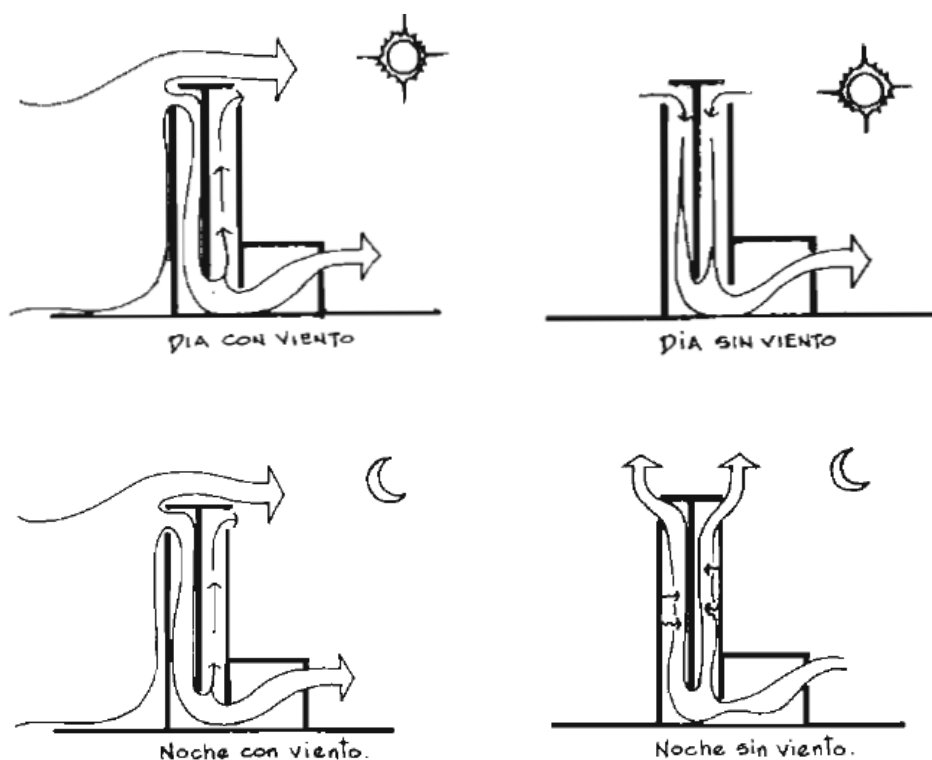
La refrigeración por evaporación tiene una gran utilidad dentro de la arquitectura sostenible, principalmente en zonas con clima cálido y seco. La temperatura interior máxima que se puede alcanzar en edificios de viviendas bien aislados térmicamente será del orden de 3 a 4 °C por encima de la temperatura máxima de bulbo húmedo. Para que alcance efectividad este sistema, la temperatura máxima de bulbo húmedo, en verano, no debe sobrepasar los 24 °C, mientras que la temperatura de bulbo seco podría situarse por encima de 40 °C (Yáñez, 2008).

#### g. Torre eólica

Uno de los sistemas de ventilación natural más importantes de la arquitectura tradicional islámica, según hemos analizado anteriormente en la presente tesis, son las torres eólicas. Este dispositivo por un lado, capta el viento introduciéndolo en el interior del edificio y por otro, utiliza el efecto chimenea cuando no hay viento. En el primer caso, el viento captado por la torre eólica, al conducirlo al interior, aumenta la velocidad del aire dentro de los locales, produciendo un efecto refrigerante. Este efecto se puede aumentar

haciéndolo circular en contacto con superficies de agua o superficies húmedas, produciéndose un enfriamiento evaporativo, como en el caso de las torres evaporativas, estudiadas anteriormente. Este mismo efecto se produce cuando sopla el viento frío por la noche, ya que desciende a través de la torre, permitiendo enfriar el interior del edificio.

Cuando no hay viento por la noche, la torre funciona por efecto chimenea. Las paredes de la torre están calientes por haber absorbido calor durante el día, por lo que se establece una corriente de aire ascendente que tira del aire más denso y frío de las zonas más bajas, creando una circulación que permite refrigerar los locales. A primeras horas de la mañana se inicia una circulación en sentido inverso ya que el aire de la torre al enfriarse es más denso, creándose una corriente descendente.



**Figura 309:** Torre eólica. Esquema de funcionamiento

**Fuente:** García y Fuentes 1985

Los diseños de las torres difieren en cuanto a la altura, sección transversal de las canalizaciones, colocación y número de aberturas y ubicación de la torre respecto al edificio que enfría (García & Fuentes, 1985).

Las torres eólicas funcionan haciendo cambiar la temperatura y por lo tanto la densidad del aire, en su interior y en su entorno, dependiendo de la hora del día y del estado del viento.

En la actualidad, este dispositivo de enfriamiento evaporativo pasivo e híbrido de ventilación natural ofrece un rendimiento importante, ya que reúne en un mismo sistema el efecto chimenea y la torre de viento, garantizando el confort térmico en el interior de los edificios. En otros casos, en los que no se utilizan las torres eólicas, se incorporan dispositivos independientes que garantizan la refrigeración del edificio a través de ambos efectos.

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 310:** Torres eólicas. Centro de Investigación de Ahmedabad en la India  
**Fuente:** Dalh 2013

### h. Conductos enterrados

En zonas de clima templado donde se necesita refrigeración durante el verano, el suelo debido a su inercia a una profundidad de 2 a 3 metros tiene una temperatura que se aproxima a la temperatura medial anual del aire. El terreno se convierte así en un foco con una temperatura más baja que la temperatura del aire en verano.

En dichas regiones se pueden utilizar conductos enterrados por donde se hace circular aire que al entrar en contacto con el terreno desciende su temperatura. En efecto,



cuando hacemos pasar el aire a través de dichas capas profundas del suelo, mediante conductos que tengan buena conductividad térmica, podemos enfriarlo para, posteriormente, introducirlo en los edificios. Para mejorar la transmisión entre el conducto y el terreno es conveniente una buena conductividad térmica, la cual aumenta con su grado de humedad.

La temperatura del terreno siempre ofrece unas condiciones favorables, ya que en verano el terreno estará más frío que el aire exterior y en invierno se producirá el efecto contrario.

Como la transmisión del calor del aire a la tierra es muy lenta, se deben diseñar conductos con recorridos subterráneos muy largos para obtener un efecto apreciable (Serra & Coch, 1995).

Si a través de un conducto enterrado hacemos pasar una corriente de aire durante suficiente tiempo, el fluido alcanzará la temperatura del terreno y podrá impulsarse refrigerado al interior del edificio. Para las condiciones climáticas de Madrid, un conducto de 30 cm. de diámetro, de cemento centrifugado y una longitud entre 10 y 20 m, enterrado a una profundidad entre 1,5 y 2,0 m, y por el que circule aire a 2 m/s, al final del recorrido lo impulsará a una temperatura aproximada de 5 °C más baja de la que entró (Neila & Acha, 2009).

Las limitaciones del sistema las fijan la necesidad de un espacio exterior en donde enterrar el conducto y la de un ventilador que impulse el aire a una velocidad estable. Por otro lado, la bajada de la temperatura del aire, al no ser elevada, obliga a mover un caudal de aire importante, si se pretende alcanzar una temperatura media confortable en la habitación empleando únicamente este sistema. Para ello, dado que el conducto no puede ser muy ancho (no habría un buen contacto entre el aire y el terreno) y que la velocidad no puede ser muy elevada (obligaría a un recorrido excesivamente largo), es conveniente utilizar una combinación de sistemas que se complementen.

Como ya analizamos cuando estudiamos este sistema de refrigeración dentro de la arquitectura tradicional, los conductos enterrados se pueden combinar con torres de ventilación, que captan el viento exterior y lo introducen en estos conductos, que al recibir





El edificio Hemiciclo Solar (Figura 311), diseñado por el estudio de arquitectura Ruiz Larrea & Asociados y construido en Móstoles (Madrid) entre 2007 y 2009, constituye un buen ejemplo donde la climatización y la renovación del aire se resuelve mediante conductos enterrados.

El sistema se ha diseñado con el objetivo de proporcionar al edificio la renovación de aire exigida durante todo el año y como sistema de refrigeración pasiva durante el verano como alternativa al aire acondicionado.

La estrategia consiste en aprovechar la propiedad geotérmica del terreno como intercambiador de calor Aire-Tierra, ya que a una profundidad igual o mayor a 5 m presenta una temperatura constante durante todo el año. El aire exterior es captado por 10 bocas situadas de forma estratégica en la zona norte del edificio, ya que presenta las mejores condiciones exteriores debido a la sombra que genera el propio edificio y a su condición de área ajardinada.

El flujo de aire que se introduce circula a través de 48 conductos circulares a una profundidad de 4,5 m situados bajo la cota de la losa de cimentación del sótano. Este aire en verano se enfría por el terreno que envuelve a los conductos, ya que se encuentra a una temperatura menor, en cambio en invierno, lo precalienta al estar el suelo a mayor temperatura que el aire exterior. Finalmente el aire preacondicionado pasivamente es conducido a una unidad de tratamiento de aire (UTA) que asegura las condiciones térmicas e higiénicas del aire y lo distribuye a cada vivienda por medio de un conducto vertical que cruza todas las plantas (3 Opal Proyectos, 2010).

#### **4.4.5 Aislamiento térmico**

Para evitar en los edificios flujos energéticos interior-externo no deseados, es necesario diseñar la envolvente utilizando soluciones constructivas que limiten la capacidad de transmitir calor.

Para alcanzar un bienestar térmico es importante conseguir la estabilidad de las temperaturas internas dentro del intervalo de la zona de confort.



“Es fundamental conseguir un buen aislamiento térmico de la envolvente del edificio para reducir la carga térmica y aumentar así el rendimiento de la aportación solar. Hay que tener en cuenta que las cubiertas necesitan, en general, un nivel de aislamiento doble respecto a los muros y suelos” (Yáñez, 2008).

La cubierta es el elemento en la envolvente arquitectónica que está sujeta a mayores fluctuaciones térmicas, debido a que durante el día alcanza elevadas temperaturas por su exposición directa a la radiación solar y, durante la noche, es la parte de la construcción que más calor pierde.

En este sentido, la arquitectura tradicional nos ofrece un sistema de cubierta caracterizado por su alto aislamiento térmico, muy utilizado actualmente dentro de la arquitectura sostenible, a través de lo que denominamos “**naturación en cubiertas**”, cuyo sistema incorpora masa vegetal sobre las superficies horizontales, verticales o inclinadas de las edificaciones.

#### a. **Naturación en cubiertas**

Esta técnica constructiva ha sido utilizada desde hace siglos. Se reconoce a los Jardines Colgantes de Babilonia como el primer ejemplo de naturación. Se construyeron entre los años 605 y 562 a. C con una superficie aproximada de 1600 m<sup>2</sup>, donde se utilizó todo tipo de vegetación, incluso árboles de elevado porte (García, 2010b).



**Figura 312:** Jardines colgantes de Babilonia  
**Fuente:** Ilse 2010

La técnica de naturación ha sido utilizada en muchos países, tanto en climas fríos como Islandia, Noruega, Canadá etc. donde este tipo de cubierta “caliente” ya que almacena el calor de los ambientes interiores y en los climas cálidos como Tanzania existen construcciones tradicionales con cubiertas verdes, donde esta tipología de techo “enfría”, ya que mantiene aislados los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior. En estos techos la vegetación junto con la tierra, moderan extraordinariamente las variaciones de temperatura en los ambientes de la vivienda, como ya se indicó anteriormente dentro del estudio de la arquitectura tradicional.



**Figura 313:** Cubierta vegetal. (1) Vivienda tradicional islandesa. (2) Vivienda rural islandesa  
**Fuente:** Ecología y Energía 2014

En la actualidad la incorporación de vegetación en las envolventes de los edificios (naturación urbana) es una tecnología que está tomando un gran impulso, ya que además de garantizar el aislamiento térmico, como luego analizaremos, proporciona múltiples beneficios: ambientales, arquitectónicos, constructivos, estéticos, económicos y sociales (García, 2010a).

Los jardines en las calles y los patios ajardinados, pero sobre todo las cubiertas y las fachadas ajardinadas, pueden mejorar el clima contaminado de las ciudades. Para lograr un clima urbano saludable, probablemente sería suficiente con ajardinar entre un 10 y un 20% de todas las superficies techadas de una ciudad, ya que, un techo de césped sin podar tiene de promedio de 5 a 10 veces más de superficie de hojas que la misma área en un parque abierto (Minke, 2005).



Según Minke, se puede partir de la base de que en los barrios céntricos de las grandes ciudades 1/3 de la superficie está edificada, 1/3 corresponde a las calles y plazas, a su vez pavimentadas, y solamente queda 1/3 de superficies verdes sin pavimentar. Si sólo por cada cinco techos hubiera uno de césped, la superficie de hojas en esa ciudad se duplicaría.

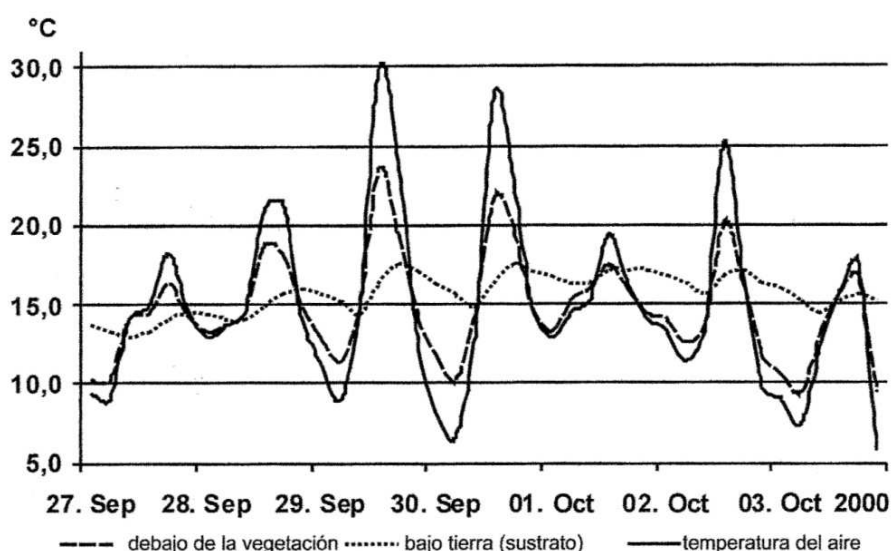
Los techos verdes además de contribuir en la mejora del clima de la ciudad, son considerados, a largo plazo, más económicos que las cubiertas convencionales.

Las cubiertas ajardinadas conducen a una construcción sostenible y económica, ofreciendo las siguientes ventajas, que abarcan aspectos arquitectónicos, constructivos, estéticos y medio ambientales:

- **Disminuyen las superficies pavimentadas:** con la instalación de una cubierta ajardinada, se aumenta la superficie verde de las ciudades que es uno de los problemas urbanos a tener en cuenta, y se podría de alguna manera reponer la superficie ocupada por la construcción del edificio.
- **Producen oxígeno y absorben CO<sub>2</sub>:** la vegetación de los techos verdes toma, como todas las plantas, CO<sub>2</sub> del aire y libera oxígeno en el proceso de fotosíntesis. Mientras las hojas verdes sobre el techo aumenten, se generará oxígeno y se consumirá CO<sub>2</sub>. Si existe un equilibrio entre el crecimiento y la muerte de parte de las plantas, siempre existirá la ventaja de que se extraiga CO<sub>2</sub> del aire y que quede almacenado en ellas.
- **Filtran las partículas de polvo y suciedad del aire y absorben las partículas nocivas:** las plantas pueden filtrar polvo y partículas de suciedad. Estas quedan adheridas a la superficie de las hojas y son arrastradas después por la lluvia hacia el suelo. A su vez las plantas pueden absorber partículas nocivas que se presentan en forma de gas y aerosoles. Debido a esta actuación positiva, la atmosfera se limpia y se reduce la contaminación, con la consiguiente mejora del clima.

Investigaciones de Bartfelder demostraron que, en los barrios céntricos de las ciudades altamente contaminados, también los metales pesados son captados por las hojas (Bartfelder y Köhler, 1986 citado en Minke, 2005).

- Enfrían los espacios bajo cubierta, en el verano, debido a la evaporación:** hay dos tipos de evaporación a tener en cuenta, en primer lugar la evaporación provocada por la humedad retenida por el sustrato en contacto con la radiación solar, y en segundo lugar, la evaporación provocada por las plantas en su función biológica. La evaporación consume energía que es alejada en lugar de transmitirse por la cubierta. Las curvas del siguiente gráfico demuestran que este tipo de cubierta en verano tiene un efecto de enfriamiento considerable.



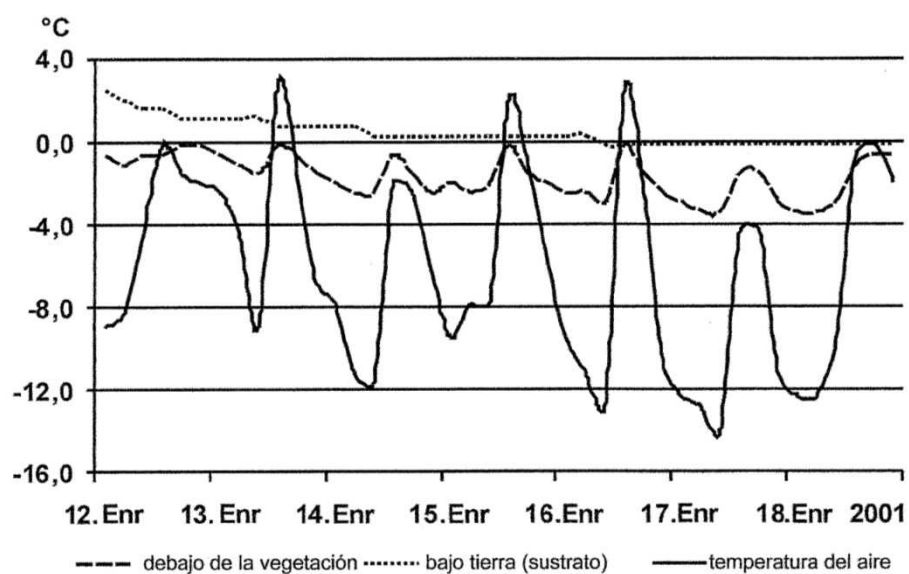
**Figura 314:** Temperaturas de un techo verde con un sustrato de 16 cm, medidas durante una semana de verano, Kassel (Alemania)

**Fuente:** Minke 2005

En Alemania, donde se ha extendido mucho su utilización se ha comprobado que se pueden reducir las temperaturas superficiales de la cubierta en verano hasta 20 °C. Esta reducción de temperatura debida, principalmente, al enfriamiento evaporativo que se produce en los procesos de la evapotranspiración de las plantas y de la evaporación del agua de lluvia

retenida o infiltrada, se estima en un 20% de la radiación solar absorbida, siendo ésta entre un 80-45% de la radiación incidente (Yáñez, 2008).

- **Disminución de las pérdidas de calor, en el invierno, reduciendo el consumo energético:** se puede mantener más estable las condiciones de confort interno, obtenido por ganancias pasivas o por los sistemas de acondicionamiento, requiriendo consumos más reducidos para alcanzar los niveles de bienestar.



**Figura 315:** Temperaturas de un techo verde con un sustrato de 16 cm, medidas durante una semana de invierno, Kassel (Alemania)

**Fuente:** Minke 2005

- **Disminuyen las variaciones de humedad en el aire:** las cubiertas ajardinadas retienen parte del agua de lluvia, y también mejoran el desagüe pluvial de los edificios, disminuyendo el flujo de agua superficial sobre las cubiertas.

Las plantas reducen las variaciones de humedad. Concretamente cuando el aire está seco evaporan una considerable cantidad de agua y elevan así la humedad relativa del aire. Por otra parte, las plantas pueden disminuir la humedad del aire con la formación de rocío. Así se condensa la niebla sobre

las hojas y tallos de un techo verde y posteriormente pasa a la tierra en forma de gotas de agua.

- **Tienen una larga vida útil si es correcta su ejecución:** la duración de los techos convencionales, cubiertos con materiales bituminosos, teja, piedra, metal, placas onduladas o similares es limitada por la influencia del tiempo. El calor, el frío, la lluvia, los rayos ultravioletas, el viento, así como el ozono y los gases procedentes de las industrias causan daños mecánicos y procesos de descomposición químicos y también biológicos. En cambio, las cubiertas ajardinadas protegen la lámina de impermeabilización de la radiación solar, de los cambios bruscos de temperatura y de los esfuerzos mecánicos.

