



**Eficiència energètica en edificis d'ús docent en la ciutat mediterrània.  
Cas a estudi, ciutat de Barcelona**

Doctoranda: **Montserrat Bosch González**

Directors de la Tesi: **Dra. Inmaculada Rodríguez Cantalapiedra  
Dr. Xavier Álvarez del Castillo**

**Programa de Doctorat Sostenibilitat, Tecnologia i Humanisme.  
Institut de Sostenibilitat.**

**Maig 2015**

Tesi presentada per a l'obtenció del títol de Doctora per la Universitat Politècnica de Catalunya



## Acta de qualificació de tesi doctoral

Curs acadèmic: 2014/15

Nom i cognoms Montserrat Bosch González

Programa de doctorat Doctorat en Sostenibilitat

Unitat estructural responsable del programa Institut de Sostenibilitat- 480

## Resolució del Tribunal

Reunit el Tribunal designat a l'efecte, el doctorand / la doctoranda exposa el tema de la seva tesi doctoral titulada "Eficiència energètica en edificis d'ús docent en la ciutat mediterrània. Cas a estudi, ciutat de Barcelona"

Acabada la lectura i després de donar resposta a les qüestions formulades pels membres titulars del tribunal, aquest atorga la qualificació:

NO APTE

APROVAT

NOTABLE

EXCEL·LENT

(Nom, cognoms i signatura)		(Nom, cognoms i signatura)	
President/a		Secretari/ària	
(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
Vocal	Vocal	Vocal	Vocal

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El resultat de l'escrutini dels vots emesos pels membres titulars del tribunal, efectuat per l'Escola de Doctorat, a instància de la Comissió de Doctorat de la UPC, atorga la MENCIÓ CUM LAUDE:

SÍ

NO

(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
President de la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat	Secretari de la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat

Barcelona, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## Agraïments

Agraeixo als meus directors de Tesi Dra. Inmaculada Rodríguez Cantalapiedra i Dr. Xavier Álvarez del Castillo haver posat tot el seu coneixement a la meva disposició i haver-me proporcionat un suport en tot moment que sobrepassa al que correspondria a la seva tasca. Han aportat, corregit, proposat, contrastat, complementat i en definitiva dirigit aquest treball des dels inicis amb absoluta generositat.

Agraeixo al Consorci Educatiu de Barcelona i a l'ICAEN haver posat a la meva disposició les dades inicials per a l'elaboració d'aquesta tesi.

Agraeixo al conjunt d'estudiants de l'Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona, que han treballat en la línia de les avaluacions energètiques d'edificis escolars, la seva dedicació, els seus suggeriments crítics i la seva joventut, tan saludable. Un agraïment especial a l'Eva Gangoells per la seva col·laboració en posar ordre i a la Noelia Rodríguez per la seva ajuda en l'edició del document final.

També vull agrair als companys de la Universitat Politècnica de Catalunya la seva disposició i criteri per al desenvolupament dels diferents apartats d'aquest document: al Dr. Albert Ferrer, al personal de la Biblioteca, a tots aquells que treballen des del soterrani de l'EPSEB i que són un exemple de dedicació i compromís amb la Universitat Pública, a la Mariluz de Vega per aixecar-me la moral quan no podia més; i en especial al Dr. Joan Ramon Rosell per tantes coses.

Finalment agraeixo als meus fills i al Joan la seva paciència i el seu sentit de l'humor, tan necessaris en tants moments. I als meus pares, per estar incondicionalment, sempre, pel que calgui.



## Resum

A partir de l'experiència adquirida durant més de 10 anys treballant en eficiència energètica en edificis públics d'usos diversos, es planteja la present tesi, en la qual es desenvolupa una metodologia d'intervenció en edificis docents que permet: definir els indicadors clau per identificar les oportunitats d'estalvi en els edificis; avaluar les possibles mesures de reducció de consums a partir de la limitació de la demanda i de la millora de l'eficiència dels sistemes; analitzar i donar pes al paper de cadascun dels actors que intervenen en les estratègies d'ús i gestió dels edificis escolars, i establir els criteris clau que cal considerar per realitzar les futures intervencions de rehabilitació energètica.

En el **capítol 1, "Pròleg"**, s'hi presenten els principis sobre els qual es fonamenta aquesta tesi.

En el **capítol 2, "Presentació de la investigació"**, se'n defineixen els **objectius generals**: establir una metodologia d'anàlisi del parc escolar edificat; conèixer les eines per a la presa de decisions en clau energètica, i proposar una metodologia d'intervenció en clau energètica i validar-la. Se'n defineixen també els **objectius específics**: identificar i definir els indicadors d'eficiència energètica; caracteritzar el parc escolar edificat i albirar les oportunitats de millora; considerar la rehabilitació energètica com a prioritat; avaluar els edificis escolars en clau energètica; establir les línies estratègiques d'actuació; potenciar l'objectiu de la reducció dels consums, i identificar i mostrar les oportunitats de millora. Finalment es planteja la hipòtesi.

El **capítol 3, "Antecedents"**, emmarca la tesi en el mapa d'estratègies desenvolupades per les diferents entitats de govern i ens de l'Administració; s'identifiquen els organismes i els documents normatius i les directives europees; s'estudia la situació energètica a Catalunya i en concret a Barcelona; s'analitzen els diferents plans de millora energètica, i finalment s'identifiquen les estratègies dirigides als edificis públics i, en concret, als centres escolars.

Dins el **capítol 4, "Estat de la qüestió"**, s'hi poden trobar, endreçades temàticament, les referències consultades d'experiències europees a gran escala: com s'analitza el parc escolar a partir de diferents estratègies i mètodes, com es caracteritzen, quins paràmetres es consideren, quins condicionants són inevitables, qui gestiona i com els edificis escolars, com s'estableixen línies d'intervenció i com s'avaluen econòmicament i ambientalment.

En el **capítol 5, "Metodologia de la recerca"**, es presenta el recorregut previ a l'elaboració de la tesi i es presenta la metodologia d'anàlisi utilitzada per a l'avaluació dels edificis escolars objecte d'estudi. S'especifica com s'ha identificat la mostra, com s'han diagnosticat els problemes, com s'han avaluat energèticament els edificis, els paràmetres de confort i la gestió dels recursos, i, finalment, s'han identificat els indicadors clau que s'utilitzaran per a l'obtenció dels resultats de la recerca.

Per al **capítol 6, “Resultats”**, s’ha fet ús de l’anàlisi exploratòria de dades generals i dels edificis objecte d’estudi de detall, i s’ha fet una anàlisi multivariable a partir dels indicadors identificats en la metodologia i una anàlisi dels resultats a partir de la regressió múltiple, que ha permès validar l’argumentari de la recerca.

Finalment, el **capítol 7, “Conclusions”**, presenta un primer cos en el qual es verifica el compliment dels objectius generals i específics plantejats a l’inici de la recerca i s’argumenta la validesa de la hipòtesi. En un segon apartat es conclouen els resultats de la recerca, que podrien i haurien de servir, a les administracions gestores del parc escolar edificat, en el disseny d’estratègies d’intervenció en edificació existent, en clau energètica i ambiental. També s’albiren les futures línies de recerca que s’haurien d’implementar per resoldre alguns dels actuals reptes quant a sostenibilitat, que es presenten, en el nostre cas, relacionats amb l’edificació i el consum energètic associat.

## Summary:

Based on the experience gained during more than 10 years working on energy efficiency in public buildings of various uses, this thesis develops a methodology for intervention in school buildings. The aims were to define the key indicators for identifying opportunities for savings; to assess possible measures for reducing consumption by limiting demand and improving the efficiency of the systems; to analyse and highlight the role played by each of the actors involved in the strategies of use and management of school buildings; and to establish the key criteria for carrying out future energy rehabilitation projects.

**Chapter 1, Prologue**, presents the principles on which the thesis is based.

**Chapter 2, Presentation of the research**, defines the overall objectives: to establish a methodology for analysing the stock of built schools; to identify the tools for making key decisions on energy; and to propose and validate a methodology for intervention regarding energy. It also defines the specific objectives: to identify and define indicators of energy efficiency; to characterise the stock of built schools and consider opportunities for improvement; to consider energy rehabilitation as a priority; to assess school buildings in terms of energy; to establish the strategic lines of action; to promote the objective of reducing consumption; and to identify and demonstrate opportunities for improvement. Finally, the hypothesis is put forward.

**Chapter 3, Background**, frames the thesis within the map of strategies developed by the various government entities and public authorities; it identifies the organisations and regulatory documents and the EU directives; it studies the energy situation in Catalonia and in Barcelona in particular; it analyses the various plans for improving energy; and, finally, it identifies strategies aimed at public buildings and in particular at schools.

**Chapter 4, State of the art**, presents the references of large-scale European experiences consulted, divided into themes: how the stock of schools is analysed using different strategies and methods, and how these are characterised; which parameters are considered; which factors are inevitable; who manages school buildings and how; and how the lines of intervention are established and evaluated economically and environmentally.

**Chapter 5, Research methodology**, presents the work done prior to the writing of the thesis and presents the methodology of analysis used to evaluate the school buildings under study. It specifies how the sample was identified, how the problems were diagnosed, how the buildings were assessed in terms of energy, the parameters of comfort and the resource management. Finally, it identifies the key indicators used to obtain the research results.

