

# Benestar i energia a l'edifici, una qüestió d'arquitectura

---

Claude-Alain Roulet

## Resum

Els agents que intervenen en el disseny, la construcció i l'ús d'un edifici tenen objectius diferents (rendibilitat, prestigi, comoditat, benestar, sostenibilitat, impacte ambiental, etc.). De fet, aquestes qüestions -que no són necessàriament contradictòries- han de ser considerades des de l'inici del projecte, durant el disseny, la construcció i l'ús de l'edifici.

Després de definir l'edifici de manera coherent amb el desenvolupament sostenible (en particular edificis de "zero energia"), l'edifici sa i la noció de comoditat (en particular, el confort tèrmic i el confort adaptatiu) mostren que la qualitat de l'ambient interior s'ha d'obtenir primer per mesures passives, per tant arquitectòniques, que es complementaran si cal, i només si és necessari, per mesures actives o tècniques.

Per a això, l'arquitectura s'ha d'adaptar al clima. Pel que fa a la comoditat tèrmica, la calefacció solar passiva i la refrigeració passiva mitjançant mesures de ventilació nocturna permeten, a Catalunya, com en altres climes semblants, proporcionar comoditat sense refrigeració artificial i gairebé sense calefacció. Els resultats de simulacions, a Barcelona, es presenten com suport d'aquesta afirmació.

Com que l'usuari ha d'assegurar una gran part del control dels sistemes passius, és important informar-lo bé. Es presenten suggeriments per a integrar-se al Llibre de l'Edifici.

## Introducció

Les característiques destacades dels edificis d'alta qualitat inclouen la qualitat de l'aire interior (IAQ), la comoditat tèrmica, les característiques visuals i acústiques, així com un baix impacte en el medi ambient. Dins del projecte d'investigació HOPE [1-3], s'ha adoptat la següent definició:

*Un edifici saludable i eficient en l'apartat de l'energia no provoca ni agreuja les malalties dels ocupants de l'edifici, garanteix un alt nivell de confort als ocupants de l'edifici en l'execució de les activitats designades per a les quals s'ha dissenyat i dissenyat l'edifici i minimitza l'ús de energia no renovable, tenint en compte la tecnologia disponible, inclosos els costos energètics del cicle de vida.*

En alguns casos, pot haver-hi un conflicte entre reduir l'ús energètic d'un edifici i augmentar la qualitat del seu ambient interior. L'experiència ha demostrat que això passa especialment quan no es realitzen estudis adequats. De fet, molts estudis realitzats a principis d'aquest segle [2, 4-9], i els edificis existents d'alt rendiment demostren que és possible realitzar construccions saludables, còmodes i d'acompliment energètic, sovint dissenyades com a edificis d'alta qualitat o de l'edifici de l'edifici [10].

Un edifici té una llarga vida útil. Per tant, hauria de ser dissenyat i construït per ser sostenible durant molts anys, tot i l'escalfament global i una reducció molt probable dels recursos energètics no renovables. Ara hi ha els mitjans que es presenten a continuació per augmentar el nombre d'edificis eficients energèticament que siguin alhora saludables i còmodes, disminuint així l'ús energètic en els edificis i, en conseqüència, la reducció de les

emissions de CO<sub>2</sub> de l'energia primària utilitzada per a la ventilació, calefacció, refrigeració i control de la humitat.

L'edifici és (o almenys ha de ser) dissenyat i construït primer per aportar un bon ambient interior als seus ocupants. No obstant això, hi ha altres objectius a més de l'eficiència energètica, com ara: prestigi, imatge, baix cost, estalvi energètic, negocis immobiliaris, especulacions; Aquests objectius no són necessàriament contradictoris i tots es tindran en compte en el projecte.

De fet, el desenvolupament sostenible requereix que els edificis de l'HQ s'hagin de dissenyar, construir i mantenir tenint en compte les apostes ambientals, econòmiques i socials. Això inclou, entre d'altres, el baix consum energètic, la bona qualitat de l'ambient interior (IEQ) i la salut. Aquestes tres participacions tenen una importància similar: un edifici no pot ser bo si falla en un d'ells. Edificis sans, còmodes i eficients energèticament són el resultat d'un disseny conscient que manté constantment aquests tres objectius. És important notar que l'elecció entre les diverses opcions és més àmplia en els primers passos del projecte. També a l'inici del projecte es prenen les decisions més importants. Serà bastant difícil canviar opcions més endavant o complir els requisits que no es van tenir en compte des de l'inici.

Atès que la qualitat de l'ambient interior és un tema important i, ja que l'assoliment de la comoditat tèrmica pot necessitar molta energia en climes agressius o edificis mal dissenyats, començarem amb criteris de confort tèrmic, després d'un parèntesi dedicat als anomenats "edificis d'energia zero".

## “Edificis d'energia Zero”

L'anomenat "edifici d'energia zero" és un edifici que exporta energia una vegada que ha cobert les seves necessitats. Aquest resultat generalment s'obté reduint primer les necessitats energètiques de l'edifici i, en segon lloc, instal·lant-se a l'edifici o al seu entorn algun "generador d'energia".

Tanmateix, aquesta definició no està clara. És ben sabut que res no es pot fer res sense energia. De fet, l'energia és, per definició, el mitjà de fer alguna cosa. Per tant, un edifici d'energia zero no pot existir.

D'altra banda, també és sabut que l'energia es conserva<sup>1</sup>. No es pot "consumir" ni "generar". En un procés donat, l'energia es transforma d'una de les seves formes a una altra forma. Per tant, tota l'energia importada per un edifici com a combustible o electricitat s'exporta finalment, majoritàriament com a calor. Resulta que cada edifici és un "edifici d'energia zero".

De fet, el concepte d'ús o consum d'energia i generació d'energia són convencionals:

**Ús energètic:** quantitat de combustible o electricitat que entra en els límits del sistema i que es transforma en una altra forma energètica dins del sistema. L'energia procedent de fonts renovables ubicades dins del límit del sistema (com panells solars, molins de vent i calor del medi ambient) no es comptabilitzen.

<sup>1</sup> Einstein ha demostrat que, de fet, és l'energia-massa la que es conserva, ja que l'energia i la massa són equivalents segons

$E = mc^2$ . No obstant això, en un edifici la quantitat de massa eliminada o creada és clarament insignificant.

**Producció d'energia:** quantitat d'energia exportada i utilitzada fora del límit del sistema. Per exemple, la calor exportat es comptabilitza si es lliura -i la utilitza- a un tercer.

El límit del sistema s'ha de definir abans de calcular o mesurar el balanç energètic. Podria ser l'envoltant de l'edifici, la parcel·la on es construeix l'edifici, un bloc d'edificis o fins i tot la ciutat o el país.

El balanç energètic és la producció menys l'ús durant un determinat període de temps. Aquest període podria ser el segon, obtenir el saldo energètic en Wats, un dia, un mes o més comunament un any sencer.

Un altre punt important és l'impacte ambiental del transport de l'energia que s'importa. És temptador limitar els límits del saldo energètic a l'envoltant de l'edifici, o fins i tot a l'entorn, i fer l'equilibri en termes d'energia final, que és el que realment es carrega a l'edifici. Aquest mètode desconeix totes les pèrdues de transformació i transport. Per tenir-los en compte, l'equilibri s'ha d'expressar en termes d'energia primària<sup>2</sup>.

La norma suïssa SIA 2031 defineix l'edifici amb un balanç energètic positiu com a edifici que compleix els següents criteris:

- Les seves necessitats de calefacció anuals relacionades amb l'àrea de calefacció bruta són limitades<sup>3</sup>
- La seva necessitat anual d'energia primària per a calefacció, refrigeració, ventilació, aigua calenta i il·luminació és limitada
- El balanç anual d'energia primària (és a dir, la producció menys l'ús) és positiva.

De fet, només el tercer criteri defineix un edifici amb un balanç energètic positiu. Els dos primers criteris, que compleixen la directiva europea sobre el rendiment energètic dels edificis [11], pretenen evitar que un edifici compensi el seu baix rendiment energètic amb una gran producció pròpia d'energia.

A Suïssa, el refredament no és realment necessari, i la regulació energètica limita només els requisits de calefacció dels edificis. No obstant això, es requereix una autorització per instal·lar refrigeració mecànica en un edifici, que només es permet en edificis amb guanyos interns molt grans. Així, no es permet la refrigeració artificial d'un edifici amb tancament complet de vidre.

Les normes van ser reforçades progressivament des del primer xoc petroler de 1972, i ara els edificis nous o renovats utilitzen tres vegades menys energia de calefacció que els edificis dissenyats en els anys setanta. També hi ha un segell voluntari, Minergie<sup>®</sup>, amb requisits més forts. Més de 43.000 edificis van aconseguir aquesta etiqueta. El resultat és que la quantitat de combustibles de calefacció utilitzats anualment a Suïssa va disminuir des de 1970 malgrat un considerable augment de la superfície construïda. Tanmateix, tenim un important augment de la demanda elèctrica i d'energia per al transport.

<sup>2</sup> Per exemple, un Kwh d'electricitat usat a la European Network of Transmission System Operators for Electricity –ENTSOE- requereix 3,18 Kwh per a ser produït i transportat i genera 522 g de CO<sub>2</sub> (gas d'efecte hivernacle)

<sup>3</sup> El límit depèn de l'ús de l'edifici i es dona en la norma suïssa SIA 380/1

## Confort

El criteri de confort bàsic és el benestar general dels ocupants. Això inclou els següents criteris:

- Salut: l'edifici no pot causar malalties o accidents.
- Qualitat de l'aire: l'edifici no contaminarà l'aire, i els contaminants produïts pels ocupants seran evacuats amb una adequada renovació de l'aire.
- Comoditat visual: la llum (il·luminació i espectre) s'adaptarà a l'activitat, sense massa enlluernament. S'utilitzarà la il·luminació natural sempre que sigui possible.
- Acústica: l'espai interior ha d'estar protegit del soroll extern i l'ambient acústic s'ha d'adaptar a les activitats de l'ocupant.
- Comoditat tèrmica: la temperatura de l'aire i les superfícies circumdants, així com la humitat de l'aire, s'han d'adaptar a l'activitat i la roba de l'ocupant per assegurar una bona sensació tèrmica.