En Alemania, según el 2º Informe de daños en la Construcción, del Ministerio Federal para Ordenamiento de Espacios, Construcción y Urbanismo, se estableció que, mientras que el 80% de los techos planos a partir de los 5 años de su construcción, presentaron los primeros daños, un techo verde con una correcta elección de la impermeabilización y una buena ejecución de las uniones, tiene una vida útil casi interminable (Minke, 2005).

- **Reducen la entrada de sonido del exterior:** las ciudades se encuentran bajo la influencia de todo tipo de ruidos procedentes tanto de la propia ciudad como del aire. En la cubierta tradicional, los materiales sufren los ruidos de impacto y expanden la onda sonora, sin embargo, en la cubierta ajardinada, tanto las plantas como el sustrato actúan como buenos absorbentes acústicos.

Las plantas reducen el ruido mediante la absorción, reflexión y deflexión, aunque debemos tener en cuenta, que en los techos verdes, en general, no es decisivo el efecto de absorción acústica de las plantas, sino del sustrato sobre el cual crecen las plantas.

- **Absorben la lluvia, aliviando el sistema de alcantarillado:** reduce los costes de depuración de aguas residuales y minimiza los riesgos de inundación y torrentes. Devuelve el agua de lluvia al ciclo natural. Los techos verdes alivian considerablemente las redes de alcantarillado de las ciudades,



que siempre deben ser dimensionadas para las precipitaciones máximas. Por lo tanto, se podría redimensionar el sistema de alcantarillado, ajardinando grandes urbanizaciones y zonas industriales, de este modo se reducirían los costes.

Dentro de las ventajas que ofrecen este tipo de cubiertas, analizaremos a continuación su alto efecto como **aislamiento térmico**.

La cubierta ajardinada es una cubierta plana que soporta una capa de sustrato con vegetación en la parte superior. También es un tipo de cubierta invertida, ya que presenta normalmente, el aislamiento sobre la impermeabilización, con la adición de un sustrato y plantas por la parte superior. Además sobre ellas se puede diseñar verdaderos jardines que transmitan sensaciones a los usuarios. La vegetación sobre la cubierta puede aumentar de varias maneras su eficacia térmica, gracias a la sombra proporcionada por la vegetación, el aislamiento proporcionado por el aire encerrado dentro del colchón de plantas, los procesos de refrigeración propios de las especies vegetales y a través de la protección a la radiación solar sobre la cubierta (Briz, 2004).

Los techos verdes ofrecen una gran protección contra la radiación solar, ya que la vegetación no permite su penetración en la superficie de la cubierta. En la medida en que se protege el punto más vulnerable del edificio, que es la cubierta, se minimizan los flujos energéticos entre el ambiente exterior e interior, contribuyendo a una mejora en las condiciones de confort.

La diferencia de temperatura que sufren los materiales que conforman una cubierta queda minimizada con el empleo de un cerramiento vegetal. A esto contribuye la capa protectora que es la vegetación, el poder aislante del suelo o sustrato, generalmente de baja conductividad térmica, el aire existente entre las hojas de las plantas y la capa superior del sustrato que funcionan como una capa aislante que disminuye el intercambio térmico entre la cubierta y el exterior.

En general una cubierta vegetal consta de las siguientes capas, que se apoyan sobre el forjado de cubierta (Figura 316). Dependiendo de la solución adoptada varias de estas funciones pueden ser asumidas por un solo material.

### Solución constructiva. Esquema general

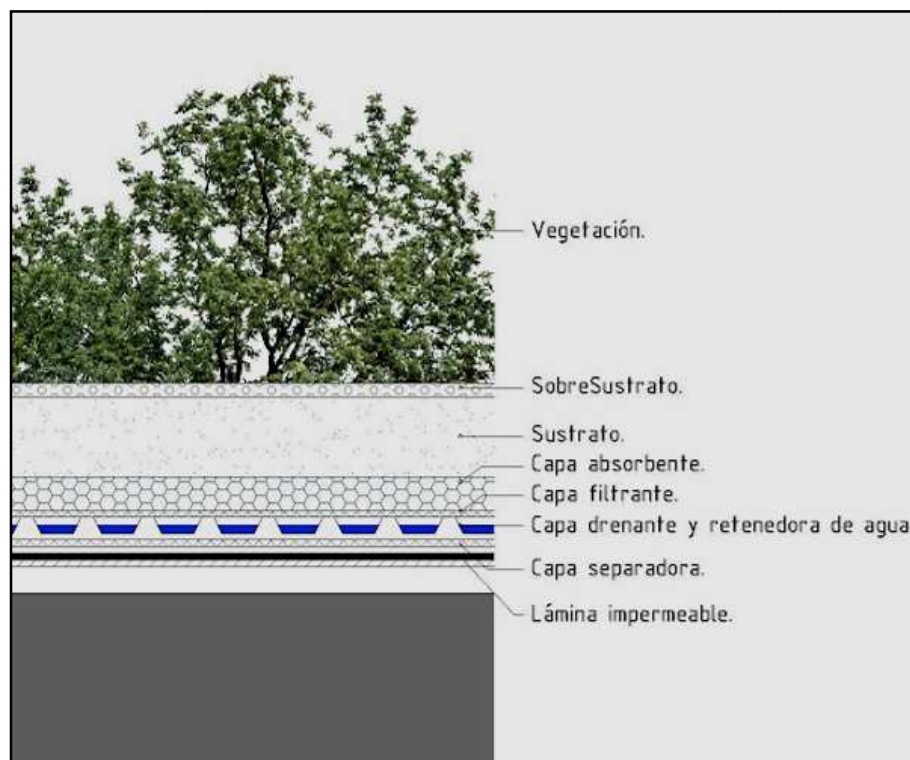


Figura 316: Esquema cubierta vegetal

Fuente: Santalla 2011

### Descripción de las capas que componen la cubierta vegetal:

- **Lámina impermeabilizante:** impide el paso del agua y la conduce hacia su evacuación.
- **Capa separadora (lámina antirraíces):** protege a la impermeabilización y evita su perforación.
- **Capa drenante:** permite que el agua discurra sin obstáculos por encima de la lámina hasta su evacuación.
- **Capa de retención:** retiene parte del agua que cae sobre la cubierta evitando que se pierda.



- **Capa filtrante (lámina geotextil):** evita la lixiviación del sustrato, solamente deja pasar el agua y no las partículas del sustrato.
- **Capa absorbente:** retiene el agua para prolongar la humedad de la cubierta en el tiempo.
- **Sustrato:** es el medio que proporciona el crecimiento de la vegetación, de sus características depende en parte la absorción de agua, nutrientes y el peso de la cubierta.
- **Sobre Sustrato:** esta capa protege el sustrato.
- **Vegetación:** es la capa más delicada de la cubierta vegetal, de su elección depende el correcto funcionamiento de todo el sistema.

En el caso de incorporar en la cubierta vegetal **aislamiento térmico**, normalmente suele ser de poliestireno extruido (XPS), que además de sus propiedades aislantes ( $\lambda=0,029-0,036$  W/mK), presenta una gran resistencia a la penetración del agua ( $\leq 0,7$  % volumen).

Según el tipo de cultivo y el grado de mantenimiento requerido, existen diferentes sistemas de naturación en cubiertas que generalmente se clasifican en tres tipos (García, 2010b):

### 1) Intensivos

Son los jardines convencionales, ya que permiten el uso de cualquier tipo de vegetación, incluso árboles, en este caso el espesor del sustrato es mayor de 30 cm, el coste y mantenimiento son elevados ya que requiere de riego, fertilización y poda constante. Este tipo de sistema se procura que se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema generalmente es superior a los 250 kg/m<sup>2</sup>.



**Figura 317:** Sistema de naturación intensivo. (1) Capa drenante instalada. (2) Cubierta finalizada  
**Fuente:** <http://www.dod97.es>

Según Briz (2004) este sistema denominado también cubierta jardín es muy utilizado en proyectos arquitectónicos singulares, donde el factor área extra con cualidades ambientales, estéticas y de ocio son determinantes principales. En estos casos la carga de una cubierta jardín puede alcanzar entre 700 y 1200 kg/m<sup>2</sup>, lo que llevará a un dimensionado generoso y costoso de la estructura.

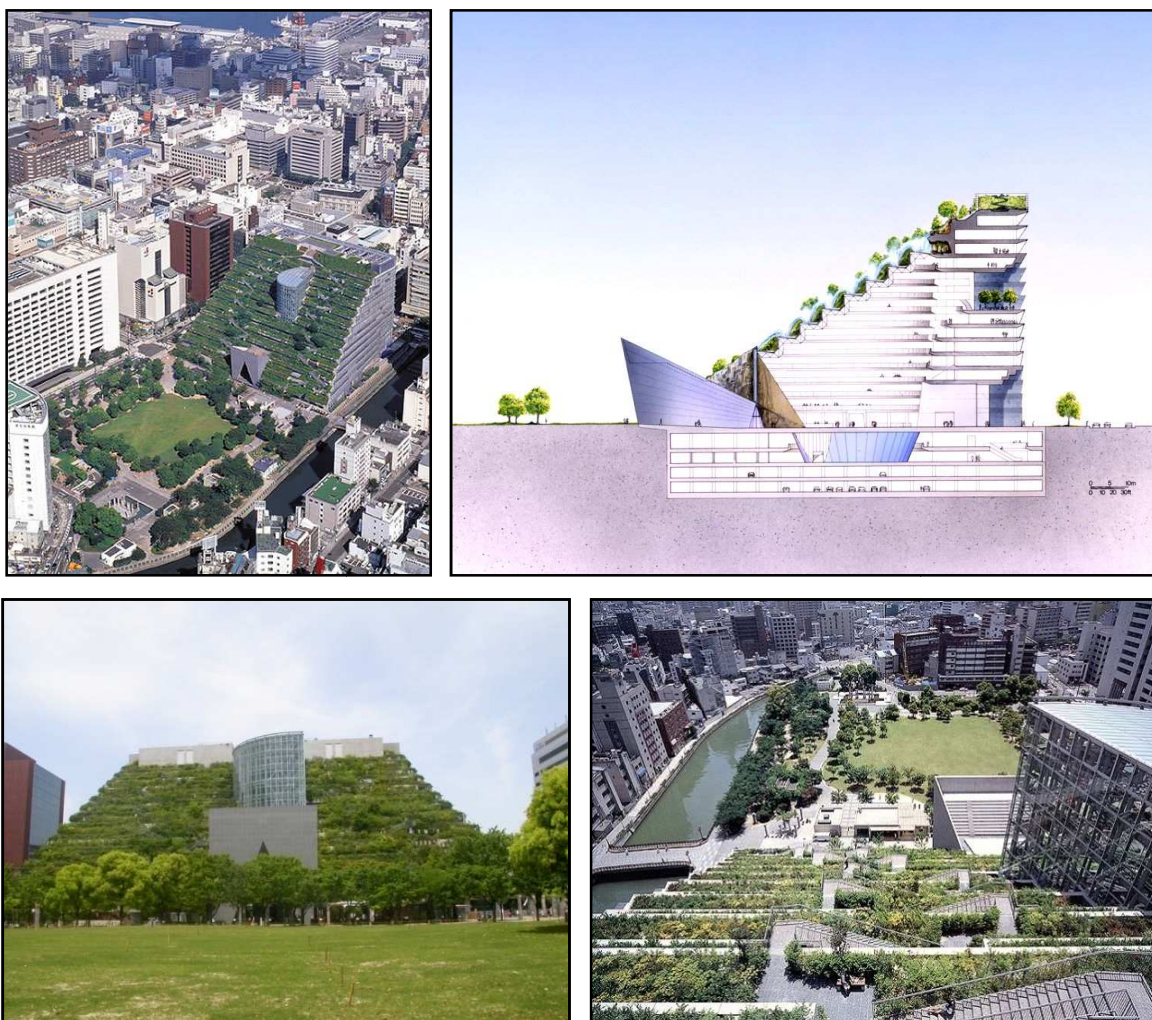
Como ejemplo de proyecto singular donde la cubierta ajardinada tiene un papel importante podemos destacar el edificio Acros Fukuoka Prefectural International Hall, inaugurado en 1995 en la zona de Tenjin, en pleno centro de Fukuoka (Japón), obra del arquitecto argentino Emilio Ambasz, es uno de los símbolos de la ciudad, así como un punto de referencia para la arquitectura sostenible (Figura 318).

La ciudad de Fukuoka necesitaba un nuevo edificio de oficinas gubernamentales y la única zona disponible en el centro de la ciudad era a su vez la última área verde en dicha zona. Para el caso del edificio Acros, el arquitecto Emilio Ambasz responde a la necesidad de conservar las zonas verdes en el costoso terreno urbano japonés.

El edificio consta de 14 plantas sobre el nivel del suelo y 4 plantas subterráneas, incluye oficinas particulares y gubernamentales, un museo, una sala de exposiciones, un teatro para 2000 personas, una sala de conferencias, y tres plantas de aparcamiento. El elemento más característico, su cubierta ajardinada que ocupa 9.300 m<sup>2</sup>, está compuesta por una combinación de jardines, creados sobre amplias terrazas de 100 m. de largo y 12

m. de profundidad, que funcionan como una prolongación estratificada del parque (Zeballos, 2007).

Es posible recorrer esta singular topografía que ofrece la cubierta a través de sus escalinatas ocultas por la vegetación, apreciar su diversidad botánica (cerca de 35.000 plantas de 76 especies diferentes) y descubrir sus zonas para el descanso. Además de ello, la vegetación ayuda a controlar la temperatura en el interior del edificio para alcanzar un nivel confortable, aislándolo o refrescándolo, y contribuyendo a reducir la emisión de gases invernadero y su consumo de energía.



**Figura 318:** Edificio Acros Fukuoka Prefectural International Hall (Japón). Arquitecto: Emilio Ambasz

**Fuente:** Zeballos 2007

## 2) Semi-intensivos

Este sistema se considera como intermedio, ya que el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm, aunque disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, ofrece más posibilidades que el sistema extensivo. Requiere mantenimiento regularmente. El peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m<sup>2</sup>.



**Figura 319:** Sistema de naturación semi-intensivo

**Fuente:** <http://commons.bcit.ca/greenroof/faq/what-are-the-different-types-of-green-roofs/>

## 3) Extensivos

En este sistema el espesor del sustrato no debe ser superior a 12 cm. La vegetación en estos casos, es de bajo porte utilizando especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales, por ello su mantenimiento será bajo o casi nulo. El peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m<sup>2</sup>. Es el sistema más apropiado para ser utilizado en construcciones ya existentes.

Las cubiertas ajardinadas ejecutadas mediante este último sistema están bajando sus costes, y su mantenimiento a medio y largo plazo es mucho menor que en una cubierta convencional, por lo que cada vez se utiliza más en el centro y norte de Europa. Es la nueva versión de los tejados de cubierta vegetal (González, 2004).

La problemática ambiental actual ha fomentado la investigación de tecnologías sustentables que contribuyan a su mejora, visión que reafirma el sistema extensivo, por su bajo coste y mínimo mantenimiento en relación con los otros dos sistemas de naturación en cubiertas. Este sistema se comporta como una herramienta ecológica, proporcionando mejoras reales al ambiente sin exigir ni malgastar recursos.



**Figura 320:** Sistema de naturación extensivo

**Fuente:** Yurek 2013

### La vegetación en los sistemas de naturación

La función que cumple la vegetación en las cubiertas ajardinadas es fundamental para el buen funcionamiento térmico de los edificios, al ser el único elemento vivo responde a las condiciones climatológicas del lugar donde se encuentra a diferencia de los demás componentes, que al ser inertes no presentan actividad con el ambiente.

El tipo de vegetación que utilizaremos en la ejecución de la cubierta se debe seleccionar después de analizar con detalle el clima de la región, dado que influye de forma decisiva en los procesos fisiológicos de la planta y determina las condiciones de uso y mantenimiento de la propia cubierta.

Según García Villalobos, es importante destacar que no existen datos concretos sobre las características y propiedades de la vegetación utilizada en las cubiertas ajardinadas. Todos los datos registrados en las investigaciones sobre este tipo de



cubiertas se han realizado de forma muy general en lo que respecta a la vegetación (García, 2010b).

Analizando las propiedades y características de la vegetación que influyen en el aislamiento térmico, se podrá realizar el cálculo térmico de forma más exacta, lo que permitirá obtener mejores posibilidades dentro del diseño y cálculo de las cubiertas verdes.

Seleccionar las especies vegetales de acuerdo a sus **características higrotérmicas**<sup>19</sup>, determinará un mejor desarrollo y obtención de mayores beneficios de los sistemas de naturación. Es importante poder profundizar y desarrollar nuevas investigaciones que apoyen su conocimiento y aplicación.

## **b. Cerramientos y revestimientos de madera**

La arquitectura tradicional ha conseguido adaptarse durante siglos al medio natural y humano en el que se ubicaba con la minimización energética necesaria para alcanzar el bienestar. La eficacia de las técnicas o mecanismos de aprovechamiento energético ha sido el resultado de la experiencia acumulada a lo largo de muchos años de uso.

El ambiente interior de una vivienda tradicional no necesitaba adiciones tecnológicas, ya que los constructores-habitantes de esta arquitectura lograban alcanzar el grado de confort necesario, en muchos casos, valiéndose de materiales accesibles que garantizaran el aislamiento térmico, en este sentido, la madera debido a su baja conductividad térmica ( $\lambda=0,13$  W/mK) ha sido un material muy utilizado dentro de la arquitectura tradicional, principalmente en zonas frías, donde no es posible el calentamiento solar, por la escasa intensidad de la radiación solar o por las pocas horas de sol y donde lo importante es la capacidad aislante del material.

---

<sup>19</sup> Incluyen tanto factores de temperatura como de humedad, los cuales intervienen en los flujos de energía que permiten calcular el balance energético de una cubierta ajardinada.



Los países nórdicos, con una amplia superficie forestal, en los que durante el invierno reina la noche perpetua, y en los que cuando luce el sol lo hace débilmente, la madera es el material por excelencia (Neila & Acha, 2009).

En estos climas, donde no puede haber calentamiento pasivo, lo que debe hacer la arquitectura sostenible es gestionar eficazmente el consumo de la energía convencional, y eso se consigue con cerramientos de madera debido a su buen comportamiento como aislante térmico.

La madera no acumula calor, lo que permite que la energía consumida en el interior de una vivienda se utilice única y exclusivamente para calentar el aire de los espacios interiores, reduciéndose el consumo energético.

La madera es fácil de trabajar, tiene una larga vida útil y ofrece muchas aplicaciones. Si la comparamos con otros materiales de construcción, tiene un peso inferior, en cambio soporta mucha carga. Esta circunstancia se puede comprobar a través del gran número de puentes, torres y construcciones de madera que existen por todo el mundo. Viviendas, elementos estructurales, cerramientos, escaleras y suelos de madera duran generaciones.

Actualmente los constructores deciden utilizar la madera por razones económicas, estéticas y biológicas. La madera aporta calor y no libera materia que contamine el medio ambiente. Por otro lado, las modernas técnicas de construcción con madera no necesitan ningún tipo de protección química para preservarla. El futuro se abre a las formas de construcción económicas y que garantizan el ahorro energético. En este ámbito, las modernas construcciones de madera abren nuevas perspectivas.

Como ejemplo, las viviendas construidas en Alemania hace 30 o 40 años necesitan cerca de 300 kWh de energía por año para calentar un metro cuadrado de superficie habitable. Las viviendas<sup>20</sup> que se encuentran dentro de la construcción convencional y están bien aisladas, consumen cerca de 60 a 80 kWh de energía por año

---

<sup>20</sup> En España, según el CTE en el DB HE 0, contempla que el valor base del consumo energético puede tomar valores entre 40-70 kWh/m<sup>2</sup> · año dependiendo de la zona climática de la localidad de ubicación.



para calentar un metro cuadrado de superficie habitable. En cambio, el consumo en casas pasivas modernas de madera está por debajo de los 15 kWh de energía por año para calentar un metro cuadrado de superficie habitable (Germantimber, 2007). Estos datos nos demuestran el importante ahorro energético que garantizan las edificaciones de madera.

El objetivo de los cerramientos sostenibles es cubrir las necesidades de calefacción y refrigeración con el menor consumo energético, independientemente de la temperatura exterior, para lo cual se diseña la edificación con el fin de ganar todo el calor solar posible en invierno y evitar las ganancias de calor en verano. En este sentido, el aislamiento térmico que proporcione el cerramiento será decisivo para poder reducir el consumo energético de una vivienda.

