

Sistemes bioclimàtics en la rehabilitació d'edificis plurifamiliars

Bioclimatic systems in the rehabilitation of multi-family buildings

Martínez-Bautista, Judit

(Universitat de Girona, Espanya) juditmartinez44@gmail.com

Abstract

Bioclimatic architecture is a relatively new concept that is based on the knowledge acquired by traditional architecture and aims to reduce energy consumption and improve user comfort, using natural resources: sun, air, water, and vegetation. The research focuses on simulating the energy efficiency improvements that occur when bioclimatic systems are introduced in existing buildings for their rehabilitation. The HULC program simulates the initial energy state of three multifamily buildings built before 1979 in Girona. In these case studies, the repercussion of the different systems as well as the economic cost are analysed based on the data and simulations. The results obtained highlight the importance of considering natural phenomena and the environment, while affirming that bioclimatic systems are an energetically and economically viable option for the rehabilitation of existing buildings.

Keywords: *Bioclimatic architecture, Rehabilitation, Energy demand, Power consumption, Comfort.*

Resum

L'arquitectura bioclimàtica és un concepte relativament nou que es basa en els coneixements adquirits per l'arquitectura tradicional, i té l'objectiu de reduir el consum energètic i millorar el confort dels usuaris a través de l'aprofitament dels recursos naturals: sol, aire, aigua i vegetació. La investigació es centra a simular les millores d'eficiència energètica que es produeixen en introduir els sistemes bioclimàtics en edificis existents per a la seva rehabilitació. Amb el programa HULC es simula l'estat inicial energètic de tres edificis plurifamiliars construïts abans del 1979 a Girona. En aquests casos d'estudi, s'analitza la repercussió dels diferents sistemes així com el cost econòmic. Els resultats obtinguts remarquen la importància de tenir presents els fenòmens naturals i l'entorn, a la vegada que afirmen que els sistemes bioclimàtics són una opció energèticament i econòmicament viable per a la rehabilitació dels edificis existents.

Paraules clau: *Arquitectura bioclimàtica, Rehabilitació, Demanda energètica, Consum energètic, Confort.*

Introducció

El treball neix amb la inquietud d'estudiar les possibilitats d'introduir els sistemes bioclimàtics en edificis ja existents, on l'orientació i la forma ja està establerta. Tant Espanya com Catalunya, disposen d'un parc d'edificis plurifamiliars molt antic que no compleix amb els objectius de sostenibilitat que determina actualment la Unió Europea (UE), ja que en el moment de la construcció no existien aquestes preocupacions. Avui dia s'estan treballant les possibilitats que existeixen per actualitzar aquests edificis, per tal de complir amb els propòsits d'eficiència energètica.

L'objectiu principal del present treball és estudiar els diferents sistemes bioclimàtics i analitzar, a través d'edificis plurifamiliars existents, les millores energètiques que aporta cadascun si s'incorpora en la rehabilitació, per tal de poder demostrar que són una oportunitat per la recuperació i millora dels edificis antics.

Es parteix dels següents objectius: estudiar quins sistemes bioclimàtics tenen millor rendiment segons la tipologia d'edifici plurifamiliar a rehabilitar, observar com s'incorporen i quins efectes té l'obra en els usuaris de l'edifici, i analitzar, mitjançant simulacions amb HULC, la millora de l'eficiència energètica, el confort de l'usuari i el cost que suposa la intervenció.

1. Metodologia

El treball es compon de dues parts, la primera més teòrica, que consisteix en la recerca d'informació a partir de llibres sobre arquitectura bioclimàtica i articles relacionats amb projectes actuals i casos d'estudi. I la segona part, que es desenvolupa a partir d'un cas pràctic.

En primer lloc, s'ha realitzat una recerca sobre el concepte d'arquitectura bioclimàtica, el confort en els usuaris, i l'estat actual de la rehabilitació d'edificis plurifamiliars amb sistemes bioclimàtics, amb la finalitat de comprendre l'objectiu i els criteris d'aquest tipus d'arquitectura.

S'executa una segona recerca que es focalitza en els sistemes bioclimàtics de l'arquitectura, i es classifiquen segons l'element natural que predomina en el seu funcionament, obtenint les següents categories: els sistemes solars (sol), sistemes de ventilació (aire), sistemes d'aigua i sistemes vegetals. A partir d'aquesta classificació, es duu a terme una selecció per descartar els sistemes que no són òptims d'aplicar en la rehabilitació d'edificis, estudiant l'impacte de l'obra en l'edifici existent, en l'usuari que l'habita i l'adequació del sistema amb el clima mediterrani.

El cas pràctic es desenvolupa a través de tres edificis plurifamiliars, de tipologies diferents, construïts a la ciutat de Girona abans del 1979. El primer és l'edifici "El Bolet", que es desenvolupa en format de "torre"; el segon és l'edifici d'habitatges de protecció oficial de Portal Nou de tipologia "pastilla horitzontal"; i l'últim, els habitatges del carrer de La Barca, que es caracteritzen per trobar-se entre mitgeres. En cadascuna d'aquestes tipologies, l'habitatge individual té una relació diferent amb l'exterior i l'orientació: trilateral, unilateral o bilateral (Fig.1).

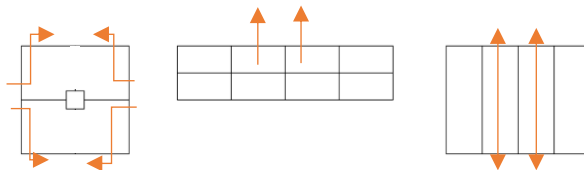


Fig.1 Tipologia dels habitatges el Bolet, habitatges socials Portal Nou i habitatges La Barca. Font pròpia.

A partir de la documentació gràfica i escrita consultada a l'Arxiu Municipal de Girona, sobre cadascun d'aquests projectes, i de l'eina unificada Lider-Calender (HULC), es farà l'estudi energètic de les tres edificacions per trobar el nivell d'eficiència energètica i de consum en el qual es troben avui dia. Seguidament, partint d'aquest primer estudi, s'introduiran els diferents sistemes bioclimàtics i s'analitzarà quina és la influència i el rendiment de cadascun, depenent de la tipologia dels habitatges.

Finalment, es farà una comparativa dels resultats obtinguts amb el HULC: demanda de calefacció, demanda de refrigeració, consum d'energia anual, emissions de CO₂, protecció solar i transmitància tèrmica, per tal de determinar la millora de l'eficiència energètica, així com el confort, el cost i l'afectació de l'obra als usuaris de cadascun d'aquests sistemes.

2. Marc teòric i antecedents

Fonaments de l'arquitectura bioclimàtica

L'arquitectura bioclimàtica s'entén com la forma de projectar i construir edificis sostenibles aprofitant les condicions climàtiques i els recursos naturals disponibles, amb l'objectiu de disminuir l'impacte ambiental, reduir el consum energètic, i millorar el confort de l'usuari.

Aquesta arquitectura adapta el disseny, la geometria, l'orientació i la construcció de l'edifici a les condicions climàtiques del seu entorn, per controlar, en tot moment, els paràmetres de temperatura i humitat a l'interior, fins al punt d'aconseguir una climatització i ventilació natural, òptima a nivells de confort higrotèrmic. Els criteris utilitzats són: l'emplaçament i l'orientació, l'envolvent de l'edifici, la captació i dissipació de la calor, els sistemes de control solar, la ventilació, la il·luminació natural i els sistemes de regulació i control. (Peters, 2005)

Tot i que el concepte d'arquitectura bioclimàtica sigui relativament nou, aquest es basa en els coneixements adquirits per l'arquitectura tradicional, ja que les tècniques populars s'han preocupat, des del seu origen, per l'adequació amb el clima i amb l'entorn. És a dir, que el concepte actual prové de l'evolució tecnològica de l'arquitectura tradicional, com diu Beatriz Garzón, *"la buena arquitectura ha sido siempre bioclimática"*. (Garzón 2007)

Confort

La introducció dels sistemes bioclimàtics té com a objectiu, entre d'altres, la millora del confort de les persones. Segons el diccionari de la llengua catalana DIEC, el confort es defineix com *"absència de tot allò que pot construir una molèstia o una incomoditat material. Disposició de les coses adreçada a fornir un major benestar"*. Per tant, el confort s'associa amb la sensació de benestar, salut i comoditat que sent un individu en un ambient on no s'aprecien molèsties que l'afectin físicament o mentalment. A l'arquitectura, s'aconsegueix mitjançant el control dels paràmetres relatius a la temperatura, llum, humitat, olor, velocitat de l'aire i nivell de soroll. Classificant-se en tres classes de confort: el confort visual, el tèrmic i l'acústic.

Tot i que l'arquitectura bioclimàtica incideix en els tres, durant la història s'ha estudiat amb més profunditat el confort tèrmic. Els germans Olgyay van ser els primers en profunditzar en el tema i parlar dels conceptes de confort tèrmic i zona de confort. Van establir que el confort tèrmic no es podia estimar únicament amb la temperatura de confort, sinó que intervenien altres factors que es representen en el seu diagrama bioclimàtic (Fig.2). El diagrama es basa en dos variables fonamentals, la temperatura seca de l'aire i la humitat relativa, i altres de modificadors, com la velocitat del vent, la radiació i l'evaporació. (Rodríguez Viqueira 2001)

Posteriorment, Baruch Givoni parteix del diagrama psicomètric amb les variables comunes, temperatura seca i humitat relativa i, estableix les condicions de confort a partir de l'índex de pressió tèrmica, el qual proporciona el grau de sudoració requerit segons el metabolisme i l'ambient, creant el diagrama de Givoni, molt utilitzat en l'actualitat. En aquest es distingeixen diverses zones, una primera regió de confort tèrmic delimitat únicament per la temperatura seca i la humitat relativa, i una zona més ampliada de confort afectada per altres factors de l'ambient (Fig. 3). (Izard 1980)

Finalment, basant-se en els estudis de B. Givoni, dos investigadors del Centre d'investigacions Bioclimàtiques d'Estrasburg, Vogt i Miller-Chagas, estableixen les set condicions base¹ a complir que es tradueixen en un diagrama psicomètric amb els eixos invertits. La zona de confort està delimitada per 2 límits fixes, la pressió de vapor mínima i la corba d'humitat relativa al 80% i, tres límits variables, la temperatura mínima i màxima per mantenir el bon funcionament del metabolisme, i el límit de la humitat ambiental per tal d'evitar la sudoració. (Izard 1980)