També hi ha altres criteris com la densitat dels ocupants, les dimensions espacials i la decoració, o fins i tot per a persones sensibles, camps electromagnètics o fins i tot altres influències.

## Criteris de confort tèrmic

Atès que la calefacció i la refrigeració es troben entre els principals consumidors d'energia dels edificis dels països desenvolupats, ara ens centrarem en aquests usos. Una manera fàcil d'estalviar energia per a aquests usos és simplement no escalfar o refredar artificialment els edificis. Això no es pot acceptar en la majoria dels climes i, per donar una base al que és acceptable o no, es van publicar criteris sobre criteris de confort

### La temperatura operativa

La sensació de comoditat tèrmica és bona quan la calor generada en el cos pel metabolisme es pot evacuar sense compensar amb accions com el tremolar o la sudoració. El cos intercanvia calor amb l'aire circumdant per conducció, convecció i evaporació i amb les superfícies circumdants per radiació. Per tant, les temperatures de les superfícies circumdants influeixen en la nostra comoditat tèrmica que pot ser tan important com la temperatura i la humitat de l'aire.

La temperatura operativa en un lloc determinat en un espai es defineix com la temperatura d'un espai isotèrmic en el qual el cos té els mateixos canvis tèrmics que a la posició real de l'espai real. Per tant, és una combinació de la temperatura de l'aire i la de les superfícies circumdants. De fet, és la "temperatura" que sentim quan estem en una ubicació determinada en una habitació o a l'aire lliure.

### Model de confort de Fanger

El model de comoditat estandarditzat en ISO 7730 [12] es basa en el treball de Fanger [13], que va realitzar mesures en cambres climàtiques condicionades i en estat constant, pel que fa als ocupants com a reacció passiva als estímuls tèrmics. Aquest model proporciona una temperatura operativa òptima segons l'activitat i la roba dels ocupants.

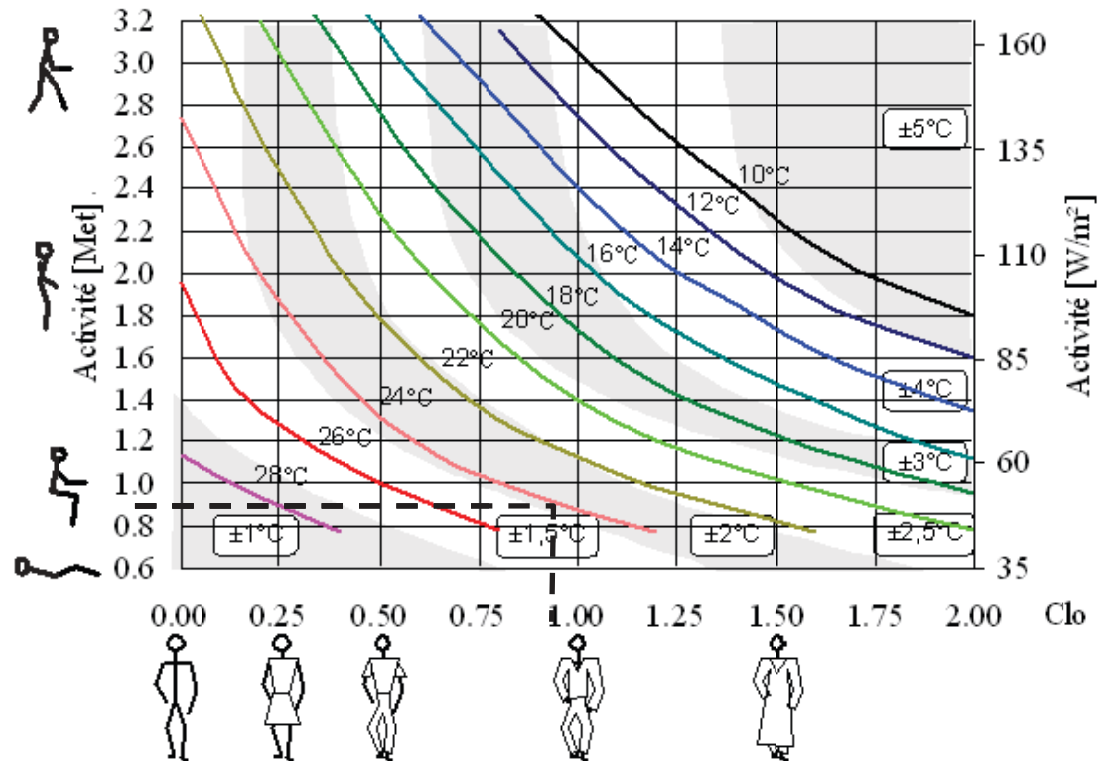


Figura 1: Temperatura operativa òptima en funció de la roba i l'activitat. Les zones blanques i ombrejades permeten la tolerància del 90% de la població.

El diagrama de la Figura 1 de l'estàndard ISO 7730 mostra la temperatura operativa ideal (línies simples) en funció de la roba i l'activitat, en què només hi haurà un 5% insatsfets, de manera que el 2,5% se senti massa calent, i un 2,5% massa fred. L'àrea amb ombra i blanc són dominis de tolerància, en què el percentatge de descontents serà menys del 10%.

Per exemple, el 90% d'una població asseguda amb un vestit de saló prefereix una temperatura operativa a  $22 \pm 2$  °C. Si aquesta població és més activa, per exemple, quan es dona una conferència, es prefereix una temperatura de  $18 \pm 3$  °C. Per aquest motiu, es prefereix una temperatura d'uns 20 °C a les escoles i oficines.

Si la població asseguda usa pantalons curts i camisa lleugera, preferiran  $26 \pm 1,5$  °C, mentre que una temperatura de  $28 \pm 1$  °C seria millor quan estigués nu i estirat.

Tenint en compte que la roba és més lleugera quan l'aire exterior és calent i per a una activitat sedentària; el model ISO 7730 proporciona una temperatura operativa òptima que es pot resumir mitjançant la següent equació:

$$\theta_c = 0.12 \theta_{o,m} + 21.5 \quad 1$$

on  $\theta_{o,m}$  és la temperatura mitjana mensual mitjana de l'aire en °C. Aquesta equació està il·lustrada per la línia vermella a la Figura 3 (a.)

L'experiència quotidiana, però, mostra que la temperatura ideal no és una constant. Els ocupants canvien el clima interior per adaptar-se a les seves preferències i viceversa, i s'adapten a la temperatura ambient canviant la roba o adaptant la seva activitat.

Per exemple, a altes temperatures, els corrents d'aire redueixen la temperatura percebuda, augmentant l'evaporació i la transferència de calor convectora de la pell a l'aire. La Figura 2 mostra la relació entre la reducció de la temperatura percebuda i la velocitat de l'aire per a diverses diferències entre la temperatura radiant i l'aire. Tingueu en compte que, tret que les superfícies estiguin especialment escalfades o refredades, la temperatura radiant mitjana d'una habitació és molt propera a la temperatura de l'aire (gruixuda corba negra a la Figura 2).

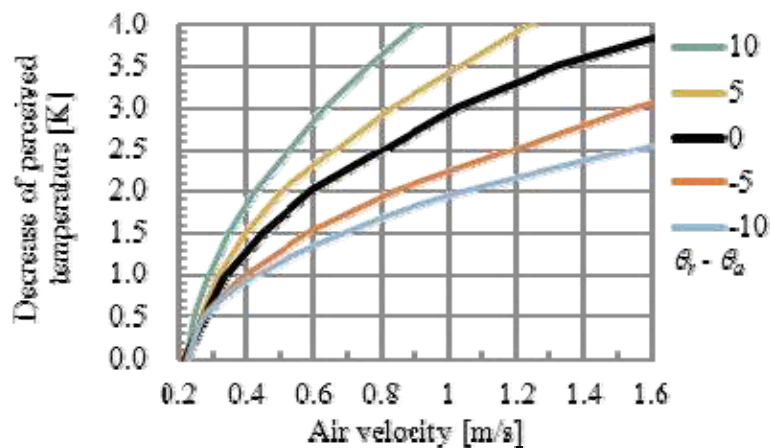


Figura 2: Velocitats de l'aire requerides per compensar la temperatura augmentada. Les diferents corbes corresponen a diverses diferències entre les temperatures radiants i l'aire. Font [12]

A més, els ocupants accepten una variació de temperatura més gran en alguns entorns que en altres. Dins el marc del projecte de recerca 884 d'ASHRAE, es van compilar dades de confort de 160 edificis arreu del món. De Dear and Brager [14] han dividit aquests edificis en dos tipus: edificis amb ventilació natural i amb aire condicionat. En els edificis amb aire condicionat, la temperatura de confort percebuda encaixa bastant bé amb la temperatura òptima calculada segons ISO 7730 si la roba s'adapta a la temperatura exterior [13] (Figura 3: a).

