

TTS

Avaluació energètica d'edificis

Montse Bosch
Fabián López
Inmaculada Rodríguez
Galdric Ruiz

Temes de Tecnologia i Sostenibilitat
Temas de Tecnología y Sostenibilidad





Avaluació energètica d'edificis

**L'experiència de la UPC,
una metodologia d'anàlisi**

**Montse Bosch
Fabian López
Inmaculada Rodríguez
Galdric Ruiz**

Aquest llibre és producte del treball que han desenvolupat els següents estudiants, que considerem partípeps d'aquesta publicació:

Manée A. Cabañas Cisternas	Verónica Martínez Cuadra
Ignacio Calderón López del Pan,	Gemma Merino Noci,
Elena Calpe Monte	Miriam Monterde García
Óscar Campos Guillén	Beatriz Muñoz Sánchez
Oriol Castillo Torralbo,	Bernat Parera Ramírez,
Joan Company Santos	Cristina Pérez Ribó
Miquel Cruz Fernández	Óscar Puig Gilbete
Sònia Doix Mora,	Aleix Riera Puchol,
Juan Fernández García	Cecilia Rodríguez Calvet
Anna Font Viñals	Marc Rodríguez Campillo
Sergi Gasque Vilanova,	David Romero Sánchez
Sandra Gómez Pleguezuelos	Salvador Suñé Torralbas
Daniel Jiménez Garcés	David Torres Delgado
M. Isabel López Fernández	Iván Vázquez Lago,
Jordi Martí Muñoz	Albert Via Marconal

Agraïments:

Personal d'administració i serveis (PAS)

Servei de Patrimoni, caps de manteniment dels campus
i caps de manteniment dels edificis.

Personal docent investigador (PDI)

Àlex Falcones, Jaume Roset, Josep Montserrat

Primera edició: juny de 2006

Coordinació de la col·lecció: CITIES, Centre Interdisciplinari de Tecnologia,
Innovació i Educació per a la Sostenibilitat.
<http://www.upc.edu/cities>

Aquesta publicació s'acull a la política de normalització lingüística
i ha comptat amb la col·laboració del Departament de Cultura i
de la Direcció General d'Universitats, de la Generalitat de Catalunya.

Disseny de la coberta: Edicions UPC
Fotografia de coberta: Anna Manyes Castellà
Dibuixos del capítol "Marc teòric": Galdric Ruiz Martorell

© els autors, 2006

© Edicions UPC, 2006
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL
Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona
Tel.: 934 016 883 Fax: 934 015 885
Edicions Virtuals: www.edicionsupc.es
A/e: edicions-upc@upc.es

Producció: Comgrafic, SA
Llull 105-107, 08005 Barcelona

Dipòsit legal: B-30582-2006
ISBN: 84-8301-861-6

Imprès en paper reciclat i lliure de clor

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del copyright, sota les sancions establertes a la llei, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment, inclosos la reprografia i el tractament informàtic, i la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec públics.

Presentació

La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) vol ser una organització proactiva a favor del desenvolupament sostenible i contribuir al progrés social, tant des de la seva especificitat d'organització acadèmica com des del context en què es troba. Per fer-ho, el Consell de Govern de la UPC va aprovar, l'abril de 2006, el nou pla UPC Sostenible 2015, que planteja la visió següent: *"L'any 2015, la Universitat Politècnica de Catalunya serà un referent tecnològic clau del desenvolupament sostenible a diferents escales (des de la local i regional fins a l'europea i global), tant per la seva contribució educativa com de RDI."*

La clau per fer-ho possible és generar complicitats tant internes com externes, i alhora dedicar i seleccionar esforços orientats a aquelles qüestions que la societat considera importants, sense perdre mai la perspectiva de l'essència del rol universitari: la docència i la recerca.

Aquest llibre, que és el resum d'una experiència desenvolupada els darrers tres anys, constitueix un reflex fidel de l'esperit del treball que la UPC fa per la sostenibilitat. El punt de partida és aprofitar la necessitat interna de millorar ambientalment els edificis, especialment amb relació a les seves condicions d'eficiència energètica. Amb aquesta "excusa", s'ha aprofitat per estudiar i desenvolupar, entre estudiants, professors i responsables de la gestió dels campus, les millors solucions i les metodologies més adaptades per tractar aquesta qüestió d'una forma eficaç.

Aquesta qüestió és, precisament, una de les prioritats de la sostenibilitat a escala europea, i també del nostre entorn, com es pot copsar amb el nou *Código Técnico de la Edificación* en l'àmbit estatal, o amb el Decret d'ecoeficiència de Catalunya.

El fet de publicar aquest llibre mostra la nostra intenció per establir un pont entre la universitat, tradicionalment massa aïllada, i l'entorn, amb el qual, en definitiva, cal treballar per afrontar de forma efectiva el repte del desenvolupament sostenible.

Volem agrair a totes les persones que han fet possible aquest llibre, als seus autors i, molt particularment, també als estudiants, els quals de ben segur seran actors de millora en el seu futur, com també a les institucions que ens han donat suport.