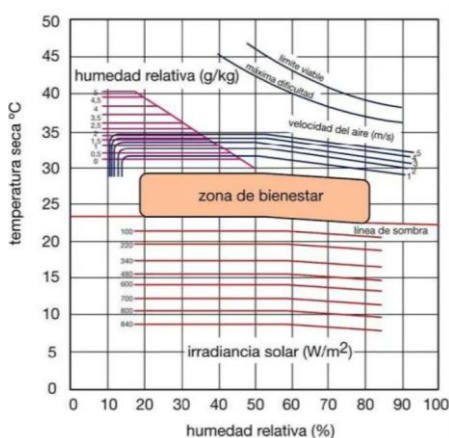


Fig. 2 Diagrama Olgay. Font: Hernández (2014)

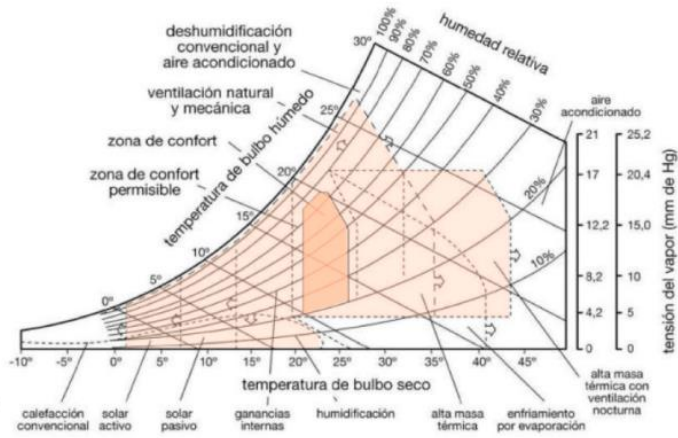


Fig. 3 Diagrama de Givoni. Font: Hernández (2014)

Actualment, la normativa segueix un criteri basat en els estudis mencionats. Segons la norma ISO 7730:2006, el confort depèn de paràmetres externs: la temperatura, la velocitat de l'aire i la humitat, com deien els germans Olgay, i de paràmetres relatius: l'activitat física, el metabolisme i la quantitat de roba. Per tant, per complir amb el confort que regeix la normativa, s'haurien d'assegurar els valors següents: temperatura ambient entre 18 i 26°C, velocitat de l'aire de 0 a 2 m/s, i humitat relativa del 50% al 65%; valors que apareixen en els diagrames, però ocupen un rang més petit del que es mostra com a zona confortable en els diagrames bioclimàtics.

Més enllà del confort tèrmic, l'arquitectura bioclimàtica té com a objectiu obtenir confort visual i acústic. El primer s'aconsegueix amb l'aportació de la qualitat i quantitat de llum necessària per tal de poder dur a terme una activitat concreta i evitant situacions extremes, és a dir, enlluernaments o falta de llum. I el segon, l'ambient acústicament satisfactori es defineix com aquell en el qual el caràcter i magnitud de tots els sons són compatibles amb l'ús oportú de l'espai, amb el propòsit d'utilitzar-lo. (Callender 1971)

¹ Set condicions bases: (1) Realització de la condició d'homeotèrmia central (equilibri de la temperatura del cos). (2) Temperatura cutània mitjana de 33°C. (3) Sudoració màxima de 100g/h. (4) Realització de la condició de dessecació cutània (pell seca). (5) Manteniment del metabolisme. (6) No dessecació de les mucoses de la boca i col, la pressió parcial del vapor ha de ser major a 10mm Hg. (7) La humitat relativa de l'ambient interior no ha de sobrepassar del 75- l'ambient acústicament satisfactori es defineix com aquell en el qual el caràcter i magnitud de tots els sons són compatibles amb l'ús satisfactori de l'espai, amb el propòsit d'utilitzar-lo 80%.

Rehabilitació amb sistemes bioclimàtics i exemples representatius

En els últims anys, la rehabilitació d'edificis ha guanyat terreny en l'àmbit de la construcció a Espanya, gràcies, en part, al Decret 106/2018, que regula "el Plan Estatal de Vivienda 2018-2021" i dona importància a la conservació de les edificacions, al seu consum energètic i a la sostenibilitat. Tanmateix, ens trobem en un moment on el Código Técnico de la Edificación (CTE) incorpora, constantment, actualitzacions cada vegada més exigents per tal d'assegurar unes construccions de més qualitat, amb més confort i més sostenibles per adequar-se als Objectius de Desenvolupament Sostenibles 2030 (ODS 2030). (Almenar Muñoz, 2019)

No obstant, la primera normativa espanyola que feia referència a l'eficiència energètica, la Norma Básica de la Edificación (NBE CT-79), data del 1979, i no va entrar en obligatori compliment fins al 1981. Per tant, hi ha un gran parc d'edificis que van ser construïts sense tenir en compte cap paràmetre d'eficiència i amb una despesa energètica en climatització molt llunyana als valors que es busquen actualment, per poder assolir el confort desitjat. A més, la norma establia uns valors que disten molt dels exigits per la norma actual. És per aquest motiu que cal donar importància a la introducció de criteris d'eficiència energètica a la rehabilitació, com per exemple, amb l'aplicació de les tècniques de l'arquitectura bioclimàtica. (Corral Alaejos, 2019)

L'arquitectura bioclimàtica té com a objectiu revertir aquesta situació de demanda energètica elevada, incorporant sistemes que la redueixin i augmentin el confort. Aquests elements són sistemes passius, per tant, no requereixen energia per funcionar. Els més habituals en els casos de rehabilitació són: les proteccions solars, el sistema d'aïllament tèrmic exterior (SATE) i el canvi de les fusteries per unes amb menys filtracions.

L'interès per la introducció d'aquestes tècniques en la rehabilitació està augmentant significativament; tot i això, és inferior al de les energies renovables. Tanmateix, està agafant molta importància i ja hi ha exemples de projectes amb diversos premis, i més important, amb resultats d'estalvi energètic i millora de confort molt positius.

Transformació de la torre d'habitatges Bois-le-Prête a París, Lacaton & Vassal

Anne Lacaton i Jean-Philippe Vassal són dos arquitectes francesos que van ser reconeguts amb el premi Pritzker 2019 per realitzar una arquitectura capaç de resoldre grans problemes energètics i socials. La torre d'habitatges a París és un dels seus exemples de rehabilitació d'edifici plurifamiliar utilitzant criteris bioclimàtics.

L'edifici es va construir entre el 1958 i el 1961, i consta de 50m d'alçada, amb 16 plantes i 96 habitatges. Constructivament, està compost d'una estructura de formigó prefabricada i murs de tancament amb grans obertures i balcons, que van ser eliminats amb la rehabilitació dels anys noranta, deixant els pisos amb petites finestres i privant-los dels balcons.

L'any 2006, Lacaton i Vassal guanyen el concurs per rehabilitar la torre amb una proposta de millora de qualitat dels habitatges mitjançant uns *jardins d'hiver*², amb un balcó corregut obert a l'aire lliure que funciona com hivernacle. Aquests són uns mòduls prefabricats i independents que s'afegeixen a la façana per fases, de manera que s'evita el desallotjament de l'edifici (Fig.4).

En qüestions bioclimàtiques, la doble pell proporciona una gestió autònoma del control solar a través de les cortines i panells mòbils que disposa. A més, el *jardin d'hiver* s'escalfa naturalment pel sol, reduint la demanda de calefacció a l'interior, ja que els panells exteriors faciliten la

² Galeria o terrassa d'hivern

conservació de la calor a l'hivern i permeten la ventilació a l'estiu, assegurant així el confort en totes les èpoques de l'any. Finalment, les grans obertures proporcionen una gran il·luminació interior que es pot graduar mitjançant l'ús de les cortines reflectants, que eviten el 95% de la radiació solar, reduint al màxim el consum d'energia elèctrica. (Martín Acosta, 2015)

Lacaton & Vassal diuen, respecte el projecte que *“La construcció de estos conjuntos residenciales permitió transformar las condiciones de habitabilidad de miles de personas, pasando de estados insalubres a modos de vida digna. 40 años más tarde, la dignidad no debe ser un máximo. La vivienda debe tener como objetivo proporcionar el placer de habitar, facilitar de forma simple la correspondència con las necesidades sociales y familiares contemporáneas”*. (Martín Acosta, 2015)



Fig. 4 Aplicació constructiva i de projecte de la intervenció. Font: Martín Acosta (2015) i Druot, Lacaton et Vassal (2005)

Renove Manteras, Madrid, Estudio Bher Arquitectos

Renove Manteras és un altre exemple de rehabilitació d'un edifici plurifamiliar de la dècada dels seixanta, que redueix la demanda energètica amb la implantació de dos sistemes bioclimàtics, sense canviar les fusteries. En primer lloc, s'incorpora una segona façana lleugera, composta per un sistema de protecció solar que protegeix de la radiació a l'estiu, i s'obre al sol i l'escalfor a l'hivern, reduint així la demanda de calefacció i, sobretot de refrigeració. El segon i últim sistema, consisteix a recobrir tot l'envolvent amb aïllament tèrmic. En el cas de les façanes es realitza un SATE de 8cm i, a la coberta, s'introdueixen 10cm d'aïllament XPS sota les teules (Fig.5). (Construible, 2019)



Fig. 5 Imatge prèvia i posterior a la rehabilitació. Font: Bher Arquitectos (2018)

Els dos projectes demostren com l'aplicació de l'arquitectura bioclimàtica a les obres de rehabilitació és una opció realista, viable i amb grans resultats (Taula 1).

Projecte i arquitecte	Sistemes bioclimàtics	Millora energètica	Millors confort	Cost intervenció	Efectes d'obra als usuaris
Torre Bois-le-Prête, Lacaton & Vassal	Pr. Solar i hivernacle	+50%	Lumínic, tèrmic i acústic	100.000 €/hab	No desallotjament
Renove Manoteras, Bher Arquitectos	SATE i Pr. Solar	40-45%	Lumínic i tèrmic	12.308 €/hab	No desallotjament

Taula 1. Comparativa dels dos projectes. Elaboració pròpia. Font dades: (Martín Acosta, 2015) i (Construible, 2019)

Classificació i descripció dels sistemes bioclimàtics

Els sistemes bioclimàtics són tots aquells elements que s'introdueixen en les edificacions per tal d'adaptar-se al clima i a l'entorn, per obtenir el màxim aprofitament dels recursos naturals. Aquests es poden separar per passius, si no és necessària la intervenció de cap font d'energia pel seu funcionament, o actius, si per contra, si que requereixen d'energia. Aquest estudi es centra en els primers, els sistemes passius, classificats segons l'element natural, és a dir, sistemes que es basen en el sol, en l'aire, en l'aigua o en la vegetació.