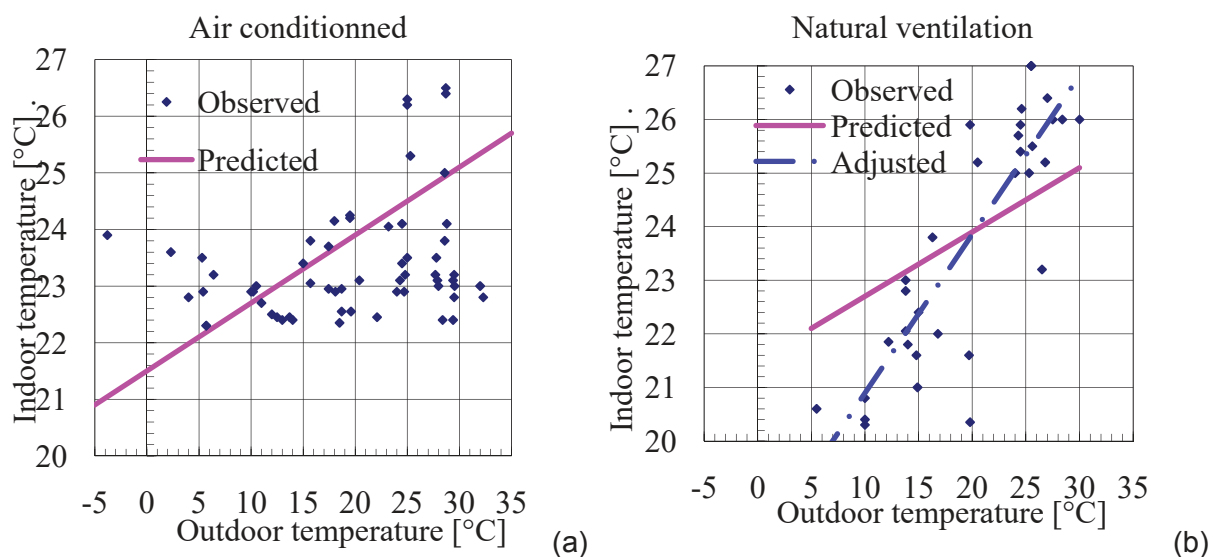


Figura 3: Temperatures de confort interior observades i previstes de la base de dades ASHRAE RP-884. (a) per a edificis amb aire condicionat (b) per a edificis amb ventilació natural. De [14]

## Model de confort adaptatiu

En edificis amb ventilació natural, però, la ISO 7730 no prediu correctament la temperatura de confort. De fet, els ocupants s'adapten utilitzant mitjans -com ara els ventiladors (vegeu la Figura 2), adaptant roba i activitat, begudes fredes, etc.- que no es tenen en compte en el model EN-ISO 7730 (Figura 3: b).

Per tant, els models de comoditat adaptativa van ser desenvolupats, entre altres, per Dear and Brager [14] i McCartney i Nichol [15], discutits i finalitzats a la norma europea EN 15251 [16, 17]. Aquest model relaciona la temperatura operativa òptima amb la temperatura exterior de la següent manera:

$$\theta_{op} = 18.8 + 0.33 \theta_{rm} \quad 2$$

on  $\theta_{op}$  és la temperatura operativa interna i  $\theta_{rm}$  és la temperatura mitjana exterior. Aquesta temperatura es calcula, durant un dia  $d$ , de la temperatura mitjana diària  $\theta_d$  dels dies precedents:

$$\theta_{rm}(d) = 0.8 \cdot \theta_{rm}(d - 1) + 0.2 \theta_d \quad 3$$

La raó d'aquesta mitjana corrent és que la temperatura percebuda i la roba adaptada estan influïdes per les temperatures dels dies anteriors.

L'equació (2) dona la temperatura òptima, que és preferit per més del 95% de la població. Tanmateix, hi ha una tolerància al voltant. L'interval de tolerància és de  $\pm 2$  K per a l'acceptació del 94%,  $\pm 3$  K per al 90% i  $\pm 4$  K per al 85%. Tenint en compte, d'acord amb EN 15251, que l'equació (2) és vàlida entre 10 i 30 °C de temperatura mitjana a l'aire lliure, els límits per a temperatures baixes a l'aire lliure són aquells acceptats en espais condicionats (és a dir, escalfats), com es mostra a la figura 4.

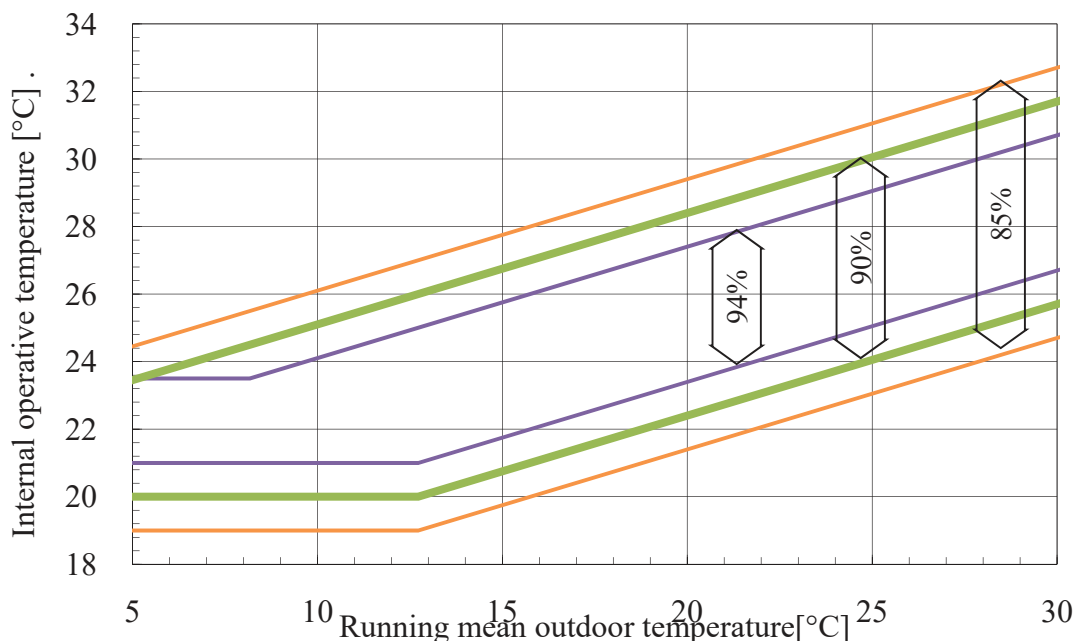


Figura 4: Els límits de comoditat tèrmica en espais lliures, ni refrigerats ni escalfats, quan la temperatura exterior és prou calenta, que els ocupants accepten quan poden adaptar el seu entorn i la roba, per a una activitat sedentària, d'acord amb el model EN 15251 [17].

## Models de confort proposats

En molts països, els límits del 90% s'adopten per als edificis ocupats. Els límits que es mostren a la Figura 5 per a espais condicionats i no condicionats són els que s'adopten a la norma suïssa SIA 180 [18] per a residències, escoles i oficines. En alguns climes, l'ús de la refrigeració passiva nocturna pot disminuir la temperatura interior sota el límit inferior dels edificis no condicionats. Per evitar la impressió que aquests espais s'escalfin durant la temporada càlida, el límit inferior s'amplia, seguint els espais condicionats.

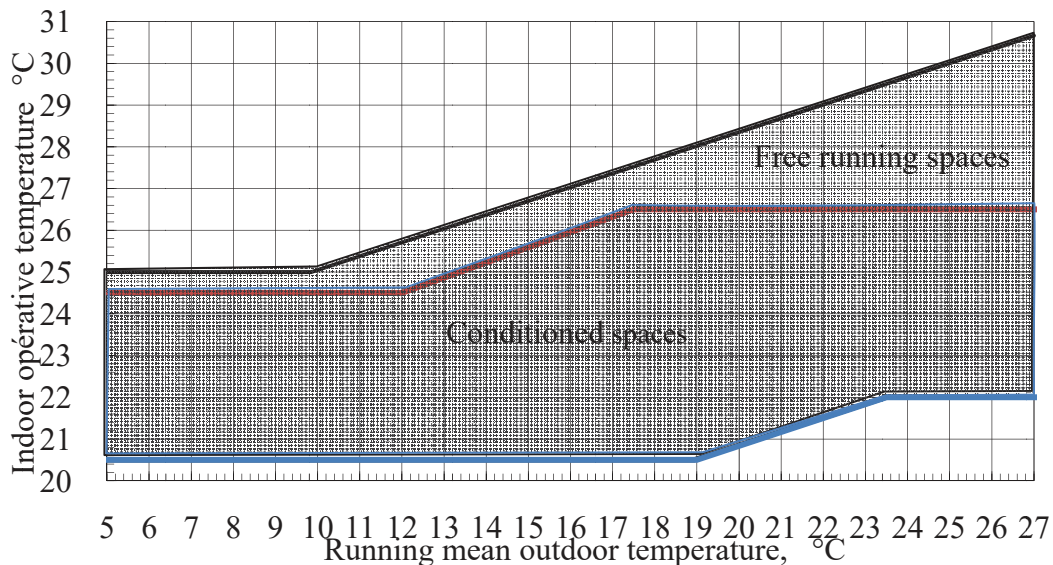


Figura 5: Límits de confort tèrmic per a activitats moderades en espais lliures (o no condicionats) i condicionats, que s'accepten en un 90% dels ocupants, tenint en compte l'adaptació de la roba.

El model de confort adaptatiu no només proporciona regles de disseny per a una millor comoditat en edificis de ventilació natural i de lliure funcionament, sinó que permet estalvis substancials d'energia, especialment en climes càlids: si la comoditat tèrmica es pot aconseguir només mitjançant passius (és a dir, si la temperatura operativa està sempre dins de la zona de confort ombrejada de la Figura 5), no cal instal·lar calefacció ni refrigeració.