Didac Ferrer Balas, director del CITIES

Antoni Marí Bernat, comissionat per al Desenvolupament Sostenible

Introducció

Des de maig de 2003, per iniciativa del Vicerectorat adjunt d'Edificacions de la UPC, el Centre Interdisciplinari de Tecnologia, Innovació i Educació per a la Sostenibilitat (CITIES i, al seu moment, l'Oficina del Pla de Medi Ambient) treballa en l'elaboració i la implantació del Pla d'eficiència en el consum de recursos (PECR), amb l'objectiu d'establir polítiques i definir línies d'actuació per a l'estalvi i l'eficiència en el consum dels recursos energètics i d'aigua en els edificis de la UPC.

El PECR preveu, en una de les seves primeres fases, la realització d'avaluacions energètiques en les edificacions de la UPC per tal de valorar l'estat actual dels edificis i poder establir uns indicadors del seu comportament energètic a partir dels quals establir els objectius d'estalvi i d'eficiència. Per dur a terme aquestes avaluacions, es va crear una línia de projectes finals de carrera (PFC) per a estudiants de l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB), amb la coordinació de professors tutors de diferents departaments i amb la col·laboració indispensable de totes les unitats de suport de la UPC. Aquest treball ha estat una oportunitat excel·lent per integrar la recerca, la docència i la gestió a la universitat.

El document que ara us presentem és un recull de les experiències realitzades durant els darrers tres anys en el desenvolupament d'avaluacions energètiques en el marc del PECR i també –i potser el que és més important– una proposta sistematitzada de treball per a aquells que vulguin dur a terme iniciatives similars dins el camp de la docència o que es vulguin plantejar estratègies d'estalvi de recursos energètics en edificis existents.

En el moment de presentar aquest escrit, s'ha realitzat una primera convocatòria de treballs 2003-2004, amb 18 edificis avaluats, i una segona convocatòria 2004-2005, amb 6 treballs més, desenvolupats per un total de 29 estudiants. Atès que, des del punt de vista acadèmic i docent, la valoració ha estat altament positiva, la tasca feta fins ara només és l'inici d'un pla ambiciós, ja que cal continuar amb els estudis de la resta d'edificacions (la UPC en té 80, en total) que s'aniran realitzant en successives convocatòries mitjançant la metodologia descrita en aquest document.

Aclariment:

Les gràfiques i les imatges que il·lustren aquesta publicació són extretes dels treballs finals de carrera realitzats per estudiants d'Arquitectura Tècnica en el marc del PECR, i per tant, sovint no presenten una qualitat òptima ni un aspecte homogeni. Tot i això, s'ha preferit mantenir-les en el format original per tal de respectar el treball que els alumnes han realitzat i alhora, per reforçar l'aspecte acadèmic i formatiu d'un projecte basat en una experiència real.

(Tots els treballs aquí referenciats es poden consultar via web a www.upc.edu/cities o contactant directament amb: coord.medi.ambient@upc.edu)

Índex

1. Marc teòric

1.1	Els antecedents i el marc legal	13
1.2	El marc polític i econòmic	14
1.3	Docència, sostenibilitat i medi ambient	15
1.4	El compromís mediambiental	15
1.5	L'eficiència energètica	16
1.6	El factor confort	17
1.7	Què entenem per demanda	18
1.8	Els sistemes	19
1.9	L'ús i la gestió	20
1.10	Com encarar un procés d'avaluació energètica	21
1.11	L'eina que us oferim aquí	21

2. Desenvolupament de l'avaluació energètica

2.1	Metodologia	23
2.1.1	Fase 0: Prediagnosi	25
2.1.2	Fase 1: Aixecament de dades	25
2.1.3	Fase 2: Avaluació	27
2.1.4	Fase 3: Diagnosi i línies actuació	29
2.1.5	Fase 4: Propostes d'intervenció	30
2.1.6	Fase 4: Propostes d'intervenció. Exemples	31

3. Documents

3.1	Documents de la fase 1	37
3.2	Documents de la fase 2	54
3.3	Documents de la fase 3	76
3.4	Documents de la fase 4	81

4. Exemples

4.1	Situació dels edificis avaluats	85
4.2	Exemples de la fase 1	89
4.3	Exemples de la fase 2	106
4.4	Exemples de la fase 3	137

5. Eines

5.1	Instrumentació	151
5.2	Programari	153

6. Conclusions

7. Annexos

Annex I	Glossari de conceptes	163
Annex II	Resumen en español	167
Annex III	Summary in English	175
Annex IV	Índex de figures i taules	183
Annex V	Relació de projectes i autors	187

Bibliografia

1. Marc teòric

1.1. Els antecedents i el marc legal

El marc normatiu actual sobre l'edificació està experimentant un canvi, motivat per l'aprovació, a final de l'any 2002, de la Directiva 2002/91/CE, del Parlament Europeu, relativa a l'eficiència energètica dels edificis, i que s'ha de transposar necessàriament a la legislació espanyola.

Aquesta directiva europea obliga els estats membres a posar en vigor les disposicions legals, reglamentàries i administratives necessàries per donar compliment als requisits següents:¹

1. Aplicació de requisits mínims *d'eficiència energètica* per a edificis nous i grans edificis existents que siguin objecte de reformes importants.
2. *Certificació energètica* d'edificis.
3. Inspecció periòdica de calderes i sistemes d'aire condicionat.