**Chapter 6, Results**, presents the exploratory analysis of general data and of the buildings, which were subjected to a detailed study and a multivariate analysis using the indicators identified in the methodology, and a multiple regression analysis of the results which validated the research arguments.

Finally, **Chapter 7, Conclusions**, first states that the general and specific objectives stated at the beginning of the research project have been fulfilled and argues that the hypothesis is valid. It then presents the final results of the research, which could and should be used by authorities responsible for school building management to design intervention strategies for existing buildings regarding energy and environment. Finally, it suggests future lines of research that should be implemented to solve some of the current sustainability challenges related to construction and the associated energy consumption.





## Índex

1. Pròleg.....	11
2. Presentació de la investigació.....	21
3. Antecedents.....	37
4. Estat de l'Art.....	77
5. Metodologia de la recerca.....	145
6. Resultats.....	199
7. Conclusions.....	279



**Pròleg | 1**



*“Debería mobilizarse la creatividad, los ideales y el valor de los jóvenes del mundo para forjar una alianza mundial orientada a lograr el desarrollo sostenible y asegurar un mejor futuro para todos.”*

Principi 21 de la Declaració de Rio sobre el Medi Ambient i el Desenvolupament. 1992



## 1. Pròleg

L'eficiència energètica en edificació existent és una preocupació d'abast global que, especialment a Europa, es fa cada dia més palesa, degut a la seva situació de dependència energètica de països de l'exterior de la Unió Europea i també per qüestions de reduir l'impacte ambiental i complir amb els protocols de reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle associades. Per aquests motius, algunes de les estratègies dels governs, tant estatals com municipals, se centren en la reducció dels consums a partir de millorar l'eficiència energètica dels edificis, potenciar l'estalvi, limitar la demanda i premiar les actituds sostenibilistes.

En el cas dels països de la ribera nord de la Mediterrània la necessitat de reduir la despesa energètica i el consum de recursos es mostra encara més necessària degut a motius diversos (situació econòmica, manca de cultura dels usuaris en clau d'eficiència energètica, creixent demanda en els paràmetres de confort, excepcionalitat climàtica, etc.) i si es volen assolir els objectius 20/20/20<sup>1</sup>, la rehabilitació energètica dels edificis ha de ser una via de treball prioritària, donat que s'estima que entre el 70% i el

---

<sup>1</sup> Els compromisos de la Unió Europea per a l'any 2020 se centren en estalviar el 20% del consum d'energia mitjançant una major eficiència energètica, promoure les energies renovables fins a un 20% i reduir les emissions de CO<sub>2</sub> un 20%.



85% de l'energia que consumeix un edifici es produeix durant els anys que està en ús (Blom, et al., 2011) (Adalberth, 1997).

Per implementar aquestes estratègies es treballa en diferents direccions, essent una d'elles la identificació de línies d'actuació eficaces que permetin assolir els objectius proposats. Són moltes les veus que consideren els edificis públics com el model i l'exemple per impulsar actuacions de reducció de la demanda en altres tipus d'edificis com són els residencials. D'entre els edificis d'ús públic, els centres docents són un objecte d'estudi amb un potencial d'estalvi molt important, en gran part perquè el consum d'energia es produeix bàsicament en dos grans conceptes: la climatització i l'enllumenat, que són dos sistemes en els que es poden fer grans estalvis a partir de la reducció de la demanda, la millora de l'eficiència energètica, i una gestió estratègica dels recursos. Alguns autors (Blom, et al., 2011) arriben a avaluar en un 13% la reducció de l'impacte ambiental (centrat en els paràmetres d'emissions de CO<sub>2</sub>, radioactivitat i acidificació) d'un edifici de serveis a partir de reduir un 23% el consum en gas durant l'etapa d'ocupació.

En aquesta direcció s'ha dut a terme aquesta tesi, circumscriuint el problema als edificis escolars existents de Barcelona, construïts en moments en que la tecnologia edificatòria i els sistemes energètics no eren tan exigents ni eficients com els actuals, la consciència de l'impacte ambiental no era una prioritat en la presa de decisions i que, en conseqüència, mostren unes deficiències i també unes possibilitats de millora que, en alguns casos poden significar importants estalvis energètics: fins a un 49% de reducció de consums si s'intervé en la millora de la pell dels edificis; entre el 17% i el 21% si es millora l'eficiència de les calderes; fins a un 20% si s'actua sobre l'estanquitat de les finestres; un 19% si es col·loquen dobles vidres; un 11% si es fa un manteniment continuat dels sistemes o un 10% si es millora l'aïllament de la coberta (Balaras, et al., 2007).

El gros d'edificis estudiats ha estat construït durant el segle XX en diferents etapes molt relacionades amb els diferents moments socioeconòmics del país, i en conseqüència les condicions ambientals dels espais escolars són molt diverses. Cal destacar però que, des del retorn de la democràcia a Espanya i, en concret a Catalunya, les iniciatives per millorar el parc escolar han estat moltes i ben orientades, des de les *Primeres Jornades sobre Arquitectura Escolar* de l'any 1981 (no publicades), passant pel manual *Criteris per a la construcció de nous edificis per a centres docents públics* (Hernández Oliva, 1999), o *Arquitectura escolar a Catalunya : 1990-2001* (Avellaneda, 2003) i arribant a les darreres

publicacions de la Generalitat en clau energètica i establint els criteris mediambientals que han de complir els projectes d'edificis escolars públics a Catalunya.

A partir de l'experiència adquirida durant més de 10 anys treballant en eficiència energètica en edificis públics d'usos diversos, es planteja la present tesi, en la que es desenvolupa una metodologia d'intervenció en edificis docents que ens ha permès: definir els indicadors clau per a identificar les oportunitats d'estalvi en els edificis; avaluar les possibles mesures de reducció de consums a partir de la limitació de la demanda i de la millora de l'eficiència dels sistemes; analitzar i donar pes al paper de cadascun dels actors que intervenen en les estratègies d'ús i gestió dels edificis escolars; i establir els criteris clau que cal considerar per a realitzar les futures intervencions de rehabilitació energètica.

Per aconseguir els objectius de reducció del consum energètic associat a l'edificació existent i en el nostre cas en els edificis d'ús docent de Barcelona, hem utilitzat l'anàlisi sistèmica, entenent el sistema com el "conjunt d'elements que relacionats entre si contribueixen a determinat objectiu" ([Real Academia de la Lengua Española](#)) i entenent l'anàlisi sistèmica com "la comprensió d'un problema complex des de l'enteniment dels components particulars i els patrons relacionats entre ells" ([Villate, et al., 2010](#)).

Aquest és un mètode d'anàlisi especialment adequat per a la resolució dels problemes relacionats amb la sostenibilitat des de les seves dimensions social, econòmica, ambiental i institucional, ja que es generen fortes interrelacions entre les diferents dimensions del problema (usuaris/consum, per exemple) a més de les dificultats per avaluar el punt òptim dels sistemes (forçar l'estalvi energètic sense comprometre el confort, en el nostre cas) ([Blanch, et al., 2010](#)).

És precisament en aquest sentit que aquesta tesi pot ser una aportació al coneixement en sostenibilitat. La reducció de consums energètics es pot llegir en clau econòmica (si mesurem i aconseguim estalvis) i en clau ambiental (si en reduïm l'impacte del sector de l'edificació en el còmput general). Però l'ús i la funció dels edificis escolars ha d'incorporar, a més, altres dimensions ja que el confort ambiental dels usuaris (acústic, tèrmic, funcional i de qualitat de l'aire interior) significa un augment del rendiment i una millora en els processos d'aprenentatge significatius ja identificats a mitjans del segle XIX ([Barnard, 1854](#)). Per aquest motiu hem incorporat indicadors ambientals que afecten també a aquestes qüestions i que tenen un component social (el barri o districte en el que estan ubicades les

escoles, el nivell socioeconòmic dels usuaris), o inclús ambiental però des de la percepció dels propis estudiants i docents pel que fa a la disponibilitat de patis o espais d'esbarjo de qualitat, per exemple.

Si els principis de la sostenibilitat es basen, com definia l'Informe Brundland (World Commission on Environment and Development, 1987), en un desenvolupament “*que satisfaci les necessitats del present sense comprometre l'habilitat de generacions futures a satisfer les seves pròpies necessitats*”, què millor que treballar en els edificis que ocupen habitualment els nens i joves: les escoles.

## Bibliografia

**Adalberth K.** Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 1997. - Vol. 32. - p. 317–320.

**Avellaneda J. et al.** Arquitectura escolar a Catalunya : 1990-2001 [Llibre]. - Barcelona : Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament, 2003.

**Balaras CA. [et al.]** European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - Vol. 42. - p. 1298-1314.

**Barnard H.** School architecture, or contributions to the improvement of school-houses in the United States. [Llibre]. - New York : Charles B. Norton, 1854.

**Blanch F., Juan J. i Sureda B.** La medida y modelización de la sostenibilidad: caso de estudio "La huella ecológica y los escenarios de futuro de la ciudad de Terrassa" [Revista]. - [s.l.] : Càtedra UNESCO de Sostenibilitat de la UPC, Novembre / 2010. - 11. - p. 39-54. - 1575-6688.