## Mitjans passius i actius per aconseguir edificis de l'HQ

**Els mitjans passius** són mesures arquitectòniques i constructives que, naturalment, proporcionen una millor qualitat de l'ambient interior a molt baix o fins i tot sense cost d'energia. Els exemples són:

- Millorar el confort tèrmic hivernal, reduint així l'ús d'energia per a la calefacció, amb aïllament tèrmic, guanys solars passius, inèrcia tèrmica i ventilació natural controlada.
- Millorar el confort tèrmic de l'estiu, reduint així l'ús d'energia per a la refrigeració, amb aïllament tèrmic, proteccions solars, inèrcia tèrmica i ventilació natural adequada;
- Garantir la qualitat de l'aire interior mitjançant l'ús de materials de baixa emissió i la ventilació natural controlada, que redueix l'ús d'energia per a la ventilació;



- Proporcionar suficient il·luminació de dia controlada, reduint l'ús d'energia per a la il·luminació;
- Protecció del soroll exterior amb aïllament acústic, ajustant el temps de reverberació per a una acústica interior còmoda.

Els mitjans passius sovint són barats, utilitzen poca o cap energia<sup>4</sup>, i són molt menys susceptibles de trencar que els mitjans actius. Tanmateix, sovint depenen de les condicions meteorològiques i, per tant, no sempre es poden complir els objectius. Han d'adaptar-se a la ubicació i, per tant, necessiten creativitat i estudis addicionals, en particular una planificació interdisciplinària (com un *desing charrette* [19]) al començament del projecte. També un error de disseny pot tenir conseqüències dramàtiques.

**Els mitjans actius (o tecnològics)** permeten assolir els objectius mitjançant accions mecàniques, utilitzant energia aportada des de les xarxes públiques. Els exemples són: calefacció de calderes i radiadors pel confort de l'hivern; refrigeració artificial per aire condicionat o panells radiants pel confort d'estiu; ventilació mecànica i il·luminació artificial.

Els mitjans actius, quan estan dissenyats, construïts i mantinguts adequadament, estan perfectament adaptats a les necessitats. Aquests són dissenyats i aplicats per enginyers especialitzats d'acord amb una tecnologia ben coneguda. Flexibles i relativament independents de les condicions meteorològiques, permeten corregir errors arquitectònics. Tanmateix, la tecnologia requerida sovint és costosa, utilitza molta energia i es descompon. A més, els mitjans actius requereixen un major manteniment. El fet que permetin corregir errors arquitectònics també es pot considerar un error conceptual sino una perversió.

La Taula 1 resumeix els pros i els contres d'ambdós sistemes. Mostra clarament que els sistemes passius i actius són complementaris: els desavantatges d'un són compensats pels avantatges de l'altre i viceversa. Tanmateix, els sistemes passius són preferides pel seu baix cost i bon rendiment energètic, però no sempre poden complir els objectius de comoditat.

**Per tant, l'estratègia adequada és utilitzar-los tant com sigui raonablement possible com compensar les seves insuficiències amb els sistemes actius, que seran més petits i econòmics.**

Taula 1: *Avantatges i desavantatges dels sistemes passius i actius per assegurar un bon ambient interior.*

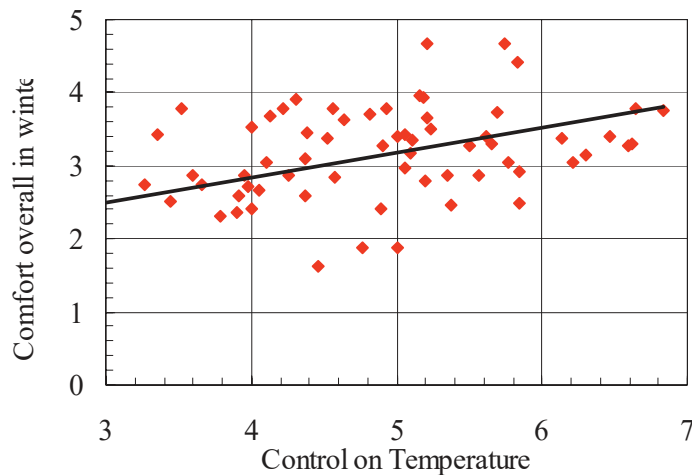
Sistemes Passius	Sistemes Actius
<i>Econòmics</i>	<i>Cars</i>
<i>No usen energia</i>	<i>Usen molta energia</i>
<i>No col·lapsen</i>	<i>Poden col·lapsar</i>
<i>Necessiten disseny curós</i>	<i>Fàcils de dissenyar</i>
<i>Difícils de controlar</i>	<i>Fàcils de controlar</i>

<sup>4</sup> Aquí, l'energia és la procedent del mercat (xarxes energètiques). Els mitjans passius utilitzen, de manera gratuïta, energies renovables, com la radiació solar per a calefacció i il·luminació, el vent i l'efecte xemeneia per a la ventilació i la calor de l'aire o el sòl per refredar. L'energia que s'utilitza durant el procés de construcció (energia grisa) no se contempla aquí,

## Tenint en compte l'usuari

L'ocupant d'un edifici espera que l'edifici proporcioni un ambient interior acceptable, d'acord amb els seus desitjos. A l'ocupant li agrada tenir un control sobre aquest entorn i fins i tot necessita un control d'aquest tipus per adaptar-lo a les seves necessitats. L'enquesta HOPE [5, 20] ha demostrat que el control que un ocupant té sobre el seu entorn no només millora el seu confort percebut, sinó que també està relacionat d'alguna manera amb el seu benestar (Figura 6).

Per tant, el disseny de l'edifici i el sistema han de tenir en compte les necessitats i desitjos de l'usuari i permetre a l'usuari adaptar les seves condicions ambientals a les seves necessitats tant com sigui possible. Quan l'entorn no es pot modificar amb mitjans accessibles, l'ocupant troba d'una altra manera: portar escalfadors, obrir la finestra a l'hivern en lloc de posar el termòstat (inexistent) avall, utilitzant cinta o paper per tancar obertures de ventilació dures, etc.



*Figura 6: La comoditat percebuda es correlaciona amb el control percebut dels ocupants sobre el seu entorn. L'escala dels dos eixos va des de 1 = satisfactòria fins a 7 = no satisfactòria*

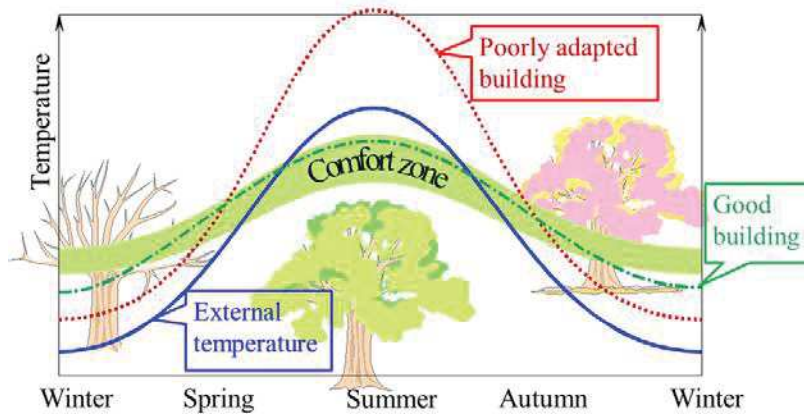
## Adaptació al medi ambient

Les característiques ambientals exteriors (temperatura, radiació solar, vent, pols, contaminació, soroll, etc.) canvien amb la ubicació de l'edifici i amb el temps. Per tant, un disseny ben adaptat en un lloc pot ser completament inadequat per a un altre: les tendes de llit beduïnes, els iglús, les cabanes tropicals, totes ben adaptades al seu entorn, no es poden utilitzar en cap altre lloc. Això també és vàlid per al disseny contemporani de l'edifici: és possible compensar els canvis ambientals utilitzant tècniques actives, però això disminueix sovint la qualitat de l'ambient interior i augmenta l'ús d'energia.

L'adaptació de l'edifici al medi ambient inclou els següents:

- Adaptació al clima mitjançant l'aïllament tèrmic adequat, la inèrcia tèrmica, les proteccions solars i les obertures per a la llum i la ventilació. **Un disseny adequat de l'edifici ha de garantir que l'edifici sigui, sense calefacció o refredament, almenys tan còmode com l'entorn extern** (Figura 7). En molts casos, és fàcil fer-ho millor per mitjans passius.

- Adaptació al soroll: Millora l'aïllament acústic en zones sorolloses, per exemple, utilitzant finestres de doble pell o a prova de so, i instal·lant ventilació mecànica amb barreres acústiques.
- Adaptació a la contaminació: localitzeu la ingesta d'aire, tant lluny com sigui possible, de fonts de contaminació, instal·leu ventilació mecànica amb filtres adequats i assegureu-vos el manteniment adequat.



*Figura 7: Un bon edifici ha de ser, sense calefacció o refredament, almenys tan còmode com l'entorn extern*

No obstant això, cal esmentar que la roba és el primer pas més natural per controlar la temperatura. Durant l'enquesta HOPE, l'administració d'un edifici ha justificat l'aire condicionat perquè el vestit casual complet era obligatori a l'empresa. Això no hauria de ser així mai més, ja que permetre que l'adaptació de la roba als edificis millori la comoditat i estalvia molta energia!

## Energia i benestar

Seguint directament la crisi dels costos petrolífers en els anys setanta, es van prendre mesures apresurades en molts edificis per reduir el seu ús energètic. Aquestes mesures es van planificar amb només dos objectius: eficiència energètica i rendiment de la inversió. Els efectes d'aquestes mesures sobre el medi ambient interior, la salut o la comoditat van quedar completament descuidats. Per tant, en molts casos, els resultats van ser espectaculars. No només es va disminuir la comoditat, sinó que es van observar casos de creixement de les floridures, augment de la contaminació interior i riscos per a la salut. Des de llavors, alguns afirmen que hi ha un conflicte entre l'estalvi d'energia i la bona qualitat del medi interior.

Per descomptat, algunes oportunitats de conservació d'energia (ECO) poden destruir l'ambient interior. Cal evitar, per tant, mesures com la reducció de la temperatura interna o de la ventilació per sota dels límits de confort, o només en cas d'emergència i per un període de temps limitat.