En aquest context, s'estan incorporant, en el sector de l'edificació, noves exigències quant a la limitació de la demanda energètica dels edificis i també quant a l'eficiència energètica. Aquests objectius es comencen a concretar amb el *Código Técnico de la Edificación* (CTE), la certificació energètica dels edificis, la implantació i la utilització de l'energia solar, i amb la publicació de diferents ordenances municipals, que pretenen potenciar i fer complir actituds d'estalvi energètic i d'eficiència.

El CTE ja ha incorporat, en la seva redacció, les exigències de requisits mínims d'eficiència energètica que es tradueixen en el *Documento básico HE-Ahorro de energía* i en les eines d'avaluació associades per a la seva implementació (programes LIDER i CALENER).

Quant a la *certificació energètica*, cal explicar que consisteix en un procés administratiu que verificarà la *qualificació energètica* obtinguda per l'edifici, com a obra realment executada, respecte al seu projecte. Aquesta qualificació energètica s'obté mitjançant uns indicadors i una metodologia de càlcul, i comparant el consum energètic real de l'edifici –o el que s'hagi considerat com a necessari per satisfer les necessitats associades al seu ús– amb els paràmetres d'un edifici de referència.

En el cas d'Espanya, la implementació de la directiva europea s'ha fet coincidir amb les tasques que l'Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) desenvolupava en el marc de la directiva anterior (SAVE

¹ PRIETO GONZÁLEZ, P.A.: "*Certificación energética*". Ponència presentada al Seminari S-16 sobre eficiència energètica en l'edificació, organitzat per l'Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 2004.

76/1993) i que, ara per ara, realitza el Grupo de Termotécnica de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla.

És dins aquest marc que s'estava desenvolupant el projecte "Calificación Energética de Viviendas" (CEV) i que ara s'ha actualitzat amb el desenvolupament de l'eina CALENER, que amplia l'àmbit de treball a la resta de tipologies d'usos i que coincideix amb les tasques d'actualització del *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE), que s'espera que estigui acabat amb l'entrada en vigor del CTE.

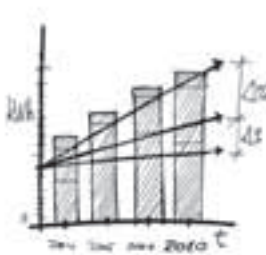
A Catalunya s'ha aprovat també el *Decret d'eficiència*, promogut des del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, que regula l'adopció dels criteris d'eficiència i ambientals en els edificis de nova construcció, els procedents de reconversió d'una antiga edificació i els que resulten d'obres de gran rehabilitació. Els paràmetres d'eficiència que hauran de complir els edificis fan referència als àmbits següents:

- Aigua
- Energia
- Materials i sistemes constructius
- Residus

També cal mencionar les diferents ordenances solars municipals, entre elles la de Barcelona (1999), que ha estat un referent no tan sols a Catalunya sinó també en els àmbits estatal i europeu, a partir de la qual s'han desenvolupat bona part de les ordenances solars que hi ha disponibles en els municipis de Catalunya.

1.2. El marc polític i econòmic

Les polítiques energètiques han traslladat les seves preocupacions inicials, centrades en la manera de cobrir les necessitats energètiques dels ciutadans i de les empreses (sense consideració de l'estat dels recursos naturals i la seva disponibilitat futura), a unes noves estratègies que ajudin a reduir el consum energètic i promoguin l'eficiència i l'estalvi energètic. Amb aquests objectius, s'han establert noves línies de recerca i treball, que inclouen des de la cerca de noves fonts energètiques més sostenibles i respectuoses amb el medi ambient fins a noves normatives o reglaments, que obliguin a fer un consum més responsable des de tots els àmbits de la comunitat.



En aquest marc polític i econòmic, preocupar-se per l'eficiència energètica de manera general sembla un objectiu prioritari per a qualsevol economia. El preu del petroli és cada vegada més elevat i les reserves de combustibles fòssils són limitades (200 anys per al carbó, 60 per al gas i l'urani i 40 per al petroli, segons les fonts). Paradoxalment, la demanda energètica augmenta anualment en cada país. Només entre l'any 2000 i el 2004, la demanda d'energies primàries a Espanya ha augmentat un 13% i, a més, amb una elevada dependència energètica de l'exterior, que se situa al voltant del 75% d'energia primària importada, mentre que la mitjana a la Unió Europea (UE) està al voltant del 50%,² xifra que les institucions comunitàries també consideren excessiva. Aquesta dependència va en augment, amb les implicacions

no sols econòmiques i comercials que aquest fet comporta, sinó també amb uns efectes significatius per al medi ambient, ja que es tracta majoritàriament d'energies d'origen fòssil, amb un nivell elevat d'emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Tot i que la reducció de consums energètics s'ha de realitzar en tots els sectors, l'edificació, amb l'impacte que significa ser responsable del 20% dels consums energètics espanyols,³ representa un factor clau en les polítiques de promoció de l'estalvi i té unes repercussions econòmiques determinants a curt i llarg termini.

² Dades del Pla energètic de Catalunya.