**Blom IS., Itard LCM. i Meijer A.** Environmental impact of building-related and user-related energy consumption in dwellings [Revista]. - [s.l.] : Elsevier, 2011. - Vol. 46. - p. 1657–1669.

**Hernández Oliva J. M.** Criteris per a la construcció de nous edificis per a centres docents públics [Llibre]. - Barcelona : Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament, 1999.

**Real Academia de la Lengua Española** Diccionario de la Lengua Española [En línia]. - 23 / maig / 2011. - <http://www.rae.es>.

**Villate C. i Tamayo B.** La práctica de la arquitectura como racionalización sistémica. [En línia]. - 2010. - 13 / maig / 2011. - <http://dearq.uniandes.edu.co>.

**World Commission on Environment and Development** Our Common Future [Informe] / United Nations. - 1987. - <http://www.un-documents.net/ocf-ov.htm#1.2>.



## **Presentació de la investigació | 2**



## Índex

2	Presentació de la investigació.....	25
2.1	Justificació.....	25
2.2	Objectius generals.....	26
2.3	Objectius específics .....	28
2.4	Hipòtesi.....	33





## 2 Presentació de la investigació

Els equipaments escolars són un conjunt d'edificis amb uns condicionants especials que els fan molt adequats per a dur a terme accions de millora i de conscienciació mediambiental, donada la seva vinculació directa amb l'educació i la formació dels ciutadans del demà. En els darrers anys, la legislació i el compromís social passen per fer un ús responsable de l'energia i obliguen a implicar al màxim número d'agents.

### 2.1 Justificació

Durant els anys d'exercici professional, i dels treballs duts a terme en clau d'estalvi i eficiència energètica en edificis docents universitaris i en centres d'educació infantil i primària, hem detectat que el primer que cal és caracteritzar les carències i les possibilitats de millora dels edificis per tal de plantejar les mesures més adients per garantir el confort ambiental dins els centres i tractar que aquestes actuacions no signifiquin un augment del consum de recursos. L'estudi de diferents edificis amb unes condicions estructurals (legislatives, organitzatives i d'entorn climàtic) similars, ha de permetre establir les futures línies de treball per tal de millorar la qualitat d'ús dels edificis i les possibles mesures d'estalvi energètic. Entenem que, com diu el *Código Técnico de la Edificación*<sup>1</sup> (any 2006), els edificis s'han de “projectar, construir, utilitzar i mantenir per aconseguir un ús racional de l'energia”, i per tant, està en mans de tots nosaltres aconseguir-ho.

---

<sup>1</sup> <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>

En aquest sentit, per a la realització d'aquesta tesi, hem establert una sèrie d'objectius generals (OG) i objectius específics (OE) de la recerca que es defineixen a continuació:

## 2.2 Objectius generals

### **(OG1) Establir una metodologia d'anàlisi del parc escolar edificat**

El primer objectiu general d'aquesta tesi és establir la metodologia d'anàlisi del parc escolar edificat a Barcelona, i que ha de donar resposta a les següents preguntes:

- Preguntes:
- Quin és el volum del parc escolar edificat?
  - Qui gestiona els edificis escolars?
  - Com es pot fer el cens d'edificis escolars?
  - Quins paràmetres cal conèixer?
  - Com els endrecem?

### **(OG2) Conèixer les eines per a la presa de decisions en clau energètica**

Evidentment, qualsevol iniciativa que pretengui definir criteris de millora, estalvi o eficiència energètica necessita emmarcar, prèviament, l'escenari de partida sobre el qual valorar el potencial de millora i la viabilitat dels objectius. Si l'objectiu, per exemple, és reduir el 50% del consum d'un edifici, cal saber respecte a quin paràmetre: al consum anual? al consum total de recursos? al consum per a una banda d'usos energètics? per m<sup>2</sup>?

Aquest escenari requereix d'una informació suficient per poder identificar la tendència del consum de recursos, els factors que s'intueix poden estar condicionant aquestes tendències i, segons el nivell de detall de la informació que es disposi, identificar línies d'actuació específiques que puguin desenvolupar-se.

Com es tracta de proposar als gestors dels edificis les línies de millora en els edificis escolars existents cal saber si ja hi ha plans d'estalvi i eficiència energètica per al sector, qui ha plantejat les estratègies i si existeixen plans d'eficiència definits des de les administracions. A partir del coneixement de l'escenari de sortida i de la informació disponible, el que cal fer és un **pre-diagnòstic**, que en el cas

d'actuacions a gran escala, com pot ser un grup d'equipaments municipals, ha de quedar definit per la pròpia administració.

Per actuar cal prendre abans les decisions que vagin en el camí de l'objectiu a assolir i per aquest motiu es defineix el segon Objectiu general d'aquesta Tesi a partir de les preguntes:

- Quins són els plans estratègics per a edificis escolars?
- Qui els proposa i com els implementa?
- Quins són els beneficis de la reducció dels consums en edificis escolars?
- Qui ha de prendre les decisions?
- Quines decisions són les més encertades? I les més viables?

### **(OG3) Proposar una metodologia d'intervenció en clau energètica i validar-la**

Com s'indica en el propi títol de la tesi, un objectiu general també serà definir la metodologia d'intervenció en clau energètica per als edificis escolars, mesurar la seves oportunitats d'estalvi, i fer les propostes tenint en compte el màxim de condicionants. Aquesta proposta metodològica que hem desenvolupat en el cas d'estudi de Barcelona, ha de ser extrapolable a altres ciutats de la conca nord de la mediterrània, així que ha calgut verificar les similituds i exigències dels parcs escolars edificats en altres ciutats de característiques estructurals similars a les de l'estudi de cas.

Per proposar aquesta metodologia hem investigat en:

- Quins són els paràmetres d'anàlisi d'edificis escolars que poden ser comuns a altres ciutats mediterrànies?
- Quines ciutats s'han plantejat aquest anàlisi del parc edificat en clau energètica?
- De quines eines han fet ús?
- Quins han estat els resultats?
- És traslladable la metodologia proposada en aquesta tesi?

### 2.3 Objectius específics

Un cop definits els objectius generals, s'han definit els objectius específics de la Tesi. Aquests són els que han permès avançar de manera metòdica en la recerca i per tant els que han anat endreçant el coneixement adquirit i han permès definir la hipòtesi de treball de la Tesi Doctoral.

#### **(OE1) Identificar i definir els indicadors d'eficiència energètica**

Hi ha diversos tipus d'indicadors d'eficiència energètica que proporcionen informació amb utilitats diferents. No hi ha prou en analitzar les taxes de consum absolut en el temps, per exemple, perquè aquestes poden variar segons la climatologia, l'ús dels edificis, la superfície utilitzada, el número d'usuaris o fins i tot l'eficiència dels sistemes. Per tant ha calgut conèixer:

OE1.1 Què són els indicadors energètics?

OE1.2 Qui els proposa?

OE1.3 Quines dades relacionen?

OE1.4 Per a què serveixen?

OE1.5 Com s'apliquen als edificis escolars?

#### **(OE2) Caracteritzar el parc escolar edificat i albirar les oportunitats de millora**

Els edificis escolars tenen uns comportaments energètics i unes característiques constructives que, en principi, sembla que haurien de ser bastant similars. Aquest fet obliga a caracteritzar les necessitats dels edificis d'una manera genèrica que, tot i que pot no servir en alguns edificis concrets, hauria de ser vàlida per a la majoria dels casos. Tanmateix, i si comparem aquest tipus d'edificis amb els d'altres sectors, es pot observar que són edificis amb uns consums molt importants en quant a climatització per a calefacció i una despesa energètica prou important per a enllumenat, mentre que en la majoria dels casos no disposen de sistemes d'aire condicionat. Això és degut a la temporalitat en la utilització per una banda (ja que el període lectiu no coincideix amb els mesos de màxima calor), i a l'horari diürn en que s'imparteix la docència. Amb tot, les diferències de consums entre edificis són prou dispars, i per tant ha calgut conèixer quins són els condicionants que les determinen. En conseqüència hem analitzat:

- OE2.1 Quina és l'antiguitat del parc escolar edificat?
- OE2.2 Quins són els consums energètics del parc escolar edificat?
- OE2.3 Quins són els valors de referència?
- OE2.4 Quines són les oportunitats d'estalvi?

### **(OE3) Considerar la rehabilitació energètica com a prioritat**

Actualment, el *Código Técnico de la Edificación* des del Document Bàsic d'Estalvi d'Energia (DB HE) estableix les pautes d'intervenció per a rehabilitacions en edificis de més de 1000m<sup>2</sup> en els que s'hagi d'intervenir en l'envolupant i determina nous paràmetres de transmitància tèrmica en relació a la normativa anterior tenint en compte la ubicació de l'edifici, l'orientació de les façanes i el percentatge de buits. També estableix noves exigències a les obertures per tal que aquestes proporcionin una veritable protecció solar a l'interior dels edificis i una estanquitat a l'aire que eviti les pèrdues. Rehabilitar els edificis és una activitat que protegeix el medi ambient des de diferents perspectives, per exemple en estalvi de materials, però també ha de ser una prioritat en quant a la conservació en condicions del parc edificat i en la revalorització del patrimoni arquitectònic edificat. La rehabilitació energètica es comença a plantejar també com a una necessitat a l'hora d'intervenir en l'edificació existent, i cal doncs saber:

- OE3.1 Per què és prioritari rehabilitar?
- OE3.2 Què és la rehabilitació energètica?
- OE3.3 Quines experiències tenim?