Taula 1: Funcions de l'edifici que requereixen energia, juntament amb algunes maneres d'estalviar energia i els efectes d'aquestes mesures d'estalvi d'energia en comoditat.

Energia necessària per a	Formes d'estalviar energia	Impacte en el medi ambient interior
Compensació de la pèrdua de calor per transmissió a l'hivern	Millor aïllament més gruixut, vidre múltiple recobert amb baixa emissivitat.	Millora la salut mitjançant la prevenció del creixement de les floridures.
Compensació de pèrdues i guanys de calor convector (ventilació)	Limiteu la velocitat de ventilació al nivell requerit Utilitzeu la recuperació de calor de l'aire de sortida.	Menys corrents d'aire, menys soroll, bona IAQ En general, millora l'IAQ a l'hivern
Calefacció en climes freds	Millora els guanys solars amb finestres grans, ben orientades i aïllants. Millora l'ús de guanys mitjançant un millor aïllament i una bona inèrcia tèrmica.	Sobreescalfament si hi ha poca protecció solar. Si està ben planificat: bon contacte visual a l'aire lliure, excel·lent confort d'estiu i hivern.
Refrigeració (Eliminació dels guanys de calor)	Utilitzeu refrigeració passiva (necessita gran inèrcia tèrmica) Utilitzeu sistemes eficients, ben encarregats i mantinguts Temperatura interna més alta	Molt còmode en climes i edificis apropiats. Millor IAQ i confort Ha de romandre dins dels límits de confort.
Control intern de temperatura	Còmoda temperatura de conjunt, millor control	S'evita un escalfament excessiu i baix
Deshumidificació	Utilitzeu només quan sigui necessari	No hi ha efectes en molts casos.
Humidificació	Apaga't.	No hi ha efectes en molt casos.
Il·luminació	Feu servir la llum del dia Utilitza una il·luminació artificial eficient.	Llum còmoda, amb guanys de calor limitats quan està ben controlat. El confort depèn de la qualitat de la llum. Guanys de calor limitats.
Cuina	Utilitzeu cuines solars Utilitzeu estufes de combustió eficients Utilitzeu cuines elèctriques d'inducció	Cuina a l'aire lliure, només hores assolellades. Millora la qualitat de l'aire interior Redueix la càrrega tèrmica

IAQ = Qualitat de l'Aire Interior

Alguns altres ECO's només s'han d'utilitzar juntament amb els altres. Per exemple, l'ajustament de les finestres en habitatges mal aïllades augmenta el risc de creixement de les floridures i, per tant, la millora de l'estanquitat de l'aire interior, sense assegurar i controlar una mínima ventilació, disminuirà la qualitat de l'aire interior.

En els edificis es requereix energia, entre d'altres, amb els propòsits indicats a la Taula 1. Aquesta taula també proposa maneres conegudes d'estalviar energia i presenta alguns efectes d'aquestes mesures d'estalvi energètic en comoditat o qualitat de l'entorn interior. Es pot veure fàcilment que hi ha molts casos en què ECO's, quan està ben planificat i executat, millora la qualitat de l'ambient interior.

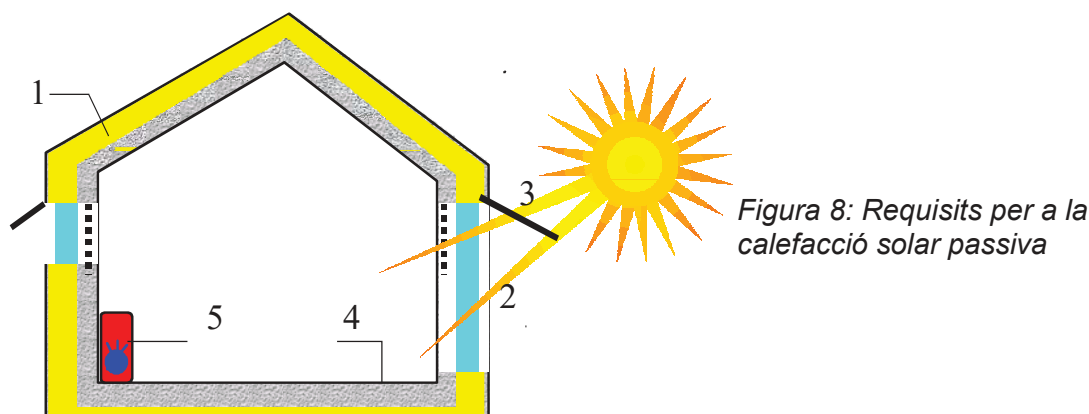
## Evitar el refredament i reduir l'escalfament energètic

Les dues estratègies passives que milloren el confort tèrmic són la calefacció solar passiva durant la temporada de fred i la refrigeració passiva per ventilació a la temporada càlida.

### Calefacció solar passiva

L'energia solar entra lliurement a l'edifici, principalment a través de les finestres, contribuint així a escalfar l'edifici. Per obtenir el màxim benefici d'aquests guanys durant la temporada freda sense sobreescalfar, cal complir les següents condicions (Figura 8):

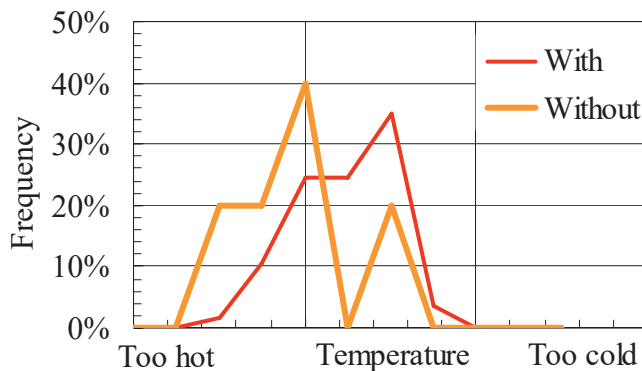
1. L'edifici ha d'estar ben aïllat, per evitar pèrdues excessives.
2. Hauria de tenir grans àrees de recollida al costat assolellat de l'edifici (del sud-est al sud-oest en l'hemisferi nord). Les àrees de recopilació són principalment finestres, però també poden ser espais solars o parets amb aïllament transparent.
3. Aquestes finestres han d'estar equipades amb proteccions solars mòbils controlables, per tal de controlar els guanys. Les bones proteccions solars per a mitja temporada i estiu són externes, ja que només aquestes poden reduir significativament els guanys per evitar un sobreescalfament. L'ombrajat solar intern podria ser necessari per controlar les condicions d'il·luminació (enlluernament). A l'hivern, les ombres internes són preferides, ja que eviten l'enlluernament, però permeten guanys de calor solar. Les proteccions solars fixes no són ideals, ja que no permeten cap control: tampoc són suficients en alguns dies assolellats, o redueixen la llum del dia en dies ennuvolats. La vegetació amb fulles de fulla caduca pot aportar una protecció solar estacional. No obstant això, també omet l'edifici tot el dia, fins i tot quan cal més llum del dia.
4. Una gran massa tèrmica (construcció pesada) permet emmagatzemar calor, evitant el sobreescalfament durant el dia assolellat i mantenint un clima interior suau durant la nit.
5. El control de calefacció ha de tallar el sistema actiu de calefacció tan bon punt els guanys solars siguin suficients per mantenir una temperatura interna còmoda i activar-lo tan aviat com sigui necessari.



1. Bon aïllament tèrmic. 2. Finestres grans al costat assolellat
3. Proteccions solars mòbils. 4. Alta massa tèrmica.
5. Sistemes de calefacció i control adequats.

Els guanys solars passius poden ser útils per millorar la comoditat a baix cost durant la temporada de calefacció, però poden ser incòmodes quan estan mal controlats, especialment a la temporada mitja o calenta.

Dins de l'estudi HOPE es van observar diferències significatives ( $P < 5\%$ ) en la temperatura percebuda (Figura 9), comoditat tèrmica i estabilitat de temperatura entre edificis amb i sense proteccions solars. Totes aquestes diferències estan a favor d'edificis amb protecció solar.



*Figura 9: Votació sobre la temperatura percebuda a l'estiu en edificis amb o sense proteccions solars*

Les bones proteccions solars estan fora. La radiació solar es reflecteix en part per la protecció solar, però s'absorbeix en gran part i es transforma en calor, la qual cosa augmenta la temperatura de la protecció solar. Si aquesta protecció és a l'aire lliure, aquesta calor s'allibera a l'aire lliure i no entra a l'edifici. Si la protecció solar està dins, aquesta calor es lliura a l'aire interior, escalfant així l'edifici.

Utilitzeu una protecció solar externa a prova de vent, si cal utilitzeu per darrere una protecció mecànica com a una segona pell. En aquest cas, l'espai entre les dues carcasses ha de ser ben ventilat, amb obertures almenys cada dos pisos.

L'ús del vidre reflector solar disminueix la il·luminació solar, d'aquesta manera augmenta la il·luminació artificial i la càrrega tèrmica. De fet, el sol és la font de llum més eficient: s'escalfa només  $1 \text{ W} / \text{m}^2$  d'àrea de llum per cada 100 lux.

La llum de dia canvia de manera natural, així com la radiació solar, i de vegades són molt útils (guanys solars passius, llum natural) i altres incòmodes (enlluernament, massa calor). Per tant, les proteccions solars han de ser mòbils per controlar la radiació solar que entra a l'edifici. És preferible un control automàtic amb possibilitat d'anul·lació individual.

## Sobreescalfament a l'estiu

L'edifici pot estar en risc d'estar sobreescalfat a l'estiu per diversos motius:

- Situat en un clima càlid
- Gran zona de vidre sense protecció solar
- Ni refrigeració passiva ni activa
- Càrrega de calor interna massa alta

Els edificis calents augmenten la càrrega de refrigeració o afavoreixen la refrigeració mecànica.