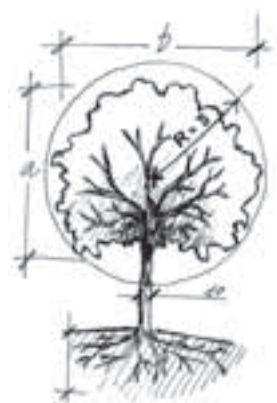
³ En el sector residencial i terciari, segons dades de l'IDAE, 2003.

1.3. Docència, sostenibilitat i medi ambient

La Declaració de Barcelona, presentada com a conclusió del Segon Congrés Internacional “Engineering Education in Sustainable Development”, que tingué lloc l’any 2004, assenyalava en un dels seus punts que la docència, i particularment la formació universitària, és una eina vital per introduir els canvis i construir un món millor. L’educació superior és essencial si volem assumir un desenvolupament sostenible paral·lel al progrés social. I també serveix per reforçar les identitats culturals, mantenir la cohesió social, reduir la pobresa i promoure la pau i el coneixement.

Les universitats han de motivar els futurs professionals perquè siguin capaços d’utilitzar la seva experiència més enllà del context científic i tecnològic. També els han de capacitar perquè sàpiguen donar resposta a una societat que necessita professionals conscients de la realitat econòmica i energètica d’avui, amb uns recursos limitats, i que demana grans dosis de creativitat, coneixements i compromís per tal de repensar el model actual.

Així mateix, la declaració del Decenni de les Nacions Unides per a l’Educació amb vista al Desenvolupament Sostenible (2005-2014) ofereix l’oportunitat de consolidar i implementar les bones pràctiques entre la comunitat científica, generant idees alternatives i nou coneixement de manera creativa i imaginativa.



Des dels departaments de Construccions Arquitectòniques 2 i Física Aplicada, en col·laboració amb el CITIES, es va considerar que la realització del PFC podia ser una oportunitat per especialitzar els currículums dels estudiants en el desenvolupament sostenible. Amb aquest objectiu, es va crear la línia de projectes anomenada *Avaluacions energètiques* dintre del PECR, basada en l’estratègia de l’aprenentatge centrat en l’estudiant.

El cos d’aquest document ja recull, en els diferents apartats i capítols, tot el que fa referència al coneixement científic i tecnològic adquirit en el transcurs i desenvolupament dels PFC, però considerem que també calia fer esment de la valoració pedagògica que l’experiència ens ha proporcionat.

Els docents hem pogut comprovar que, amb relació als aspectes cognitius, els estudiants han millorat els coneixements i les aptituds envers els assumptes mediambientals; la seva capacitat per resoldre problemes en l’àmbit de la sostenibilitat s’ha vist incrementada i les seves inquietuds en aquest camp també han augmentat després de la realització del projecte.

Els estudiants també han manifestat, mitjançant una enquesta, que la seva sensibilitat i les seves actituds envers el medi ambient han canviat i que, després de la realització de l’avaluació energètica, se sentien tots amb unes noves actituds. Aquest fet és molt positiu, ja que indica que la realització d’un treball vinculat al medi ambient canvia la formació en valors dels estudiants, i aquesta nova manera de veure les coses comportarà, sens dubte, una manera diferent d’exercir la professió.

1.4. El compromís mediambiental

De la mateixa manera que per esculpir una petita figura no cal un bloc de marbre de grans dimensions, en termes d’eficiència energètica és fonamental utilitzar només els recursos necessaris per garantir l’habitabilitat dels edificis i tractar de reduir al màxim, des del disseny i l’execució, les pèrdues innecessàries. Això només es pot aconseguir des del compromís mediambiental de tots els actors que intervenen en els processos relacionats amb l’arquitectura i la construcció.

El cicle de vida d'un edifici té associada una quantitat important d'energia consumida en cadascuna de les seves fases (projecte, construcció, ús i deconstrucció), i es tracta d'un procés dinàmic en què les decisions adoptades en cadascuna d'elles condicionen i incideixen en les altres i en l'impacte ambiental global. És a dir, al cost energètic que comporta produir els materials que serveixen per construir un edifici i a l'energia associada al seu procés constructiu, hem d'afegir també l'energia que es consumeix durant la seva vida útil i ser molt conscients que l'arquitectura, com a element de relació entre l'interior i l'exterior, és la que hauria de garantir les condicions de confort amb el mínim consum energètic. El consum d'energia en aquesta fase ha d'equilibrar l'energia consumida amb la que el propi edifici, gràcies al seu disseny acurat, serà capaç d'aprofitar de l'entorn i de les condicions naturals del medi.



Quan el projecte arquitectònic renuncia a aprofitar les possibilitats d'interacció entre l'edifici i el seu entorn, el balanç energètic es desequilibra i, en conseqüència, les condicions d'habitabilitat resten subjectes a processos externs, generalment associats a màquines i sistemes que consumeixen energia. Podríem dir, doncs, que el consum d'energia i el seu impacte associat es poden reduir, sempre que s'hagi realitzat un esforç de projecte previ per disminuir la demanda inicial de l'edifici i se n'hagi facilitat al màxim la interacció amb l'entorn natural per tal que depengui mínimament dels sistemes actius consumidors d'energia. A partir

d'aquesta premissa, els reptes es plantejaran a l'hora d'escollir les característiques constructives de l'edifici i fer-les òptimes, per tal d'aconseguir el màxim profit i garantir, alhora, una gestió acurada dels recursos que s'hagin de consumir.