Como sistema de cerramiento donde el aislamiento térmico ocupa un papel importante, debemos destacar los cerramientos ejecutados con rollizos de madera. Esta tipología utilizada tradicionalmente, se sigue incorporando en el diseño actual de muchas edificaciones (Figura 321).

### **Cerramiento de rollizos de madera**

Este sistema consiste en apilar un tronco sobre otro, trabados en las esquinas, para la construcción de la estructura (muro de carga), que al mismo tiempo funciona como cerramiento. Su sistema de apilamiento permite la total reutilización del material empleado, lo que incrementa su valor como cerramiento sostenible.

Las maderas más utilizadas en Europa para este tipo de cerramiento son coníferas como el abeto, el pino silvestre o bien el abedul. En Norteamérica se utilizan en cambio maderas como el Western Red, el Cedar y el White Cedar.

El cerramiento de rollizos de madera es un sistema constructivo de centenaria tradición en el norte de Europa, en Rusia y en las regiones de alta montaña del centro de Europa, especialmente en los cantones suizos de Berna, Valais, los Alpes de Friburgo, los grisones, así como en los Alpes de Baviera en Alemania o las zonas de montaña de



Austria. No es, por tanto, un sistema propio de la tradición mediterránea de construcción en madera, aunque se están empezando a comercializar algunas patentes a través de firmas extranjeras, si bien de poco interés en cuanto a su calidad arquitectónica, ya que importan tipologías arquitectónicas foráneas muy determinadas. Ha evolucionado considerablemente con la industrialización, buscando un mayor y mejor apoyo de las piezas, así como en la protección de las juntas (Pita, Quintáns, & Prieto, 2009).

Sus cualidades como aislante térmico son importantes, ya que posee una baja conductividad térmica y una cierta capacidad de almacenamiento de calor, debido al alto valor del calor específico de la madera (0,6 Kcal/Kg °C).

Actualmente los sistemas incorporan capas de aislamiento térmico que incrementan su resistencia térmica. De la misma forma, se ha mejorado la geometría de sus juntas garantizando una buena estanqueidad al agua y al aire (aún así incorporan por seguridad sellantes de fieltro bituminoso, fibras minerales y de vidrio, etc.), así como el control de su resistencia y humedad evitan las deformaciones al entrar en carga. Este sistema permite la ejecución de huecos con un cerco también de madera, y dada su versatilidad, el dintel, las jambas y el alfeizar se resuelven con la misma pieza (Figura 321).

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 321:** Villa Horwood en Eckerö (Finlandia). Estudio de arquitectura: K2S Architects  
**Fuente:** Pita, Quintáns y Prieto 2009



El actual desarrollo tecnológico, y las cualidades que ofrece al ser estructura y cerramiento al mismo tiempo, ha acercado a un grupo de arquitectos, sobre todo centro europeos, a proyectar de nuevo con este sistema dotándole de nuevas perspectivas de alto potencial de futuro, siendo muy precisos en su construcción y en la expresión de la misma a través de las juntas y encuentros. Si bien siempre utilizándolos en contextos donde tradicionalmente se han desarrollado este tipo de edificaciones.

Los cerramientos ejecutados con rollizos de madera, a los que se les otorgaba la función portante del edificio, han ido dando paso en muchos lugares a las fachadas ligeras, en las que el revestimiento de madera se separa de la estructura para constituir la “piel” del edificio (Mosqueira, 2003).

Como revestimientos de madera debemos distinguir dos tipologías: los revestimientos exteriores de fachada y los revestimientos interiores. A continuación estudiaremos las tendencias de la arquitectura sostenible en el uso de la madera como revestimiento.

### **Revestimiento de fachadas**

Tradicionalmente la madera ha sido utilizada como revestimiento de fachadas en muchas culturas, principalmente en el norte de Europa. En estos países, de clima frío y largos inviernos, la tradición constructiva ha empleado la madera en los cerramientos debido a su buen aislamiento térmico. Existen numerosos ejemplos de arquitectura tradicional en los que los revestimientos se constituyen a partir de tejas de madera, lamas solapadas o machihembradas.

La arquitectura actual, recuperando parte de esta tradición, recurre de nuevo a los entablados de fachada, aplicando distintas soluciones constructivas y posibilidades de acabado.

Los revestimientos exteriores de madera maciza lo componen tablas de madera utilizadas principalmente para revestir las fachadas. Las tablas también denominadas lamas pueden ser de madera maciza, madera tratada y madera laminada. En otros



casos, se utilizan tejas de madera, tableros contrachapados de alta densidad y tableros estratificados fenólicos, también llamados compactos. Los revestimientos exteriores además de su función estética y de proteger la estructura, pueden aumentar el aislamiento térmico y acústico de los cerramientos.

A nivel de nomenclatura es interesante resaltar que el CTE denomina a las fachadas de lamas, entablados, y a los revestimientos interiores, frisos. Mientras que la normativa europea los denomina tablas de fachada (AITIM, 2011a).

No existe una normalización dimensional en el mercado de los entablados. Sus dimensiones dependen principalmente del origen de la madera. En España se utilizan fundamentalmente las que proceden de países nórdicos y Norteamérica, que tiene sus escuadrías específicas. Debido a ello es difícil establecer reglas concretas (Oliver, Abián, Martínez, & Crespo, 2010).

En general podemos decir que las tablas son más anchas y gruesas que las utilizadas en interiores, y los largos son parecidos, en torno a los 2 m. Los gruesos pueden ser de 13, 17, 20 y 25 mm, mientras que los anchos varían de 12 a 20 cm.

Los tableros, de fábrica, tienen dimensiones estándar (2440 x 1200 mm), aunque los despieces en forma de paneles se adaptan a dimensiones menores como 900 y 600 mm, compatibles con las separaciones usuales entre rastreles (300, 400 y 600 mm).

Con relación a la disposición de los entablados, hay dos tipos fundamentales de orientación de las tablas: la horizontal y la vertical. Dependiendo del sistema de unión entre las tablas, se escogerá un sentido u otro, ya que con los diferentes perfiles de encuentro, debemos obtener un paño por el cual pueda escurrir el agua de lluvia, evitándose las filtraciones a través de las juntas debido al viento o a la capilaridad de cada tabla.

La colocación inclinada de las tablas no es recomendable por diferentes motivos: por un lado su disposición dificulta la escorrentía del agua de lluvia y por otro implica un mayor desperdicio de material al tener que cortar piezas.

En el caso de la colocación horizontal de las tablas, esta disposición es aparentemente menos eficiente en cuanto a escorrentía, aunque en realidad el agua es expulsada con mayor rapidez. Este sistema se utiliza mucho en Norteamérica y Canadá.

La colocación vertical resuelve mejor la expulsión del agua de escorrentía, aunque por el contrario, el agua está más tiempo en contacto con la junta. Esta disposición es típica de los países nórdicos.

### Solución constructiva. Ejemplos

Entablado horizontal



Entablado vertical



**Figura 322:** (1) Casa Weinfeldten (Suiza). Estudio de arquitectura: k\_m Architektur. (2) Apartamentos en el pueblo alpino de Bohinjska Bistrica (Eslovenia). Estudio de arquitectura: OFIS Arhitekti

**Fuente:** (1) Domusxl 2013. (2) Dezeen 2012

Utilizando piezas de menor dimensión, podemos encontrar fachadas ejecutadas con tejas, en las que las piezas de madera se solapan siguiendo un esquema similar al empleado en la colocación de revestimientos de pizarra.

En todos estos sistemas la junta se ejecuta de forma estanca, disponiendo las tablas y tejas solapadas, machihembradas, a media madera o con tapajuntas para evitar las filtraciones. Hoy en día, con el uso generalizado de las fachadas ligeras, es frecuente recurrir al sistema constructivo de fachada trasventilada y junta abierta, que



permite la ventilación del revestimiento en todas sus caras, y evita condensaciones en el interior del muro.

Cuando un cerramiento se diseña para que funcione como fachada ventilada, es aconsejable que los rastreles de soporte del entablado se dispongan de forma discontinua, con el fin de que exista circulación de aire a lo largo de toda la cámara.

A parte de permitir el movimiento de las piezas, es importante que el diseño de los elementos de fachada garantice la evacuación del agua. Una cierta inclinación de las lamas, cuando éstas se disponen horizontalmente, facilita la escorrentía (Mosqueira, 2003).

### Revestimientos interiores

Este tipo de revestimientos de madera son elementos constructivos y decorativos que se aplican sobre superficies horizontales (suelos y techos) y verticales (paredes interiores), aportando un determinado acabado a la edificación.

Los revestimientos interiores a parte de su función estética, también se emplean para aumentar el aislamiento acústico, térmico y de humedades. En algunos casos pueden utilizarse para mejorar el comportamiento frente al fuego de las estructuras portantes.

Atendiendo a su ubicación, los revestimientos de interior pueden clasificarse en los siguientes tipos:

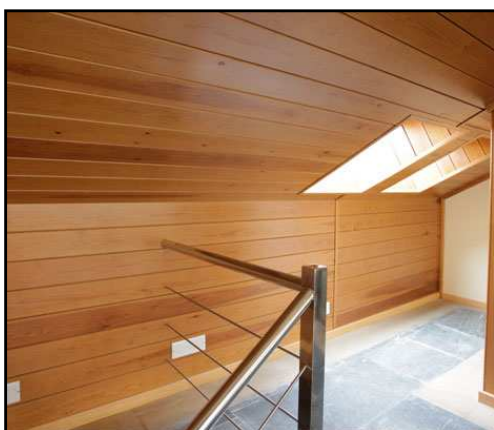
#### 1) Revestimiento en paramentos

Consta de un armazón compuesto por rastreles separados entre sí, sobre los que se colocan tablas machihembradas o tableros revestidos. Esta tipología dependiendo de la altura del revestimiento podemos distinguir varios formatos. Cuando la altura del revestimiento oscila entre 0,80 y 1,50 m. se denomina **zócalo**. Si cubre parcialmente la

pared como mínimo dos tercios de su altura, en este caso hablamos de **friso**, y si el revestimiento cubre totalmente la pared de suelo a techo se denomina **entablado**, aunque como ya hemos indicado anteriormente, el CTE en todos los casos a los revestimientos interiores los denomina frisos.

Hasta la fecha, el revestimiento más utilizado es el de tablas machihembradas. Hoy en día, el revestimiento mediante tableros revestidos ha adquirido mayor implantación. Para ello se requiere una mano de obra especializada que sea capaz de hacer un estudio previo de las dimensiones del local para la correcta distribución de los tableros, los cuales deberán ser todos iguales a pesar de los huecos de puertas y ventanas y de las irregularidades del local (Oliver, Abián, Martínez, & Crespo, 2010).

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 323:** (1) Revestimiento de tablas machihembradas. (2) Revestimiento de tableros contrachapados

**Fuente:** (1) <http://www.mbesteiro.com> (2) Pimugs01 2014

### 2) Revestimiento en techos

Esta tipología cubre en su totalidad la superficie del techo de un local. Normalmente está compuesto por placas cuadradas o rectangulares fijadas a la estructura portante (normalmente forjados) mediante un entramado de perfiles habitualmente metálicos. En estos casos, su función, aparte de decorativa, es alojar instalaciones en el espacio existente entre el propio revestimiento y el forjado.

## Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 324:** Revestimiento de techos

**Fuente:** (1) Pimugs01 2014. (2) <http://www.architonic.com/es/aisht/huse-holiday-house-vitznau-alp-architektur-lischer-partner/5101341>

Este sistema de acabado, dada la estandarización de su fabricación, es recomendable utilizarlo para revestir locales amplios y regulares para evitar hacer cortes durante su instalación.

Las placas están formadas por tableros de madera y/o derivados de ella, generalmente contrachapados, o tableros de densidad media revestidos con chapas de madera natural o bien laminados.

En este tipo de revestimiento las placas pueden ser lisas o perforadas con una serie de taladros o ranuras que dotan al techo de una mejora acústica considerable en relación a las placas lisas.

Dentro de los revestimientos de techos existe una variante que es el **artesonado**. Este tipo de techo va adornado con tablas, viguetas, molduras o tableros. En muchos casos los adornos pueden formar parte de la estructura, como ocurre en el caso del tallado de algunas vigas del techo. En otras ocasiones pueden tener una función decorativa como las molduras y los tableros.



Atendiendo al material, los revestimientos interiores pueden ser de madera maciza, de tableros contrachapados, de tableros aglomerados o de fibras revestidos, de tableros especiales y empanelados.

Dentro de las propiedades exigibles, en función de su situación en el edificio, el CTE, en su Documento Básico DB SI (Seguridad en caso de incendio), exige un determinado comportamiento al fuego. En el caso de los revestimientos, al no desempeñar funciones estructurales no se les exige resistencia al fuego.

La reacción al fuego de los revestimientos interiores de madera es naturalmente muy baja pero se puede mejorar mediante ignifugación (tratamiento en profundidad realizado en autoclave). En el caso de que se utilicen barnices ignifugantes habrá que tener en cuenta su durabilidad a lo largo del tiempo, ya que puede presentar problemas.

Con relación al aislamiento acústico debemos tener en cuenta, que solamente los materiales porosos de poro abierto absorben el sonido disipándolo en forma de calor. Este no es el caso de la madera, por lo que sus valores de absorción son bajos. El aislamiento acústico dependerá exclusivamente de la masa que se aporte o incorporando un aislante intermedio y haciendo trabajar el conjunto.

Respecto a su conductividad térmica, aunque la madera aporta un cierto aislamiento térmico por su porosidad, no es comparable a los aislantes que existen actualmente (con los que no contaba la arquitectura tradicional). El aislamiento térmico que ofrece la madera depende de su densidad. La determinación de la conductividad térmica, cuando se requiera, se puede determinar mediante ensayo de acuerdo con la norma UNE-EN 12664 o utilizar valores normalizados de la norma UNE-EN 14915 (AITIM, 2011b).





#### 4.4.6 Inercia térmica

“En el diseño bioclimático se trabaja con fenómenos climáticos, caracterizados por su enorme variabilidad temporal y por una irregularidad no controlable” (Neila & Acha, 2009).

El sol sólo luce unas determinadas horas durante el día y con intensidades variables, hay días nublados que no permiten la captación durante las mañanas, ni las pérdidas por irradiación durante la noche. Por ello, resulta imposible asumir estrategias de acondicionamiento que pretendan funcionar de forma exclusiva en los momentos en los que el fenómeno climático sea favorable.

La forma de disponer de energía, ya sea en forma de calor o de frescor, en los momentos necesarios, es acumulándola. Esto, no sólo permitirá repartir adecuadamente la energía a lo largo de los periodos de consumo, sino que evitará el golpe térmico que se produce en los momentos de captación.

El modo bioclimático de acumulación de energía óptimo es la utilización de la propia masa del edificio, optimizando por tanto las inversiones constructivas. La masa térmica del edificio será, por tanto, el destino de la acumulación, y la inercia térmica, su consecuencia.

La inercia térmica tiene una vinculación directa con la acumulación de energía. Los cerramientos y locales con mucha inercia acumulan mucha energía y son térmicamente muy estables. Es el caso de las cuevas o viviendas enterradas, donde la masa de tierra que las rodea les aporta una gran inercia térmica, o de las iglesias, catedrales o simplemente las viviendas tradicionales ya estudiadas, donde el espesor de los muros es suficientemente importante. En el interior de estos edificios se puede sentir frío en un caluroso día de verano.

Los valores altos de la inercia térmica permiten conseguir uno de los objetivos más deseables en un edificio: *la estabilidad térmica*. Por lo general los edificios están afectados de forma permanente por las variaciones climáticas externas, día-noche, invierno-verano, calor-frío, y por las condiciones de uso interiores, encendido-apagado de

los sistemas de acondicionamiento, apertura-cierre de ventanas, ocupación mayor-menor. Todos estos condicionantes provocan una permanente variación de la temperatura interior que, en ocasiones, puede ser compensada con los sistemas de acondicionamiento y el gasto de energía. El objetivo deseable desde el punto de vista sostenible y de bienestar es que la temperatura fluctúe sólo levemente y siempre dentro de los márgenes del bienestar, y todo ello sin consumos excesivos de energía convencional.

Para poder cuantificar las distintas soluciones a raíz de este fenómeno, la estabilidad térmica se mide con un coeficiente que relaciona la amplitud de la temperatura interior ( $T_{\max} - T_{\min}$ ) con la amplitud de la temperatura exterior. Los valores próximos a uno indican que el local no tiene inercia térmica y cualquier alteración energética (exterior o interior) se aprecia inmediatamente en el ambiente interior, mientras que los valores pequeños, por debajo del 0,5 nos hablan de edificios muy estables, y por tanto, poco dispuestos a cambiar de temperatura (Neila & Bedoya, 1997).

#### COEFICIENTES DE ESTABILIDAD TÉRMICA

C.e.t. > 1	Local donde los efectos del sobrecalentamiento son críticos.
C.e.t. = 1,0	La temperatura varía en el interior al mismo ritmo que en el exterior.
C.e.t. entre 1,0 y 0,5	Local con inercia térmica.
C.e.t. < 0,5	Repercute en el local menos del 50% de la fluctuación de la temperatura exterior.

**Figura 325:** Coeficientes de estabilidad térmica

**Fuente:** Neila y Bedoya 1997

No es suficiente que un cuerpo tenga una gran masa térmica para que esta cualidad intervenga en la estabilidad térmica de un local. Los elementos masivos deben acumular energía para poder actuar como volantes de inercia. No todos los cuerpos tienen la misma facilidad para cargarse de energía. Por ejemplo, un fluido se carga mejor de energía ya que la convección que se produce en su interior permite utilizar toda su masa para ese cometido. En cambio, un sólido tiene que calentarse por conducción, que es un mecanismo más lento, y que establece un gradiente térmico<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Es la variación de temperatura por unidad de distancia. Su unidad es el Kelvin/metro.



En un cerramiento exterior se establece un gradiente que reduce su capacidad de acumulación de calor muy por debajo de su masa térmica, al no poder alcanzar en toda su masa la misma temperatura.

El empleo de materiales específicamente aislantes en los cerramientos son los responsables de la poca inercia térmica con la que, generalmente, se construye hoy en día. Esto es debido a que se coloca cerca del ambiente interior, lo que reduce de forma radical la aportación como acumulador. Para que un cerramiento pueda aportar su inercia a la estabilidad térmica del local es necesario que su masa esté en contacto directo con el ambiente interior, es decir un cerramiento sin aislar, como muchos de los ejemplos que existen en la arquitectura tradicional, o en caso de utilizar aislamiento se colocará por el exterior.

Un cerramiento convencional, con el aislamiento situado cerca del ambiente interior aporta únicamente entre el 10 y el 20% de su masa térmica a la inercia del local. Sin embargo, un cerramiento con el aislamiento por la cara exterior aportará el 90%. En el caso de que no sea necesario emplear aislante térmico su capacidad máxima se encuentra entre el 40 y el 60% (Neila & Bedoya, 1997).

Para poder calcularlo con mayor precisión es necesario obtener en primer lugar *la constante térmica* (CTT). Su cálculo se obtiene multiplicando la masa térmica de cada capa ( $m_t$ ) por la resistencia acumulada desde el exterior hasta el punto medio de la capa en cuestión (R) y hallando el sumatorio, es decir:

$$CTT = (R_{se} + 0,5 \cdot R_1) \cdot m_{t1} + (R_{se} + R_1 + 0,5 \cdot R_2) \cdot m_{t2} + \dots + (R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + 0,5 \cdot R_n) \cdot m_{tn}$$

Donde:

$R_{se}$  = Resistencia térmica superficial exterior

Aplicando el valor obtenido a la inversa de la resistencia térmica total se obtiene *la masa térmica útil* ( $m_{tu}$ ).

$$m_{tu} = CTT / R_T$$



El porcentaje de *masa térmica útil* con relación a la total se obtiene dividiendo el resultado de la expresión anterior por la masa térmica total y multiplicando por cien.

$$\% m_{tu} = (m_{tu} / m_T) \cdot 100$$

Dentro del análisis de estos conceptos debemos tener en cuenta también la existencia o no de un sistema de acondicionamiento, calefacción o refrigeración. Si el edificio no se acondiciona artificialmente la inercia térmica siempre será imprescindible, y permitirá mantener en su interior una temperatura media estable y alejada de las extremas del ambiente exterior.