Els problemes de confort esperats són la transpiració, el rendiment i la productivitat reduïts i l'augment dels errors humans. També existeix el risc de reduir la qualitat de l'aire (olors, humitat).

Una alta temperatura percebuda a l'estiu disminueix la productivitat percebuda (Figura 10). Aquesta relació no s'observa a l'hivern. El pendent negatiu de la Figura 10 té una probabilitat menor que  $10^{-5}$  per ser zero o positiu.

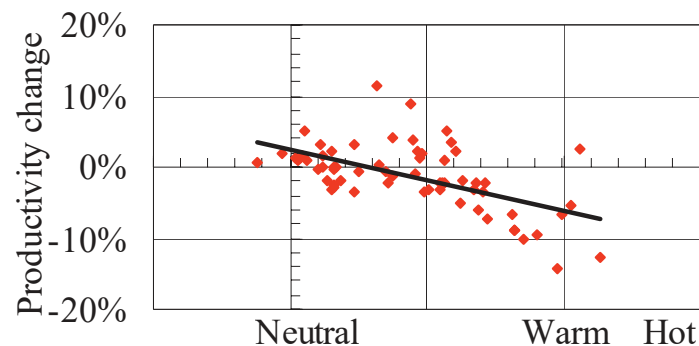


Figura 10: Productivitat percebuda i temperatura a l'estiu

No és sorprenent que el vot mitjà sobre la temperatura a l'estiu s'aproximi més al valor de la comoditat en edificis d'oficines amb refrigeració mecànica (el vot mitjà és de 0,75)<sup>5</sup> que en edificis sense refrigeració mecànica (el vot mitjà és de 1,1). Aquesta diferència és molt important ( $P = 10^{-6}$ )

Tanmateix, la diferència entre la percepció del confort tèrmic entre aquests dos grups d'edificis és menor: els vots són a prop de 4 (3,93 i 4,29) en una escala d'1 "còmoda" a 7 "incòmoda". La diferència de vots mitjans en aquesta qüestió també és menys significativa ( $P = 0,5\%$ ).

Això confirma que els ocupants d'edificis sense refrigeració mecànica són més tolerants que els d'edificis totalment condicionats.

<sup>5</sup> L'escala de comoditat utilitzada aquí és la ISO 7030: -3 és molt freda, -2 freda, -1 lleugerament freda, 0 és ideal, 1 lleugerament calenta, 2 càlida i 3 calenta.

## Refrigeració passiva

El refredament passiu a través de la ventilació nocturna és una manera còmoda, econòmica i eficaç per mantenir l'ambient interior en un lloc confortable i còmode en la majoria de climes europeus, en especial a Europa central, nord, oest i els punts més altes a les zones mediterrànies. En el futur, és possible tenir un clima interior còmode a l'estiu sense refrigeració artificial, sempre que la càrrega interna de calor no sigui massa gran.

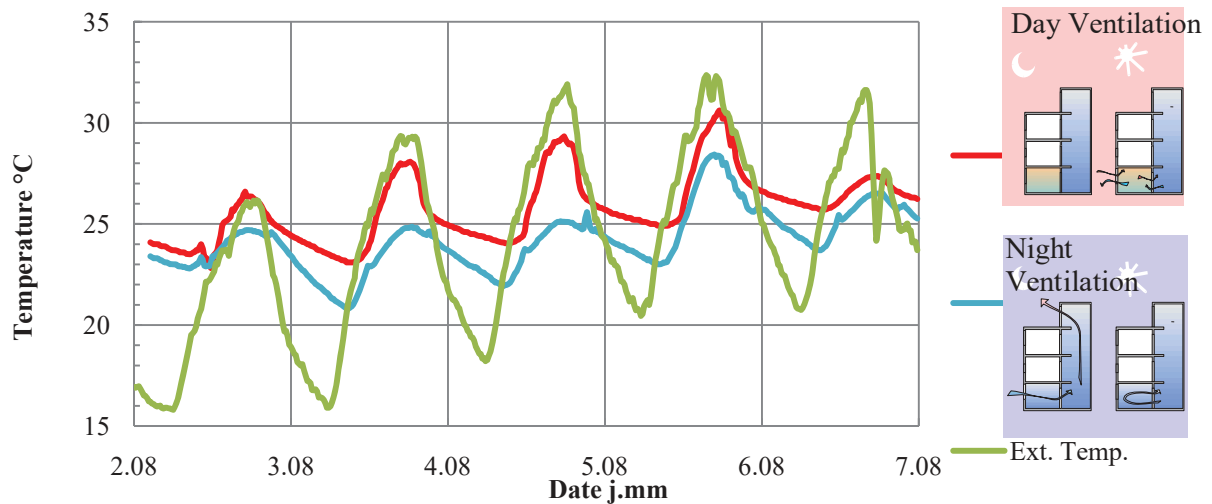


Figura 11: Temperatures en dues sales d'oficines idèntiques. Una (línia vermella) ventilada com de costum, només durant el dia. L'altra (línia blava) ventilada principalment a la nit. La línia verda és la temperatura exterior. Aquest experiment es va realitzar a l'edifici LESO, EPFL, Lausana.

La figura 11 mostra l'evolució de les temperatures internes i externes (40 m<sup>3</sup>) de la LESO<sup>6</sup>, que s'ha dividit en dues estratègies diferents:

- 1) l'estratègia habitual en edificis d'oficines, amb finestres obertes durant el dia però no a la nit; i
- 2) l'estratègia de refredament passiu amb finestres obertes durant la nit i, com a mínim, la ventilació higiènica durant el dia.

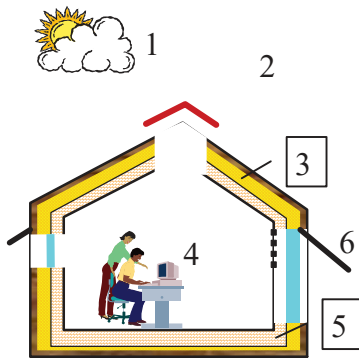
Aquestes oficines tenen una considerable inèrcia tèrmica i persianes solars externes. La taxa de ventilació nocturna correspon a 10 volums d'aire per hora. Una persona ocupa l'oficina durant 8 hores al dia, sovint amb un ordinador personal. Aquesta prova, juntament amb molts altres, mostra que la comoditat de l'estiu es pot millorar a baix cost usant refrigeració passiva.

Els principis de refrigeració passiva són compatibles amb els de la calefacció solar passiva. Com es pot veure a la figura 12, són:

<sup>6</sup>La LESO és un edifici d'oficines solars passives a l'EPFL.



1. La temperatura mitjana diària a l'aire lliure ha d'estar dins dels límits de confort per a espais no condicionats
2. Refresqueu l'estructura de l'edifici amb una gran ventilació quan la temperatura externa sigui inferior a la temperatura interna. Les grans taxes de ventilació són fàcilment obtingudes mitjançant ventilació natural mitjançant finestres i portes obertes. Calen sortides altes per a l'evacuació de l'aire calent.
3. Eviteu guanys de calor mitjançant un bon aïllament tèrmic, sistemes d'ombreig eficients (externs i mòbils), i una mínima ventilació durant les hores calentes.
4. Eviteu la càrrega de calor interna mitjançant la promoció de llum natural i aparells de baix consum energètic.
5. Guardeu els guanys de calor restants a l'estructura de l'edifici. Per a això, l'estructura de l'edifici pesada ha d'estar en contacte directe amb l'ambient interior.



*Figura 12: Requisits per a una refrigeració passiva eficient*

1. Clima convenient
2. Obertures grans, una a la part superior de l'espai
3. Bon aïllament tèrmic, proteccions solars eficients
4. Reducció de guanys interns
5. Massa tèrmica elevada
6. Aireació nocturna, no durant el dia!

Aquesta estratègia només es pot aplicar en climes on la temperatura mitjana diària a l'aire lliure es troba dins dels límits de confort i on hi ha un canvi significatiu de temperatura entre la nit i el dia. Afortunadament, aquest és el cas en la majoria de climes europeus.

A més de l'estructura pesada, l'edifici ha de tenir obertures grans i ben ubicades, i aquestes obertures haurien de ser prou segures per romandre obertes durant la nit.

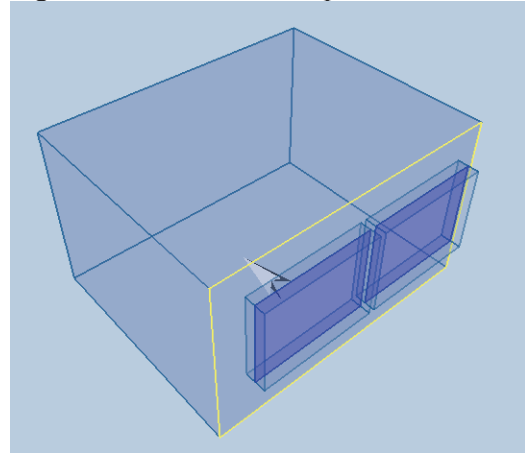
Si la refrigeració passiva no és possible, la ventilació nocturna impulsada mecànicament és una alternativa que cal considerar. Aquest tema es va tractar dins del projecte europeu HybVent. Podeu descarregar informes complets de <http://www.hybvent.civil.aau.dk/>

## Simulacions

És ben sabut que la demanda d'energia per a calefacció es pot reduir mitjançant l'aïllament tèrmic i la calefacció solar passiva. La demanda de refredament es redueix amb l'ús adequat de proteccions solars, aïllament tèrmic i inèrcia tèrmica per fer ús de la refrigeració nocturna passiva.

Per il·lustrar-ho, hem simulat una sala de 5 m d'amplada, 4 m de profunditat i 3 m d'altitud, orientada al sud, situada entre locals idèntics als altres costats. La façana sud està equipada amb dues grans finestres d'un sol vidre, que totalitzen 6 m<sup>2</sup> (Figura 13).