Sistemes sol

El sol és molt present en el nostre clima i presenta dos components importants pel confort, el component tèrmic i el lumínic. Per tant, en el moment d'incorporar els sistemes bioclimàtics, s'ha d'aconseguir un equilibri entre els dos factors.

A més, al clima mediterrani, el sol té un impacte molt distintiu entre l'hivern i l'estiu. A l'hivern ens preocupa captar fins l'últim raig solar per tal de reduir el consum de calefacció i d'il·luminació. A l'estiu l'amoïnament és el contrari, evitar al màxim la radiació per reduir el consum de refrigeració. Per aquest motiu, se separen els sistemes solars en sistemes de captació o de protecció.

Una possible classificació de les estratègies de captació es basa en la forma com es realitza: directa, si l'energia penetra directament a l'interior de l'edifici, o retardada, si l'energia arriba a l'interior en un temps prolongadament posterior a la radiació contra l'exterior. A més, es subdivideixen segons si intervé la convecció i/o l'acumulació (Fig.6). (González y Román 2009)

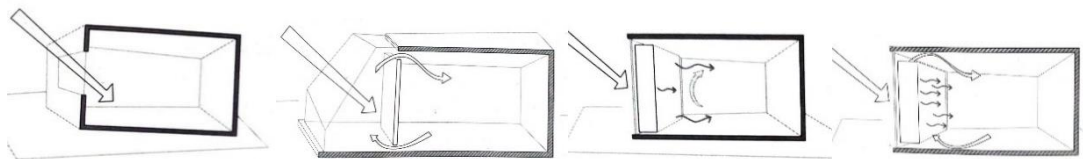


Fig. 6 Diagrames: captació directa, directa amb convecció, retardada per acumulació i directa amb acumulació i convecció. Font: González y Román (2009)

Pel que fa als sistemes de protecció, es classifiquen segons la seva posició respecte a la façana, ja que no deixen de ser elements arquitectònics que juguen amb les obertures per protegir-se o deixar passar la radiació solar. Aquests poden ser lames horitzontals, verticals, voladissos, gelosies, entre altres elements que generen ombra.

Sistemes aire

El vent és un dels paràmetres més importants a considerar en l'arquitectura, ja sigui per captar-lo, evitar-lo o controlar-lo, i ha estat molt utilitzat com a element de climatització passiva en l'arquitectura tradicional. La ventilació natural no s'obté amb la intervenció d'un dispositiu mecànic, sinó amb la diferència de temperatura i densitat, donant-li així velocitat i pressió al vent.

Si la diferència de temperatura es produeix naturalment per l'orientació de les obertures, s'anomena ventilació directa o creuada, que dependrà de la disposició de les finestres. Per contra, si és provocada, es coneix com a forçada. Aquest fenomen es pot produir a partir de la creació de xemeneies solars, patis hivernacles o torres de vent, on es fa escalfar l'extrem superior perquè l'aire interior circuli cap aquest sentit fins a l'exterior. (Rodríguez Viqueira 2001)

En últim lloc, l'aire també pot regular la temperatura interior sense la necessitat d'entrar a l'edifici, únicament controlant la temperatura de la pell d'aquest. Aquest fenomen es produeix en les façanes ventilades, on part de la calor absorbida per la capa exterior s'elimina per convecció a través de la ventilació de la cambra d'aire. (González y Román 2009)

Sistemes aigua

L'aigua representa tres quartes parts del nostre planeta i es troba en tres estats de matèria diferents. Els processos de pas d'un estat a un altre provoquen canvis de temperatura. És per aquest motiu, que no és estrany que l'arquitectura bioclimàtica tingui en compte l'aigua pel disseny dels edificis.

Les dues formes més comunes d'utilització d'aquest element natural consisteixen en la seva presència en l'exterior o interior per refrigerar a través de la vaporització, o bé la seva acumulació per la generació d'inèrcia tèrmica a l'hivern i radiació de fred a l'estiu. Aquest últim fenomen s'aconsegueix, principalment, amb el sistema de cobertes humides, també conegudes com "roof ponds", on es disposa aigua confinada en recipients o bosses a sobre la coberta. A l'hivern, s'exposa a l'exterior durant el dia, quan l'aigua emmagatzema calor, i durant la nit la transmet a l'interior. En canvi, a l'estiu el funcionament és invers, es refreden durant la nit i radien aquesta temperatura inferior a l'interior durant el dia. Un funcionament climàtic semblant tenen els patis interiors que disposen de basses o fonts d'aigua, ja que l'espai del pati s'escalfa o es refreda, depenent de l'època de l'any, i radia la temperatura a les estances interiors a través de les parets. (Piñeiro Lago 2015)

Per altra banda, quan un cos passa d'estat líquid a gasós, evapora la calor de l'espai, i com a conseqüència, aquest recinte es refreda. És tan així que la vaporització d'1g d'aigua és suficient per disminuir 2,2°C de la temperatura de l'ambient. Aquest procediment es transforma en làmines d'aigua en façanes quan parlem d'arquitectura. Un exemple és el pavelló dels Països Baixos a l'exposició del 1992 a Sevilla, on l'aigua regalimava constantment per unes malles que formaven la façana exterior, i en evaporar-se es refrigerava l'espai d'exposició (Fig.7). (González y Román 2009)

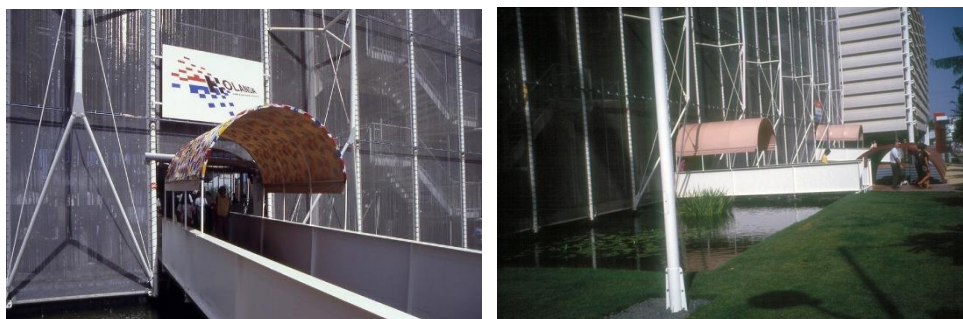


Fig. 7 Façana Pavelló dels Països Baixos. Font: Stefaan & Eric (1992)

Sistemes vegetació

La vegetació té un paper rellevant en la modificació de les condicions climàtiques. A més, té una funció vital per la vida humana, la regeneració de l'oxigen. En aquest procés, la vegetació modifica la humitat de l'aire, ja que per la seva transpiració augmenten els nivells d'humitat i es redueix la temperatura de la zona. A part, actua com aïllant acústic, dosificador de la radiació solar i com a fixador de les partícules de pols i metalls pesants de l'aire. (Rodríguez Viqueira 2001)

Mitjançant el disseny d'elements vegetals és possible crear zones d'alta o baixa pressió al voltant de l'edifici, mètode molt útil en edificis ja construïts on les orientacions existents són desfavorables als vents. L'elecció de la vegetació és clau pel bon funcionament, per exemple, un arbre de fulla caduca aportarà l'ombra necessària a l'estiu sense projectar ombres a l'hivern.

Veient els beneficis de la vegetació s'entén que un dels sistemes més utilitzats per l'arquitectura bioclimàtica sigui la coberta verda. Aquestes tenen un grau d'inèrcia tèrmica elevat, perfecte per l'emmagatzematge d'energia tèrmica. Tanmateix, no només és aplicable en superfícies horitzontals, sinó que la seva pràctica s'estén a la superfície vertical en forma de façanes vegetals.

3. Marc pràctic: aplicació en tres casos reals

Selecció dels sistemes bioclimàtics

No tots els sistemes bioclimàtics comentats són òptims per l'aplicació en casos de rehabilitació. Per aquest motiu, es realitza una selecció on s'avalua en tres graus: l'impacte de l'actuació en l'usuari, el grau de l'obra envers a la composició de l'edifici i l'adequació del sistema al nostre clima.

En el primer cas, el nivell (III) i més favorable, s'aplicarà als sistemes on l'obra només intervingui en l'exterior; el (II), als que actuïn a l'interior i exterior però no provoquin el desallotjament dels residents; i el (I), als que si serà necessari un desallotjament de l'edifici. En el segon paràmetre a avaluar, obtindran el nivell (III) les intervencions amb més facilitat tècnica que es podrien realitzar pel mateix usuari; el (II), les que intervinguin en la pell de l'edifici; i el (I), les que puguin afectar a l'estructura. Per últim, l'adequació al clima és classificarà segons si funciona a l'estiu i hivern (III); només a l'estiu (II); o només a l'hivern (I) (Taula 2, 3, 4 i 5).

			Impacte al usuari	Grau intervenció	Adequació al clima	
sistemes de captació solar	captació directa	Orientació obertures	I	I	III	
		Atri de vidre	II	I	I	
	captació directa amb convecció	Galeria	III	II	III	
		Hivernacle	III	II	III	
	sistemes de captació retardada	Façana amb inèrcia tèrmica	III	II	I	
sistemes de protecció solar	captació directa per acumulació i convecció	Mur Trombe	II	II	III	
		Voladiu	III	II	III	
	horitzontals	Lames horitzontal	III	II	III	
		Pèrgola	III	II	III	
		Doble sostre	III	I	III	
	verticals	Lames verticals	III	II	III	
		Doble mur	III	I	III	
		mixtos	Marc	III	II	III
	Gelosia		III	II	III	
	Porticons		III	III	III	
	Canvi dels vidres		III	III	III	
	no arquitectònics	Cortines i persianes interiors	III	III	III	
		Tendall	III	III	II	

Taula 2. Classificació dels sistemes solars per rehabilitació. Font pròpia.

			Impacte al usuari	Grau intervenció	Adequació al clima
VENT	Sistemes de ventilació natural	Ventilació directa	III	III	III
		Ventilació creuada	III	III	III
	Sistemes de ventilació forçada	Xemeneia solar	II	I	II
		Torre de vent	II	I	II
		Pati hivernacle	III	II	III
	Sistema de ventilació façana	Façana ventilada	III	II	III

Taula 3. Classificació dels sistemes aire per rehabilitacions. Font pròpia.