Para definir el sistema constructivo que debemos emplear en un edificio debemos determinar el uso que va a tener. Si su utilización, completa o parcial, es puntual, la inercia térmica que tiene la propia construcción no es aconsejable. Si disponemos de un equipo de calentamiento y tenemos que acondicionar un local para un uso eventual, según las características y dimensiones del mismo deberemos encender el sistema con bastante antelación. Esto es debido a que para que se eleve la temperatura del aire del local es necesario que al mismo tiempo se vaya elevando la temperatura de los muros, forjados, tabiques e incluso mobiliario. Por contra, cuando el local se vacía, el calor acumulado en sus muros se conserva y se va desprendiendo lentamente, manteniéndose relativamente caldeado el local, pero sin nadie que pueda aprovecharlo. Sin embargo, si el uso del mismo es permanente, como es el caso de una vivienda, el tiempo que necesita para su puesta en régimen sólo será necesario la primera vez y a partir de ese momento, aunque el sistema se apague durante algunas horas, por la noche, o algún día, durante el fin de semana, la temperatura interior, gracias a la energía acumulada en los muros, se mantendrá casi inalterable, indiferente a las fluctuaciones exteriores, por ello, en aquellas edificaciones donde el uso es permanente es aconsejable utilizar la inercia térmica como estrategia bioclimática.

Para solucionar el primer caso donde es desfavorable la inercia térmica, si forramos por la cara interior todos los cerramientos del local con material aislante, la posibilidad de acumular la energía que se genera en el interior se reducirá y la fuente de calor de la que se absorbe se habrá trasladado al ambiente exterior. En este caso el



equipo de calefacción reducirá de forma notable el tiempo empleado para calentar el local. Cuando ya no se utilice y se apague el sistema, el local se enfría.

Sin embargo, el aislamiento térmico siempre es necesario, ya que reduce el flujo de la energía desde el interior y nos permite ahorrar energía. Para poder compatibilizar el aislamiento con la inercia térmica es preciso situarlo en la cara exterior del cerramiento, ya que de este modo se reduce el valor de **U** (transmitancia) del muro y se ahorra energía, al mismo tiempo se mantiene la inercia térmica, incrementándose, si cabe, su efecto.

En resumen, las aplicaciones de la inercia y el aislamiento según el uso del edificio nos llevan a las siguientes conclusiones:

#### **INERCIA TERMICA**

Locales de uso permanente  $\Rightarrow$  Deseable

Locales de uso eventual  $\Rightarrow$  No deseable

#### **AISLAMIENTO TÉRMICO**

Locales de uso permanente  $\Rightarrow$  Por el exterior

Locales de uso eventual  $\Rightarrow$  Por el interior

Dentro del análisis de la inercia térmica como estrategia bioclimática, estudiaremos a continuación como puede influir en una edificación en condiciones de verano e invierno.

#### **a. Influencia de la inercia térmica en condiciones de verano**

La influencia de la inercia térmica para alcanzar el bienestar es importante principalmente durante el verano, ya que en este periodo se produce el efecto térmico del *sobrecalentamiento*.

Durante todo el año, pero particularmente a lo largo de los meses de calor, los espacios cerrados alcanzan temperaturas superiores a las del ambiente exterior. El



sobrecalentamiento lo produce fundamentalmente la radiación solar, aunque no es la única causa. También lo generan las cargas internas; es decir, el calor que desprenden los ocupantes, los equipos de alumbrado y el resto de aparatos que consuman y transformen energía (pequeños electrodomésticos de cocina, televisores, ordenadores, etc.).

Teniendo en cuenta que la mayor causa de sobrecalentamiento es la radiación solar, durante el verano es muy importante proteger los huecos acristalados, con soluciones fijas, orientables, escamoteables o simplemente con la correcta orientación de los huecos, según hemos estudiado anteriormente dentro de la estrategia bioclimática correspondiente a la protección solar (véase pág. 335). Sin embargo, aunque estén bien protegidos los huecos acristalados, a no ser que se proceda al oscurecimiento total, siempre será una entrada para la radiación solar, a veces como radiación directa, en otros como radiación difusa y en algunos casos como radiación reflejada. Por este motivo, el calor pasará al interior del local calentando el aire por encima de las condiciones de bienestar deseadas. A partir de ese momento, y aunque se empleen con eficacia medidas para su eliminación, parte de la energía permanecerá en el interior calentándolo.

La temperatura media de un día de verano, salvo excepciones, se encuentra siempre dentro de unos márgenes aceptables de bienestar, es decir, entre 22 y 27 °C para gran parte de la Península (valores admisibles según la carta bioclimática de Givoni). Si durante los meses de verano se pudiera mantener en el interior de los locales dicha temperatura media alcanzaríamos las condiciones de bienestar. Este fenómeno como ya hemos mencionado anteriormente, y según su análisis, dentro de la arquitectura tradicional, se produce de forma espontánea en el interior de las viviendas enterradas, cuevas, viviendas populares, etc.; es decir, en construcciones masivas con mucha inercia térmica. Todas estas edificaciones lo consiguen gracias a su gran masa térmica, donde se puede acumular el calor durante las horas centrales y calurosas del día, para distribuirlo lentamente durante el resto del tiempo. En todas ellas el coeficiente de estabilidad térmica puede estar por debajo de 0,3.

En un edificio o local todos los elementos se deben de calentar simultáneamente, por lo que, para que aumente la temperatura del aire, es necesario que al mismo tiempo



lo hagan todos los elementos que lo conforman: paredes, techo y suelo. Teniendo en cuenta que la capacidad de acumulación de un elemento constructivo pesado es muy alta, para que la temperatura del aire del local suba un grado habrá sido necesario aportar importantes cantidades de energía al cerramiento. Por este motivo, cuanto mayor sea la masa que hay que calentar, menos subirá la temperatura del aire. Con masas suficientemente significativas, se podría conseguir en el interior una estabilidad térmica perfecta, aproximándonos a la temperatura media del día.

En algunos casos puede ocurrir que a pesar de tener un cerramiento con una alta inercia y una gran estabilidad térmica, la carga de calor que penetra por la ventana es muy alta, por lo que son necesarias las medidas de eliminación del sobrecalentamiento, es decir, **la ventilación**. Esta solución es realmente favorable porque aunque el coeficiente de estabilidad térmica pueda subir a 0,45, la temperatura del interior del local oscilará dentro de los márgenes que garantizan el bienestar.

#### **b. Influencia de la inercia térmica en condiciones de invierno**

Si la inercia térmica es fundamental a la hora de plantearse mejorar las condiciones de habitabilidad interiores durante el verano, sin tener que recurrir al empleo de equipos de refrigeración, durante el invierno puede ser igualmente importante, si lo que deseamos es recurrir a las captaciones solares para reducir nuestra dependencia de las energías convencionales.

La forma más sencilla de emplear la energía natural emitida por el sol es mediante el uso de sistemas pasivos, como ya analizamos dentro de la estrategia correspondiente a la captación solar (véase pág. 361).

Los sistemas de calentamiento pasivo, como ya estudiamos, necesitan que el máximo acristalamiento se encuentre orientado al sur. Sin embargo, debido a que la energía que se capta a través de este acristalamiento es energía radiante, que no calienta directamente el aire, si los acabados del local fueran reflectantes, con la misma facilidad con la que entra saldría sin calentarlo. Por este motivo, es necesario que los materiales que conforman ese espacio absorban la radiación y la transformen, gracias a



un proceso de convección, en aire caliente (véase muro trombe pág. 373). De esta manera aseguramos la eficacia del primer requisito: la absorción y transformación de la energía solar.

Cuanto mayor sea la absorción de energía solar en la cara exterior del muro, mayor será la transmisión de calor a través del mismo hacia el espacio interior. El color superficial que presenta el muro influye en la absorción del mismo. Un muro con un acabado oscuro y con una absorción solar del 95%, es uno de los captadores con mejor rendimiento. El rendimiento, sin embargo, es sólo uno de los criterios de selección del color de un muro. Otros colores, como el azul oscuro (absorción del 85%), también son eficientes. La reducción de la absorción solar en un muro de obra del 95 al 85%, reduce la eficiencia del sistema aproximadamente en esta proporción. La cara interior del muro puede tener cualquier color (Mazria, 1983).

Sin embargo, esto no es suficiente ya que la energía solar es muy irregular a lo largo del día. Durante el mes de diciembre podemos captar energía a través de un acristalamiento orientado al sur durante un corto periodo de tiempo. Esto provoca que durante la noche, y gran parte de la mañana y de la tarde, al no haber captaciones, o se consuma energía convencional o la temperatura interior esté muy por debajo de la de bienestar. Por el contrario, durante las horas centrales del día, cuando la radiación es muy intensa, el calor generado por el exceso de captación nos puede obligar, incluso, a abrir las ventanas y perder parte del calor captado.

Para evitar estos dos extremos es necesario acumular la energía que se capta cuando incide el sol y repartirla, lo más equilibradamente posible, a lo largo de las 24 horas del día. Esto resulta muy sencillo si los locales están dotados de una adecuada acumulación. La forma más simple de acumulación es la que se realiza en los muros de cerramiento y en las particiones internas que tenga un local. Cuanto mayor sea esa acumulación más correcta será la distribución de la energía a lo largo del día.

Sin embargo, un muro pesado, potencialmente acumulador, si lleva el aislamiento situado por el interior, situación más habitual en las edificaciones actuales, se comporta como si fuera un elemento ligero sin capacidad efectiva de almacenamiento, según ya hemos analizado anteriormente. Por el contrario, cuando el cerramiento se recubre





exteriormente con aislamiento se reduce la transmitancia del muro y se mantiene su inercia térmica. En algunos casos, para incrementar la temperatura hasta alcanzar la zona de bienestar se puede proceder al empleo de una fuente convencional de energía. La combinación de un correcto sistema de captación, una adecuada acumulación y un pequeño sistema de apoyo permite alcanzar las condiciones de bienestar con facilidad.

El sistema aún puede ser más pasivo y más adecuado desde el punto de la energía y la contaminación si no se utiliza ningún sistema de apoyo convencional. En muchos casos, lo único que deberemos hacer es proteger el punto más débil del local, es decir, el vidrio de las ventanas durante las horas en las que no luce el sol. Si bajamos una persiana con las lamas inyectadas con un material aislante, como el poliuretano, durante las horas en las que no hay radiación solar y que, por tanto, no hay aprovechamiento, podremos aislar el vidrio hasta el punto de que la temperatura media en el interior del local durante las 24 horas del día se encuentre dentro del intervalo que garantice el bienestar.

A pesar de las grandes ventajas que ofrecen los diferentes sistemas pasivos de captación solar, “Las normativas y legislaciones actuales, que limitan la construcción en función de la superficie, suponen un tropiezo contra todos los sistemas que conlleven cierto “derroche” de espacio directamente lucrativo, como puedan ser galerías, invernaderos, muros de un grosor superiores al mínimo admisible, etc.” (González, 2004).

### **c. Diseño constructivo**

La inercia térmica según hemos analizado, solo se puede lograr prácticamente aumentando la masa de los edificios, ya que a mayor masa, mayor inercia térmica, mejor comportamiento térmico, mayor confort y menor consumo energético.

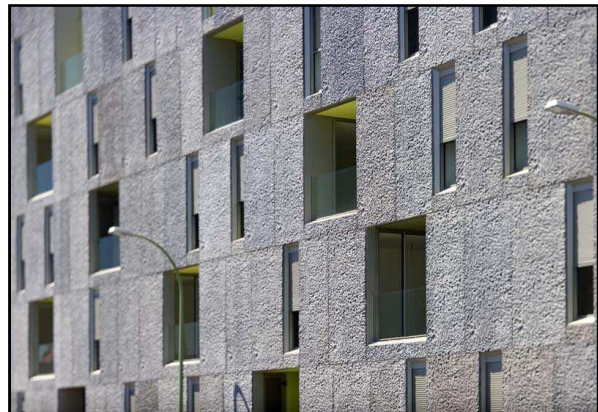
Los valores altos de masa térmica son convenientes en las edificaciones ubicadas en la Cuenca mediterránea, excepto en aquellos casos donde no llega la radiación solar. En general los muros representan entre un 60-70% de la masa térmica y los forjados entre un 30-40% (TAREB, 2004).

Para desarrollar un correcto y efectivo diseño constructivo aumentando la masa térmica de los edificios, existen varias soluciones:

- Aumentar la masa de las envolventes exteriores, instalando cubiertas vegetales, enterrando parcialmente el edificio y ejecutando muros exteriores de elevado peso.
- Aumentar la masa de los componentes estructurales, utilizando un sistema portante a base de muros de carga, utilizando paneles prefabricados de elevado peso, aumentando la masa de los forjados etc.
- Aumentando la masa de elementos interiores del edificio, añadiendo jardineras, masas de agua, elementos decorativos de elevado peso etc.

### Solución constructiva. Ejemplo

Fachada ejecutada con paneles prefabricados de hormigón pigmentado, textura obtenida con matriz de goma, cámara intermedia y bloque hueco de hormigón en el interior.



**Figura 326:** Edificio Inakasa en Las Palmas de Gran Canaria (2005). Arquitectos: Alexis López y Xavier Iván Díaz

**Fuente:** [http://www.arquitecturablanca.com/obrashome/edificio-inakasa\\_12.html](http://www.arquitecturablanca.com/obrashome/edificio-inakasa_12.html)



El edificio Inakasa (Figura 326), es un ejemplo que aprovecha la alta inercia térmica de sus cerramientos de hormigón para el ahorro energético.

El hormigón, como material de construcción para la envolvente y el interior de los edificios mejora el aislamiento frente a las condiciones externas, y permite reducir la dependencia de los sistemas de calefacción y refrigeración.

Un estudio desarrollado por el grupo Termotecnia de la Universidad de Sevilla, sobre mejora de la eficiencia energética aprovechando la inercia térmica del hormigón en la envolvente de los edificios, ha demostrado que se puede conseguir edificios de energía casi nula, con ahorros de hasta el 69% en climatización, simplemente utilizando soluciones constructivas de hormigón que se pueden activar con técnicas totalmente bioclimáticas (CEMEX, 2012).

Aunque el uso generalizado del hormigón en edificación se debe, principalmente, a su capacidad estructural, resistencia al fuego y aislamiento acústico, es importante destacar el beneficio que proporciona el hormigón en cuanto a eficiencia energética, debido a su alta inercia térmica. Para el usuario, esto se traduce en un descenso de la factura energética, derivada de una menor dependencia de los sistemas de climatización.

En este sentido, el CTE permite considerar, en los cálculos que cuantifican la eficiencia energética, la inercia térmica, y valora los beneficios que aporta en cuanto al ahorro en climatización. Sin embargo, no es habitual la consideración de la misma en los cálculos de demanda y consumo que se realizan normalmente.

#### **4.4.7 Iluminación natural**

Desde hace siglos, a través de la arquitectura tradicional, hemos podido comprobar como el hombre ha tratado de iluminar de forma natural los espacios donde vivía, en unos casos incorporando grandes ventanales que favorecían la entrada permanente de luz en el interior, principalmente en países donde los días nublados y lluviosos son frecuentes como Inglaterra, Alemania, Holanda etc., y en otros, mediante



aberturas y pequeños orificios en la propia cubierta que permitían la salida del humo del interior y que muchas veces era la única fuente de luz natural. También se ha utilizado la propia configuración arquitectónica para facilitar la entrada de luz mediante el uso de galerías, porches, patios etc.

Desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX se ha observado una gran preocupación por conseguir una buena iluminación natural en los edificios de oficinas, fábricas, escuelas y hospitales. Los primeros edificios de oficinas antes de la llegada de la luz eléctrica, tenían poca profundidad para que la luz natural alcanzara los diferentes puestos de trabajo. Posteriormente, con el auge de la luz eléctrica, los edificios de oficinas se construyeron con plantas más profundas que obligan a trabajar durante toda la jornada con luz artificial, repercutiendo de forma negativa en el trabajo (Yáñez, 2008).

La luz natural, respecto a la iluminación artificial, contribuye a mejorar la calidad y el bienestar visual dentro de un espacio arquitectónico, introduciendo mejores prestaciones visuales al ofrecer un *espectro más completo* y además, al ser variable a lo largo del día, introduce en el espacio arquitectónico sensaciones más estimulantes.

Desde el punto de vista energético y de sostenibilidad, la luz natural puede contribuir en gran medida al ahorro de energía debido a que presenta una eficacia luminosa superior a la luz artificial.

Un espacio puede dar impresiones visuales muy diferentes, según el tamaño y la ubicación de los huecos por donde accede la luz. Además, su color y calidad espectral, está influida a su vez por el color de las superficies interiores donde se refleja la luz, determinando la tonalidad lumínica ambiental.

Dentro de la arquitectura contemporánea existen multitud de ejemplos, donde arquitectos como Gropius, Le Corbusier, Mies, Wright, Alvar Aalto, Arne Jacobsen, Kahn, Utzon, etc., han demostrado cómo la luz natural es la protagonista fundamental en la configuración del espacio interior.



**Figura 327:** Villa Savoye (1929). Arquitecto: Le Corbusier

**Fuente:** <http://www.architektur-lexikon.de/cms/architekturlexikon-v/villa-savoye.html>

En la actualidad para poder aprovechar la luz natural se utilizan diferentes componentes de un edificio para garantizar la iluminación de los espacios interiores al igual como lo ha hecho durante siglos la arquitectura tradicional. Entre los componentes de iluminación natural distinguimos dos tipos: de conducción de la luz y de paso de la luz (Serra & Coch, 1995).

Los **componentes de conducción** llevan la luz natural del exterior a zonas interiores del edificio.

Los **componentes de paso** son dispositivos que hay en los edificios, diseñados para permitir la entrada de luz a través suyo, desde un ambiente lumínico determinado hasta otro situado junto al mismo.

En una edificación se puede establecer cualquier combinación de componentes de paso y conducción, como estudiaremos a continuación.

#### a. **Componentes de conducción**

Los componentes de conducción de la luz natural son espacios diseñados para conducir y distribuir la luz natural desde el ambiente lumínico exterior hasta las zonas interiores de un edificio. Según su ubicación en el conjunto del edificio, pueden estar



situados entre el ambiente lumínico exterior o perímetro del edificio y los espacios interiores que pretenden iluminar, este caso se denomina **espacios de luz intermedios**. Aunque también encontramos espacios conductores de la luz que están formando parte del espacio interior del edificio, relativamente alejados de la periferia y estos son los que llamaremos **espacios de luz interiores**.

### Espacios de luz intermedios

Pueden actuar como filtro regulador entre las características ambientales exteriores e interiores; conducen y distribuyen la luz natural que les llega del exterior hasta el interior. Están cerrados, en algunos casos, con materiales transparentes o translúcidos y pueden incorporar elementos de control para regular el paso de la luz.

Los más característicos son las galerías acristaladas, los invernaderos y los porches, soluciones constructivas utilizadas tradicionalmente en estrategias bioclimáticas donde interviene la radiación solar. En el caso de las galerías acristaladas y los invernaderos, estudiados anteriormente, son elementos constructivos de **captación solar** (véase pág. 366). El porche como elemento de transición entre el espacio exterior e interior, garantiza la **protección solar** (véase pág. 380).

A continuación analizaremos estos elementos constructivos desde el punto de vista lumínico, objetivo de este apartado.

#### 1) Galerías

Las galerías sustituyen actualmente a los tradicionales miradores acristalados situados en las fachadas, que protegían de las inclemencias meteorológicas y permitían observar de forma cómoda el exterior. En lugares donde los rigores climáticos son importantes, como en zonas del norte peninsular, las galerías acristaladas suponen una solución empleada tradicionalmente que resguarda de la lluvia y al mismo tiempo proporciona calor (efecto invernadero) y dota de luz natural al interior de la vivienda.

Estos espacios cubiertos situados en la periferia del edificio, separados del exterior mediante un cerramiento acristalado y del interior por diferentes tipos de separaciones regulables, se encuentran expuestos totalmente al paso de la luz, permitiendo su entrada en zonas internas a las que están conectados mediante componentes de paso.

Las galerías pueden ser ocupadas en determinados momentos, aunque no se consideren totalmente como superficies habitables. Sus dimensiones típicas acostumbran a ser de un piso de altura, profundidad variable y en muchos casos están en voladizo.

En edificios ya existentes la creación de nuevas superficies mediante galerías acristaladas mejora la iluminación interior de las estancias, y puede suponer una importante mejora energética y de habitabilidad de las viviendas, si bien debe comprobarse su viabilidad urbanística y estructural.