Figure 1: Vista 3-D de l'espai simulat



La construcció es realitza obra de fàbrica ceràmica i lloses de formigó, garantint una forta inèrcia tèrmica. Es van simular tres nivells d'aïllament tèrmic:

- 1 Sense cap aïllament tèrmic específic, finestres de vidre simple.
- 2 Aïllants tèrmics exteriors de 5 cm de gruix i doble envidrament ( $U = 3 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ )
- 3 Aïllament tèrmic extern de 10 cm de gruix, vidre aïllant d'altres prestacions ( $U = 1,1 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ )

El clima exterior utilitzat per a aquesta simulació és el de Barcelona. Els càlculs es van realitzar amb el programari DIAL +, que utilitza els algorismes de model de construcció descrits a la norma EN-ISO 13790, annex C [21].

Per a aquestes simulacions, les proteccions solars mòbils (persianes venecianes) s'utilitzen quan el guany solar a través de la finestra és superior a 90 W/m<sup>2</sup>, excepte quan la temperatura interior és inferior a 22 ° C. Les finestres estan obertes (fins i tot a la nit) quan la temperatura interior és massa calenta i superior a la temperatura exterior. La velocitat de flux de l'aire es troba, tanmateix, a un mínim de 51 m<sup>3</sup>/h quan està ocupada i 6 m<sup>3</sup>/h quan està desocupada. Els guanys de calor interns (persones, aparells) totalitzen diàriament 160 m<sup>2</sup> Wh/m<sup>2</sup>.

Els resultats es mostren a la figura 14 i la figura 15; i resumits a la Taula 3.

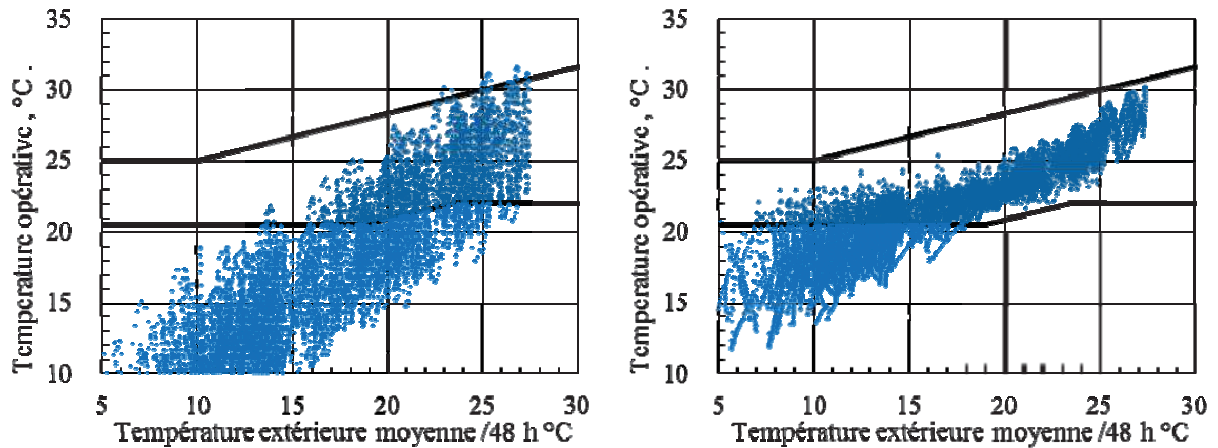


Figura 14: Temperatura horària versus temperatura mitjana a l'aire lliure de les 48 hores prèvies a Barcelona. La zona de confort està en gris. Esquerra: temperatura exterior. Dreta: Temperatura operativa a l'interior d'una habitació no climatitzada ni refredada amb finestres del sud, cap aïllament tèrmic específic, finestres vidre simple amb proteccions solars externes i refrigeració passiva nocturna.

La temperatura a l'aire lliure a Barcelona és, evidentment, massa freda a l'hivern i amb prou feines massa calenta és l'estiu. En una habitació sense aïllaments tèrmics específics i vidres individuals, la comoditat tèrmica no es pot garantir a l'hivern sense calefacció. La comoditat de l'estiu és, tanmateix, millor que a l'aire lliure, gràcies al refredament passiu.

Amb un disseny lleugerament millorat, que inclou un aïllament tèrmic exterior de 5 cm de gruix i un vidre doble, encara es garanteix l'estiu, però la temperatura operativa roman (gairebé sense calefacció) gairebé 570 hores per any per sota de la zona de confort, però mai inferior a 16 ° C. La situació és millor amb un aïllament tèrmic millorat: només 190 hores de fred i temperatures sempre superen els 18 ° C. Aquest exemple mostra que el refredament, òbviament, no és necessari a Barcelona, sempre que es puguin prendre mesures de refrigeració passiva i les càrregues de calor internes no siguin massa grans.

Es pot observar a la Taula 3 que, malgrat el refredament passiu, la humitat relativa interior poques vegades augmenta per sobre del 75%. Això significa que el ventilació passiva per ventilació nocturna es pot utilitzar en el clima de Barcelona.

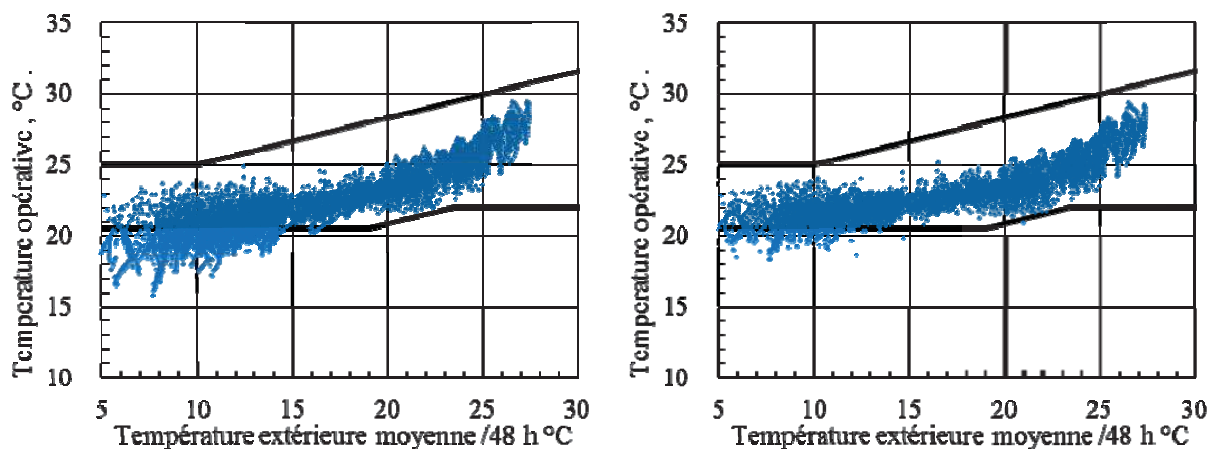


Figura 15: Temperatura operativa interna versus 48 h amb temperatura mitjana a l'aire lliure. Esquerra: aïllament tèrmic exterior a 5 cm, dobles finestres. A la dreta: 10 cm d'aïllament tèrmic exterior, vidre aïllant d'alta qualitat. L'estratègia de refredament passiu s'aplica en ambdós casos.

Aquests resultats relativament bons no es poden obtenir sense proteccions solars o refrigeració passiva.

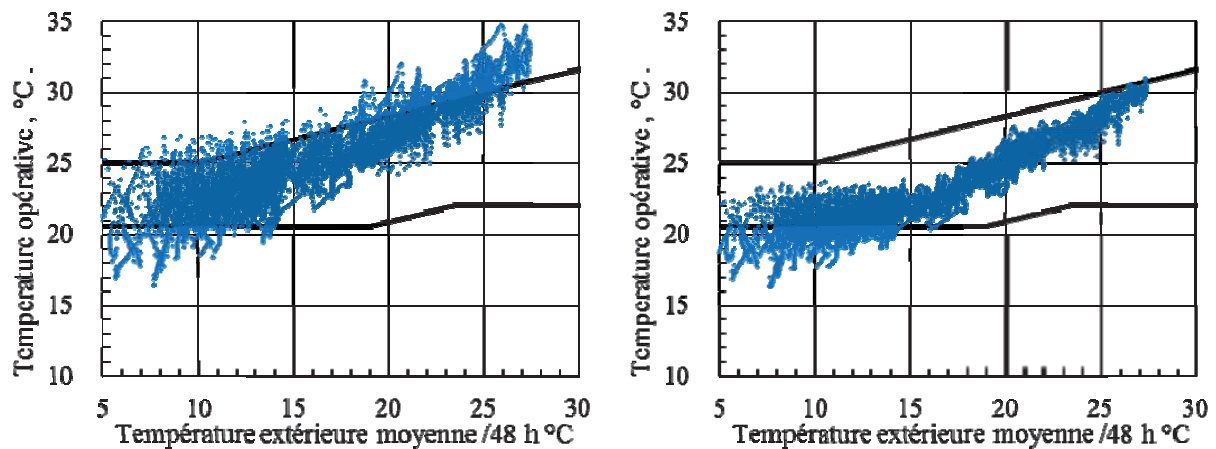


Figura 16: Temperatura operativa interna versus 48 h de temperatura mitjana a l'aire lliure, a Barcelona sense refrigeració nocturna pasiva de ventilació. Esquerra: sense proteccions solars. Dret: amb proteccions solars.

La figura 16 mostra els diagrames de comoditat a la mateixa habitació que els anteriors, amb aïllament tèrmic però sense utilitzar el refredament nocturn passiu; És a dir, les finestres també estan obertes durant el dia quan està massa calent a l'interior. L'absència de proteccions solars provoca moltes hores incòmodes (1376!) a l'estiu, però les proteccions solars només poden assegurar la comoditat de l'estiu. Òbviament, les proteccions solars són absolutament necessàries a les finestres exposades, i el refredament nocturn passiu millora la comoditat de l'estiu.