			Impacte al usuari	Grau intervenció	Adequació al clima
AIGUA	Refredament per vaporització	Làmines d'aigua en façanes	III	II	I
	Refredament per radiació	Coberta humida	III	III	III
		Patis amb làmines d'aigua	III	III	III

Taula 4. Classificació dels sistemes aigua per rehabilitació. Font pròpia.

			Impacte al usuari	Grau intervenció	Adequació al clima
VEGETACIÓ	Sistemes urbanístics	Arbrat exterior	III	III	III
	Sistemes en superfície	Coberta verda	III	II	III
		Façana vegetal	III	II	III

Taula 5. Classificació dels sistemes vegetals per rehabilitació. Font pròpia.

Casos d'estudi

Els sistemes anteriors s'aplicaran sobre tres edificis plurifamiliars situats al centre de la ciutat de Girona i construïts abans de l'any 1979, data de la primera normativa referent a l'estalvi energètic.

Els habitatges del carrer de La Barca es van construir entre el 1916 i el 1935, i molts d'ells han estat rehabilitats posteriorment, com l'edifici ha analitzar, que va patir canvis al 1966. Per altra banda, l'edifici "el Bolet" es va construir al 1969, igual que el bloc d'habitatges de protecció oficial de Portal Nou, els dos projectats pel mateix arquitecte, Josep Ros Casadevall (Fig.8).

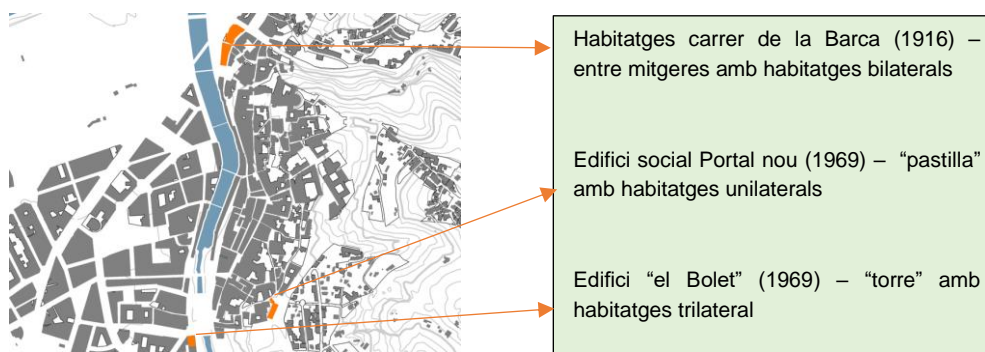


Fig. 8 Localització edificis plurifamiliars ha estudiar. Font pròpia.

Edifici "el Bolet": tipologia torre d'habitatges trilaterals

L'edifici "el Bolet" se situa al passeig General Mendoza 1 i consta d'una planta soterrània, tres plantes comercials i tretze plantes pis. Les últimes plantes pis es componen de dos habitatges i un nucli d'accés al mig amb dos ascensors i una escala. Cadascun dels habitatges té les següents estances: entrada principal, entrada de servei, despatx, sala d'estar menjador i cuina, habitació i bany de servei, quatre habitacions, bany, rentamans i terrasses (Fig.9).

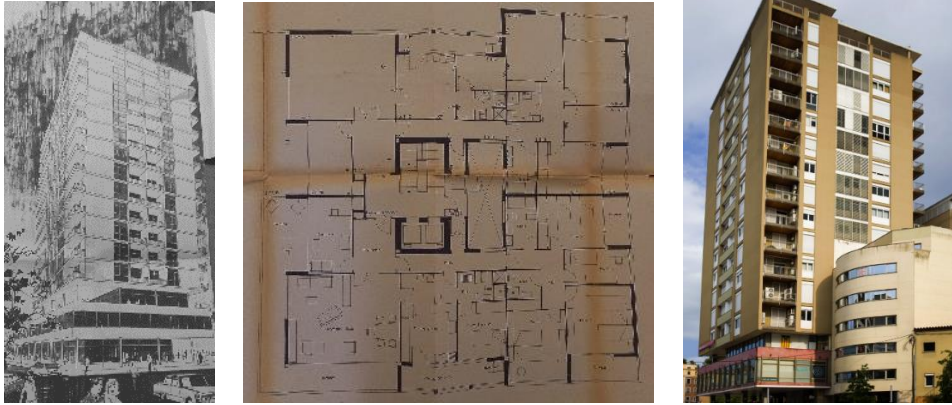


Fig. 9 Perspectiva, planta i imatge de l'edifici "el Bolet". Font: Ros Casadevall (1966) i Serrat (2014).

L'edifici està construït amb estructura porticada de pilars i jàsseres metàl·liques i de formigó. Les parets de tancament estan formades per una paret ceràmica de 15cm de gruix exterior, una cambra d'aire amb aïllament de fibra de vidre i un trasdossat interior ceràmic. Tant l'interior com l'exterior es revesteix amb guix. Pel que fa als envans interiors, són de maó perforat, exceptuant els envans divisoris de pisos, que tenen aïllament entre les dues parets. A més, tots els vidres són dobles i apareixen algunes proteccions solars a la façana. Finalment, els habitatges disposen de calefacció amb radiadors alimentats amb caldera de gas natural. (Ros Casadevall, 1966)

Edifici Portal Nou: tipologia pastilla d'habitatges unilaterals

L'edifici d'habitatges de renda limitada se situa al carrer Portal Nou, al barri vell de Girona, i està format per planta soterrània, planta baixa, entre sòl i dues plantes pis. Les últimes quatre plantes consten de 8 habitatges cadascuna, formant així un edifici de 32 pisos. Cadascun d'ells té cuina, menjador, bany i dos o tres habitacions (Fig.10).



Fig. 10 Alçat i planta projecte d'habitatges al c/ Portal Nou. Font: Ros Casadevall (1967).

Constructivament, l'edifici es compon per parets exteriors ceràmiques de 30cm de gruix i forjats unidireccionals de biguetes de formigó i revoltos ceràmics. La coberta està formada per envanets conillers ceràmics i acabada amb teula àrab. Pel que fa a l'interior, els envans són ceràmics de 7cm i els vidres són tots dobles. A diferència del primer edifici, no disposa de cap instal·lació de climatització. (Ros Casadevall, 1967)

Edifici al carrer de La Barca: tipologia entre mitgeres d'habitatges bilaterals

L'edifici se situa entre el carrer de La Barca i el carrer d'en Jaume Pons Martí i consta de planta baixa més tres plantes pis. Aquest es caracteritza per trobar-se entre mitgeres i amb una façana de només 5,30 metres d'amplada. Cada planta es distribueix a partir d'un únic habitatge que ocupa tota la superfície de la planta, exceptuant l'espai de l'escala comunitària i el petit pati central (Fig.11).

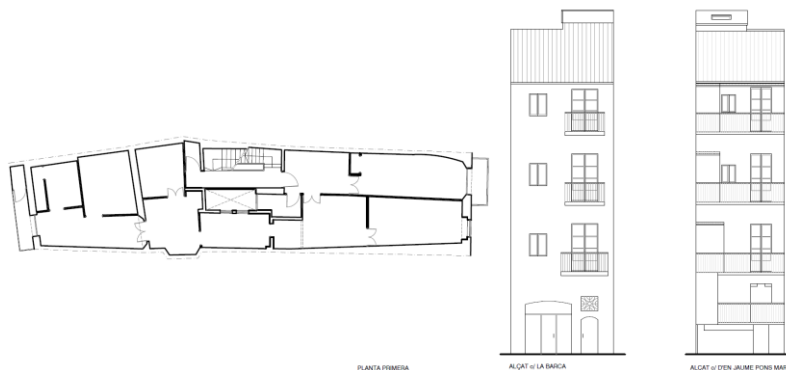


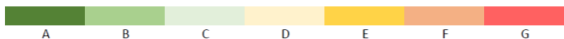
Fig. 11 Planta i alçats de l'aixecament de l'edifici al carrer de La Barca. Font: LFS arquitectes (2020).

A nivell constructiu, els murs de pedra són els més presents en l'edifici, amb façanes de 40cm de pedra remolinades en les dues cares i mitgeres de fins a 50cm del mateix sistema. Els forjats són unidireccionals de bigues de fusta i entrebigat de revoltos ceràmics i els envans interiors són ceràmics de 7cm de gruix. Per últim, les fusteries són de fusta amb vidres simples i no disposa de cap sistema de climatització.

Estudi energètic de l'estat actual

Un cop simulats els tres casos en el HULC, s'obtenen els resultats següents (Taula 6).

Edifici	Emissions CO2 (kgCO2/m2any)	Consum d'energia (kWh/m2any)	Demanda calefacció (kWh/m2any)	Demanda refrigeració (kWh/m2any)	Transmitància tèrmica global (W/m2K)	Control solar (kWh/m2)	Relació canvi d'aire (1/h)
El Bolet	18,23	87,11	31,13	6,54	2	7,78	5,05
Portal Nou	23,6	112,1	57,27	4,28	1,97	5,04	7,11
La Barca	13,16	62,88	10,9	2,36	0,72	2,75	1,05

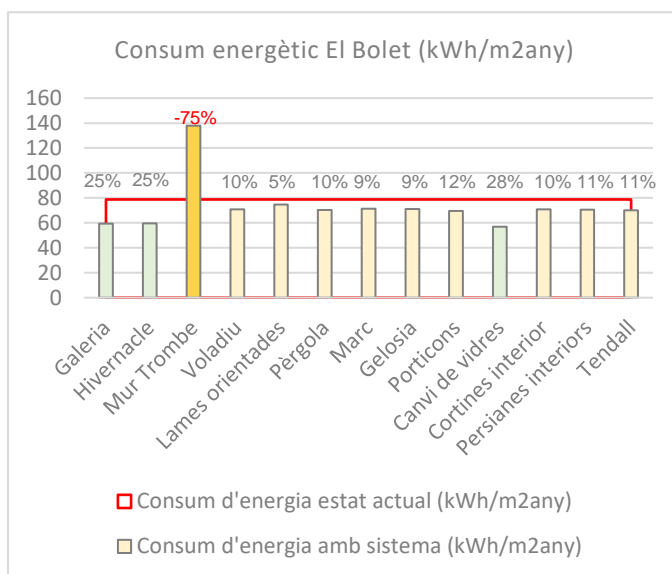


Taula 6. Resultats energètics de l'estat inicial dels 3 edificis. Font pròpia.