En rehabilitación, siempre que se incremente la superficie acristalada, se deberán garantizar los requisitos relativos a la transmitancia térmica requeridos por el CTE para obras de nueva construcción y rehabilitación.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 328:** (1) Mirador acristalado en Alicante (1900). (2) Galerías acristaladas (orientación sur)

**Fuente:** (1) Navarro 2013. (2) Zaragoza 2014



## 2) Invernaderos

La iluminación natural en el interior de un invernadero es total durante el día debido a que el material de su cerramiento y cubierta son translúcidos. Los invernaderos, se encuentran adosados a un edificio por una de sus caras y el resto separadas del ambiente exterior mediante un cerramiento de vidrio, que en algunos casos puede ser practicable en parte para facilitar la ventilación.

Permiten la entrada de mucha radiación directa y difusa a través del cerramiento y hacia el espacio interior comunicado por componentes de paso. Al mismo tiempo, se protege de viento y lluvia el interior. En algunos casos el invernadero puede estar totalmente abierto al inmueble formando parte del mismo, mejorando la iluminación interior.

Tienen alturas variables de una o más plantas y anchuras y profundidades que permiten, como mínimo, su uso como estancia. De su correcto dimensionado según el uso que vaya a tener, depende su eficacia.

Este elemento constructivo es muy favorable en zonas frías, donde hay una escasa intensidad solar y pocas horas de sol. Sin embargo, no es recomendable en zonas cálidas ya que pueden producir sobrecalentamiento.

## 3) Porches

Los porches desde el punto de vista lumínico, son espacios cubiertos adosados a la planta baja de un edificio, o que forman parte de su propio volumen y se encuentran abiertos hacia la luz exterior.

Son espacios ocupables intermedios que iluminan las zonas interiores mediante componentes de paso y proporcionan un nivel de luz bajo y poco contrastado en el interior. Tiene dimensiones típicas de una a dos plantas de altura y de 1 a 5 m. de profundidad (Serra & Coch, 1995).



En zonas cálidas la reducción de los niveles de iluminación que produce un porche en el interior de un edificio, se puede compensar ampliando las aberturas del mismo, favoreciendo la entrada de luz natural y al mismo tiempo la circulación de aire sin riesgos de sobrecalentamiento por incidencia de la radiación solar.

### Solución constructiva. Ejemplos



**Figura 329:** (1) Casa criolla (Nueva Orleans). (2) Urbanización Camp Stone Creek en Bigfork (Montana), Estudio de arquitectura: Andersson-Wise Architects

**Fuente:** (1) Henry 2007. (2) Sanjuanbenito 2012

Como resumen de este apartado, en la siguiente tabla se incluyen las principales diferencias que podemos encontrar entre **galería**, **invernadero** y **porche**, como elementos intermedios de iluminación natural.

ILUMINACIÓN NATURAL			
CARACTERÍSTICAS	DIFERENCIAS		
	GALERÍA	INVERNADERO	PORCHE
Tipo de cerramiento	Paramentos verticales translúcidos. Techo opaco.	Paramentos verticales y cubierta translúcidos.	Espacio cubierto adosado a la planta baja del edificio y abierto lateralmente.
Nivel de iluminación que proporciona	Alto nivel de iluminación en zonas internas del inmueble	Muy alto, aunque mejora si está totalmente abierto al inmueble formando parte del mismo.	Bajo y poco contrastado en el interior.
Uso del elemento constructivo	Puede ser ocupada en determinados momentos. No se considera totalmente como superficie habitable.	Se utiliza como estancia de forma permanente.	Espacio ocupable intermedio.
Dimensiones	Normalmente un piso de altura. Profundidad variable. En muchos casos está en voladizo.	Altura variable de una o más plantas. Anchura y profundidad según el tipo de uso.	Altura de una a dos plantas. Profundidad de 1 a 5 m.

**Figura 330:** Iluminación natural. Diferencias: galería-invernadero-porche

**Fuente:** Elaboración propia

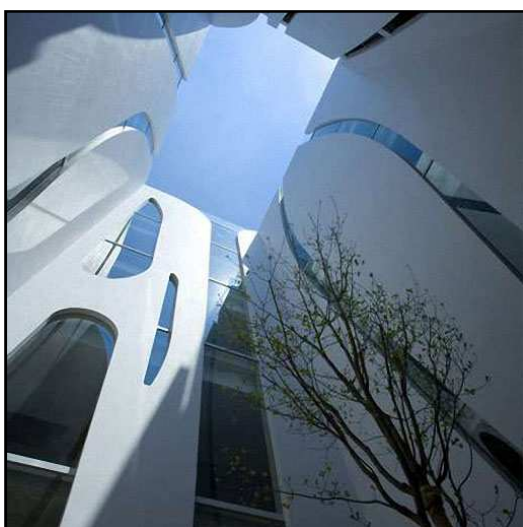
## Espacios de luz interiores

Son componentes de conducción de la luz que forman parte de la zona interna del edificio y conducen la luz natural que les llega hasta espacios habitables interiores alejados de la periferia. Dentro de este grupo se encuentran los patios, los atrios y los conductos de iluminación.

### 1) Patios

Desde el punto de vista de la iluminación, se interpretan como espacios rodeados por los muros del edificio o de diversos edificios y abiertos al exterior por una de sus caras, normalmente la superior. Sus condiciones lumínicas son similares a las del exterior o en cualquier caso intermedias entre las condiciones interiores y las exteriores, de manera que permiten una cierta iluminación natural. Tienen dimensiones muy variables y normalmente su altura es mayor que su anchura. Los acabados con colores claros mejoran su acción lumínica.

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 331:** Apartamentos Slit Court en Kyoto (Japón). Estudio de arquitectura: EASTERN Design Office

**Fuente:** <http://www.solucionesespeciales.net/Index/Noticias/374106-Una-arquitectura-con-patio-interior-Slit-Court-by-EASTERN-Design.aspx>



## 2) Atrios

Estos componentes de conducción se adaptan a climas fríos y se utilizan principalmente en edificios públicos. Los atrios se ubican en la zona interior del volumen de un edificio y están en contacto con el ambiente lumínico exterior al igual que los patios, pero en este caso por alguna de sus superficies envolventes acristaladas.

Son espacios de conducción de la luz considerados como interiores al edificio, ya que normalmente tienen funciones definidas, pueden albergar las comunicaciones verticales o utilizarse como espacios de relación. Permiten cierto acceso de luz natural a otros espacios conectados mediante componentes de paso.

Los materiales del cerramiento pueden ser transparentes o difusores, soportados por una estructura generalmente metálica. Siempre que sea posible deberán disponer de elementos de control de la radiación para evitar sobrecalentamientos.

Los acabados superficiales interiores de colores claros mejoran la distribución de la luz y por lo tanto, la cantidad de luz natural que llega a los espacios que iluminan indirectamente.

## 3) Conductos de iluminación

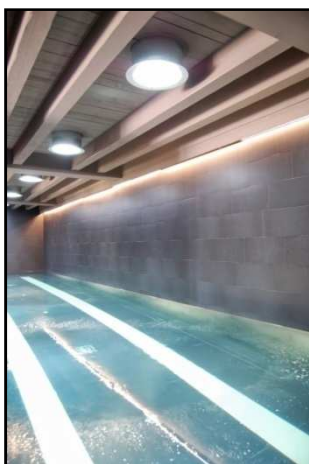
Estos espacios están diseñados para conducir la luz captada del exterior hasta zonas interiores del edificio, que de otra forma serían difíciles de iluminar con luz natural.

Proporciona normalmente una luz difusa y pueden facilitar la ventilación de zonas internas.

Soluciones similares a este tipo de conductos se han utilizado en la arquitectura tradicional, cabe recordar la vivienda popular islandesa, que en algunos casos, sobre la cubierta de césped se construían chimeneas de madera que proporcionaban iluminación y ventilación, permitiendo la salida del humo.

Las dimensiones de los conductos de iluminación son pequeñas, ya que al no tener otra función se procura reducir al máximo la sección, normalmente pueden ir desde 0,5 x 0,5 hasta 2 x 2 m, mientras que su longitud útil llega hasta 8 m. Pueden estar separados del exterior con elementos transparentes o traslúcidos. (Serra & Coch, 1995).

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 332:** Conductos de iluminación natural. Interior piscina cubierta

**Fuente:** Espacio Solar 2013

### b. Componentes de paso

Los componentes de paso de la luz natural son aquellos dispositivos que conectan dos ambientes lumínicos diferentes, separados por un cerramiento donde se sitúa este componente de paso.

Las características geométricas son: su tamaño, según el cerramiento donde se sitúe, su ubicación y la forma que tenga la abertura.

Su composición depende de los elementos que incorpore para controlar y regular las acciones lumínicas, visuales y de paso del aire.

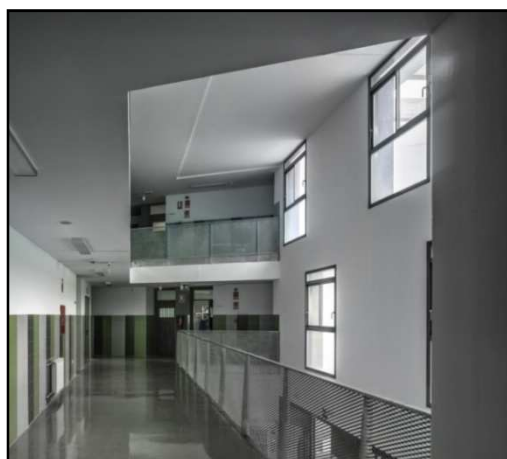
Dentro de este apartado incluiremos aquellas soluciones constructivas vinculadas con la arquitectura tradicional, concretamente las ventanas y los balcones.

## 1) Ventanas

Las ventanas analizadas como componentes de paso de la luz natural, son aberturas situadas en el cerramiento y que permiten la entrada lateral de la luz, incrementando de forma considerable el nivel lumínico del local.

Sus dimensiones son variables, y pueden incorporar todo tipo de elementos de control y protección frente a la radiación solar, como ya hemos analizado anteriormente, dentro de las estrategias bioclimáticas: protección y captación solar.

### Solución constructiva. Ejemplo



**Figura 333:** Nuevo IES Emilio Canalejo Olmeda de Montilla (Córdoba). Estudio de arquitectura: Canca Carrero Arquitectos

**Fuente:** Canca Carrero Arquitectos 2014

## 2) Balcones

Los balcones son también aberturas situadas en el cerramiento y pueden permitir el paso de los usuarios entre el interior y el exterior.

Esta solución constructiva favorece la penetración lateral de la luz natural y del sol directo, la visión del exterior, el paso de personas y la ventilación. Crea un alto nivel



lumínico a la estancia situada junto al mismo. Como las ventanas, los balcones también pueden incorporar diversos elementos de control para regular la entrada de luz.

#### 4.4.8 Producción de calor

Las características climáticas de las diferentes zonas de la tierra han obligado a los hombres a protegerse de las bajas temperaturas exteriores, que hacen imposible la vida exterior. La protección a través de la vestimenta y la construcción de espacios cerrados no han sido siempre suficientes. Por ello, el hombre ha tenido que recurrir al calor corporal generado por otros humanos e incluso la presencia de animales, compartiendo los espacios habitables. A pesar de ello, el hombre ha tenido que utilizar la generación artificial del calor para protegerse de las duras condiciones invernales, empleando como fuente de energía el fuego.

A través del estudio y análisis de la arquitectura tradicional hemos podido comprobar que los hogares con chimenea, los hornos y las cocinas eran los sistemas empleados para el calentamiento de las diferentes estancias. Si el edificio era importante, podía haber una chimenea en cada una de las habitaciones principales.

Actualmente el fuego sigue siendo la forma más utilizada en el calentamiento. El consumo de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) y la electricidad obtenida a partir de centrales térmicas y nucleares son consideradas **energías no renovables** que provocan las conocidas consecuencias medioambientales. Por ello, y dentro del ámbito de la sostenibilidad, debemos contar como fuentes energéticas la utilización de las **energías renovables**: energía solar, energía eólica, energía geotérmica, biomasa y unidades gasificadoras (véase apartado: **ahorro de energía**, pág. 272).

Son muchos los equipos que se utilizan como generadores de calor, con los que no contaba la arquitectura tradicional, ya que carecía de los conocimientos y nivel tecnológico necesario que tenemos hoy en día.



En un primer planteamiento, ya que no es objetivo de estudio de la presente tesis, en función de la fuente energética base de la que se va a obtener el calor podemos incluir como equipos generadores de calor: calderas de combustión, calderas eléctricas, generadores de aire eléctricos, aparatos de radiación, bombas de calor, colectores solares e intercambiadores de energía geotérmica (Neila & Bedoya, 1997).

#### 4.4.9 Transportabilidad

El concepto de transportabilidad como vivienda transportable aplicado a la arquitectura tradicional, y analizado a través de dos ejemplos representativos como son la yurta y la tienda de los pueblos nómadas del desierto, no tiene aplicación actualmente dentro de la arquitectura sostenible, aunque se haya recuperado esta forma de habitar en muchos casos, adaptándola a la vida contemporánea.

El concepto de transportabilidad hoy en día queda vinculado al concepto de **reutilización**. Por un lado, la arquitectura sostenible utiliza elementos prefabricados que en un futuro se pueden desmontar y trasladar a otro lugar para su reutilización. Por otro, partiendo de la durabilidad que se busca en muchos de los materiales empleados, aunque en algunos casos sea necesario su reparación o manipulación, se pueden volver a reutilizar en el mismo lugar donde se encontraba, o en cualquier otro, de esta forma se alarga su vida útil y generamos menos residuos. No obstante, a la hora de transportar un material siempre deberemos considerar el consumo energético asociado al mismo.





## CONCLUSIONES

Las construcciones tradicionales ocupan un porcentaje muy elevado de las viviendas existentes en muchas partes del mundo, por lo que la arquitectura tradicional debemos considerarla como un hábitat real y no un museo antropológico. Una arquitectura que ha sabido adaptarse dentro de cada zona climática del planeta, utilizando diferentes tipologías constructivas integradas con el entorno, donde el lugar, el clima, la utilización de materiales locales y los conocimientos adquiridos durante generaciones han permitido alcanzar unas condiciones de confort adecuadas, aunque no se correspondan con las actuales. Hay que tener en cuenta que el hombre ha estado condicionado durante siglos por el entorno y las circunstancias en que vivía, actualmente estas exigencias en muchos casos han cambiado y contamos con un desarrollo tecnológico desconocido para la arquitectura tradicional.

La principal característica de este tipo de arquitectura es su cercanía al concepto actual de sostenibilidad, en un planeta que también es sostenible y que el único responsable de su falta de sostenibilidad actual es el hombre a través de sus actuaciones.

Hasta hace pocas décadas se tenía la impresión de que el planeta disponía de una cantidad de recursos naturales, prácticamente inagotables y que el hombre podía emitir todo tipo de contaminantes sin que se produjeran impactos significativos que pudieran dañar a la naturaleza. Hoy en día tenemos constancia de que estábamos equivocados a la vista de la situación medioambiental en la que nos encontramos.

Las edificaciones actuales tienen en muchos casos una gran carga estética y teórica, llegando a crear ambientes opuestos a los existentes. Los conocimientos y técnicas utilizadas, combinado con una gran variedad de alternativas en cuanto al uso de materiales, no siempre son favorables desde un punto de vista sostenible. En cambio, la arquitectura tradicional siempre ha respetado a la naturaleza traduciéndose en un mantenimiento y conservación de los recursos naturales, y rara vez pretende una modificación radical del medio en el que aparece lo que garantiza la sostenibilidad. Por lo



tanto, para diseñar una arquitectura sostenible hay que retomar los aspectos ambientales de la arquitectura tradicional.

En la presente investigación se ha abordado el estudio de las construcciones tradicionales más representativas de cada una de las zonas climáticas de la tierra. De este modo, analizando de forma individual cada zona climática, hemos podido conocer las estrategias bioclimáticas utilizadas en la arquitectura tradicional a través de diferentes soluciones constructivas.

Es imprescindible tener un conocimiento objetivo de los parámetros que caracterizan a las construcciones tradicionales, en relación a todos aquellos aspectos que inciden en la sostenibilidad de nuestro hábitat construido. Aunque debemos tener en cuenta que todo este contenido desarrollado en la investigación no es operativo sin una correcta adaptación a las necesidades y técnicas actuales.

Como ejemplo, si en los climas cálidos secos se construye tradicionalmente con muros de piedra o adobe de grandes espesores, este dato no es la información que posiblemente deberemos utilizar, nos interesará sin embargo conocer que este tipo de muros tienen una elevada inercia térmica, que en combinación con una adecuada ventilación, permiten eliminar las altas temperaturas diurnas, manteniendo en el interior de la edificación una temperatura media dentro de los límites de confort. Lógicamente no podemos aspirar a seguir construyendo con adobe todos los edificios actuales en dichos climas, pero si disponemos de la información que nos ofrece la arquitectura tradicional, podremos conseguir un efecto idéntico con materiales y procedimientos adecuados a la economía y medios actuales. En un futuro podrá igualmente conseguirse con medios técnicos y materiales totalmente diferentes. Este ejemplo puntual nos permite entender cómo debemos interpretar la arquitectura tradicional para diseñar en la actualidad una arquitectura sostenible.

Partiendo de esta interpretación, la arquitectura sostenible se ha planteado en la presente investigación como una arquitectura tradicional evolucionada, que utiliza las técnicas y materiales actuales, respetando los conceptos y valores de la arquitectura tradicional.



La arquitectura tradicional en muchos casos parece olvidada. En países desarrollados como España, constituye una actividad residual y en situación de casi total desaparición como actividad vigente. Sin embargo, debemos acometerla e implementarla en el diseño constructivo actual, para poder recuperar un entorno que siempre ha sido sostenible. En este sentido, la presente investigación pretende ser una verdadera base de datos y fuente de información que actúa como guía, y que establece las pautas necesarias, aunque de forma modesta, para poder iniciar el camino hacia el diseño de una arquitectura sostenible, basada en las aportaciones de la arquitectura tradicional que siempre han estado presentes, aunque en muchos casos no consideradas.

La investigación constituye un reconocimiento a la labor desarrollada durante siglos por el hombre, en un tipo de arquitectura que emerge como parte del repertorio de alternativas disponibles para solucionar los problemas medioambientales actuales. La arquitectura tradicional nos permite pensar y diseñar de un modo sostenible, ya que resulta muy difícil construir sosteniblemente si inicialmente no lo hemos incluido en nuestro planteamiento.

A continuación se incluye un resumen distribuido por estrategias bioclimáticas, donde se enlazan los conceptos y valores que actualmente sobreviven de la arquitectura tradicional, con los criterios más importantes que definen el diseño en la arquitectura sostenible, objetivos de la tesis.

## **Aportaciones sobresalientes de la arquitectura tradicional**

### **1) Protección solar**

Diseñar pensando en las condiciones de verano es mucho más complejo que hacerlo para las condiciones de invierno, ya que no existen fuentes naturales de refrigeración como alternativa al sol. Desde el punto de vista de la sostenibilidad y teniendo en cuenta que en verano la conservación de la energía resulta menos necesaria que en invierno, utilizaremos soluciones constructivas cuyo objetivo sea la protección frente a los rayos solares, evitando de este modo el exceso de calor y el consumo energético que conlleva el empleo de fuentes artificiales de refrigeración. De cualquier

modo a la hora de diseñar una protección solar se deberá tener en cuenta el papel que se desea que tenga ese hueco para beneficiarnos del sol invernal.

La arquitectura tradicional nos proporciona diferentes tipos de protecciones solares que adaptadas según las técnicas actuales podemos agrupar en: fijas, escamoteables, orientables y celosías.

Dentro de las **protecciones fijas** las más utilizadas son las que proporcionan los propios elementos constructivos que conforman la edificación: los aleros y los voladizos, diseñados para proteger del sol en verano, y a la vez, permitir la entrada del sol en invierno.

### Solución constructiva. Ejemplos

Arquitectura tradicional



Arquitectura sostenible



**Figura 334: Aleros** (1) Baza (Granada). (2) Riotinto (Huelva). (3) Casa Zócalo en Pichilemu (Chile). LAND Arquitectos. **Voladizo** (4) Casa Westside Road (California). Dowling Studios  
**Fuente:** (1) Baza histórica 2012. (2) Vázquez 2010. (3) ArQuitexs 2012. (4) Grupo Gubia 2013

Las lamas fijas constituyen otro de los sistemas de protección utilizados. Su origen a partir de la contraventana de lamas de madera empleada en la arquitectura tradicional, permite iluminar el interior, sin que el sol llegue a introducirse. De este modo se evita el exceso de calor y el deslumbramiento.