### **(OE4) Avaluar els edificis escolars en clau energètica**

Entenem que l'auditoria energètica és un procés fonamentalment de diagnosi que ha de permetre orientar els esforços econòmics, tècnics i logístics, de manera eficient, per tal de corregir les deficiències identificades en qualsevol edifici. Així, considerem que és un exercici que pot ser d'utilitat en alguns casos i que ja hem aplicat amb èxit durant anys a partir d'una metodologia pròpia que ha servit, en altres casos d'estudi, a avaluar energèticament els edificis i a identificar les propostes

d'actuació que, més endavant, es podran traduir en projectes específics a desenvolupar d'acord amb les prioritats dels responsables de la seva gestió. Per avaluar els edificis escolars ha calgut saber:

- OE4.1 Què és una auditoria energètica?
- OE4.2 Quines eines d'avaluació energètica podem aplicar al parc edificat?
- OE4.3 Quins indicadors podem aplicar?
- OE4.4 Com els apliquem?

### **(OE5) Establir les línies estratègiques d'actuació**

A partir de la diagnosi del parc escolar edificat s'han pogut identificar les mancances dels edificis i, per tant, es podran començar a plantejar les accions específiques per tal de solucionar-les. Cal agrupar les diferents propostes en el que hem acordat anomenar línies d'actuació, que venen determinades per la metodologia emprada durant l'aixecament de dades i l'avaluació. En conseqüència ha calgut definir:

- OE5.1 Quines són les línies estratègiques d'actuació?
- OE5.2 Quines poden aplicar-se, quan i com en els edificis escolars?

### **(OE6) Potenciar l'objectiu de la reducció dels consums**

Sabem que el pes del consum d'energia d'un edifici del sector terciari, se situa al voltant del 70% durant la fase d'ús i explotació, i per aquest motiu creiem que l'objectiu final d'aquesta tesi ha de ser proporcionar les eines per a que el consum energètic dels edificis públics d'ús docent existents redueixin el seu consum energètic, com a mínim, un 20% per l'any 2020, ja que l'objectiu d'aconseguir edificis d'energia quasi nul·la és inassolible per a la gran majoria d'edificis ja existents. Així, s'ha treballat centrant la recerca en l'àmbit escolar a la ciutat de Barcelona, com a exemple prou representatiu de ciutat mediterrània, i en la que s'han realitzat ja algunes experiències pilot a més d'haver col·laborat amb les administracions locals en iniciatives similars. A partir d'aquest objectiu hem avaluat:

- OE6.1 Què podem estalviar si rehabilitem energèticament els edificis?
- OE6.2 Quins són els objectius dels escenaris de futur?

### **(OE7) Identificar i mostrar les oportunitats de millora**

És cert que en els darrers anys les administracions han establert estratègies en clau d'eficiència energètica en els seus parcs edificats, però cal avaluar, enregistrar, publicar i difondre els resultats per tal que es puguin utilitzar les experiències més exitoses.

Les millores ja introduïdes en els edificis sobre els que s'ha actuat s'han d'avaluar des de diferents perspectives; amb retorns econòmics (tot i que algunes de les mesures que s'han pres amb aquest objectiu no han comportat la millora de les condicions dels edificis); energètiques, introduint sistemes energètics a partir de recursos sostenibles (que s'han de mantenir i verificar si són realment eficients) o millorant l'eficiència dels sistemes (reduint els consums però sense disminuir els paràmetres de confort, ans el contrari, millorant-lo); mediambientals, considerant aquest concepte àmpliament, és a dir avaluant la qualitat de l'aire interior dels edificis escolars, la millora de les condicions acústiques, la qualitat dels espais d'esbarjo, etc; i socials, ja que el que sí s'ha demostrat abastament és que implicar als usuaris dels edificis en un millor ús i gestió dels sistemes significa estalvi energètic i, el que és més important, compromís a llarg termini.

Amb aquest objectiu s'han avaluat:

- OE7.1 Quines mesures s'han introduït ja en el parc edificat?
- OE7.2 Quins resultats s'ha obtingut de la implementació d'aquestes mesures?
- OE7.3 Quines s'han mostrat més eficaces?





## 2.4 Hipòtesi

Les estratègies energètiques s'han plantejat habitualment, en el nostre entorn més proper, en el sentit de “dalt/baix” (Up/Bottom), a partir dels documents que publica l'administració, les directives, els Plans i Programes d'actuació, la legislació, les campanyes de comunicació, etc.

No posem en dubte l'eficiència del model, però la nostra proposta va més en la línia del Bottom to Up. Considerem que actuar sobre edificació existent permet utilitzar els edificis com a exemples reals sobre els que experimentar i centrar una recerca metodològica, i analitzant i enregistrant la informació cas a cas i amb actuacions singularitzades i acurades en el que hem donat per anomenar edificis diana, serveix per conèixer el parc edificat, processar i confrontar informació i, a la llarga, extreure conclusions traslladables a altres àmbits, a més de, en el cas dels edificis escolars, crear consciència de grup i educar en sostenibilitat.

La ciutadania del futur és l'alumnat de les actuals escoles, actuar en els edificis que ocupen dia a dia, mostrar-los les accions que signifiquen estalvis energètics, que comprovin per ells mateixos els graus de confort i de desconfort que es produeixen actuant sobre les pells dels edificis, per exemple, o plantant vegetació caduca són ensenyances que perduraran en el seu esdevenir.

Per la seva banda, els edificis tenen la seva història, han donat resposta a diferents necessitats en moments determinats i les seves provables mancances o problemes no poden significar sistemàticament la seva desaparició en forma d'enderroc o declaració d'edifici obsolet. Hem vist i hem sentit les veus que indiquen que el camí cap a la sostenibilitat en edificació passa, sobretot, per la rehabilitació i el manteniment dels edificis. Qualsevol nou edifici, per eficient energèticament que sigui, amb un impacte associat als materials emprats, amb un ús intensiu de les energies renovables o fins i tot amb una certificació energètica òptima, és menys sostenible que la rehabilitació adequada d'un edifici existent. Cal optimitzar les actuacions en rehabilitació per a que siguin rentables i el retorn de la inversió, tot i que és un concepte que no volem considerar decisiu, sigui raonable i engrescador.

El que proposem és una metodologia d'anàlisi del parc escolar edificat que permeti, endreçar els edificis en quant a la seva bondat en clau energètica, de manera que es puguin prendre les decisions sobre les intervencions que cal fer de manera acurada, documentada i optimitzada (si volem podem

ajustar-nos al concepte tan actual d'SMART: Específica, Mesurable, Apropiable, Realista i Temporalitzada). Cal doncs establir els indicadors que ens proporcionaran la informació i estudiar les possibles propostes per tal de facilitar la tria en cada cas concret. La limitació de la demanda a partir de la rehabilitació de l'envolupant dels edificis, façanes i cobertes, és una bona estratègia, però no es pot obviar que hi ha altres mesures també eficaces, algunes fins i tot de costos molt reduïts i que tenen un gran impacte.

Hem vist al llarg de la nostra experiència molts exemples de com una gestió en clau energètica dels edificis, amb una inversió econòmica de 0 € o quasi, és una mesura que produeix estalvis que poden arribar al 20% de la despesa energètica. També hem comprovat que la consciència ciutadana és una forma d'actuar sobre els edificis eficaç i instructiva, que a més, comporta l'extensió de bones pràctiques a altres entorns de treball o de convivència<sup>2</sup>.

Sabem i està mesurat, que la millora en l'eficiència dels sistemes (climatització, condicionament, refrigeració, ventilació, enllumenat, etc.) és una eina clau per a la reducció dels consums associats a l'ús dels edificis. Aquesta línia de treball no ha estat la principal en la recerca duta a terme durant aquesta tesi, ja que necessitaria d'una major participació dels experts en sistemes i instal·lacions. De totes maneres, no renunciem a proposar algunes de les accions que se'ns han mostrat, després d'anys dedicats a fer auditories i avaluacions energètiques en edificis del sector terciari, més adequades com a estratègies d'eficiència energètica i que hem agrupat en tres línies d'actuació: l'envolupant dels edificis, els sistemes i l'ús i la gestió.

Si es volen reduir els consums energètics de l'edificació existent un 20% per l'any 2020, cal començar d'immediat a complir la Directiva Europea 2011 que exigeix actuar sobre el 3% dels edificis públics cada any, i en aquest sentit:

---

<sup>2</sup> “Qualsevol estratègia de canvi cap a la sostenibilitat en temes d'arquitectura (com en qualsevol altre) serà mol més difícil de dur a terme si es basa només en recursos -sobretot si són de caràcter estrictament tècnic o regulatiu- i no busca les complexitats socials. **Sense la gent no avançarem**” (Subirats, 2009 a **34 Kg de CO<sub>2</sub>**, pp 60-61)).