Taula 3: Nombre d'hores incòmodes (és a dir, fora del domini de la comoditat que es mostra a la Figura 5), nombre d'hores quan la humitat relativa a l'interior supera el 75%, així com les temperatures operatives màximes i mínimes de l'aire exterior per a tres dissenys diferents de la façana sud i tres estratègies d'utilització.

		Nombre d'hores			Temperatura Operativa			
		Total Massa Calent	Massa Fred Total	8-18 h	HR >75%	Max	Min	
Aire exterior		24	6637	2457	4075	31.0	1	
Amb proteccions solars i refrigeració passiva	Sud	Sense aïllament	0	3404	1367	402	29.7	11.7
		Façanes aïllades	0	1673	697	432	29.1	15.8
		Façanes ben aïllades	0	364	217	462	28.9	18.3
	Oest	Sense aïllament	0	4221	1808	454	29.7	8.8
		Façanes aïllades	0	3292	1390	435	29.1	12.3
		Façanes ben aïllades	0	2149	938	451	29.0	15.4
Aïllat, sense refredament nocturn	Sense protecció solar	1463	427	203	23	34.3	16.4	
	Amb protecció solar	6	1503	614	113	30.5	16.3	

La mateixa sala, amb tres façanes diferents, es va simular amb un sistema de calefacció de 2 kW de potència, és a dir, 100 W / m<sup>2</sup> de superfície, el punt de fixació de calefacció a 21 ° C

i un sistema de refrigeració de 4 kW, amb un punt de fixació de refrigeració a 26,5 ° C. Els resultats es presenten a la Taula 3. Amb la façana no aïllada, l'escalfament de 2 kW de grans dimensions no sempre és prou potent per mantenir la temperatura dins del rang de confort, fins i tot durant l'horari d'oficina; i la temperatura mínima és inferior a 20 ° C. Amb un nivell mínim d'aïllament, la temperatura sempre és còmoda.

A partir de la façana no aïllada, l'ús d'energia per a calefacció es redueix en un factor 3.15 amb un mínim d'aïllament tèrmic i un factor 5.1 amb un aïllament tèrmic reforçat. Aquestes ràtios de refredament són respectivament 1.8 i 2.3.

*Taula 4: Temperatura mínima, així com l'índex d'ús energètic de calefacció i refrigeració per a tres dissenys de diferències de la façana sud.*

	Temperatures Mínimes	Energia Calefacció kWh/m <sup>2</sup>	Energia Refrigeració kWh/m <sup>2</sup>
Sense aïllament	19.2	67.5	4.2
Façanes aïllades	20.8	21.4	2.3
Façanes ben aïllades	20.9	13.3	1.8

## Discussió i conclusions

Ara que tothom reconeix que els recursos limitats de la nostra nau espacial "Terra" s'han d'utilitzar amb cura i eficiència, els edificis haurien de ser dissenyats i construïts definitivament perquè els ocupants estiguin còmodes i sans amb un mínim d'energia, fins i tot si la font d'energia és renovable. Això és possible utilitzant, en la mesura del possible, mitjans arquitectònics o passius per millorar el confort.

Atès que som més tolerants per als nostres requisits de confort quan l'edifici està naturalment ventilat, no està refredat ni escalfat, però disposa d'instal·lacions que permeten a l'ocupant adaptar el seu entorn a les seves necessitats, és possible que en molts climes s'eviti la calefacció o el refredament, reduint així fortament la demanda energètica de l'edifici. Els estàndards de confort s'han d'adaptar als coneixements actuals, especialment en la temporada calenta.

En el clima mediterrani en particular, que no és massa fred ni massa calent i poques vegades humit, és possible evitar escalfar (o reduir-ho fortament) aplicant el disseny solar passiu, és a dir:

1. Els espais utilitzats durant el dia s'han d'ubicar al costat assolellat de l'edifici. Les zones de servei (corredor, escala, garatge, etc.) poden estar al costat ombrejat de l'edifici.
2. La zona calenta ha d'estar ben aïllada, per evitar pèrdues excessives de calor.
3. S'hauria de tenir grans àrees de recollida al costat assolellat de l'edifici (del sud-est al sud-oest en l'hemisferi nord). Les àrees de recopilació són principalment finestres, però també poden ser espais solars o parets amb aïllament transparent.
4. Aquestes finestres i altres àrees de recollida han d'estar equipades amb proteccions mòbils, solars, per tal de controlar els guanys.

5. Una gran massa tèrmica (construcció pesada), en contacte directe amb el medi intern, permet emmagatzemar calor, evitant el sobreescalfament durant el dia assolellat i mantenint un clima interior suau durant la nit.
6. El control de calefacció ha de aturar el sistema de calefacció quan els guanys solars siguin suficients per mantenir una temperatura interna còmoda i engegar-lo tan aviat com sigui necessari.

El mateix disseny, amb obertures de ventilació adequades, també permet refrigeració passiva per ventilació, que millora fortament la comoditat de l'estiu i evita el refredament mecànic quan les càrregues de calor internes no són massa grans. Les obertures adequades de ventilació solen ser finestres i portes, equipades de manera que puguin estar oberts de manera segura a la nit. A cada zona ventilada, la part superior d'almenys una de les obertures ha d'estar propera al punt més alt de la zona.

Tanmateix, quan la calefacció o el refredament són necessaris (massa fred durant massa temps, càrregues de calor internes massa grans, massa humitat exterior), el disseny passiu redueix fortament la demanda d'energia residual per a la calefacció o el refredament.

Els ocupants han de ser informats sobre les estratègies de refrigeració passiva. Per tant, es proposa incloure al Llibre de l'Edifici les següents recomanacions:

- Adaptar la roba a la temporada.
- Aprofitar les proteccions solars mòbils.
- A l'hivern, deixar que la llum del sol entri a l'habitació. Utilitzeu la protecció interna per evitar l'enlluernament, si és necessari.
- A l'estiu, utilitzar la protecció solar externa tan aviat com sigui necessari.
- Aprofitar l'estratègia de refrigeració passiva:
  - Tanqueu les finestres durant el dia, ventileu el mínim estricte.
  - Obriu les finestres en la mesura del possible durant tota la nit per refredar l'edifici.

De fet, és important dissenyar edificis perquè tinguin un bon aspecte, però l'arquitecte no ha d'oblidar que l'edifici és, en primer lloc, una protecció per als seus habitants i, en segon lloc, una expressió!

Vitruvi, a la *Architectura Liber I caput 3*, va escriure «*Haec autem ita fieri debent, ut eis ratio fermités, utilités, venustatis*» (en totes aquestes diverses obres, cal tenir cura de la solidesa, la utilitat i la bellesa)

## Bibliografia

1. Bluysen, P.M., et al. *European Project HOPE (Health Optimisation Protocol For Energy-Efficient Buildings)*. in *Healthy Buildings*. 2003. Singapore.
2. Roulet, C.-A., et al. *Creating healthy and energy-efficient buildings: lessons learned from the HOPE project* in *Indoor Air*. 2005. Beijing.
3. Roulet, C.-A., et al., *Design of Healthy, Comfortable and Energy Efficient Buildings*, in *Sustainable Environmental Design in Architecture: Impacts on Health*, S. Rassia and P.M. Pardalos, Editors. 2012, Springer
4. Cox, C., et al. *Energy Efficient Buildings: Comparison of The Indoor Environment in Office Buildings Perceived Healthy and Building Perceived Unhealthy*. in *CLIMA 2005*. 2005. Lausanne.
5. Roulet, C.-A., et al., *Perceived Health and Comfort in Relation with Energy Use and Building Characteristics*. *Building Research Information*, 2006. **34**(5): p. 467-474.
6. Bluysen, P.M., et al., *European Audit Project to Optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings. Final report of Contract Jou2-CT92-022,, 1995*, TNO Bouw., Delft (NL).
7. Roulet, C.-A. *Building Energy Saving and Indoor Air Quality*. in *European Seminar on energy Labelling of Buildings in Southern European Countries*. 1995. Sevilla: Commission of the European Communities.
8. Bluysen, P.M. and C. Cox, *Indoor environment quality and upgrading of European office buildings*. *Energy and Buildings*, 2002. **34**: p. 155-162.
9. Newsham, G.R., et al., *Do 'green' buildings have better indoor environments? New evidence*. *Building Research & Information*, 2013. **41**(4): p. 415-434.
10. Roulet, C.-A., *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*. 2004, Lausanne: PPUR. 368.
11. *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*, The European Parliament and the Council of the European Union, Editor 2010: Brussels.
12. ISO, *ISO-7730: Moderate thermal environments - Determination if the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort*, 1993, ISO: Geneva.
13. Fanger, P.O., *Thermal Comfort*. 1982, Florida, USA: R. E.Krieger.
14. de Dear, R.J. and G.S. Brager, *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55*. *Energy and Buildings*, 2002. **34**: p. 549-561.
15. McCartney, K.J. and J.F. Nicol, *Developing an adaptive control algorithm for Europe*. *Energy and Buildings*, 2002. **34**: p. 623-635.
16. Nicol, F. and M. Humphreys, *Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251*. *Building and Environment*, 2010. **45**: p. 11-17.
17. CEN, *EN 15251 - Criteria for the indoor environment, including thermal, indoor air quality (ventilation), light and noise*, 2006, CEN: Brussels.
18. SIA, *SIA 180: Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments*, 2014, SIA: Zurich.
19. Condon, P.M., *Design Charrettes for Sustainable Communities*. University of British Columbia: Island Press, USA 152.
20. Roulet, C.-A., et al. *Relations between perceived indoor environment characteristics and well-being of occupants at individual level*. in *Healthy Buildings*. 2006. Lisboa.
21. ISO, *13790 - Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for heating and cooling*, 2007, CEN, ISO: Brussels, Genève.