Actualmente este dispositivo externo de sombreado se incorpora en las fachadas limitando el aumento del calor procedente de la radiación solar en el interior del edificio. Es un sistema de ahorro energético enfocado a limitar la demanda de refrigeración en condiciones climáticas de verano.

Teniendo en cuenta el ángulo de incidencia solar, las lamas fijas horizontales son recomendables en fachadas con orientación sur, asegurando la protección solar durante el final de la primavera, todo el verano y principio del otoño. En cambio, las fachadas este y oeste con baja altura solar es más difícil de garantizar su protección. En el caso de utilizar lamas fijas verticales, si son realmente efectivas, excluyen una gran parte de la luz natural y obstruyen la visión, por ello, es preferible que sean móviles.

La ventaja que ofrecen las protecciones fijas es su escaso mantenimiento y, si están bien diseñadas y dimensionadas, no se pueden utilizar incorrectamente variando sus funciones.

La movilidad del sol, la necesidad de mayor aprovechamiento de la luz natural los días nublados y la visibilidad hacia el exterior obliga en muchos casos a la utilización de **protecciones escamoteables**, ya que se pueden mover dejando libre la superficie del hueco.

Las protecciones escamoteables han sido las más utilizadas en la arquitectura tradicional a través de la utilización de visillos, cortinas, toldos y persianas con los que un individuo podía matizar su relación con el exterior, hasta conseguir el soleamiento, iluminación y vista deseada en cada momento.

Actualmente muchas de estas protecciones se suelen motorizar y sus controles se centralizan o automatizan, lo que conlleva la complejidad de instalación y coste de mantenimiento.

Una solución intermedia entre las protecciones fijas y las escamoteables son las **protecciones orientables** o móviles que pueden girar sobre un eje horizontal o vertical. Pueden impedir totalmente el paso de la radiación solar o convertirse en un filtro interpuesto respecto al exterior. Su infinidad de posiciones intermedias permite que se



puedan adaptar a las distintas estaciones, horas del día y actividades que se vayan a desarrollar en el interior de un local.

En fachadas con orientación al este u oeste, al estar sometidas a una altura solar reducida, es preferible utilizar mecanismos verticales regulables para controlar la radiación solar, permitir la entrada de luz y las vistas en los momentos del día en los que la protección solar no sea necesaria.

Dentro de los sistemas de protección, aunque menos utilizado, se encuentran las **celosías** que limitan la radiación solar que atraviesa el hueco proporcionando un adecuado nivel de luz y ventilación, reduciendo al mismo tiempo la intensidad de los vientos. Actualmente este sistema se puede automatizar de forma que se abra y se cierre de acuerdo a la intensidad lumínica.

## 2) Captación solar

La energía se capta generalmente a través de componentes del propio edificio denominados sistemas pasivos y se traslada posteriormente a la totalidad de los locales. El edificio se convierte, de forma natural, en el sistema de captación, control, regulación, acumulación y distribución de la energía que necesitan sus ocupantes.

En invierno, la fuente de energía natural exterior al edificio es la radiación solar, aunque en ocasiones se puedan utilizar desde el punto de vista sostenible energías renovables (geotérmica, biomasa etc.).

Existen diferentes soluciones constructivas cuyo origen se encuentra en la arquitectura tradicional, y que utiliza la arquitectura sostenible para garantizar la captación solar partiendo del diseño pasivo.

**Las ventanas** constituye el sistema de captación solar más utilizado. Se emplean en infinidad de edificios donde la orientación, una distribución óptima en las distintas fachadas y un dimensionado adecuado permiten que el sistema funcione correctamente, aunque debemos analizarlo de forma global a lo largo del año.



Debido al clima de nuestro país, podemos aprovechar durante el invierno la radiación solar directa a través de los acristalamientos. Sin embargo, en verano es necesario evitarla a través de los diferentes sistemas de protección.

En nuestras latitudes la orientación sur es la más favorable para el acristalamiento, ya que es la única en la que se obtienen mayores ganancias en invierno que en verano. Este comportamiento se basa en la mayor altura que alcanza el sol durante los meses de verano. Las orientaciones este y oeste, son las más desfavorables, ya que se obtienen siempre mayores valores en verano y bajísimos en invierno.

**Las galerías acristaladas y los invernaderos adosados** constituyen otro de los sistemas de captación solar, aunque menos empleado que el anterior. Estos elementos constructivos se caracterizan porque consiguen un rápido calentamiento, pero también un enfriamiento igualmente rápido al cesar la fuente que proporciona la energía. Sin embargo, si los utilizamos en edificaciones cuyos cerramientos tienen una alta inercia térmica, obtendremos un ambiente interior con menores oscilaciones térmicas, más estable, con calentamientos y enfriamientos más prolongados. Si establecemos además una circulación de aire caliente desde estos elementos hacia el interior del edificio de forma natural o forzada a través de huecos practicables, reduciremos la temperatura y también las pérdidas de calor.

Los invernaderos adosados a la fachada, de un edificio, orientada al sur, para maximizar la ganancia solar y evitar pérdidas de calor durante la noche a través del vidrio, se pueden instalar persianas aislantes o diferenciando el invernadero del resto de la vivienda mediante un muro de cerramiento.

Con relación al vidrio, el acristalamiento vertical es la mejor solución para invernaderos destinados al ahorro energético en viviendas, en la mayoría de las zonas climáticas de nuestro país, ya que aunque absorbe menor cantidad de calor en invierno que un acristalamiento inclinado se evitan muchos inconvenientes. El vidrio con pendiente tiene una mayor exigencia estructural, su instalación es más compleja y susceptible de fugas, y es más difícil protegerlo del sol mediante mecanismos de sombra durante el verano.

Como sistema de captación solar donde se combinan el efecto invernadero y la inercia térmica debemos destacar el **muro trombe**. Este sistema consiste básicamente en un invernadero de pequeñas dimensiones que cumple tres funciones, la captación directa de la radiación solar a través del vidrio, su acumulación en el muro y la distribución del aire que al calentarse, asciende por convección natural y, atravesando el muro por los orificios situados en la parte superior, se introduce en el interior del local. El pequeño vacío que se crea en la cámara es suficiente para arrastrar, a través de los orificios inferiores que tiene el muro, el aire frío del local que se encuentra estratificado a nivel del suelo. Con este sistema, se crea una circulación de aire frío del local al muro y, una vez caliente, del muro al local.

### Solución constructiva. Ejemplos

#### Arquitectura tradicional



#### Arquitectura sostenible



**Figura 335:** Muro trombe

**Fuente:** (1) Rivas 2012. (2) Arqzine 2012. (3) Arquitectura Vilssa 2013

La captación directa es función de la superficie y orientación del acristalamiento, que debe ser lógicamente al sur. Para que no se pierda la energía es conveniente instalar en este sistema una persiana exterior como protección durante las horas que no actúe el sol sobre el muro y, sobre todo, en las horas frías de la noche. De esta forma se evita que el vidrio se enfríe en exceso y robe calor por radiación y por convección al muro.





Durante el verano, cuando es necesario evitar el calentamiento del muro, se incluirá una protección solar exterior. La solución ideal es una visera fija sobre el vidrio que deje pasar la radiación en invierno y que arroje sombra sobre el vidrio en verano. Un alero de cubierta o voladizo puede realizar esta función.

### 3) Protección de la lluvia y de la humedad

La **cubierta** constituye el elemento de la envolvente del edificio que necesita la mayor protección frente a las lluvias y humedades. Las soluciones constructivas utilizadas en la arquitectura tradicional han sido sustituidas por sistemas adaptados según las técnicas y exigencia actuales. Se incorporan materiales impermeabilizantes que aseguran su estanqueidad frente a la lluvia y que preservan el medio ambiente reduciendo la contaminación atmosférica e hídrica. Estos materiales en muchos casos, libres de halógenos y sin plastificantes en su composición garantizan una alta durabilidad, permitiendo su posterior reciclaje.

La arquitectura tradicional en aquellos climas donde son frecuentes las lluvias, el acceso a la vivienda lo protege mediante un **porche o soportal** como elemento de transición entre el espacio exterior e interior. Esta solución utilizada también en la arquitectura sostenible, garantiza en verano la protección solar, permitiendo su uso como estancia al aire libre. Es importante un diseño adecuado del techo, ya que cuando llueve, el porche debe seguir siendo un espacio funcional protegido.

Los **aleros y voladizos** son elementos constructivos que además de proteger las fachadas de las edificaciones de la radiación solar directa, en época de lluvias protegen los cerramientos y los huecos, evitando la humedad en el interior de la vivienda.

En la actualidad, debido a la progresiva desertización de muchas zonas, como consecuencia directa del cambio climático y del consumo irracional del agua, se está volviendo a la tradicional y sostenible costumbre de **recoger, almacenar y aprovechar el agua de lluvia**. Hoy en día los criterios de uso son más restrictivos y se utiliza principalmente para el llenado de las cisternas de los inodoros, limpieza externa, alimentación de la lavadora y para riego del jardín.



Como medida sostenible se recomienda diseñar sistemas de recogida del agua que permitan canalizar el agua de la cubierta y de las zonas exteriores.

#### 4) Ventilación natural

La ventilación natural es la principal estrategia de climatización en los climas cálidos, tanto secos como húmedos, aunque también lo es en los climas fríos, ya que es necesario protegerse del viento, y controlar la infiltraciones. En el caso de los climas templados habrá periodos en los que habrá necesidades de ventilación y otros de control.

La ventilación natural se desarrolla mediante la ubicación adecuada de superficies, aberturas o conductos aprovechando las depresiones o sobrepresiones creadas en la edificación por el viento, humedad, sol, convección térmica del aire o cualquier otro fenómeno, no siendo necesario ningún dispositivo mecánico.

En climas benignos, como en el caso de los países mediterráneos, la ventilación natural es muy eficaz, ya que elimina el sobrecalentamiento y reduce la sensación de calor, siendo la solución más empleada la renovación de aire a través de las ventanas abiertas durante un periodo de tiempo al día.

Dentro del análisis bioclimático de la ventilación natural, existen varios sistemas pasivos utilizados en la arquitectura sostenible, cuyo origen lo encontramos en la arquitectura tradicional.

El **patio** como sistema pasivo actúa sobre la temperatura del aire por efecto evaporativo, en aquellos casos en que exista una fuente o un estanque. Este mismo efecto actúa sobre la humedad del aire, contribuyendo también la posible vegetación que pueda tener.

El patio protege de la radiación solar directa que penetra en su interior, ya que las fachadas interiores soleadas la absorben reduciendo su impacto y manteniendo más baja la temperatura dentro del espacio sombreado. Por otro lado, es un espacio que suele



estar protegido del viento, reduciendo la velocidad del aire exterior. Estos factores favorecen su refrigeración.

El aire fresco del patio se puede aprovechar en el interior del edificio. Si facilitamos la entrada y forzamos su recorrido por el interior de la vivienda servirá para capturar calorías del espacio interior antes de su salida al exterior.

El patio aunque se ha adaptado a climas muy variados, es típico en zonas de clima caliente o de veranos muy cálidos.

La **ventilación cruzada** constituye la estrategia pasiva fundamental en condiciones de verano. Se utiliza en climas cálidos húmedos y también en climas templados en verano. Este sistema asegura el bienestar de sus ocupantes, evitando el sobrecalentamiento, aumentando la sensación de frescor y reduciendo la humedad.

Las aberturas en este sistema se deben situar en fachadas que estén en comunicación con espacios exteriores con condiciones de radiación o de exposición al viento que sean muy diferentes.

El tipo de abertura de entrada es muy importante, dependiendo del modelo de ventana utilizado varían los patrones del flujo de aire. El modelo de ventana más eficiente para la ventilación natural es el de hojas batientes con un índice de eficacia del 90%.

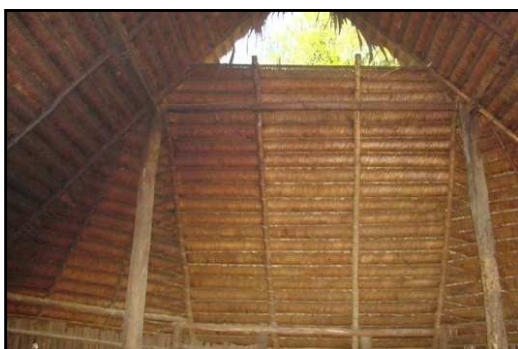
La ubicación y tipo de abertura de salida tienen poca influencia en los patrones internos del flujo de aire, aunque cuanto más cambios de dirección sufra el aire en el interior debido a las obstrucciones que puedan haber, más se reducirá su velocidad. La resistencia al flujo de aire depende de la tabiquería interior y de la ubicación de las aberturas interiores, principalmente de los huecos de las puertas.

Una ventilación cruzada efectiva entre fachadas opuestas en un edificio se consigue con un hueco de entrada que tenga una buena orientación eólica, que junto con sus elementos de regulación (laminas, contraventanas, viseras etc.), determinará la dirección de la corriente de entrada de aire. Cuanto mayor área tengan ambos huecos, de entrada y salida, mayor será el flujo de aire a través del edificio.

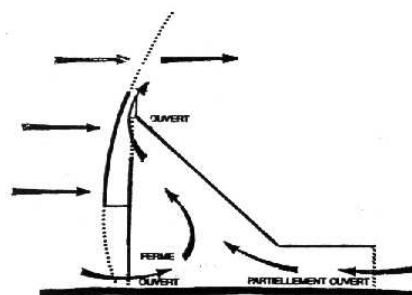
Como sistema de ventilación natural utilizado dentro de la arquitectura tradicional, principalmente en la zona climática de la selva y la sabana donde la temperatura y la humedad son muy elevadas debemos incluir el **efecto chimenea** también denominado **efecto Stack**. Este sistema considerado como un efecto convectivo aprovecha la ascensión del aire debido a las diferencias de presión entre un aire frío y otro cálido. Para que funcione correctamente debe existir una diferencia de temperatura entre el aire caliente que está en la parte más alta del espacio habitable y el aire exterior. El efecto aumenta, a mayor diferencia de temperatura y a mayor diferencia de altura entre las diferentes aberturas, y funcionará únicamente cuando la temperatura interior sea mayor que la exterior.

### Solución constructiva. Ejemplos

#### Arquitectura tradicional



#### Arquitectura sostenible



**Figura 336:** (1-3) Maloca Indígena. (2-4) Centro Cultural Jean Marie Tjibau en Nueva Caledonia. Arquitecto: Renzo Piano

**Fuente:** (1-3) Echeverri 2012. (2) <http://inhabitat.com/jean-marie-tjibaou-cultural-center-inspired-by-native-architecture/tjibaou-cultural-center-5/> (4) [http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkcs/arch304/winter2001/mmorri11/passive\\_solar/index/demo/demo\\_1.htm](http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkcs/arch304/winter2001/mmorri11/passive_solar/index/demo/demo_1.htm)



Este sistema de ventilación natural utilizado en la actualidad, se establece de forma importante en ausencia de viento, sin embargo en ocasiones la ventilación cruzada y la originada por el efecto Stack se pueden presentar de forma simultánea.

Es recomendable para favorecer la circulación del aire por efecto chimenea principalmente en horas nocturnas y durante el verano, el diseño de **chimeneas solares**, que actúan como elementos de succión o dispositivos de acceso, aunque no siempre en verano las temperaturas interiores son superiores a las exteriores, pueden funcionar muy bien con ventilación nocturna.

La chimenea solar favorece el efecto Stack, ya que utiliza el sol para calentar el interior de la misma, calentar de esta manera el aire que contiene y aprovechar su efecto de elevación para aspirar el aire interior.

La superficie captadora de la chimenea se orienta siempre hacia la máxima intensidad de la radiación solar. Según la latitud puede ser aconsejable tanto la orientación sur, como la este y oeste combinadas, de acuerdo también con el horario previsto de utilización.

También se pueden diseñar sistemas que permiten crear el movimiento del aire hacia el interior del edificio, en sentido contrario al efecto chimenea, como es el caso de la **torre de viento**, conocida tradicionalmente como *bagdir* en Irak. Este sistema pasivo de ventilación se ha utilizado durante siglos dentro de la arquitectura tradicional, garantizando la refrigeración en países con climas cálidos y vientos frecuentes e intensos, siendo su objetivo principal producir ventilación natural aprovechando los vientos dominantes de la zona donde se encuentran ubicadas.

Este sistema utilizado en la actualidad, permite que un determinado caudal de aire de ventilación pueda mejorar sus condiciones iniciales, aumentando su humedad relativa y disminuyendo su temperatura, constituyendo un sistema de climatización energéticamente eficaz.

## Solución constructiva. Ejemplos

### Arquitectura tradicional



### Arquitectura sostenible



**Figura 337:** (1) Torre de viento (Bagdir). (2) Universidad de Qatar en Doha

**Fuente:** (1) <http://irantraders.net/en/yazd/> (2) Abdel-moniem El-Shorbagy 2012

Existen otros dispositivos que combinan la acción del viento con la evaporación del agua para refrigerar y acondicionar de forma natural ambientes externos e internos.

Las **torres evaporativas** utilizadas durante siglos en la arquitectura árabe, constituyen un sistema de refrigeración natural por evaporación muy eficaz dentro de la arquitectura sostenible, principalmente en zonas con clima cálido y seco.

Este sistema capta aire exterior, con una temperatura y un grado de humedad determinado, antes de introducirse en el interior de la vivienda, se pone en contacto con el agua, produciéndose una saturación adiabática, cediendo el calor necesario para la evaporación y reduciendo su temperatura, en contrapartida, aumenta su grado de humedad.

Uno de los sistemas de ventilación natural más importantes de la arquitectura tradicional islámica son las **torres eólicas**. Este dispositivo capta el viento, al introducirlo en el interior del edificio, aumenta la velocidad del aire, produciendo un efecto refrigerante. Este efecto se puede aumentar haciéndolo circular en contacto con



superficies de agua o superficies húmedas, produciéndose un enfriamiento evaporativo. Cuando no hay viento utiliza el efecto chimenea.

En la actualidad, este dispositivo de enfriamiento evaporativo pasivo e híbrido de ventilación natural ofrece un rendimiento importante, ya que reúne en un mismo sistema la torre de viento y el efecto chimenea, garantizando el confort térmico en el interior de los edificios.

En zonas de clima templado donde se necesita refrigeración durante el verano, el suelo debido a su inercia tiene una temperatura más baja que la temperatura del aire en verano. En dichas regiones se pueden utilizar **conductos enterrados** por donde se hace circular aire que al entrar en contacto con el terreno desciende su temperatura, enfriándolo antes de introducirlo en los edificios. El terreno siempre ofrece unas condiciones favorables, ya que en verano estará más frío que el aire exterior y en invierno se producirá el efecto contrario.

En la actualidad este sistema pasivo de refrigeración es muy utilizado, ya que su combinación con otros sistemas de ventilación natural nos permite resolver de forma eficaz la refrigeración del interior de los edificios.

## 5) Aislamiento térmico

La cubierta es el elemento en la envolvente arquitectónica que está sujeta a mayores fluctuaciones térmicas. Durante el día alcanza elevadas temperaturas por su exposición directa a la radiación solar y, durante la noche, es la parte de la construcción que más calor pierde.

En este sentido, la arquitectura tradicional nos ofrece la **naturación en cubiertas**, sistema caracterizado por su alto aislamiento térmico, muy utilizado en la arquitectura sostenible.



La técnica de naturación ha sido empleada tanto en climas fríos como en climas cálidos, ya que en estos techos la vegetación junto con la tierra, moderan extraordinariamente las variaciones de temperatura en los ambientes de la vivienda.

Actualmente la incorporación de vegetación en las envolventes de los edificios (naturación urbana), es una tecnología que está tomando un gran impulso, ya que además de garantizar el aislamiento térmico, proporciona múltiples beneficios: ambientales, arquitectónicos, constructivos, estéticos, económicos y sociales.

Las cubiertas ajardinadas conducen a una construcción sostenible, ofreciendo las siguientes ventajas:

- Disminuyen las superficies pavimentadas.
- Producen oxígeno y absorben CO<sub>2</sub>.
- Filtran las partículas de polvo y suciedad del aire y absorben las partículas nocivas.
- Enfían los espacios bajo cubierta, en el verano, debido a la evaporación.
- Disminución de las pérdidas de calor, en el invierno, reduciendo el consumo energético.
- Disminuyen las variaciones de humedad en el aire.
- Tienen una larga vida útil si es correcta su ejecución.
- Reducen la entrada de sonido del exterior.
- Absorben la lluvia, aliviando el sistema de alcantarillado.