Davant el fet que en la nostra economia actual les fonts energètiques més utilitzades són les no renovables, caldria mesurar atentament l'esforç que significa produir cada watt consumit segons la font d'origen i quin ús se'n farà en l'edificació. Cal que els dispositius transformadors de l'energia tinguin el màxim rendiment possible.

1.5. L'eficiència energètica

La crisi actual de recursos energètics s'agreuja si es manté la tendència, en augment, a dependre de les fonts energètiques d'origen no renovable (combustibles d'origen fòssil). És obligat replantejar-se el model de gestió dels recursos amb l'objectiu de reduir aquesta dependència i aplicar, de manera creixent, mesures d'estalvi energètic, de reducció de consums i d'eficiència energètica.



Quan es parla d'eficiència energètica, cal saber que és un concepte que relaciona el consum de recursos amb els resultats obtinguts. Sovint es confon eficiència amb eficàcia, sense parar atenció que es pot ser eficaç en aconseguir un objectiu determinat però totalment ineficient si, per assolir-lo, hem hagut d'esmerçar una quantitat innecessària de recursos.

Amb relació a l'habitabilitat dels espais (raó de ser dels edificis), es pot ser eficaç generant les condicions de confort requerides però no necessàriament eficient si tenim en compte els recursos que estem emprant per tal d'assolir el nostre objectiu. Per ser eficients, hem de ser també eficaços, però no necessàriament a l'inrevés. Es pot parlar, doncs, d'eficiència màxima quan un sistema cobreix una necessitat específica esmerçant la quantitat mínima de recursos per aconseguir-ho.

La millora de l'eficiència energètica és, per tant, una condició clau que s'ha de tenir en compte, sobretot en el moment de projectar els nous edificis. Per aquest motiu, actualment s'estan desenvolupant diferents eines, que tenen com a objectiu estimular noves concepcions edificatòries, afavorir l'estalvi energètic o gravar aquelles actituds que no considerin els aspectes de sostenibilitat com a prioritats.

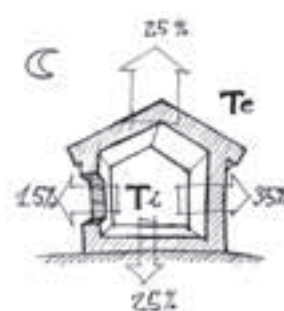
Els darrers anys, també hem pogut observar com es duen a terme processos, normatives o estratègies que permeten fer més eficients aquells edificis que es van construir quan l'estalvi energètic no era una prioritat. Aquests edificis mantenen uns consums insostenibles i excessius, que els gestors corresponents no es qüestionen perquè no disposen de la informació contrastada que els permeti quantificar ni avaluar la despesa que comporten. Consegüentment, tampoc no s'estableixen polítiques d'estalvi que, en alguns casos i sense una inversió massa important, generarien benestar i confort als usuaris, comportarien una millora important afegida en la qualitat d'ús de l'edifici, portarien a una reducció de la despesa econòmica i augmentarien el compromís en l'anomenada "solidaritat ambiental".

És en aquest escenari que des de la UPC es va plantejar la implementació del PEQR (que inclou el desenvolupament de les avaluacions energètiques) i la necessitat de redactar aquest document: disposar d'una eina que ajudi els responsables de la gestió i del manteniment d'edificis a conèixer l'estat actual del consum de recursos per tal de reduir-lo, sense rebaixar, com a requisit fonamental, els paràmetres de confort exigibles.

1.6. El factor confort

L'objectiu bàsic de qualsevol edificació és donar aixopluc als habitants d'una àrea que viuen en unes condicions climàtiques determinades i garantir un entorn més confortable al seu interior. Originàriament, els habitatges proporcionaven aquesta habitabilitat gràcies a solucions constructives enginyoses que, depenent de l'àrea geogràfica, establien una relació entre edifici i entorn; proporcionaven protecció solar, aïllament tèrmic i impermeabilització gràcies a una envoltant que es diferenciava en façana i coberta. Tot això amb una estratègia fonamental basada en l'aprofitament màxim de les condicions naturals de l'entorn.

A partir del moment en què la tecnologia va proporcionar nous materials i, per tant, nous sistemes constructius, aquestes envoltants es van redefinir: per exemple, les cobertes varen anar modificant els pendents i els materials cobertors, i les façanes, per la seva banda, s'alleugeriren en perdre primerament la seva capacitat portant i després la seva homogeneïtat, a partir de materials específics que proporcionaven per si sols les característiques d'aïllament i impermeabilitat exigibles. També les noves propostes arquitectòniques imposaren façanes més calades, en les quals, cada cop més, les finestres i el vidre permetien més entrada de llum i més superfície d'insolació, però també menys aïllament tèrmic dels edificis.