### **La hipòtesi d'aquesta Tesi és:**

**Demostrar que, a partir d'una metodologia específica d'anàlisi del parc edificat, aplicada a un conjunt d'edificis de característiques similars, es poden detectar aquells que mostren un potencial d'estalvi més elevat (sigui perquè són els més ineficients, els que presenten més mancances, o fins i tot els que es mostren menys confortables) i establir les línies d'actuació més adequades per a la seva rehabilitació energètica.**

**La metodologia, es dissenyarà especialment apropiada per a edificis d'escoles i centres educatius, donat que són equipaments idonis com a laboratori de pràctiques sostenibilistes i mediambientals, i poden servir de patró formatiu per a les generacions futures .**

**Si la metodologia es mostra adequada, l'experiència podrà ser exportada a diferents tipologies edificatòries i a altres entorns mediterranis de característiques similars.**



**Antecedents | 3**



## Índex

3	Antecedents .....	41
3.1	L'eficiència energètica com a estratègia de la Unió Europea. ....	41
3.2	La situació energètica a Catalunya i a Barcelona i les estratègies definides. ....	44
3.3	El Pla de Millora Energètica de Barcelona (PMEB) (2002) (Ajuntament de Barcelona).....	50
3.4	El Pla de millora energètica dels edificis municipals (PMEIM) (2009-2011) (Ajuntament de Barcelona, 2011) .....	56
3.5	El Pla d'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire de Barcelona (2011-2020) (PECQ).....	58
3.6	L'Acord de Govern sobre l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis ....	62
3.7	Altres estratègies per reduir el consum energètic associat a l'edificació. ....	63
3.8	Edificis escolars i eficiència energètica: un repte educatiu. ....	64
3.9	Edificis escolars a Barcelona. Estat del parc edificat. ....	64
	Taula de figures .....	69
	Bibliografia.....	71





### 3 Antecedents

#### 3.1 L'eficiència energètica com a estratègia de la Unió Europea.

El sector de la construcció i l'edificació consumeix, aproximadament, entre un 30% i un 50% (segons els autors) de l'energia total utilitzada, i genera uns nivells similars en quant a emissions associades. Les dades al respecte varien segons diferents factors, sistemes de mesura i indicadors, però és comuna la preocupació sobre aquest fet arreu del món i, per aquest motiu, s'han desenvolupat en els darrers anys diferents estratègies amb la intenció de reduir aquests consums.

En concret, i segons els estudis duts a terme l'any 2002/2003 per l'Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) ([Organisation for Economic Co-operation and Development, 2003](#)), els edificis residencials i comercials eren responsables del 30% del consum d'energia primària en els països de la Comunitat Europea i del 30% de les emissions de gasos amb efecte hivernacle. Segons dades de la International Energy Agency (IEA) ([International Energy Agency, 2006](#)), l'any 2005 els edificis consumien, a escala mundial, entre el 30-40% de l'energia, el que significava 2.500 Mtoe (Million Tonnes of Oil Equivalent) cada any. I treballs recents ([Solanas, et al., 2009](#)) ja avaluen que en conjunt, “la construcció consumeix el 50% dels recursos naturals i el 40% de l'energia, el que al seu torn, genera el 50% dels residus i un terç de les emissions de CO<sub>2</sub>”.

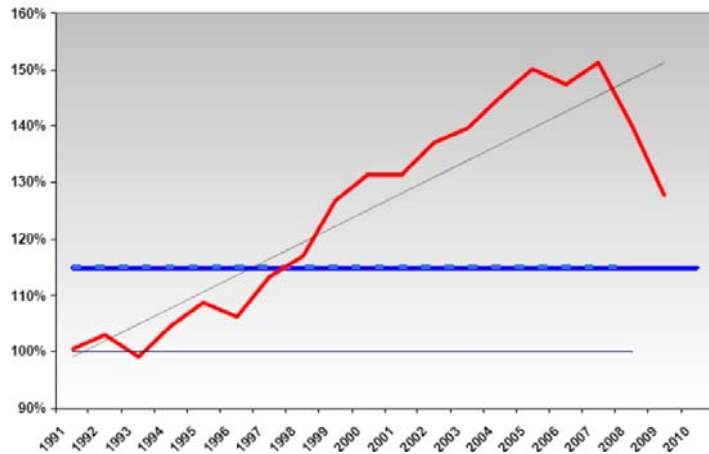


Fig. 1 Evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a Espanya en CO2 equivalent. Font (CCOO Comissions Obreres, 2010)

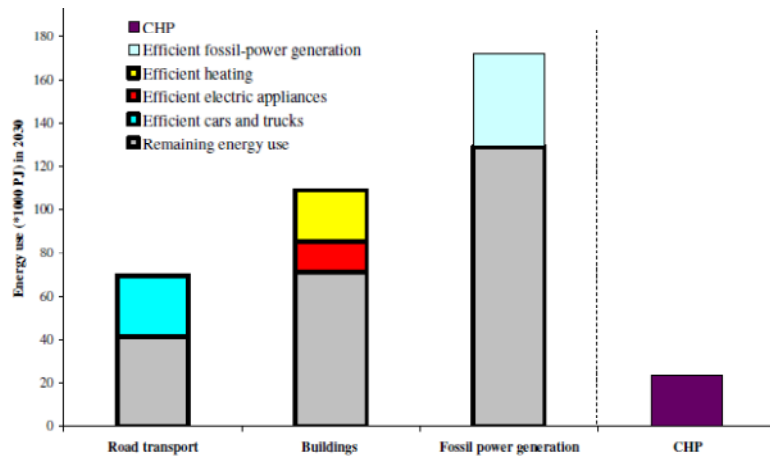


Fig. 2 Potencial d'estalvi energètic per al 2030 segons el G8 i altres 5 països en relació a l'escenari actual. (Klessmann, 2007)

Els mateixos estudis confirmen que el consum energètic associat a l'edificació té un creixement continuat des dels anys 60s i aquest creixement es mantindrà en els pròxims anys, tot i que és cert que la conjuntura econòmica ha significat un canvi de tendència en l'evolució del consum d'energia primària i de les emissions associades, especialment bruscat en el cas d'Espanya (Fig. 1).

D'aquestes dades s'extreu que el sector de l'edificació té un paper molt significatiu en el consum energètic i, mirat en positiu, un elevat potencial de millora (Fig. 2). En conseqüència, és un sector clau en el que treballar des de diferents perspectives en quant a eficiència energètica: materials de construcció amb menys energia de producció incorporada, millor aprofitament de les condicions climàtiques, manteniments en clau energètica, etc. que poden comportar estalvis en consums i reducció de les emissions associades.

Per aconseguir aquest estalvi s'han promogut diverses polítiques internacionals: des de l'any 2002, que el Parlament i el Consell Europeu van publicar la Directiva 2002/91/EC de millora energètica en edificis, a l'actual Directiva 2012/27/EU (European Commission, 2012) (que complementa les anteriors Directiva 2009/125/EC i Directiva 2010/30/EU, i substitueix les Directives 2004/8/EC i 2006/32/EC).

Amb aquest objectiu es va desenvolupar el sistema de certificació energètica d'edificis nous o edificis existents de més de 1000 m<sup>2</sup> sotmesos a rehabilitacions integrals. Aquest sistema es generava a partir de 30 paràmetres generals i comuns, i en posterioritat cada país de la Unió Europea va desenvolupar els seus sistemes de certificació energètica d'edificis segons les seves condicions climàtiques i els paràmetres edificatoris més habituals. A Anglaterra, per exemple, es van diferenciar els edificis d'habitatges i els que no ho són, mentre que a França es classifiquen en edificis d'habitatges, d'oficines, escolars, etc. Pel que fa als climes, a França es treballa amb tres zones climàtiques, mentre que a Espanya es fa amb 12 i a Itàlia amb sis. Però la dificultat del sistema rau en que no hi ha una metodologia estandaritzada per al càlcul de la demanda; els requeriments mínims d'eficiència són diferents per a cada país i els valors de mesura són també diferents: energia primària, consum energètic final o emissions de CO<sub>2</sub>. Aquesta realitat ha fet treballar en la cerca d'un marc comú per a tots els sistemes de certificació energètica que es basi en indicadors que relacionin l'energia consumida amb la superfície construïda.

En vistes que la directiva d'Eficiència Energètica presentada l'any 2002 per la Unió Europea no estava donant els resultats esperats en quant a reducció de les demandes i els consums, i tot i haver estat modificada l'any 2010 (Parlament Europeu i del Consell, 2010), el darrer 22 de juny de 2011 es va publicar una nova Directiva en Eficiència Energètica 2011/0172 (COD) (European Commission, 2011). Aquesta nova directiva havia d'endurir les exigències en quant a reduccions de consums, proposava actuacions directes sobre les empreses que comercialitzen l'energia, prohibia l'estimació de les factures i, entre moltes altres mesures, obligava a rehabilitar cada any un 3% dels edificis públics en clau energètica. Mentre es realitzava aquesta tesi s'ha publicat una nova Directiva Europea 2012/27/UE (European Commission, 2012) que modifica les Directives 2009/125/EC, 210/30/UE i substitueix les Directives 2004/8/EC i 2006/32/EC. Aquesta Directiva estableix un marc comú de mesures per a la promoció de l'eficiència energètica dins la Unió Europea, per tal d'assegurar l'assoliment l'any 2020 de reducció del consum energètic en un 20%, alhora que ha de servir per preparar el camí per a ulteriors millores d'eficiència energètica més enllà d'aquesta data. En ella s'estableixen normes destinades a eliminar barreres en el mercat de l'energia i a superar deficiències del mercat que obstaculitzen l'eficiència en el subministrament i ús d'energia, i preveu l'establiment dels objectius d'eficiència energètica nacionals per al 2020.