Dentro de las ventajas que ofrece este tipo de cubierta, su **alto aislamiento térmico** minimiza los flujos energéticos entre el ambiente exterior e interior, contribuyendo a una mejora en las condiciones de confort. A ello contribuye la vegetación, el poder aislante del suelo o sustrato, el aire existente entre las hojas de las plantas y la capa superior del sustrato.

Según el tipo de cultivo y el grado de mantenimiento requerido, existen diferentes sistemas de naturación en cubiertas que se clasifican en: intensivos, semi-intensivos y



extensivos, siendo este último el sistema más apropiado para ser utilizado en construcciones ya existentes.

Las cubiertas ajardinadas ejecutadas mediante el **sistema extensivo** están disminuyendo sus costes, y su mantenimiento a medio y largo plazo es mucho menor que en una cubierta convencional, por lo que cada vez se utiliza más en el centro y norte de Europa. Es la nueva versión de los tejados de cubierta vegetal.

### Solución constructiva. Ejemplos

Arquitectura tradicional



Arquitectura sostenible



**Figura 338:** Cubierta de césped. (1) Vivienda tradicional noruega. (2) Sistema extensivo

**Fuente:** (1) <http://www.extension.org/pages/62456/green-roofs-as-water-wise-landscapes> (2) A-cero 2011

La arquitectura tradicional durante siglos ha sabido adaptarse al medio natural y humano en el que se ubicaba con la minimización energética necesaria para alcanzar el bienestar, no necesitando adiciones tecnológicas y valiéndose de materiales accesibles que garantizaran el aislamiento térmico. La madera debido a su baja conductividad térmica ha sido un material muy utilizado, principalmente en zonas frías.

En estos climas, donde no puede haber calentamiento pasivo, lo que hace la arquitectura sostenible es gestionar eficazmente el consumo de la energía convencional, y eso se consigue con **cerramientos de madera** debido a su buen aislamiento térmico.



El objetivo de los cerramientos de madera es cubrir las necesidades de calefacción y refrigeración con el menor consumo energético, independientemente de la temperatura exterior. La edificación se diseña con el fin de ganar todo el calor solar posible en invierno y evitar las ganancias de calor en verano. Destacar en este sentido, los cerramientos de rollizos de madera, sistema constructivo de centenaria tradición en el norte de Europa, en Rusia y en las regiones de alta montaña del centro de Europa.

Actualmente este sistema incorpora capas de aislamiento térmico que incrementan su resistencia térmica. Se ha mejorado la geometría de las juntas garantizando una buena estanqueidad al agua y al aire, así como el control de su resistencia y humedad evitan las deformaciones al entrar en carga.

Estos cerramientos, a los que se les ha otorgado la función portante del edificio, han ido dando paso en muchos lugares a las fachadas ligeras, en las que el revestimiento de madera se separa de la estructura para constituir la “piel” del edificio.

Como revestimientos de madera utilizados tradicionalmente debemos distinguir dos tipologías: los revestimientos exteriores de fachada y los revestimientos interiores.

La arquitectura actual, recuperando parte de esta tradición recurre de nuevo a estos tipos de revestimientos. Los revestimientos exteriores además de su función estética y de proteger la estructura, pueden aumentar el aislamiento térmico y acústico de los cerramientos. Los revestimientos interiores se aplican sobre superficies horizontales y verticales, y a parte de su función estética, también se emplean para aumentar el aislamiento acústico, térmico y de humedades. En algunos casos pueden utilizarse para mejorar el comportamiento frente al fuego de las estructuras portantes.

## 6) Inercia térmica

Los cerramientos y locales con alta inercia acumulan mucha energía y son térmicamente muy estables. Es el caso de las cuevas o viviendas enterradas, las iglesias y catedrales o muchas de las viviendas tradicionales. Los valores altos de inercia térmica garantizan la *estabilidad térmica* en un edificio.



El empleo de materiales aislantes en los cerramientos son los responsables de la poca inercia térmica con la que, generalmente se construye hoy en día, debido a que el aislamiento se coloca cerca del ambiente interior, lo que reduce de forma radical la aportación como acumulador. Para que un cerramiento pueda aportar su inercia a la estabilidad térmica del local es necesario que su masa esté en contacto directo con el ambiente interior, mediante un cerramiento sin aislar, o en caso de utilizar aislamiento se colocará por el exterior. Aunque para definir el sistema constructivo más adecuado deberemos determinar el uso que va a tener el edificio, ya que la inercia térmica no es deseable en todos los casos.

En locales de uso permanente el aislamiento térmico se colocará por el exterior del cerramiento para poder utilizar su inercia, garantizando la estabilidad térmica. El tiempo que necesita un local para su puesta en régimen solo es necesario la primera vez, aunque se apague algún día el equipo de calefacción utilizado, gracias a la energía acumulada en sus muros.

Cuando el uso del local es eventual el aislamiento térmico se colocará por el interior del cerramiento, ya que en este caso, no es deseable aprovechar su inercia térmica para mantener estable el interior del local cuando no se utiliza. De esta manera, el equipo de calefacción que se haya podido utilizar para calentar el local reducirá de forma notable el tiempo empleado, ya que disminuirá la posibilidad de que acumule energía el cerramiento, utilizándose para calentar el ambiente exterior. Cuando ya no se utilice y se apague el sistema el local se enfría.

Sin embargo, el aislamiento térmico siempre es necesario, ya que reduce el flujo de la energía desde el interior y permite ahorrar energía.

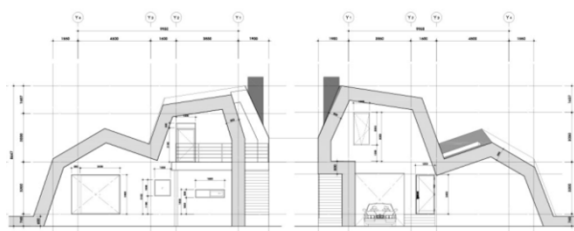
La influencia de la inercia térmica para alcanzar el bienestar es importante principalmente durante el verano, para no tener que recurrir al empleo de equipos de refrigeración y evitar en este periodo el efecto térmico del sobrecalentamiento. Durante el invierno es igualmente importante, si se recurre a las captaciones solares para reducir nuestra dependencia de las energías convencionales.

## Solución constructiva. Ejemplos

### Arquitectura tradicional



### Arquitectura sostenible



**Figura 339:** (1-3) Muro de alta inercia térmica. Vivienda tradicional. (2-4) Muro de hormigón. Vivienda en Corea del Sur. Estudio de arquitectura: Unsangdong Architects

**Fuente:** (1) Guarch 2013. (3) <http://www.minux.es/edificacion-energia/> (2-4) ArchCandy 2012

## 7) Iluminación natural

A través de la arquitectura tradicional el hombre ha iluminado de forma natural los espacios donde vivía, en unos casos mediante la incorporación de grandes ventanales que favorecían la entrada permanente de luz en el interior, principalmente en países donde los días nublados y lluviosos son frecuentes como Inglaterra, Alemania, Holanda etc., y en otros mediante aberturas y pequeños orificios situados en la cubierta. También se ha utilizado la propia configuración arquitectónica para facilitar la entrada de luz mediante el uso de galerías, porches, patios etc.



La luz natural, respecto a la iluminación artificial, contribuye a mejorar la calidad y el bienestar visual dentro de un espacio arquitectónico al ofrecer un *espectro más completo*. Desde el punto de vista energético y de sostenibilidad, contribuye al ahorro de energía y presenta una eficacia luminosa superior a la luz artificial.

En la actualidad para poder aprovechar la luz natural se utilizan diferentes componentes de un edificio:

- **Componentes de conducción** que llevan la luz natural del exterior a zona interiores del edificio, como las galerías, porches o invernaderos. En otros casos forman parte de la zona interna del edificio. Se utilizan los patios, atrios y conductos de iluminación, estos últimos ubicados en la cubierta captan la luz exterior y la conducen hasta el interior del edificio.
- **Componentes de paso** que conectan dos ambientes lumínicos diferentes, separados por un cerramiento donde se sitúa dicho componente. En este grupo se incluyen las ventanas y los balcones.

## 8) Producción de calor

Los sistemas empleados en la arquitectura tradicional para calentar el interior de las edificaciones han sido principalmente: los hogares con chimenea, los hornos y las cocinas.

Actualmente el fuego sigue siendo la forma más utilizada en el calentamiento, utilizándose combustibles fósiles que contaminan el ambiente. Por ello, para garantizar la sostenibilidad debemos utilizar como fuentes energéticas las energías renovables por sus ventajas medioambientales.

Son muchos los equipos que se utilizan como generadores de calor, con los que no contaba la arquitectura tradicional, ya que carecía de los conocimientos y nivel tecnológico necesario. En un primer planteamiento, en función de la fuente energética base de la que se obtiene el calor podemos incluir como equipos generadores de calor:



calderas de combustión, calderas eléctricas, generadores de aire eléctricos, aparatos de radiación, bombas de calor, colectores solares e intercambiadores de energía geotérmica.

## 9) Transportabilidad

El concepto de transportabilidad como vivienda transportable asociado a las viviendas nómadas dentro de la arquitectura tradicional, no tiene aplicación en la arquitectura sostenible, quedando este concepto vinculado al de **reutilización**.

La arquitectura sostenible utiliza elementos prefabricados que se pueden desmontar y trasladar a otro lugar para su reutilización. Se emplean también materiales de alta durabilidad que aunque puedan necesitar algún tipo de manipulación, se pueden volver a utilizar en el mismo lugar o en cualquier otro, alargando su vida útil y generando menos residuos. No obstante, en su transporte siempre hay que valorar el consumo energético asociado al mismo.



## Aportaciones

A continuación se incluyen las principales aportaciones con las que contribuye la presente investigación:

1. La arquitectura tradicional, en muchas publicaciones, su estudio se aborda de forma historicista, como un conjunto de edificaciones que durante siglos han respondido a la identidad cultural y social de una comunidad, y que como memoria del pasado, forman parte del patrimonio cultural. En cambio, en esta investigación, la arquitectura tradicional se ha planteado desde el punto de vista bioclimático y sostenible, como una arquitectura cercana al concepto actual de sostenibilidad.
2. Muchos autores estudian la arquitectura tradicional y la arquitectura sostenible como dos formas diferentes de arquitectura. En la presente investigación se enlazan ambos tipos de arquitectura, combinándose los conceptos y criterios tradicionales con las técnicas y materiales actuales. Este enfoque permite demostrar que se puede construir de forma sostenible utilizando como base de datos la arquitectura tradicional.
3. El desarrollo del diseño constructivo en la arquitectura sostenible, se ha estudiado a partir de las aportaciones que ofrece la arquitectura tradicional y que sobreviven actualmente. En este sentido, las publicaciones sobre arquitectura sostenible de otros autores no incluyen en muchos casos este enfoque “tradicional”, en el que la arquitectura sostenible se puede interpretar como una arquitectura tradicional evolucionada.
4. En la investigación para el análisis de la arquitectura sostenible se han utilizado únicamente soluciones constructivas tradicionales, a diferencia de muchas publicaciones, cuyo diseño se justifica a partir de soluciones constructivas innovadoras alejadas de los principios tradicionales.



5. La presente investigación constituye una importante guía de apoyo, que ayuda a plantear el diseño constructivo en los proyectos de forma sostenible, utilizando el modo tradicional de construir adaptado a nuestro hábitat actual.





## Conclusiones

Con relación al contenido de la investigación se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Las estrategias bioclimáticas más importantes que condicionan el diseño de la arquitectura sostenible son: la protección y captación solar, la ventilación natural, el aislamiento térmico, la inercia térmica y la iluminación natural.
2. El muro trombe destaca en la actualidad como sistema de almacenamiento y distribución del calor, favoreciendo la calefacción de modo natural. Como dispositivo cumple tres funciones: la captación directa de la radiación solar a través del vidrio, su acumulación en el muro debido a la gran inercia térmica y la distribución del aire que por convección natural se introduce en el interior de la vivienda.
3. La ventilación natural es la principal estrategia de climatización en los climas cálidos, tanto secos como húmedos, aunque también lo es en los climas fríos, ya que es necesario protegerse del viento, y controlar las infiltraciones. En los climas templados hay épocas con necesidades de ventilación y otras de control.
4. La renovación del aire a través de las ventanas abiertas durante un periodo de tiempo, utilizando como sistema pasivo la ventilación cruzada, es el sistema de ventilación natural más utilizado en nuestro clima.
5. En climas cálidos y con vientos frecuentes e intensos, la torre de viento constituye un sistema de refrigeración muy eficaz. Sin embargo, la torre eólica es uno de los sistemas más utilizados actualmente, ya que puede captar el viento introduciéndolo en el interior del edificio y utilizar el efecto chimenea cuando no hay viento.

En el caso de que el viento captado por la torre eólica entre en contacto con superficies de agua o superficies húmedas, se produce un enfriamiento evaporativo que favorece la refrigeración.

6. Los sistemas de calefacción y refrigeración naturales estudiados no necesitan ningún dispositivo mecánico, evitando de este modo el consumo energético. No obstante, en algunos casos para alcanzar la zona de bienestar puede ser necesario el empleo de un pequeño sistema de apoyo como fuente convencional de energía.
7. En la actualidad la incorporación de vegetación en las envolventes de los edificios (naturación urbana) es una tecnología que está tomando un gran impulso.

Las cubiertas ajardinadas conducen a una construcción sostenible, ofreciendo ventajas que abarcan aspectos arquitectónicos, constructivos, estéticos y medio ambientales, destacando por su alto aislamiento térmico.

Actúan como sistemas reguladores, enfriando los espacios bajo cubierta en el verano, y disminuyendo las pérdidas de calor en el invierno, reduciendo de este modo el consumo energético.

8. Dentro de las cubiertas ajardinadas, el sistema extensivo, actualmente está bajando su coste, y su mantenimiento a medio y largo plazo es mucho menor que en una cubierta convencional, por ello, cada vez se utiliza más en el centro y norte de Europa. Es la nueva versión de los tejados de cubierta vegetal.
9. La inercia térmica como estrategia bioclimática, en el caso del hormigón permite mejorar la eficiencia energética de los edificios, con ahorros de hasta el 69% en climatización, simplemente utilizando soluciones constructivas de hormigón que se puedan activar con técnicas totalmente bioclimáticas. Aunque el CTE permite considerar, en los cálculos que cuantifican la eficiencia



energética, la inercia térmica, no es habitual la consideración de la misma en los cálculos de demanda y consumo que se realizan normalmente.

10. La luz natural, respecto a la iluminación artificial, contribuye a mejorar la calidad y el bienestar visual dentro de un espacio arquitectónico, introduciendo mejores prestaciones visuales al ofrecer un espectro más completo. Desde el punto de vista energético y de sostenibilidad, la luz natural puede contribuir en gran medida al ahorro de energía debido a que presenta una eficacia luminosa superior a la luz artificial.



## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir del contenido desarrollado en la presente investigación, surgen nuevas cuestiones y vías de trabajo que pueden ser objeto de interés como futuras líneas de investigación. A continuación se proponen algunos de ellas:

1. Influencia del color y del material en el comportamiento térmico de los cerramientos.
2. La torre eólica como sistema de refrigeración sostenible.
3. La naturación urbana en España.
4. La vegetación en los sistemas de naturación en cubiertas.

### Descripción

#### **1. Influencia del color y del material en el comportamiento térmico de los cerramientos.**

La inercia térmica está vinculada de forma directa con la acumulación de energía. Los cerramientos con una alta inercia térmica acumulan mucha energía y contribuyen a la estabilidad térmica del edificio.

Cuanto mayor sea la absorción de energía solar en la cara exterior de un muro, mayor será la transmisión de calor a través del mismo hacia el espacio interior. El color superficial que presenta un cerramiento influye en la absorción del mismo, y el material empleado, en su capacidad como acumulador térmico, ya que no todos los materiales tienen la misma facilidad para acumular energía. En este sentido, sería interesante desarrollar como línea de investigación, la influencia de ambos parámetros en el comportamiento térmico de los cerramientos.



## **2. La torre eólica como sistema de refrigeración sostenible.**

La torre eólica es un dispositivo de enfriamiento evaporativo e híbrido de ventilación natural que ofrece en la actualidad un rendimiento importante, reuniendo en un mismo sistema el efecto chimenea y la torre de viento, garantizando el confort térmico en el interior de los edificios, como ya hemos estudiado en la presente investigación. Esta solución constructiva permite la refrigeración de forma natural sin la ayuda de energías convencionales. Como línea de investigación a desarrollar podemos profundizar en su conocimiento teórico y aplicación práctica dentro de la arquitectura sostenible.

## **3. La naturación urbana en España**

En la actualidad la incorporación de vegetación en las envolventes de los edificios (naturación urbana), está tomando un gran impulso debido a las múltiples ventajas que proporciona desde el punto de vista sostenible.

En países como Alemania donde se ha extendido mucho su utilización, se ha comprobado que se pueden reducir considerablemente las temperaturas superficiales de la cubierta en verano, y en invierno mantener más estable las condiciones de confort interno, obtenido por ganancias pasivas o por los sistemas de acondicionamiento convencionales. Como línea de investigación se podría estudiar el desarrollo de este tipo de cubiertas en nuestro país y su posible aplicación en las diferentes zonas geográficas.

## **4. La vegetación en los sistemas de naturación en cubiertas**

La vegetación según hemos analizado en la presente investigación, aumenta la eficacia térmica de los sistemas de naturación, ya que no permite la penetración de la radiación solar en la superficie de la cubierta. El tipo de vegetación que utilicemos se debe seleccionar después de analizar con detalle el clima de la región, en este sentido, habría que identificar en cada lugar las especies autóctonas y originarias que componen o que componían el paisaje original, ya que su elección influye de forma decisiva en los procesos fisiológicos de la planta y determina las condiciones de uso y mantenimiento de



la cubierta. Seleccionar las especies vegetales adecuadas en cada caso permite obtener mayores beneficios en los sistemas de naturación.

Es importante destacar, como ya se ha indicado anteriormente, que no existen datos concretos sobre las características y propiedades de la vegetación utilizada en las cubiertas ajardinadas. Los datos registrados en las diferentes investigaciones sobre este tipo de cubiertas se han llevado a cabo de forma general en lo que respecta a la vegetación.

Como línea de investigación se pueden analizar las propiedades y características de la vegetación que influyen en el aislamiento térmico de este tipo de cubiertas, lo que permitirá desarrollar el cálculo térmico de forma más exacta y mejorar su diseño constructivo.



## BIBLIOGRAFÍA

3 OPAL PROYECTOS. (10 de Noviembre de 2010). *Hemiciclo Solar*. RLA Ruiz y Larrea Asociados. Recuperado el 7 de Julio de 2014, de 3 Opal Proyectos: <http://arquitecturaresopal.wordpress.com/2010/11/10/hemiciclo-solar-viviendas-mostoles-rla/>

AEMA. Agencia Europea de Medio Ambiente. (2012). *Potencial de energía eólica terrestre y marina de Europa. Evaluación de las restricciones ambientales y económicas*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. ISBN: 978-84-491-1212-6.

AIDICO. (Noviembre de 2009). *Guías de Sostenibilidad en la Edificación Residencial. Guía del Agua (1ª Edición)*. Recuperado el 30 de Abril de 2014, de AIDICO Instituto Tecnológico de la Construcción: <http://www.aidico.es/construccion-sostenible-cms-74-50-1473-1500/>

AITIM. (2011a). Revestimientos exteriores de madera maciza. *Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera. Pliego de condiciones*. Enero , 1-8.

AITIM. (2011b). Revestimientos lineales de madera maciza para interiores. *Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera*. Julio , 1-4.

ALBALADEJO DÁVALOS, F., & RODRÍGUEZ LÓPEZ, C. L. (2008). *Guía de iniciativas para una construcción sostenible*. Murcia: Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia.

APOLOS FLORES SALAZAR, D. (3 de Noviembre de 2009). *Importancia de la medición de la radiación solar*. Recuperado el 8 de Mayo de 2013, de Monografías.com: <http://www.monografias.com/trabajos75/importancia-medicion-radiacion-solar/importancia-medicion-radiacion-solar2.shtml>

ARAUJO ARMERO, R. (2011). La arquitectura y el aire: ventilación natural. *Tectónica Nº 35 Ventilación. Cuatrimestral*. Mayo .