Paral·lelament, l'home va ser capaç d'explotar de manera massiva les fonts disponibles d'energia (bàsicament, les no renovables) i de transformar-la per donar servei als usos energètics en il·luminació, climatització i equipaments que els nous sistemes constructius requerien en els nous models d'edificació.

Aquest model va mostrar les primeres febleses durant la crisi del petroli de les dècades dels setanta i els vuitanta i, de llavors ençà, les polítiques energètiques i les preocupacions edificatòries començaren a inclinar-se cap a solucions constructives menys "energívores" i més sostenibles, que estimulessin un consum més responsable per tal de poder assegurar les condicions de confortabilitat també a les generacions futures.⁴

Els projectes d'arquitectura han de garantir, avui dia, uns paràmetres de confort basats en aquests dos conceptes:

- *La reducció de la demanda energètica que actua sobre l'envoltant*, ha de garantir, per si sola, l'aprofitament màxim de les condicions naturals i la protecció tèrmica contra la humitat, el vent i el foc, com també la protecció visual.

⁴ Informe Brundtland, 1987.

- *L'eficiència energètica en l'ús dels recursos energètics* necessaris per complementar les mancances que el propi edifici no pugui suplir per si mateix.

Però, com s'avalua tècnicament el confort? Primer de tot, cal analitzar totes les variables que influeixen en els intercanvis tèrmics home/medi ambient i que contribueixen a la sensació de confort. Aquestes variables són: el grau d'activitat, les característiques de la roba, la temperatura seca, la humitat relativa, la temperatura radiant mitjana i la velocitat de l'aire.⁵

Cal també saber quin és el percentatge de persones que se sentirien no confortables en un ambient determinat, ja que aquest valor serveix tant per avaluar una situació existent com per proposar les modificacions que calguin.

La condició principal que s'ha de complir perquè una situació sigui confortable és que satisfaci l'equació del balanç energètic. En altres paraules, és necessari que en els locals es donin les condicions perquè els mecanismes fisiològics de la termoregulació siguin capaços de dur l'organisme a un estat d'equilibri tèrmic entre el guany de calor (d'origen ambiental i metabòlic) i la seva eliminació.⁶

1.7. Què entenem per demanda

Definim la *demanda energètica* com la quantitat d'energia que es requereix per satisfer les necessitats derivades de cadascun dels usos energètics d'un edifici. I els *usos energètics* com aquells consums que es generen per a una demanda específica que està relacionada directament amb el perfil d'ús d'aquell edifici.

Per exemple, en un edifici d'oficines es requereixen ordinadors, impressores i escàners, mentre que en un habitatge es requeriran aparells que permetin cuinar o refredar els aliments. Aquests usos energètics són fàcils d'identificar segons el consum energètic dels aparells. Però altres usos energètics, com ara la il·luminació dels espais o la climatització, estan relacionats directament amb les condicions d'habitabilitat dels usuaris i, en conseqüència, la seva avaluació depèn d'altres factors que en condicionen les necessitats energètiques.

En el cas de la climatització, és necessari considerar, que el flux d'energia d'una edificació durant la seva vida útil respon a un balanç de pèrdues i guanys energètics segons les característiques pròpies de l'edifici, la variació del clima i les possibilitats d'intercanvi energètic interior/exterior. El resultat d'aquest balanç, tant si és positiu com negatiu, serà la càrrega tèrmica que cal atendre per al període d'estudi considerat, aportant calor o fred segons l'època de l'any. La demanda energètica anual d'un edifici serà la suma de les diferents càrregues positives o negatives de l'edifici.

La realitat ens ensenya que la demanda energètica que un edifici pugui tenir normalment no es correspon amb el seu consum energètic, senzillament perquè són conceptes diferents que se solen confondre de forma habitual. La demanda que es pugui identificar per a un ús determinat (il·luminació, climatització, etc.) s'atén per mitjà de sistemes o equips que tenen un rendiment que es valora en termes de percentatge respecte al 100% i que suposa, en la majoria dels casos, una quantitat determinada d'energia que se "sacrifica" per garantir el propi funcionament de l'equip. Per tant, el consum energètic serà el resultat de la consideració de la demanda energètica i del rendiment de les màquines que l'atenguin.

Aquesta relació se sol expressar en els termes següents:

$$CE = D/\eta$$

on: CE = consum energètic
D = demanda
 η = rendiment

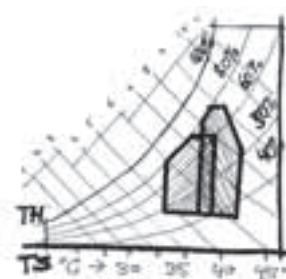
⁵ FANGER, P. O.: *Thermal Comfort*. Nova York: McGraw Hill, 1972.

⁶ *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE)*, 1998.

Atès que la demanda en calefacció i refrigeració representa entre el 40% i el 60% del consum energètic total en els edificis,⁷ els nous requisits d'estalvi energètic en l'edificació es dirigeixen principalment cap a l'establiment de les exigències que els tancaments han de complir per tal de reduir aquesta demanda anual d'energia i perquè sigui la més adequada a la ubicació i l'ús de l'edifici.