4. Resultats

Sistemes sol

Partint de l'estat actual analitzat amb HULC, s'han introduït individualment cadascun dels sistemes solars de captació. Aquests s'han situat en la façana amb més hores de llum solar de cadascun dels casos, excepte el Mur Trombe, que només s'ha pogut analitzar en la tipologia d'habitatge trilateral ja que necessita de tota una façana opaca, cosa que deixaria les altres tipologies sense ventilació creuada.

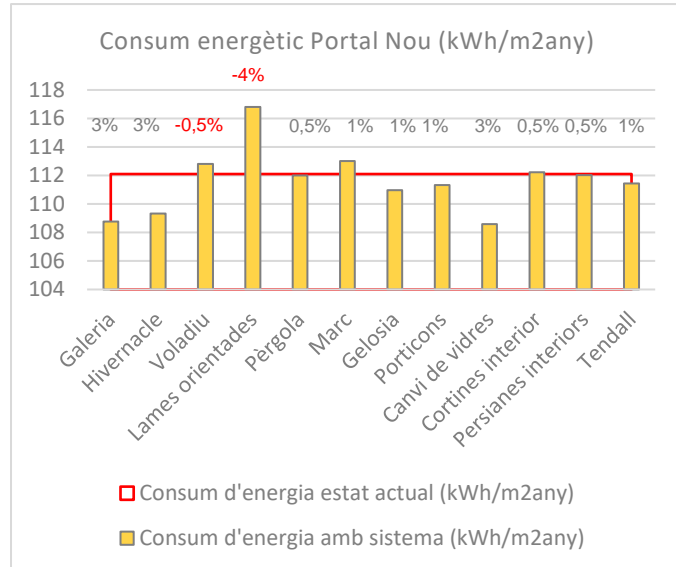


Gràfica 1.1. Comparativa consum d'energia entre estat actual i sistema solar. Inclou percentatge de millora de consum (%) a El Bolet. Els colors representen la lletra de la qualificació energètica. Font pròpia

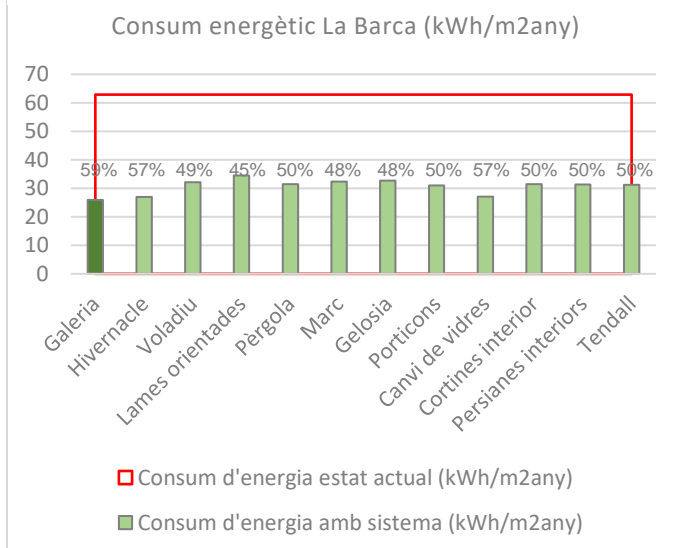
Pel que fa als sistemes de protecció solar amb elements arquitectònics, s'han col·locat sobre les obertures situades a les orientacions sud, est i oest, a diferència de les proteccions solars no arquitectòniques, que s'incorporen en totes les obertures.

A les tres tipologies, els sistemes de captació solar generen una millora del consum energètic global superior als sistemes de protecció solar. L'hivernacle i la galeria provoquen una millora del 25% a la tipologia d'habitatge trilateral, un 57% i 58% en els habitatges bilateral, i un 3% en els unilaterals. Per contra, el mur Trombe té un comportament contradictori, ja que el fet d'estar ventilat directament amb l'exterior genera una millora de la demanda en refrigeració, però augmenta el doble la demanda en calefacció, fet que genera un augment del consum total anual (Gràfica 1.1, 1.2 i 1.3).

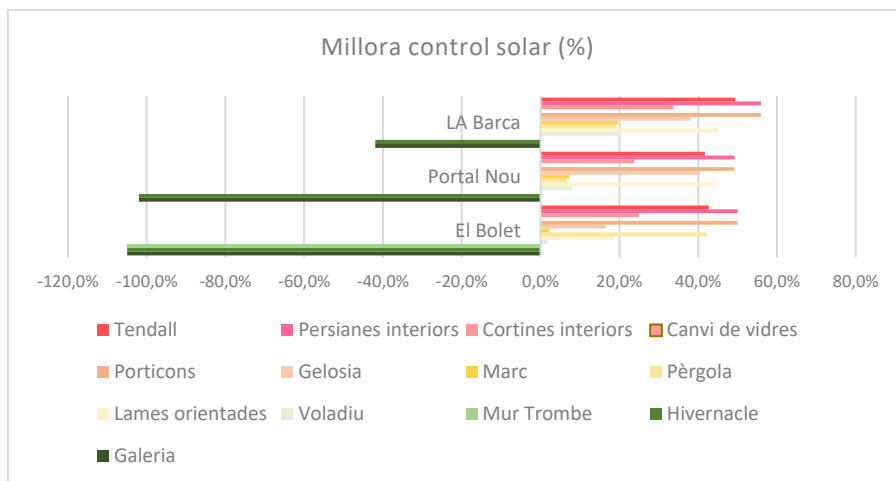
Pel que fa als sistemes de protecció, el canvi dels vidres existents a uns vidres dobles de baixa emissivitat i amb cambra d'aire acompanyats d'unes fusteries amb trencament de pont tèrmic, és el sistema que millors resultats ha obtingut en les tres tipologies, ja que permet reduir la demanda de calefacció significativament i l'augment de la demanda de refrigeració és gairebé inapreciable. No obstant, la substitució d'aquests elements arquitectònics no generen cap millora en el control solar lumínic, cosa que els altres sistemes de protecció sí que aconseguixen (Gràfica 2).



Gràfica 1.2. Comparativa consum d'energia entre estat actual i sistema solar. Inclou percentatge de millora de consum (%) a Portal Nou. Els colors representen la lletra de la qualificació energètica. Font pròpia

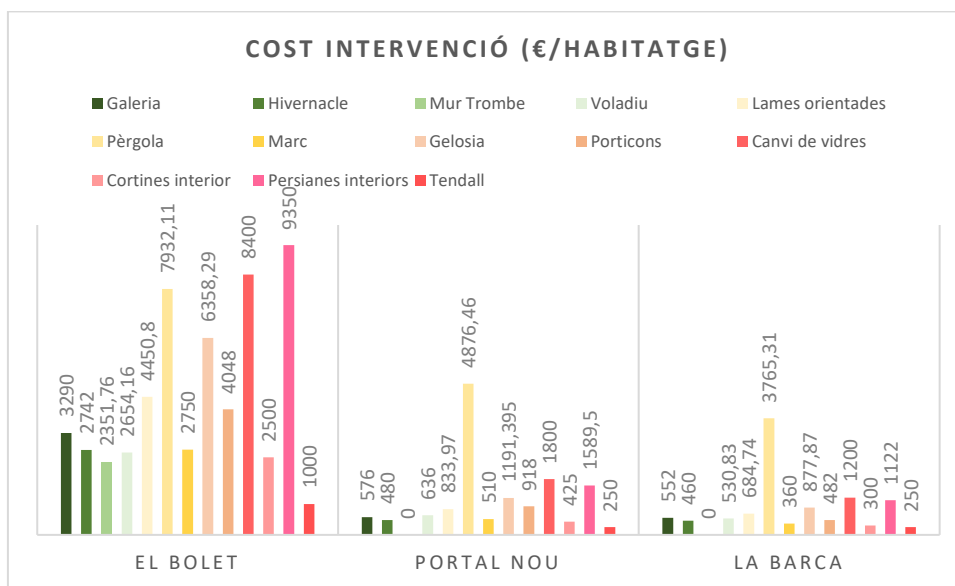


Gràfica 1.3. Comparativa consum d'energia entre estat actual i sistema solar. Inclou percentatge de millora de consum (%) a La Barca. Els colors representen la lletra de la qualificació energètica. Font pròpia



Gràfica 2. Comparativa del percentatge de millora del control solar dels sistemes sol. Font pròpia.

Elements com porticons exteriors, persianes interiors o tendals, permeten controlar la radiació solar sobre el nostre habitatge amb el simple gest d'obrir i tancar. A més, les lames orientades i les gelosies sobre les obertures també tenen un gran control solar en les tres tipologies. Per contra, la pèrgola bioclimàtica millora el control solar en un 42,2% en la tipologia trilateral que té façana en orientació sud, però en les dues altres tipologies, on les façanes s'orienten en est i oest, la millora del control solar és molt inferior a la dels altres sistemes.



Gràfica 3. Estudi del cost econòmic dels sistemes solars. Font pròpia.

Per últim, els elements de protecció solar amb millors resultats de millora energètica també són els que impliquen una major inversió. En el cas del canvi de fusteries el preu oscil·la entre 8.400€/habitatge a l'edifici d'El Bolet, i 1.200 €/habitatge al de La Barca, valor que dependrà dels m² d'obertures de cada habitatge. Amb preus similars però superiors als anteriors, trobem les persianes interiors, que a part de reduir el consum energètic, ens aporten una millora en el control solar (Gràfica 3).