Aquesta continua revisió dels objectius a assolir en eficiència energètica dins la Unió Europea dona arguments i consolida l'oportunitat d'aquesta tesi, que pretén treballar cap a la rehabilitació per una banda i també en focalitzar les exigències en la reducció de consums en els edificis públics.

Val a dir que els diferents governs del país que integren la Unió Europea tenien fins l'any 2014 per adequar les exigències a les respectives realitats, però sembla que la línia de treball comunitària està seriosament decidida a reduir els consums encara que només sigui per qüestions de balança comercial amb els països productors de l'energia que consumeix Europa.

El context europeu és, de totes maneres dispers (Annunziata, et al., 2013) i canviant, i en conseqüència, per a la realització d'aquesta tesi, si bé s'han consultat les directives europees que fan referència a qüestions energètiques, hem definit els objectius observant les normatives i obligacions de compliment dels estàndards d'eficiència energètica del nostre país.

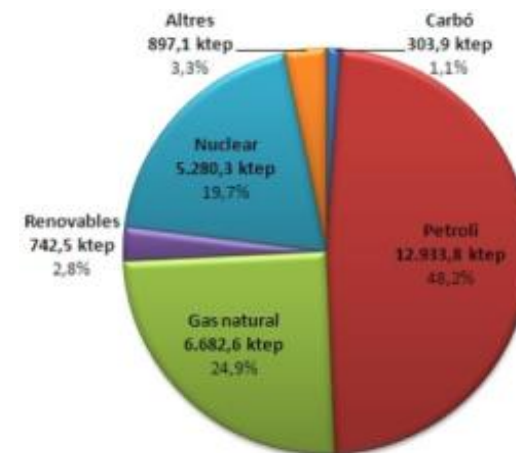


Fig. 3 Estructura del consum d'energia primària a Catalunya l'any 2007.  
Font ICAEN

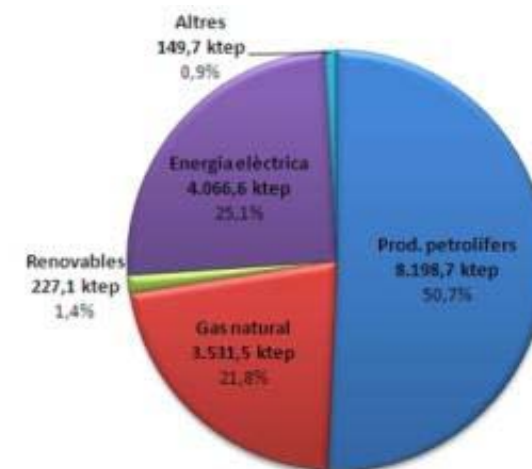


Fig. 5 Estructura del consum final d'energia a Catalunya l'any 2007.  
Font ICAEN

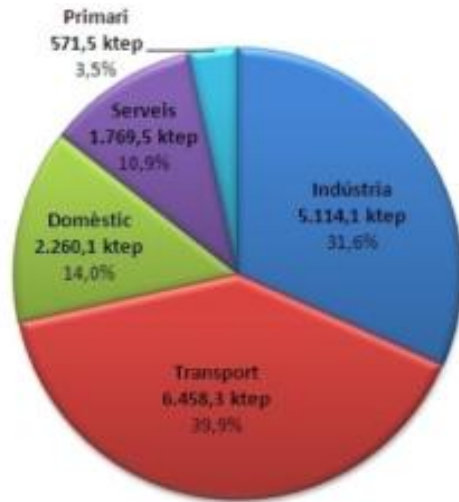


Fig. 6 Estructura del consum final d'energia per sectors a Catalunya l'any 2007.  
Font ICAEN

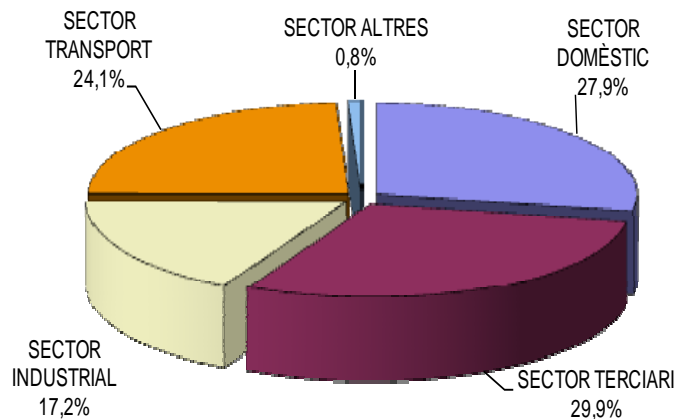


Fig. 7 Consum d'energia a Barcelona, l'any 2008 [17.001,78 GWh].  
Font: Agència de l'energia (Ajuntament de Barcelona, 2002)

### 3.2 La situació energètica a Catalunya i a Barcelona i les estratègies definides.

A Catalunya, les dades de consums que proporcionava per l'any 2007 l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), indiquen que els consums energètics es distribueixen en més d'un 90% en petroli, gas natural i energia nuclear, essent el consum en energies renovables tant sols d'un 2,8 % (Fig. 3).

Pel que fa als consums finals d'energia, la distribució en quant a recursos segueix essent bàsicament en els dos recursos no renovables d'origen fòssil: productes petrolífers i gas natural (fins al 71% del total) i les renovables signifiquen tant sols un 1,4% (Fig. 4).

I pel que fa a l'estructura per sectors del consum, tot i que els serveis i el sector domèstic representen un 25% aproximadament del consum (Fig. 5) no hem d'oblidar que el sector de la construcció, com a part de l'industrial, també té la seva part de responsabilitat en quant a consums associats, tant pel que fa a la producció de materials, al transport, com a la pròpia activitat edificatòria, amb tots els recursos que precisa per dur-se a terme.

Tot i així, sembla que s'ha produït una contenció en el consum final de recursos energètics (gas natural a Catalunya un 2% d'increment i l'energia elèctrica un 2,7%) i que ha augmentat considerablement l'aportació de les energies renovables. Però pel que fa al consum, el sector domèstic i de serveis representa encara, en conjunt, un 28% del consum final de l'energia a Catalunya.

Immerta en aquest panorama energètic, Catalunya ha definit ens els darrers anys les seves estratègies per a reduir el consum i ha definit les seves línies de desenvolupament a partir d'un creixement econòmic basat, no en augmentar el consum de recursos sinó en reduir la demanda a partir de l'eficiència en els consums.

Si posem el focus a la ciutat de Barcelona, el consum d'energia l'any 2008 en el sector terciari va significar un 29,9% del total, i en la distribució de consums segons els usos dels edificis municipals que disposa l'Ajuntament, als edificis escolars els correspon el 12,66% del consum elèctric (vinculat bàsicament a les instal·lacions d'enllumenat) i el 38,5% del consum en gas (relacionat amb els sistemes de climatització en calefacció) (Fig. 6 i Fig. 7). (Ajuntament de Barcelona, 2002).

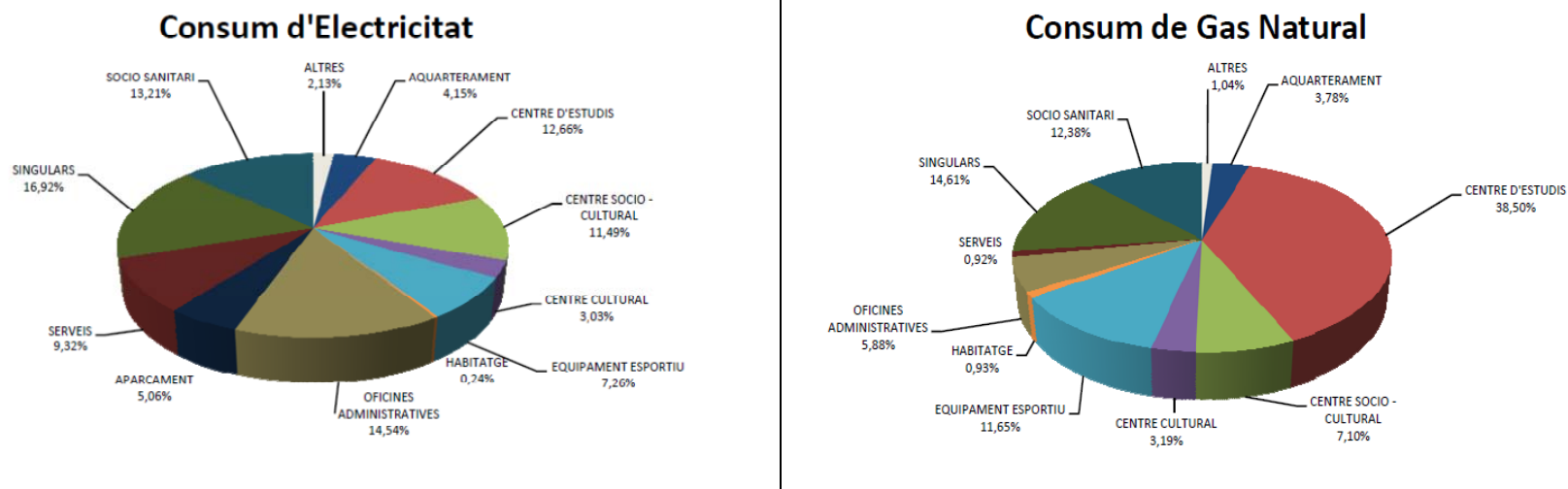


Fig. 8 Distribució del consum d'energia en els edificis municipals de Barcelona, l'any 2008, segons usos. Font: Agència de l'energia (Ajuntament de Barcelona, 2002)

Com ve succeint des de l'any 1970 en la majoria de països de l'entorn, a Catalunya també s'han establert polítiques energètiques encaminades a millorar l'eficiència energètica i reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Tot i que, en un principi, aquestes polítiques es limitaven a fer recomanacions per a promoure el canvi d'hàbits en els patrons de consum sense incorporar l'obligatorietat ni establir objectius quantitius, la situació va canviar l'any 1998 a partir de la signatura del Protocol de Kyoto (Naciones Unidas ONU, 1998), en que es van començar a utilitzar els objectius quantificables com a instruments de les polítiques energètiques.