Saber valorar l'eficiència energètica d'un edifici requereix una visió panoràmica, ja que el nombre de paràmetres que intervenen en la valoració són molt diversos i afecten de manera dispar en un sentit o altre a l'hora de realitzar el disseny. A vegades, els errors vénen de confusions conceptuals o d'improvisacions o canvis d'ús i, fins i tot, de la manca de manteniment o d'una gestió poc eficient.

Aprofitant un exemple d'aquest mateix document, si s'ha projectat una planta subterrània com a aparcament i després es pretén utilitzar com a aula, la demanda energètica per garantir el confort en aquesta àrea augmentarà i, a més, els sistemes de climatització o d'enllumenat que s'hi instal·lin s'hauran de sobredimensionar per les mancances constructives del propi espai. I si ningú no tanca les finestres de les aules al vespre, l'eficàcia de la calefacció es redueix perquè ha d'escalfar unes estances que s'han refredat molt durant la nit.



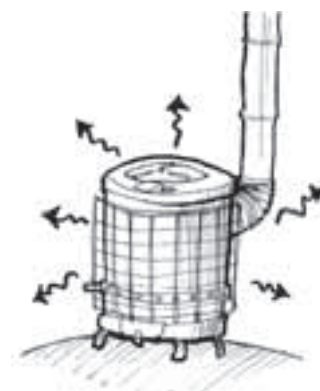
Per això, considerem que una de les aportacions més rellevants que poden proporcionar les avaluacions energètiques és constatar si el consum energètic que s'està produint, és a dir, si el que s'està comprant en energia, es correspon amb la veritable demanda que l'edifici requeriria en les condicions per a les quals es va dissenyar. En altres paraules, si la demanda energètica derivada dels paràmetres de confort propis de cada edifici està essent atesa amb l'energia que l'edifici realment consumeix. Aquesta comprovació ens hauria de proporcionar els primers senyals d'alerta sobre si l'edifici és eficient o no i també hauria de fer reflexionar si potser no s'està demanant a un edifici més confort o millor comportament del que per si sol és capaç de proporcionar.

1.8. Els sistemes

Anomenem *sistemes* el conjunt de xarxes, instal·lacions i mecanismes que proporcionen els serveis següents als edificis: il·luminació, equipaments, condicionament climàtic i aigua.

Aquests sistemes tenen la missió d'atendre les necessitats energètiques de l'edifici (la demanda) consumint unes determinades quantitats d'energia i sacrificant-ne una part per al seu propi funcionament, cosa que es tradueix en el *rendiment*.

Cadascun d'aquests sistemes s'ha d'avaluar de manera precisa, des de dues perspectives bàsiques: el que se n'espera i el que el sistema en si està capacitat per proporcionar. Per això, quan analitzem els sistemes, hem de comptabilitzar: des dels nivells de confort o eficiència que ofereixen, fins a la demanda que generen per tal de proporcionar aquests nivells; si s'usen poc o molt; si requereixen un manteniment continuat o si s'espantllen sovint; si consumeixen quan no són necessaris o si disposen de mecanismes d'autoregulació; si estan dissenyats, dimensionats i projectats d'acord amb les necessitats i demandes, i si, en fi, són els més adequats per a l'ús i el bon funcionament de l'edifici al qual estan donant servei.



⁷ Dades del Pla de la millora energètica de Barcelona, 2002.

Des d'aquest punt de vista, l'anàlisi específica del funcionament d'un sistema determinat suposa conèixer totes les característiques i singularitats dels elements que el conformen per poder valorar, de forma global, cada sistema i la incidència que té quant a l'eficiència global de l'edifici.

L'anàlisi del rendiment global d'un sistema determinat també ha de considerar el rendiment parcial de cadascun dels elements que el conformen. Així, en el cas d'un sistema de calefacció centralitzat, cal conèixer: el rendiment del sistema de generació (calderes, bombes de calor); el rendiment del sistema de distribució (zonificació, pèrdues en les canonades i conductes), i el rendiment del sistema de regulació i control (sondes, termòstats, etc.).

Per poder avaluar si un edifici disposa dels sistemes que necessita i si els utilitza correctament, cal fer un treball d'inventari dels diferents equips i elements i, a més, cal analitzar la forma com s'utilitzen i es gestionen, ja que sovint l'ús i la gestió hi tenen un paper molt significatiu.

1.9. L'ús i la gestió

Quan parlem d'ús d'un edifici, ens referim a les activitats que es duen a terme al seu interior respecte a l'ocupació d'espais i a l'ús que es fa dels sistemes i els aparells que consumeixen recursos energètics, que es disposen per a la realització de les activitats esmentades i –el que és més important– per garantir que se satisfan les necessitats de confort dels usuaris. Des d'aquest punt de vista, l'ús d'un edifici incideix de diverses maneres i en diferents nivells en el càlcul de la demanda i en el consum final d'energia.

Per al càlcul de la demanda, per exemple, es defineixen uns usos tipificats segons el perfil d'ocupació de l'edifici i l'aportació en termes de càrrega latent i sensible dels diferents locals. En l'estimació dels rendiments de la maquinària i dels sistemes, també es considera un perfil d'ús determinat que fa referència a la intermitència amb què s'utilitzin els sistemes i els hàbits d'ús específics dels usuaris.