Per altra banda, els sistemes de captació com l'hivernacle i la galeria, que a nivells de millora energètica es troben en la mateixa posició que els canvis de vidres en les dues últimes tipologies,

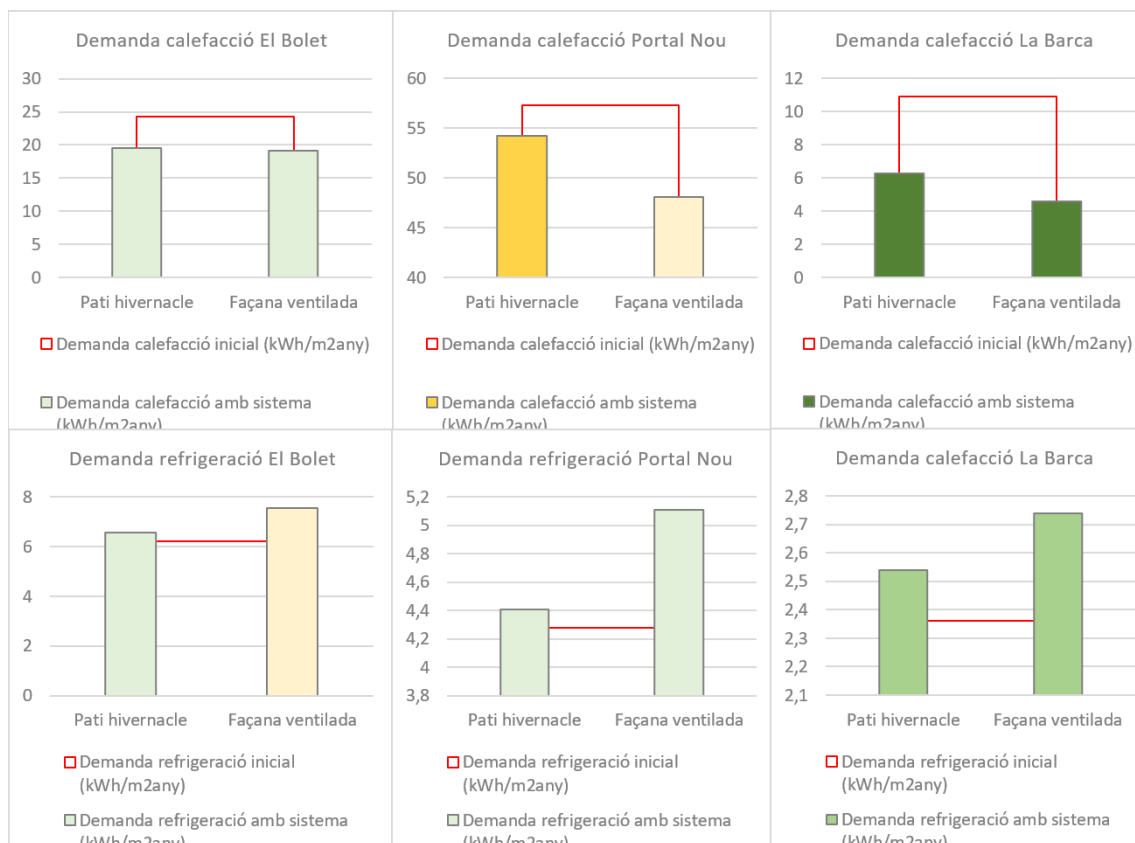
suposen un cost molt més reduït, entre 460€/hab i 576€/hab. Però, en el cas d'El Bolet, on els metres de façana són el doble i triple, el cost s'enfila a 3.290€/hab per la galeria i 2.742€/hab per l'hivernacle.

En l'extrem contrari es situen els tendalls, que amb una inversió inferior a 100 € es pot reduir la demanda de refrigeració a l'estiu i una millora del control solar d'un 40%, fet que suposa un millor confort tèrmic i lumínic per l'usuari.

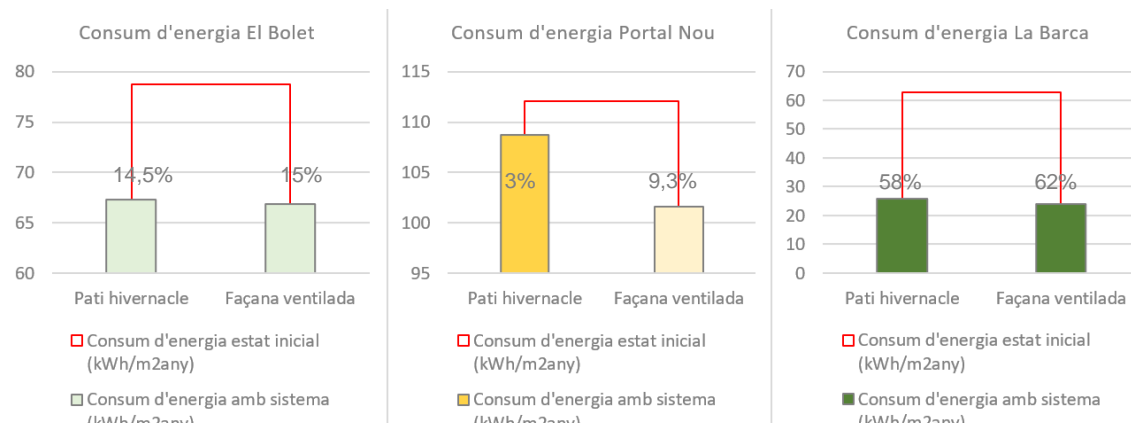
Finalment, tenint en compte els resultats de millora energètica i el cost, la galeria i l'hivernacle són els sistemes amb millor rendiment per a les tres tipologies, seguit dels canvis de fusteries que impliquen una inversió superior. Tot i així, caldria acompanyar-los d'un sistema de protecció solar adient a l'orientació.

Sistemes aire

Un cop analitzat els sistemes solars, es realitza el mateix procediment amb dos sistemes d'aire. El primer és el pati hivernacle, que consisteix en cobrir el pati dels tres edificis amb una coberta transparent amb obertures a l'exterior, de manera que es comporti com un hivernacle i transmeti la calor a l'interior, a la vegada que millora la ventilació natural creuada. I el segon, consisteix en afegir una segona pell a la façana amb la composició de façana ventilada, és a dir, un aïllament exterior i un sistema d'aplatat ventilat com element d'acabat.



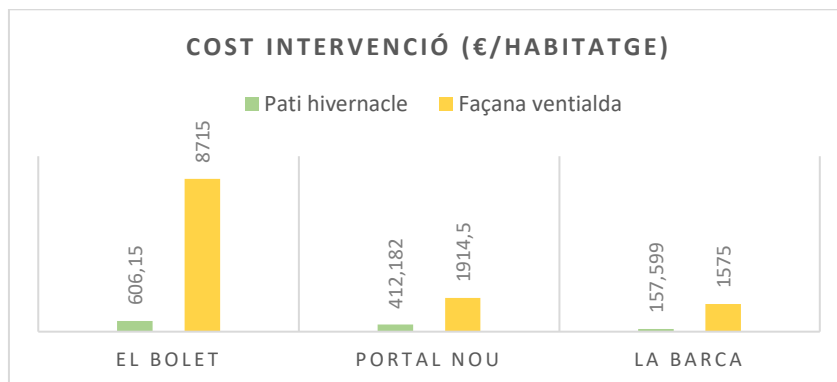
Gràfica 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 i 4.6. Comparativa de la demanda de calefacció i refrigeració de l'estat actual amb la incorporació del sistema aire. Els colors corresponen a l'etiqueta del certificat energètic. Font pròpia.



Gràfica 4.7, 4.8 i 4.9. Comparativa del consum energètic de l'estat actual amb la incorporació del sistema aire. El gràfic incorpora la millora en percentatge del consum d'energia anual. Els colors corresponen a l'etiqueta del certificat energètic. Font pròpia.

La incorporació d'aquests dos sistemes obté uns resultats similars a totes les tipologies d'edifici: es produeix una millora en la demanda de calefacció però, per contra, s'augmenta la demanda de refrigeració a l'estiu (Gràfica 4.1 a 4.6). Tot i això, el balanç anual de consum energètic surt beneficiat amb els dos sistemes, obtenint una major millora amb la façana ventilada i uns resultats inferiors però que no s'allunyen gaire amb el pati hivernacle (gràfica 4.7 a 4.9). En aquest últim, hi hauria la possibilitat d'incorporar un sistema de control que permetés obrir-lo o tancar-lo segons l'època de l'any, reduint així la demanda de refrigeració a l'estiu i millorant el resultat de consum global.

A més, el pati hivernacle permet crear diferència de temperatura entre el pati i l'interior de l'habitatge generant ventilació natural creuada, fet que intervé favorablement en el confort dels usuaris.



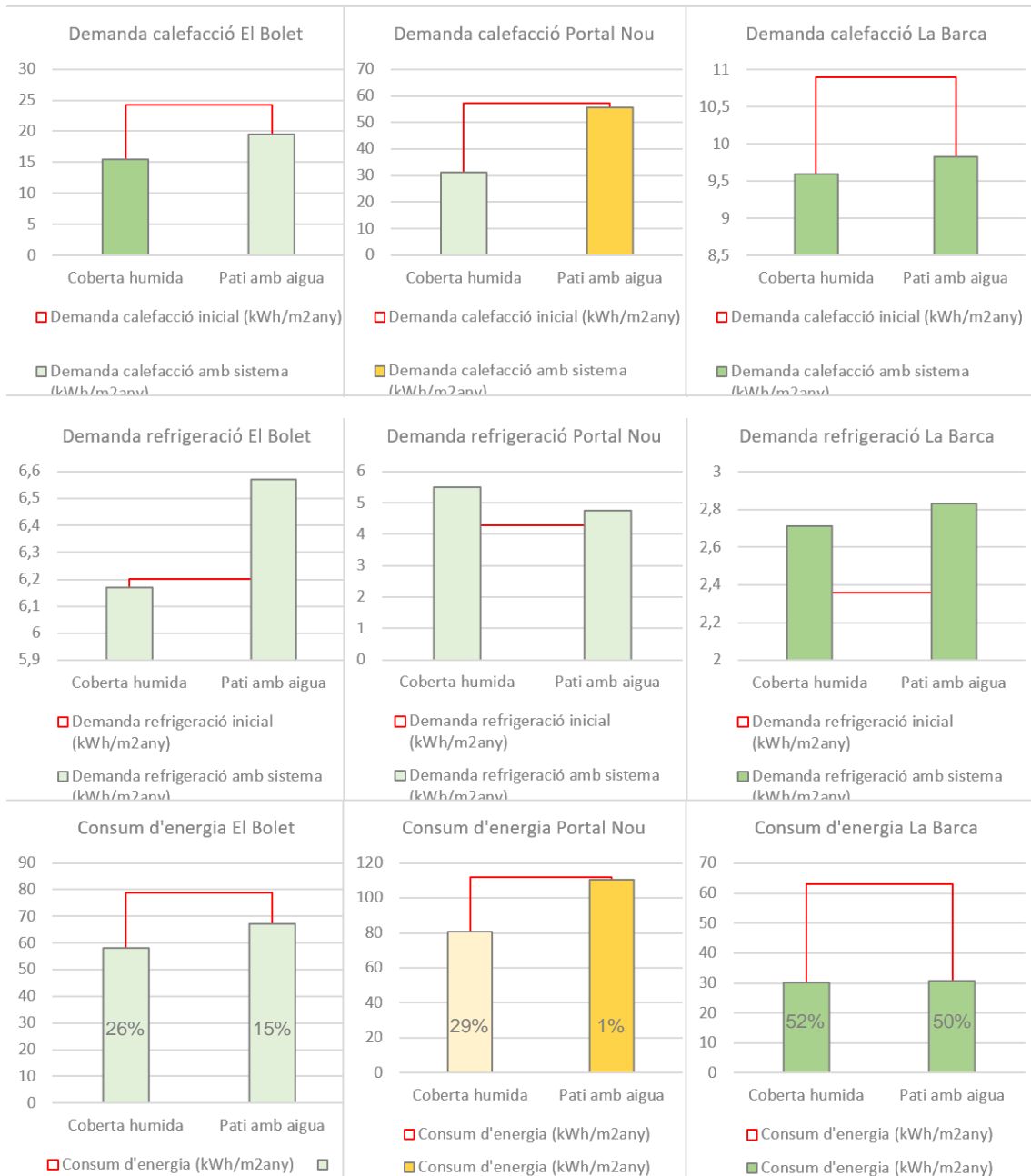
Gràfica 5. Estudi del cost econòmic per incorporar els sistemes aire en els diferents edificis. Font pròpia

Analitzat el cost de la intervenció, s'observa que la construcció d'una façana ventilada implica un cost fins a deu vegades per sobre de la construcció d'una coberta transparent al pati, ja que els m² de pati són molt inferiors als m² de façana i el preu material d'una coberta de policarbonat és un 40% inferior al cost de la façana ventilada (Gràfica 5).