En el nostre país, el Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015 (PEC) (Generalitat de Catalunya, 2005), revisat l'any 2009 amb la incorporació de la situació de crisi econòmica actual, incorporava l'estratègia d'estalvi i eficiència energètica com a punt 6 del Pla, amb la intenció que, junt amb el "Pla d'energies renovables" (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011), el "Pla d'infraestructures energètiques i el de R+D+i" (no desenvolupat), fos un dels eixos de la política energètica del Govern de la Generalitat.

El passat any 2012 es va fer públic el nou “*Pla de l’Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 (PECAC 2020)*” (Generalitat de Catalunya, 2012) que estructura els treballs en tres horitzons temporals diferents: a llarg termini amb una perspectiva de tipus energètic amb un horitzó al 2030 i que inclou l’exploració de sis escenaris diferents i l’elecció de l’escenari a complir; a mig termini amb la concreció de les estratègies de l’escenari aposta en els àmbits de l’estalvi i l’eficiència energètica, les energies renovables, les infraestructures i qualitat dels subministraments energètics, la recerca i desenvolupament tecnològic i el desenvolupament empresarial en el sector energètic; i a curt termini, en que es defineixen els eixos estratègics del Pla que es desplegaran en el Pla d’Acció 2012-2015, i on es detallaran les actuacions concretes a emprendre per la Generalitat de Catalunya en aquest període i que s’elaborarà un cop aprovat el Pla de l’Energia i Canvi Climàtic.

El *PECAC 2020* expressa, en el seu capítol 1 titulat “Les polítiques d’estalvi i d’eficiència energètica seran claus per assegurar l’assoliment d’un sistema energètic sostenible per a Catalunya” el següent:

*S’apostarà per la rehabilitació dels edificis i habitatges com a factor dinamitzador de l’activitat econòmica, amb l’objectiu de millorar l’estalvi i l’eficiència energètica i fer-hi les millores estructurals que molts necessiten.*

*S’adoptarà un marc normatiu que faciliti i estimuli solucions constructives i tecnològiques que permetin reduir el consum d’energia.*

Sembla doncs, que pel que fa a les polítiques de reducció de consums associats a l’edificació, a Catalunya es manté la línia de treballs en la direcció de la rehabilitació energètica d’edificis, tot i el canvi de tendència política.

Dins aquest context de les estratègies d’estalvi i eficiència energètica (sempre canviant), la pròpia administració considera que el seu paper és relativament petit en l’ús eficient de l’energia i, per tant, que cal centrar aquesta responsabilitat en els usuaris i consumidors. Al meu parer aquest és un punt discutible, ja que la pròpia administració exerceix d’usuària i consumidora de bona part de l’energia que es consumeix a Catalunya tant pel que fa al consum associat a la seva activitat com pel que fa a l’ús i gestió dels seus edificis.

Tot i així, el paper de les administracions ha estat fins ara centrat en la publicació d'accions orientadores, donar subvencions i legislar i emetre reglamentació específica, i actualment totes es troben embarcades en redactar o implantar estratègies d'estalvi i eficiència energètica a partir a tres nivells: l'estatal, amb l'"Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2008-2012" (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio., 2008), el recent publicat "Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020" (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011), que té com a objectiu reduir pel 2020 un 20% el consum energètic d'Espanya, el *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril* (Boletín Oficial del Estado BOE, 2013), pel que s'aprova el procediment bàsic per a la certificació de l'eficiència energètica dels edificis. Paral·lelament, les Comunitats Autònomes (CCAA) i alguns municipis han desenvolupat els seus diversos Plans estratègics, obligats en part pels acords internacionals i les directives europees.

La finalitat de les estratègies d'Estalvi i Eficiència Energètica de Catalunya, per exemple, es centren en la reducció de les ineficiències i dels consums innecessaris fins els límits possibles (tècnics, econòmics i socials) i es fixa "*uns objectius en funció dels recursos potencials disponibles, dels recursos futurs viables, de les barreres i dels límits operatius*" amb una motivació clara: complir amb els requisits de la Cimera de Kyoto però també, d'establir una acció pública que incorpori els costos externs del preu de l'energia, avaluar el potencial de millora de l'eficiència a Catalunya respecte a països més avançats, i apostar per les polítiques integrals evitant la dispersió i fragmentació dels esforços entre d'altres.

Aquest darrer punt creiem que és principal, ja que fins i tot per a la redacció d'aquesta Tesi, s'ha fet difícil identificar els actors que intervenen en temes d'energia a l'Estat espanyol, a Catalunya i fins i tot a la ciutat de Barcelona. Les diferents administracions han desenvolupat les seves pròpies agències, instituts, oficines, etc, la qual cosa provoca una dispersió d'objectius, una superposició d'estratègies i una duplicitat en els esforços de compliment difícilment mantenible.



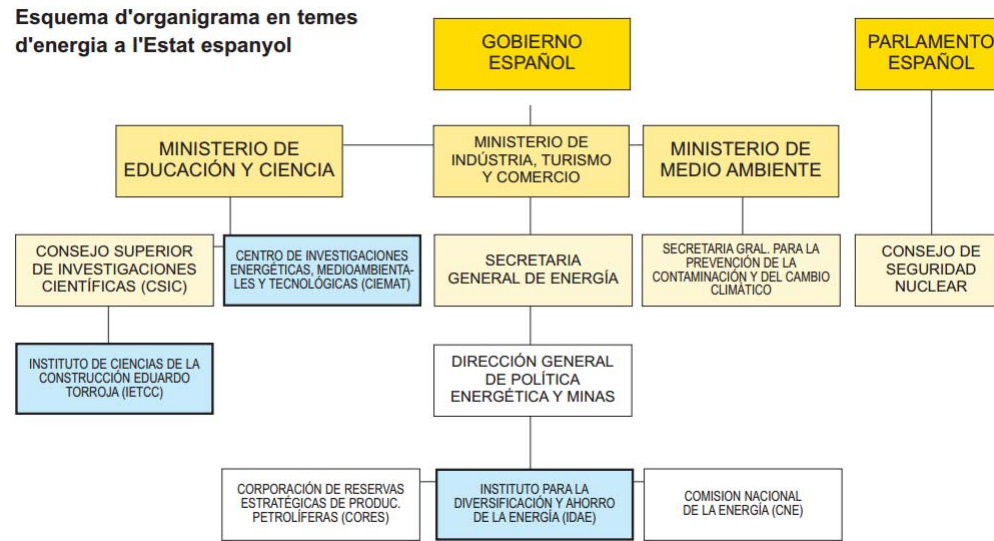


Fig. 10 Esquema d'organigrama en temes d'energia a l'Estat espanyol. Font: (Casanovas, 2007).

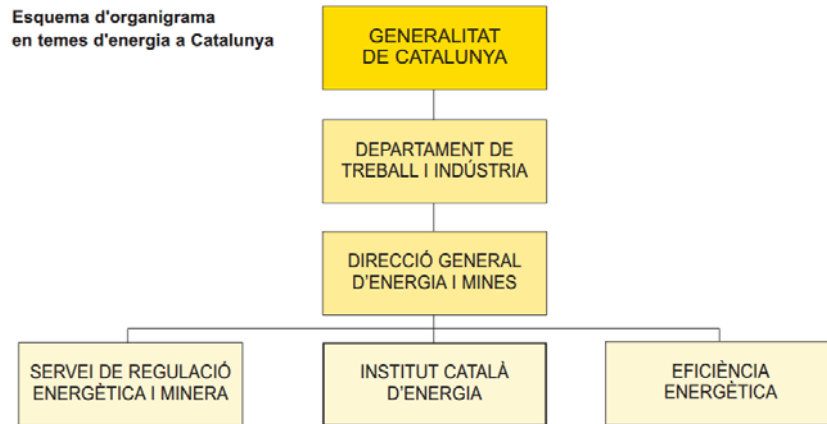


Fig. 11 Esquema d'organigrama en temes d'energia a Catalunya. Font: (Casanovas, 2007)