Entenem per *hàbits d'ús* l'anàlisi de totes aquelles singularitats que es donen en l'ocupació real dels espais durant la pràctica diària, per exemple, les hores que no es preveu que un edifici estigui ocupat i, en canvi, sí que ho està (gent que treballa fora dels horaris d'oficina), o volums d'ocupació molt diferenciats segons els espais i els horaris. Això significa que els sistemes han de donar resposta a paràmetres molt divergents i s'acaben consumint més recursos dels que realment són necessaris per proporcionar el confort dels usuaris, en part perquè el disseny ha pressuposat un ús que difereix substancialment del que estava previst.

Quan es tenen en compte aquests factors addicionals associats a l'ús, s'estan incorporant aspectes relacionats amb l'administració dels edificis i, per tant, també amb la seva gestió.

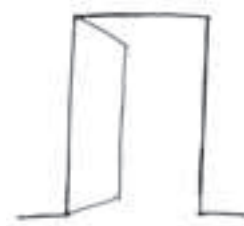
Mitjançant una avaluació energètica, els responsables de la gestió dels edificis poden conèixer si els recursos energètics que s'estan consumint atenen les demandes i necessitats veritables dels usuaris o si, ben al contrari, s'està aportant energia per a una climatització en forma de fred o calor en moments en què, tenint en compte l'ocupació dels espais, es podria reduir i, en conseqüència, fer més eficients els sistemes.

En el moment de projectar un nou edifici, és fonamental considerar uns perfils i uns hàbits d'ús que s'ajustin al màxim al que serà la realitat ja que, si aquesta consideració és adequada, l'estimació de la demanda també ho serà i això es traduirà en un consum menor i una optimització del rendiment dels sistemes previstos.

1.10. Com encarar un procés d'avaluació?

Una avaluació energètica recull i transmet dades per tal d'ajudar a:

- comprendre com s'usa l'energia i com se'n poden controlar les despeses;
- identificar les àrees en les quals hi pot haver malbarataments o aquelles en les quals és possible introduir millores;
- entendre els factors que afecten els consums, i
- avaluar i endreçar les diferents possibilitats d'estalvi, tenint sempre en compte els objectius que els gestors i els usuaris del propi edifici hagin identificat prèviament.



En tots els casos, les avaluacions s'han de realitzar tenint en compte el tipus d'edifici que s'estigui estudiant: residencial, industrial o de serveis, ja que si bé en els edificis residencials l'avaluació s'ha de fixar en aspectes com la il·luminació, la climatització, la ventilació i la demanada tèrmica, en una planta industrial els objectius s'haurien de fixar en els consums energètics dels processos de producció i fabricació.

En el cas dels edificis de serveis, com ara tots els que s'estudien dins el PEQR, hi ha un valor afegit a l'hora de valorar les dades que es recullen: la diversitat dels usuaris que "habiten" l'edifici. Cal dir que, si bé l'objectiu principal de qualsevol avaluació ha de ser ajudar a reduir el consum energètic, mai no s'ha de fer rebaixant els nivells de confort dels qui hi treballen. En el cas d'edificis universitaris, la diversitat d'usos fa que les necessitats energètiques siguin sovint molt diferents, com també les percepcions dels propis usuaris, i és per això que cal anar amb compte en la manera com es recullen les dades.

L'avaluació energètica assenyalava unes línies d'actuació i unes propostes que estan sempre dirigides a minimitzar l'impacte ambiental. Per tant, les mesures que es puguin derivar del procés d'avaluació responen principalment a aquest objectiu, sense perdre de vista altres factors que també influeixen en la presa de decisions i acaben definint el quadre de prioritats.

1.11. L'eina que us oferim aquí

Les avaluacions energètiques s'han de realitzar, com hem dit, seguint un procés sistemàtic per tal d'obtenir, de manera suficientment fiable, les dades del consum energètic d'un edifici amb l'objectiu que aquest sigui el màxim de racional i eficient.

Segons la nostra experiència, la recollida de dades és una feina feixuga que, per tal que sigui profitosa, s'ha de realitzar de manera endreçada i sempre mantenint un visió de conjunt d'allò que s'està mesurant i amb quina intenció s'està fent.

Per tal de facilitar aquesta tasca, hem considerat que aquest document s'havia d'estructurar en tres parts ben diferenciades: per un costat, el text que ara esteu llegint, i que és la introducció de tots aquells conceptes i coneixements que calen per poder dur a terme una avaluació de manera correcta i satisfactòria. Al segon capítol, es fa la descripció sistemàtica del procés, amb totes les fases que comporta. Aquesta segona part està estructurada en nivells: de tots els conceptes que l'avaluació energètica ha de tractar, hi ha sempre una introducció teòrica de capteniment, que serveix de presentació de l'apartat dels *documents de treball* que trobareu més endavant, on s'explica de forma detallada el desenvolupament del procés d'avaluació. Si voleu incidir més en els aspectes teòrics dels valors que s'analitzen, teniu una petita definició dels termes al glossari final i, si encara voleu aprofundir més algun dels conceptes, teniu la possibilitat de recórrer als principis físics a què responen.