Per tant, tenint en compte la viabilitat econòmica i constructiva, i veient la poca diferència que hi ha en les millores energètiques entre un sistema i l'altre, el pati hivernacle és el sistema d'aire més òptim per la introducció en la rehabilitació d'edificis.

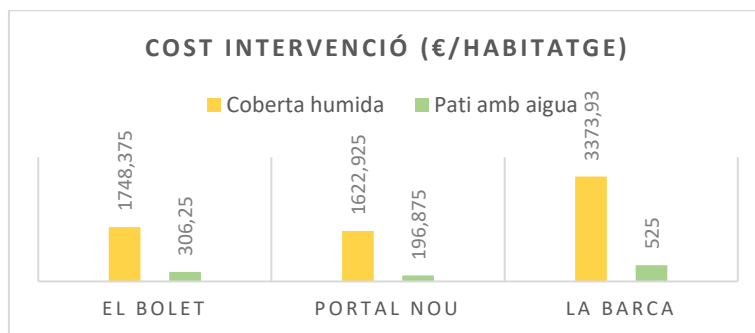
Sistemes aigua

La coberta humida i les làmines d'aigua en patis són els sistemes d'aigua que s'han estudiat en les tres tipologies. El primer sistema consisteix en substituir la coberta actual per una coberta composta per barrera de vapor, aïllament tèrmic XPS de 10cm, capa de morter, làmina impermeabilitzant i una bassa d'aigua de 20cm. Aquesta última capa, es simula en el programa a través d'un material sense nom al qual se li atorga la conductivitat tèrmica de l'aigua (0,58W/K). Pel que fa al segon sistema, com tampoc es pot representar aigua en el programa, s'introdueixen ombres en el pati a l'estiu i s'incrementa la temperatura del pati a l'hivern.



Gràfica 6.1 a 6.9. Comparativa de la demanda de calefacció, refrigeració i consum energètic de l'estat actual amb la incorporació del sistema aigua. El gràfic incorpora la millora en percentatge del consum d'energia anual. Els colors corresponen a l'etiqueta del certificat energètic. Font pròpia.

El consum anual energètic, que té en compte la demanda de calefacció i la de refrigeració, disminueix en tots els casos. La millora de consum que obté la coberta humida és superior al 25% en les tres tipologies, gràcies a que millora la transmitància tèrmica global de l'edifici fins un 40% en el cas de Portal Nou, reduint així la demanda en calefacció. En canvi, les millores que proporciona el pati amb presència d'aigua són molt menors, i fins i tot insignificants per l'edifici Portal Nou, ja que les disminució de la demanda energètica és mínima en les dues primeres tipologies i l'augment de la demanda en refrigeració és molt important en els tres casos (Gràfica 6.1 a 6.9).



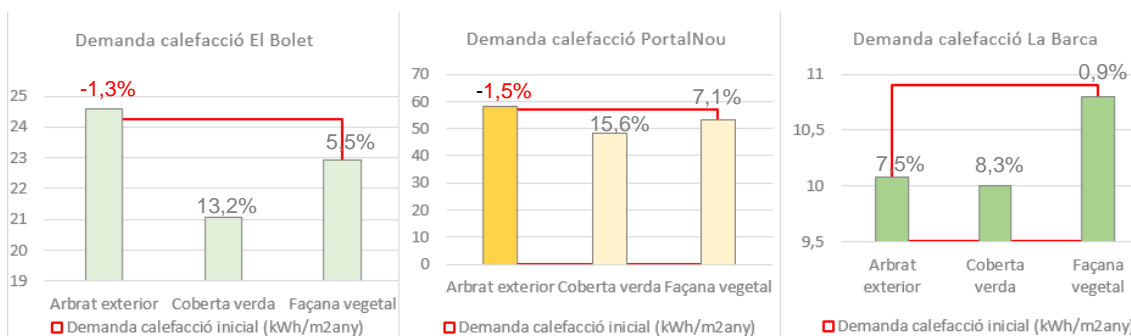
Gràfica 7. Estudi del cost econòmic per incorporar els sistemes aigua en els diferents edificis. Font pròpia.

Observant el cost per habitatge que suposa la intervenció de cadascun dels sistemes, es mostra com el sistema amb millors resultats implica una inversió de més de 1600€ en tots els casos, cost que varia segons la superfície de coberta i el nombre d'habitatsges a repartir. No obstant, la incorporació de basses o fonts d'aigua en els patis, suposa un cost per habitatge d'entre 196 i 525€, preu rentable per l'habitatge en torre, on la millora de consum és del 15%, o a La Barca on disminueix un 50% el consum total (Gràfica 7).

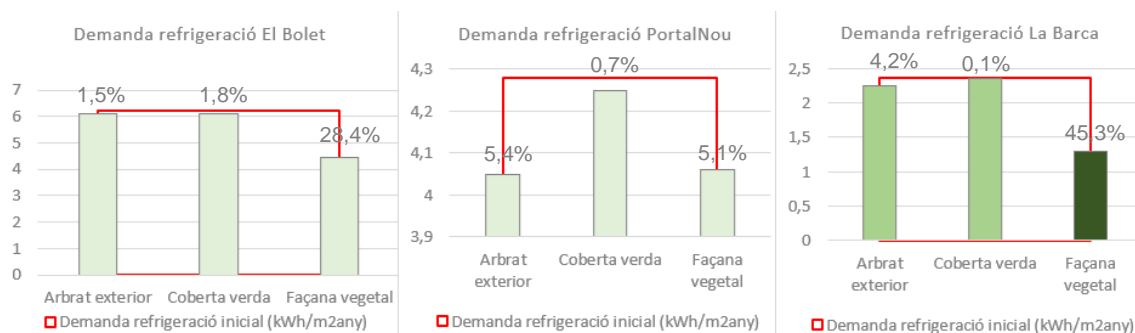
Per tant, la coberta humida seria el sistema aigua més adient per els dos primers edificis. En canvi, als habitatges de La Barca, el pati d'aigua, tot i tenir una millora inferior que la coberta, al ser poca la diferència però molt elevada en tema costos, seria el més recomanable. Tot i així, el consum d'aigua que es necessita suposa un inconvenient, donades les problemàtiques climàtiques que estem vivint actualment.

Sistemes vegetació

Els sistemes vegetals que s'han simulat en el programa HULC han estat la plantació d'arbrat exterior en façana sud, est i oest; el canvi de la coberta existent a una coberta enjardinada de transmitància tèrmica 0,35 W/m²K; i la implantació d'una segona pell en forma de façana vegetal.



Gràfica 8.1, 8.2 i 8.3. Comparativa de la demanda de calefacció de l'estat actual amb la incorporació del sistema vegetal. El gràfic incorpora la millora en percentatge de la demanda. Els colors corresponen a l'etiqueta del certificat energètic. Font pròpia.



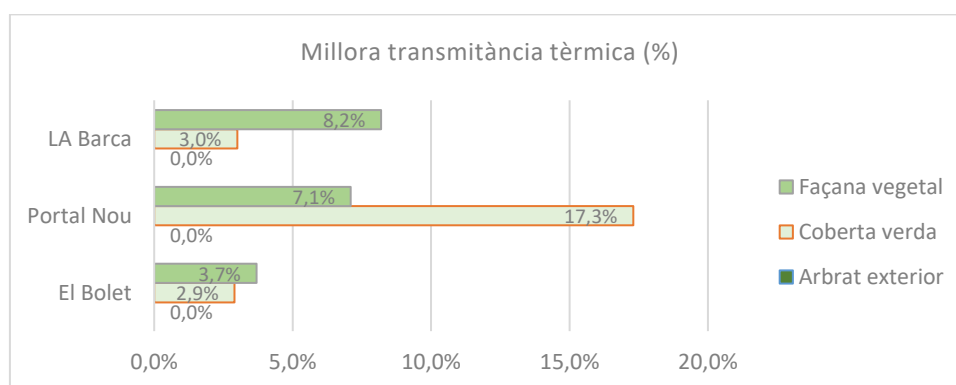
Gràfica 8.4, 8.5 i 8.6. Comparativa de la demanda de refrigeració de l'estat actual amb la incorporació del sistema vegetal. El gràfic incorpora la millora en percentatge de la demanda. Els colors corresponen a l'etiqueta del certificat energètic. Font pròpia.

Els tres sistemes redueixen la demanda de refrigeració respecte a la demanda actual en les tres tipologies d'edificis, fet que no es repeteix en la demanda de calefacció, on l'ombra dels arbres produeix un increment de consum de calefacció a l'hivern (Gràfica 8.1 a 8.6). No obstant, aquest empitjorament energètic a l'hivern es solucionaria amb l'elecció d'arbrat de fulla caduca.

La incidència de la vegetació exterior és menor en la tipologia torre, ja que l'ombra no arriba a tota l'alçada de l'edifici. En canvi, en la tipologia d'edifici en "pastilla", provoca una millora de la demanda de refrigeració d'un 5,4%, i d'un 7,5% en la de calefacció de l'edifici entre mitgeres.