ARBOLEDA, G. (29 de Mayo de 2006). *¿Que es la Arquitectura Vernácula?* Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de Berkeley, CA: Etnoarquitectura.com:

<http://www.etnoarquitectura.org/web/articulos/articulo/498>

ARQUITECTURA. VILSSA. (2013). *La casa tradicional japonesa. Arquitectura vernácula japonesa.* Recuperado el 28 de Junio de 2013, de Construcción. Vilssa:

<http://www.construccion-y-reformas.vilssa.com/articulos/la-casa-tradicional-japonesa>

BAHAMÓN, A., & ÁLVAREZ, A. M. (2009). *Palafito. De Arquitectura Vernácula a Contemporánea.* Barcelona: Parramón Ediciones, S.A. ISBN: 978-84-342-3361-4.

BAÑO NIEVA, A. (2003). *La arquitectura bioclimática: términos nuevos, conceptos antiguos. Introducción al diseño de espacios desde la óptica medioambiental.* Madrid: Departamento de Arquitectura de la Universidad de Alcalá de Henares.

BAÑO NIEVA, A., & VIGIL-ESCALERA DEL POZO, A. (2005). *Guía de construcción sostenible.* Madrid: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).

BEHLING, S., BEHLING, S., & SCHINDLER, B. (2002). *Sol Power: la evolución de la arquitectura sostenible.* Barcelona: Edición española. Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 968-887-396-9. (Trabajo original publicado 1996).

BRIZ, J. (2004). *Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental (2ª Edición).* Madrid: Grupo Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-182-7.

CASANOVAS, X., & GRAUS, R. (2006). Sobre los valores bioclimáticos en la rehabilitación de la arquitectura tradicional del Mediterráneo. *Medi ambient: Tecnología i cultura, Nº 39* , 78-86.

CEDEÑO VALDIVIEZO, A. (2010). Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura, vol. 12, enero-diciembre. Universidad Católica de Colombia* , 100-110.

CEMEX. (16 de Noviembre de 2012). *La inercia térmica del hormigón ahorra hasta un 69 por ciento en climatización.* Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de Hormigón especial. Innovación en hormigón: <http://www.hormigonespecial.com/nota/La-inercia-termica-del-hormigon-ahorra-hasta-un-69-por-ciento-en-climatizacion-59.html>





CORTÉS PEDROSA, J. (2013). La arquitectura popular como modelo de edificación sostenible. El ejemplo de Tierra de Campos. *Observatorio Medioambiental*, vol. 16. *Universidad Complutense Madrid* , 185-206.

DE GARRIDO TALAVERA, L. (2012). *Un nuevo paradigma en arquitectura*. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones. ISBN: 978-84-15223-75-7.

DE SANTIAGO RODRÍGUEZ, E., GONZÁLEZ GONZÁLEZ, F. J., & PÉREZ MUINELO, A. (10 de Julio de 2007). *Habitar entre la tradición y la vanguardia. Arquitectura sostenible para el siglo XXI*. (C. d. Comunicación-UNAM, Editor) Recuperado el 23 de Marzo de 2013, de Revista Digital Universitaria, Volumen 8 Número 7:  
<http://www.revista.unam.mx/vol.8/num7/art53/int53.htm>

DE SANTOS MARIÁN, D., MONERCILLO DELGADO, B., & GARCÍA MARTÍNEZ, A. (2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición (2ª Edición)*. Madrid: Tornapunta Ediciones, S.L.U. ISBN: 978-84-15205-28-9.

DUQUE, K. (4 de Junio de 2013). *Clásicos de Arquitectura: Instituto del Mundo Árabe / Jean Nouvel*. Recuperado el 28 de Mayo de 2014, de ArchDaily:  
<http://www.archdaily.mx/229936>

Ecole d'Avignon, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Ecole des arts et métiers traditionnels de Tétouan. (2002). *Arquitectura tradicional mediterránea*. Barcelona: Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona. ISBN: 84-87104-53-3.

*Edificio Transoceánica, el primero en obtener la certificación LEED Gold en Chile*. (23 de Octubre de 2012). Recuperado el 29 de Mayo de 2014, de ABILIA. Conciencia sustentable: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/edificio-transoceanica-el-primero-en-obtener-la-certificacion-leed-gold-en-chile/>

EDWARDS, B., & HYETT, P. (2004). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 84-252-1951-5.

Eficiencia energética utilizando hormigón. (2008). *Cemento Hormigón*. Nº 911. Febrero , 74-79.



EL-SHORBAGY, A. M. (17 de Enero de 2012). *The Tradition Today: Windcatcher (Malqaf) in Islamic-Arab World -Part 3*. Recuperado el 2 de Julio de 2014, de Architecture Knoji: <http://architecture.knoji.com/the-tradition-today-windcatcher-malqaf-in-islamic-arab-world-part-3/>

ESCAN, S.A. (2006). *Guía Técnica de Iluminación Eficiente. Sector Residencial y Terciario*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.

ESTÉVEZ MALVAR, M., MARTÍNEZ MARTÍNEZ, S., ANGUITA ALEGRET, G., & ROJO ALBORECA, A. (2013). Costes de certificación FSC de la gestión forestal en España. 6º *Congreso Forestal Español* (págs. 1-13). Pontevedra: Sociedad Española de Ciencias Forestales. ISBN: 978-84-937964-9-5.

*Faena Aleph: Foster + Partners completa su primer proyecto en Sudamérica*. (2 de Febrero de 2013). Recuperado el 28 de Mayo de 2014, de Plataforma Arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/?p=231645>

FARFAN, P. (2009a). *Construcción en madera en clima subtropical (16 de Julio de 2009)*. Recuperado el 11 de Julio de 2013, de Bioclimática Tradicional. Arquitectura popular, soberanía constructiva y autosuficiencia: <http://www.farfanestella.es/bioclimatica/?p=751>

FARFAN, P. (2009b). *Sistemas bioclimáticos y adaptación al medio de la arquitectura palafítica Warao. El Janoco (15 de Octubre de 2009)*. Recuperado el 15 de Julio de 2013, de Bioclimática Tradicional. Arquitectura popular, soberanía constructiva y autosuficiencia: <http://www.farfanestella.es/bioclimatica/?tag=palafito>

FLORES LOPEZ, C. (1973). *Arquitectura popular española*. Madrid: Aguilar S.A. de ediciones. ISBN: 84-03-80001-0.

FOSTER & PARTNERS. (2014). *Proyectos. Lycée Albert Camus, Fréjus. Francia (1991-1993)*. Recuperado el 21 de Junio de 2014, de Foster + Partners: <http://www.fosterandpartners.com/es/projects/lyc%C3%A9e-albert-camus/>

FRAUNHOFER IBP. (6 de Abril de 2011). *Dem Klima angepasst. Bauweisen in verschiedenen Klimazonen*. Recuperado el 3 de Mayo de 2013, de FRAUNHOFER IBP: [http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse\\_und\\_Medien/Presseinformationen/Dem-Klima-angepasst.html](http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse_und_Medien/Presseinformationen/Dem-Klima-angepasst.html)



FUENTES FREIXANET, V. A., & RODRÍGUEZ VIQUEIRA, M. (2004). *Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. ISBN: 970-31-0205-0.

GARCÍA CHAVEZ, J. R., & FUENTES FREIXANET, V. (1985). *Arquitectura Bioclimática y Energía Solar. Viento y Arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.

GARCÍA PARAXO, R. (23 de Octubre de 2013). *Por qué elevar un edificio del suelo evitando el contacto directo con el terreno*. Recuperado el 22 de Mayo de 2014, de Edificae Vilssa: <http://www.construccion-y-reformas.vilssa.com/articulos/ventajas-de-elevar-un-edificio-sobre-el-suelo>

GARCÍA VILLALOBOS, I. (2010a). *Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

GARCÍA VILLALOBOS, I. (2010b). *Las características higrotérmicas de la vegetación en los sistemas de naturación extensiva*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

GERMANTIMBER. (2007). *Madera para la construcción*. Recuperado el 21 de Junio de 2012, de Germantimber: [www.germantimber.com](http://www.germantimber.com)

GERVÁSIO, H. (2010). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas. *Acero Latinoamericano. Universidad de Coimbra*, 18-25.

GILMONT, B., LEROY, C., & VATAVALIS, P. (9 de Enero de 2012). *Sustainability of Aluminium in Buildings*. Recuperado el 20 de Marzo de 2014, de European Aluminium Association: <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/01/Sustainability-of-Aluminium-in-Buildings.pdf>

GONZÁLEZ DÍAZ, M. J. (2004). *Arquitectura sostenible y aprovechamiento solar*. Madrid: S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L. ISBN: 84-86913-11-X.

GUIDONI, E. (1977). *Arquitectura primitiva*. Madrid: Edición española. Aguilar S.A. de ediciones. ISBN: 84-03-33034-0. (Trabajo original publicado 1975).



HARDY, L., & GARRIDO, A. (2010). *Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España. Papeles de agua virtual (Número 6)*. Madrid: Fundación Marcelino Botín. ISBN: 978-84-96655-78-2 .

HERNÁNDEZ MORENO, S., & DELGADO HERNÁNDEZ, D. (2010). Manejo sustentable del sitio en proyectos de arquitectura; criterios y estrategias de diseño. *Quivera, vol. 12, núm. 1. Universidad Autónoma del Estado de México* , 38-51.

HEVIA GARCÍA, G. (24 de Septiembre de 2012). *La globalización de la arquitectura y la consecuente homogeneización de la forma*. Recuperado el 21 de Marzo de 2013, de Plataforma arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2012/09/24/opinion-la-globalizacion-de-la-arquitectura-y-la-consecuente-homogeneizacion-de-la-forma/>

HOLZLEHNER, T. (18 de Marzo de 2013). *Coastal Vernacular Architecture. "Living inside the Belly of the Beast"*. Recuperado el 27 de Abril de 2013, de Far Eastern Borderlands. Informal Networks and Space at the Margins of the Russian State: <https://sites.google.com/a/alaska.edu/far-eastern-borderlands/home/chukotka/coastal-vernacular-architecture>

Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica. (2008). *Cemento Hormigón. Nº 911. Febrero* , 55-70.

HUERTA, S., MARÍN SÁNCHEZ, R., SOLER VERDÚ, R., & ZARAGOZÁ CATALÁN, A. (2009). *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción (Valencia, 21-24 de Octubre de 2009), Volumen I*. Madrid: Instituto Juan Herrera. ISBN: 978-84-9728-315-1.

ICARO COLEGIO TERRITORIAL DE ARQUITECTOS DE VALENCIA. (2007). *Hacia una arquitectura sostenible 2: más allá de lo formal*. Valencia: Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia. ISBN: 978-84-86828-73-8.

ICARO COLEGIO TERRITORIAL DE ARQUITECTOS DE VALENCIA. (2005). *Hacia una arquitectura sostenible: en busca de un sentido común*. Valencia: Icaro Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia. ISBN: 84-86828-62-7.



- ICOPAL. (2014). *Guía de las soluciones de impermeabilización para la construcción sostenible*. Recuperado el 6 de Junio de 2014, de Icopal. Siplast: <http://www.icopal.es/sistemas-de-impermeabilizacion/catalogos/>
- KUMAR MEHTA, P. (2001). Reducing the Environmental Impact of Concrete. Concrete can be durable and environmentally friendly. *Concrete International*. October , 61-66.
- LAFARGE. (2013). Inercia térmica en edificación. *Efficient Building System*. Marzo , 2-14.
- MARTÍN-CONSUEGRA ÁVILA, F. (2008). *Proyecto Reconsost. Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas. Aplicación de Nuevas Tecnologías para la Rehabilitación Sostenible de Edificios*. Recuperado el 21 de Mayo de 2014, de Q-ener: <http://www.q-ener.com/pdf/RECONSOST.pdf>
- MAZRIA, E. (1983). *The Passive Solar Energy Book (El libro de la energía solar pasiva)*. México: Edición española. Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 968-6085-76-9. (Trabajo original publicado 1979).
- MERINO, L. (10 de Octubre de 2012). *Un solo aerogenerador para abastecer a 6.000 hogares*. Recuperado el 31 de Enero de 2014, de Energías renovables. El periodismo de las energías limpias: <http://www.energias-renovables.com/articulo/un-solo-aerogenerador-para-abastecer-a-6-20121010>
- MINKE, G. (2005). *Techos verdes. Planificación, ejecución y consejos prácticos*. Teruel: Ediciones EcoHabitar. ISBN: 84-609-4431-X. (Trabajo original publicado 2000).
- MOSQUEIRA VIDAL, A. (2003). Revestimiento de Fachadas en Madera. *Revista del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia*. Nº 11. 2º Semestre , 6-16.
- NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2011a). *Casas de turba. Arquitectura Popular Islandesa: Ingebook (7 de Mayo de 2011)*. Recuperado el 18 de Junio de 2012, de Ingebook: [http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB\\_Posts?cod\\_primaria=1000208&cod\\_post=29](http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_Posts?cod_primaria=1000208&cod_post=29)
- NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2003). *El clima y los invariantes bioclimáticos en la arquitectura popular (2ª ed., Vols. 1-4)*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. ISBN: 84-9728-024-5.



NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2011b). *La sostenibilidad de la arquitectura vernácula de la isla de Santorini y sus cualidades bioclimáticas (3 de Septiembre de 2011)*. Recuperado el 15 de Mayo de 2013, de Sostenibilidad de Javier Neila:

<http://sostenibilidadjavierneila.blogspot.com.es/2011/09/la-sostenibilidad-de-la-arquitectura.html>

NEILA GONZÁLEZ, F. J., & ACHA ROMÁN, C. (2009). *Arquitectura bioclimática y construcción sostenible*. Pamplona: DAPP, Publicaciones Jurídicas, S.L. ISBN: 978-84-92507-16-0.

NEILA GONZÁLEZ, F. J., & BEDOYA FRUTOS, C. (1997). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*. Madrid: Munilla-Lería. ISBN: 84-89150-20-6.

OCHOA DE LA TORRE, J. M. (2009). *Ciudad, vegetación e impacto climático: el confort en los espacios urbanos*. Barcelona: Erasmus Ediciones. ISBN: 978-84-936972-3-5.

OLGYAY, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 84-252-1488-2.

OLIVER VILLANUEVA, J. V., ABIÁN PÉREZ, M. Á., MARTÍNEZ RUÍZ, G., & CRESPO NAVARRO, E. (2010). *Guía de revestimientos interiores y exteriores de madera*. Valencia: ASEMAD. Asociación Valenciana de Empresarios de Carpintería y Afines. ISBN: 978-84-95077-36-3.

PABLO VIDAL, ARQUITECTOS. (19 de Enero de 2011). *Arquitectura Popular como ejemplo de Arquitectura Sostenible*. Recuperado el 23 de Julio de 2012, de <http://www.arquitectura-bioclimatica.net/aprende/arquitectura-popular-arquitectura-sostenible/>

PARICIO ANSUATEGUI, I. (1998). *La protección solar*. Barcelona: Bisagra. ISBN: 84-923125-3-X.

PASCUAL BERGHAENEL, R. (2011). Hombre, Clima y montaña. *Revista digital RAM (3ª etapa)*, nº 41 , 1-21.



- PERIAGO CARRETERO, F., TORNERO FRANCO, J., & PÉREZ NAVARRO, J. (2008). *Guía de materiales para una construcción sostenible*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia. ISBN: 978-84-89882-36-2.
- PIEDECAUSA GARCÍA, B. (2009). La vivienda enterrada: estudio de su evolución tipológica y adaptación geográfica. *Investigaciones Geográficas*, nº 50 , 169-189.
- PITA ABAD, C., QUINTÁNS EIRAS, C., & PRIETO GONZÁLEZ, N. (2009). Estructura de troncos. *Arquitectura y Madera*. Noviembre , 1-17.
- PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (1 de Agosto de 2007). Resumen de Prensa. América Latina y el Caribe. *Unidad de Comunicaciones e Información Pública*. Oficina Regional del PNUMA en Panamá , págs. 1-10.
- PORRAS SALAZAR, J. A., & TENORIO MONGE, R. (2010). Materiales ecológicos: ni tan fáciles de identificar, ni tan fáciles de utilizar. *Ingeniería: Revista de la Universidad de Costa Rica* , 20 (1-2), 197-200.
- REIXACH GELABERT, A. (14 de Marzo de 2012). *Uso de espacios invernadero en arquitectura*. Recuperado el 30 de Mayo de 2013, de UNAUS:  
<http://unaus.eu/index.php/blog/32-uso-de-espacios-invernadero-en-arquitectura>
- REY MAZÓN, P. (2010). La reutilización es el autostop de la arquitectura. *Caja de Herramientas*. Sevilla .
- REYES, C., BARAONA POHL, E., & PIRILLO, C. (2007). *Arquitectura sostenible*. Valencia: Editorial Pencil, S.L. ISBN: 978-84-935145-3-2.
- ROCHA TAMAYO, E. (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. *Nodo Nº 11, Vol. 6, Julio-Diciembre* , 99-116.
- RODRÍGUEZ, N. (2007). La construcción ligera. Invenciones en la arquitectura primogénita. *Tecnología y Construcción [online]* , vol. 23, n. 3, 9-20. ISSN: 0798-9601.
- RODRÍGUEZ, Y. (8 de Abril de 2011). *Arquitectura vernácula*. Recuperado el 18 de Julio de 2013, de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/24501431/Vernacula>



SÁNCHEZ-MONTAÑÉS MACÍAS, B. A. (2007). Estrategias medioambientales de la arquitectura vernácula como fundamento de sostenibilidad futura. Necesidad de la aplicación de los principios científicos de la arquitectura. *Congreso internacional sobre arquitectura vernácula* (págs. 406-414). Sevilla: Universidad Pablo de Olavide.

SERRA FLORENSA, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 84-252-1767-9.

SERRA FLORENSA, R. (1989). *Clima, lugar y arquitectura*. Madrid: Secretaría General Técnica del CIEMAT. ISBN: 84-7834-016-5.

SERRA FLORENSA, R., & COCH ROURA, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, S.L. ISBN: 84-7653-505-8.

SHULMAN, G. (06 de Agosto de 2003). *Arquitectura vernácula*. Recuperado el 17 de Octubre de 2013, de Revista ambiente: <http://www.revista-ambiente.com.ar/imagenes/06-08-03/arq.pdf>

SZOKOLAY, S. V. (2004). *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*. Oxford: Elsevier. Architectural Press. ISBN: 0-7506-58495.

TAREB. (2004). *Arquitectura de bajo consumo energético. Capítulo 2: integración en edificios*. Recuperado el 30 de Agosto de 2014, de LEARN, Low Energy Architecture Research Unit: [http://www.new-learn.info/packages/tareb/es/index\\_lea.html](http://www.new-learn.info/packages/tareb/es/index_lea.html)

TORRES ZARATE, G. (2009). Arquitectura vernácula, fundamento en la enseñanza de sustentabilidad. *XXIII Conferencia Latinoamericana de Escuelas y Facultades de Arquitectura* (págs. 1-14). Buenos Aires: Facultad de Arquitectura, Diseño, Arte y Urbanismo (Universidad de Moron).

UGARTE, J. (s.f.). *Guía de Arquitectura Bioclimática. Construir en países cálidos*. Recuperado el 15 de Abril de 2014, de Instituto de Arquitectura Tropical. Fundación Príncipe Claus para la Cultura y el Desarrollo. Costa Rica: <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/GUIABIOCLIMATICACONSTRUIRCLIMACALIDO.pdf>





VALERO ROGER, F. (2013). Influencia climatológica en el proceso edificatorio en países europeos. *Proyecto Final. Máster en Edificación (especialidad Gestión)*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación.

VÁZQUEZ ESPÍ, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la Construcción*, vol. 52, nº 471, 53-66.

VNORTE. (8 de Noviembre de 2012). *Tétrarc Architectes-Boreal, Casas Invernaderos*. Recuperado el 5 de Junio de 2014, de VNorte. Construcciones-Rehabilitaciones: <http://vnorte.wordpress.com/2012/11/08/tetrarc-architectes-boreal-casas-invernaderos/>

YÁÑEZ PARAREDA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, métodos y ejemplos*. Madrid: Munilla-Lería. ISBN: 978-84-89150-81-2.

YEANG, K. (1999). *Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 84-252-1763-6.

ZEBALLOS, C. (14 de Octubre de 2007). *Emilio Ambasz. Acros, Fukuoka*. Recuperado el 30 de Julio de 2014, de Moleskine Arquitectónico: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com.es/2007/10/emilio-ambasz-arquitectura-con.html>

ZULETA, G. (9 de Febrero de 2011). *La primera vivienda pasiva de España*. Recuperado el 17 de Abril de 2014, de Plataforma Arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/?p=74385>

Милов, Л. В. (1998). *Великорусский пахарь и особенности российского исторического процесса*. Recuperado el 4 de Mayo de 2013, de <http://www.vadim-blin.narod.ru/milov/1-09och.htm>