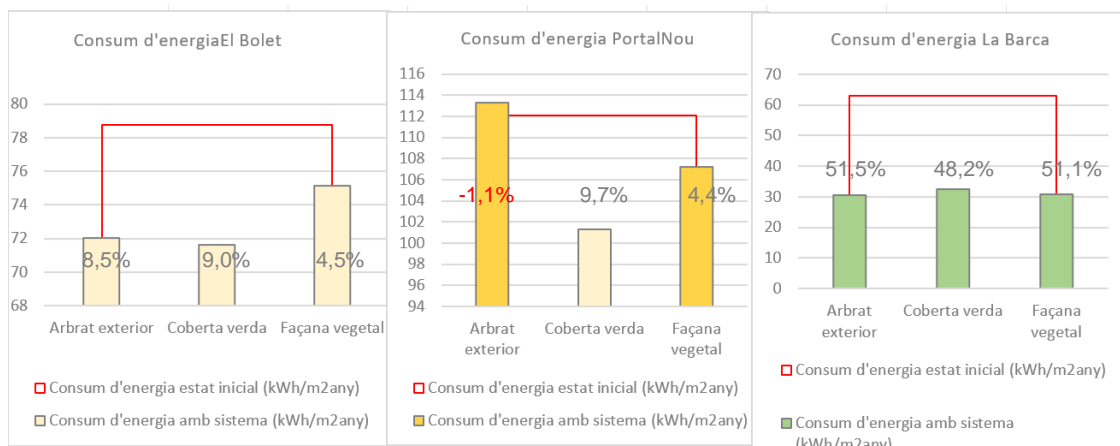
Per altra banda, la coberta verda presenta una millora de la transmitància tèrmica de l'edifici, fet que provoca una reducció important de la demanda de calor, entre un 8,3% i un 15,6%, i redueix de manera insignificant la demanda de refrigeració inicial. Aquest comportament és similar en les tres tipologies.

La façana vegetal és el sistema que obté millors resultats envers a la climatologia de l'estiu, reduint fins a un 45,3% la demanda de refrigeració a l'edifici de La Barca i un 28,4% en El Bolet. A més, també obté bons resultats en la demanda de calefacció ja que millora la transmitància tèrmica de la façana.



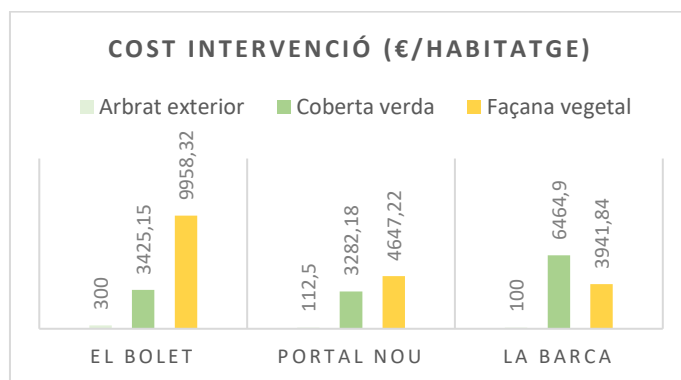
Gràfica 9. Comparativa del percentatge de millora de la transmitància tèrmica dels sistemes vegetals. Font pròpia.

Tant la façana vegetal com la coberta verda aporten una reducció en la transmitància tèrmica (W/m^2K) global de l'envolupant que depèn de les condicions constructives inicials de l'edifici. S'observa clarament en el cas de Portal Nou, on ni la façana ni la coberta comptaven amb aïllament tèrmic i la millora ha estat molt significativa (Gràfica 9).



Gràfica 10. Comparativa del consum energètic sense i amb sistema amb percentatge de reducció de consum. Colors corresponents a l'etiqueta del certificat energètic. Font pròpia.

Malgrat això, els sistemes vegetals no aconsegueixen una millora major a una lletra de l'etiqueta (Gràfica 10).



Gràfica 11. Estudi del cost econòmic per incorporar els sistemes vegetals en els diferents edificis. Font pròpia

Finalment, s'observa que el sistema més car per habitatge és la façana vegetal, sent la tipologia d'habitatge trilateral la més cara, ja que disposa de més metres lineals de façana. El segueix la coberta verda, amb un cost similar que dependrà del nombre d'habitatges que disposa l'edifici per repartir la càrrega. I, amb preus molt més baixos, es situa l'arbrat exterior, que amb una inversió de 100 € per habitatges, podrien passar d'una qualificació energètica B a A (Gràfica 11). A més, cal tenir present que els sistemes vegetals requereixen d'un manteniment constant que comportarà un increment de cost que no s'ha tingut en compte, ja que si no es realitza aquest manteniment, amb el temps poden aparèixer patologies importants.

L'arbrat exterior és el sistema econòmicament i energèticament més rentable en l'edifici La Barca. Per contra, en les dues altres tipologies, la coberta verda és la que obté millors resultats amb una inversió que volta els 3000€ per habitatge.

Sistemes actius

Finalment, es simula la instal·lació de plaques fotovoltaïques i la incorporació d'un sistema aerotèrmic en un dels edificis, amb l'objectiu de comparar rendiments de millora i costos. La primera instal·lació aconsegueix una millora energètica del 65%, i suposa un cost d'entre 10.000 i 15.000€/hab. El segon, millora un 70% l'eficiència energètica, i suposa una inversió de 10.000€/hab.

5. Conclusions

Un cop analitzades i comparades les dades sobre demanda energètica, consum energètic, transmitància tèrmica, control solar i cost d'intervenció dels diferents sistemes bioclimàtics respecte les tres tipologies d'edificis plurifamiliars, s'han extret les següents conclusions.

En primer lloc, el treball plantejava estudiar el rendiment de cada sistema segons la tipologia d'edifici en quant a composició i relació dels habitatges amb l'exterior. Tot i que el rendiment de millora d'alguns sistemes si que depèn de la tipologia, el paràmetre més determinant és la composició constructiva d'aquest. Això s'aprecia comparant els resultats de millora de consum i demanda de l'edifici Portal Nou, sense aïllaments i amb envoltent molt simple, amb l'edifici de La Barca, amb grans murs de pedra. En el primer cas, només s'aconsegueix una millora energètica superior al 3% amb sistemes que disminueixen la transmitància tèrmica. En canvi, la incorporació de qualsevol sistema aconsegueix millores energètiques superiors al 40% a La Barca. És per aquest motiu, que en el moment d'estudiar quin sistema és més òptim per la rehabilitació d'un edifici, cal fer un estudi previ i exhaustiu de l'estat actual i analitzar si les mancances provenen de la façana, la coberta, les obertures, les proteccions solars, etc.

Tot i que es conclou que no hi ha uns sistemes totalment perfectes per cadascuna d'aquestes tipologies compositives, si que s'ha de tenir en compte la tipologia edificatòria i de l'habitatge, ja que segons l'orientació o el nombre de façanes hi ha sistemes que no rendeixen. En el cas dels sistemes solars, el Mur Trombe únicament serà aplicable en tipologies amb habitatges trilaterals, i els sistemes de protecció solar horitzontals no seran rendibles en tipologies unilaterals o bilaterals amb orientacions est-oest. A més, sistemes com la coberta humida, coberta verda o l'arbrat exterior tindrà un menor rendiment en tipologia torre on l'efecte positiu de la intervenció té més complicació per arribar a tots els habitatges de l'edifici.

Tanmateix, la incorporació d'un únic sistema bioclimàtic no aconsegueix en cap dels casos aconseguir l'etiqueta A. Però, si a l'edifici El Bolet combinem l'hivernacle, la coberta verda i el pati hivernacle es passa de la qualificació energètica D a la B, millorant un 58% l'eficiència energètica de l'edifici. El mateix passa a Portal Nou, amb el canvi de les fusteries, el pati hivernacle i la coberta humida, es passa de l'etiqueta E a la C. Per últim, si a La Barca incorporem l'hivernacle en façana i pati i l'arbrat exterior a la façana oest, obtenim l'etiqueta A amb 24,90 kWh/m² any de consum energètic i 5,21 kgCO₂/m² any d'emissions de diòxid de carboni. En tots els casos s'obtenen millores energètiques superiors al 50%.

Finalment, comparant els rendiments dels sistemes bioclimàtics passius i actius i el cost d'aquests, es conclou que els sistemes bioclimàtics passius són una solució, en molts casos, més econòmica per la rehabilitació d'edificis d'aquest caràcter. Tot i així, la combinació dels dos sistemes és l'opció més adient per aconseguir edificis eficients i independents de les energies no renovables.

6. Bibliografia

- Almenar Muñoz, M. (2019). *Análisis de la sostenibilidad y la rehabilitación de edificios*. [Trabajo de Fin de Grado]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Callender, J.H. (1971). *Time Saver Standards for Architectural Design*. Mishawaka: McGrawHill.
- Construible. (2019). Case study: Renove Manoteras Sant Pedro de Cardeña 50- Rehabilitación energética y eliminación de barreres arquitectónicas. *Construible todo sobre arquitectura sostenible*, from <https://www.construible.es/comunicaciones/comunicacion-case-study-renove-manoteras-san-pedro-cardena-50-rehabilitacion-energetica-eliminacion-barreras-arquitectonicas>
- Corral Alaejos, P. (2019). *Propuesta de rehabilitación energética*. [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad de Valladolid.
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura bioclimática*. Buenos Aires: Nobuko.
- González, F.J i Román, C.A. (2009). *Arquitectura bioclimática y construcción sostenible*. Pamplona: DAPP Publicaciones jurídicas.
- Izard, J.-L. (1980). *Arquitectura bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Martín Acosta, N. (2015). Transformación de la torre de viviendas Bois-le-Prête en París. *Tectónica*, Núm. Jun 2015, 2-21. <https://tectonica.archi/projects/transformacion-de-la-torre-de-viviendas-bois-le-pretre-en-paris/>
- Peters, C. (2005). *Estudi tecnològic d'arquitectura bioclimàtica i les seves millors tecnologies disponibles en consum d'energia*. Barcelona: Informes i estudis tecnològics encarregats per l'institut Català d'Energia.
- Piñeiro Lago, M. (2015). *Arquitectura bioclimática, consecuencias en el lenguaje arquitectónico*. [Trabajo de Fin de Grado]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Coruña.
- Rodríguez Viqueira, M. (2001). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. México D.F: Limusa Noriega Editores.
- Ros Casadevall, J. (1966). Documentació gràfica i escrita de l'expedient d'obra 1966/93. Arxiu Històric Municipal de Girona.
- Ros Casadevall, J. (1967). Documentació gràfica i escrita del projecte de dos blocs d'habitatges al carrer Portal Nou. Arxiu Històric Municipal de Girona.