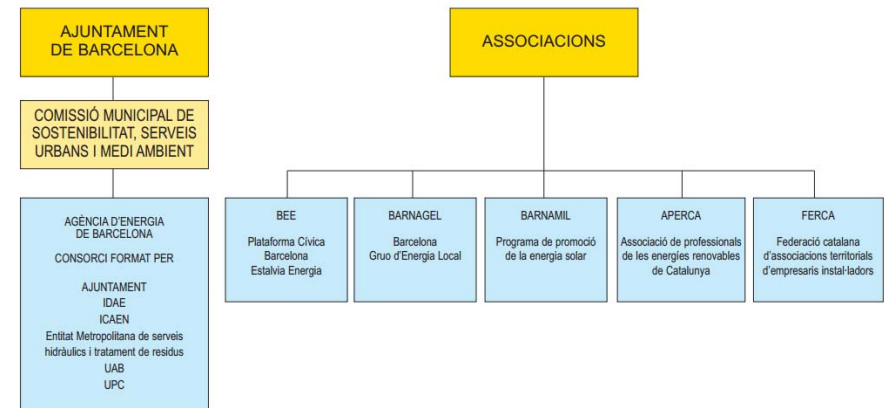


Fig. 9 Esquema d'organigrama en temes d'energia a Barcelona. Font: (Casanovas, 2007)

Davant aquest panorama, s'ha considerat que era més productiu i assolible centrar els escenaris de treball a nivell municipal. En aquest sentit ja hi ha diferents experiències que han resultat prou positives i que s'han articulats a través de diferents convenis de cooperació entre la Universitat i els ens municipals. Entre elles, destaquem aquelles en les que hem participat des de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), com per exemple, el conveni signat l'any 2002 entre el Departament Construccions Arquitectòniques II de la UPC i l'Ajuntament de Barcelona per a l'aplicació de l'Ordenança Solar, i que va significar la participació d'una vintena d'estudiants d'Arquitectura Tècnica en el desenvolupament de projectes d'instal·lació de sistemes de producció d'energia solar per al subministrament d'aigua calenta sanitària en diferents poliesportius i piscines municipals. També cal fer referència al Conveni signat l'any 2006 entre la UPC i l'Ajuntament de Sabadell i desenvolupat en diferents fases, que va incloure la realització d'auditories energètiques de diversos edificis municipals amb activitats diferenciades (culturals, administratives, esportives, i educatives) i que després es va perllongar amb el projecte d'avaluació energètica del conjunt de Centres Educatius d'Infantil i Primària (CEIPS), els resultats dels quals s'han presentat en diversos congressos (EMSU International Conference, 2008) i (Bosch, et al., 2009).

En el cas de la ciutat de Barcelona, tot i tenir uns consums en comparació amb altres capitals europees prou ajustats (Fig. 11), les estratègies s'han plantejat des de fa anys amb la redacció de documents, informes i memòries de seguiment que han permès avançar en la reducció de consums energètics des de diferents fronts: la mobilitat a l'interior de la ciutat; la qualitat de l'aire; els incentius fiscals per a la millora de les condicions dels habitatges, etc.

Seguint un ordre cronològic s'exposen a continuació els tres documents bàsics que han definit aquestes estratègies: el Pla de Millora Energètica de Barcelona 2002, el Pla de Millora Energètica dels Edificis Municipals 2009-2011, i el Pla d'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire de Barcelona 2011-2020.

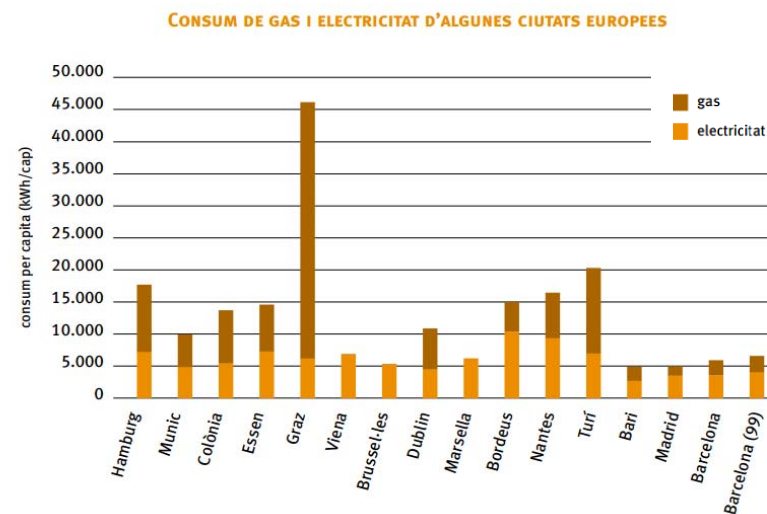


Fig. 12 Consum de gas i electricitat d'algunes ciutats europees. Del document PMEIM, Agència d'Energia 2011 (Ajuntament de Barcelona, 2011)

### 3.3 El Pla de Millora Energètica de Barcelona (PMEB) (2002) (Ajuntament de Barcelona)

El PMEB 2002 és un Pla d'acció que es va desenvolupar com a marc global de la ciutat per visualitzar les polítiques energètiques, estava orientat a *“promoure l'ús de fonts d'energia netes i renovables (...), aconseguir l'eficiència en la producció d'energia final i reduir el consum a partir de la introducció de millores tecnològiques i de pràctiques d'ús conscient”*, i es desenvolupava en: una sèrie de capítols introductoris; un Estudi de base i Diagnosi de la situació Energètica a Barcelona (EDEB) per sectors i amb la definició de diversos escenaris i simulacions; i el Pla d'acció per a l'estalvi d'energia i la reducció de les emissions a l'atmosfera (PAE) que es focalitzava en un total de 55 projectes que implicaven, des de petites modificacions en l'ús de les energies, fins a grans canvis en els seus sistemes de producció i distribució.

Tot i que els capítols relacionats amb els escenaris de futur i les simulacions són de molt interès, per als interessos d'aquesta Tesi el més interessant era detectar quins eren els objectius del Pla als que podíem donar resposta des de la nostra proposta de recerca i verificar si la nostra línia de treball s'esqueia en el panorama de futur esperat, tot i ser coneixedors que el Pla, presentat l'any 2002 ja està superat per una nova versió que inclou específicament accions dirigides a l'eficiència energètica en edificis municipals en el *Pla de millora energètica dels edificis municipals (2009-2011)* (Ajuntament de Barcelona, 2011), i que analitzarem, en aquest mateix capítol, més endavant.

D'entre els objectius generals del PMEB estava: definir una estratègia energètica en l'àmbit de la ciutat de Barcelona per tal de tendir a un estat de ciutat sostenible, a partir de la planificació energètica i el foment de l'eficiència energètica, de les energies renovables i de la qualitat dels serveis energètics.

Donat que, segons el propi Pla, el concepte Ciutat Sostenible implicava *“un balanç dinàmic entre tres elements mútuament independents: la protecció i cura d'ecosistemes naturals; la productivitat econòmica; i la provisió d'infraestructures socials com llocs de treball, cases, educació, salut i cultura”*, el Pla buscava un equilibri entre aquests elements *“depenent de la localització geogràfica, de les condicions de l'entorn i dels valors de la comunitat”* es pretenia assolir una sèrie d'objectius relacionats amb:

- Determinar i definir les actuacions a realitzar en temes energètics.
- Determinar les energies i tecnologies a fomentar.
- Impulsar les accions necessàries derivades dels objectius i compromisos de la ciutat de Barcelona alineades amb els acords de Heidelberg, Klimabündnis, Kyoto, etc.
- Estimular la reducció en el consum energètic.
- Elaborar les eines i obtenir les dades per tal d'estructurar el model energètic de Barcelona i fer-ne un seguiment.

La Planificació energètica que proposava l'Ajuntament com a "Pla energètic local" (LEP *Local Energy Plan* en anglès), responia a un model assajat per altres ciutats i que consistia en un procés iteratiu de llarg termini (*learning by doing*) i en el qual les fases d'estudi i d'avaluació i decisió (EDEB) havien d'alimentar-se de la informació que es desprenia del seguiment de les accions i projectes definits en el Pla d'acció (PAE) segons es mostra en la Fig. 12.

D'entre els objectius relacionats cal destacar el que fa referència a "estimular la reducció del consum energètic", considerat pel propi document com a un tema clau, i en el que encaixa la nostra recerca, en quant a que elaborem una eina centrada en el consum energètic d'edificis municipals que gestiona la pròpia administració. Aquest objectiu, segons el Pla, havia d'implicar "canvis d'estils de vida o costums de la societat enfront a l'ús de l'energia (...) i establir una reflexió entre la societat i els seus costums per conscienciar-la a fer un bon ús de l'energia", plantejament que compartim des de l'experiència i la convicció.

Si ens detenim en les estratègies definides en el Pla d'Acció, aquestes es classificaven en quatre apartats:

- Estratègies de gestió: relacionades amb la forma i processos de gestió tant en l'àmbit municipal com en l'àmbit extern;
- Estratègies de subministrament i consum, relacionades amb les mesures que calia prendre en relació a l'eficiència i sostenibilitat de la generació, distribució i consum de l'energia;
- Estratègies en l'àmbit social i de la comunicació, que definien el marc d'actuació en els aspectes socials, d'imatge, de comunicació, d'educació i d'impacte ciutadà;
- Estratègies econòmiques i legals, que emmarcaven les propostes que es farien en l'entorn econòmic i legal.

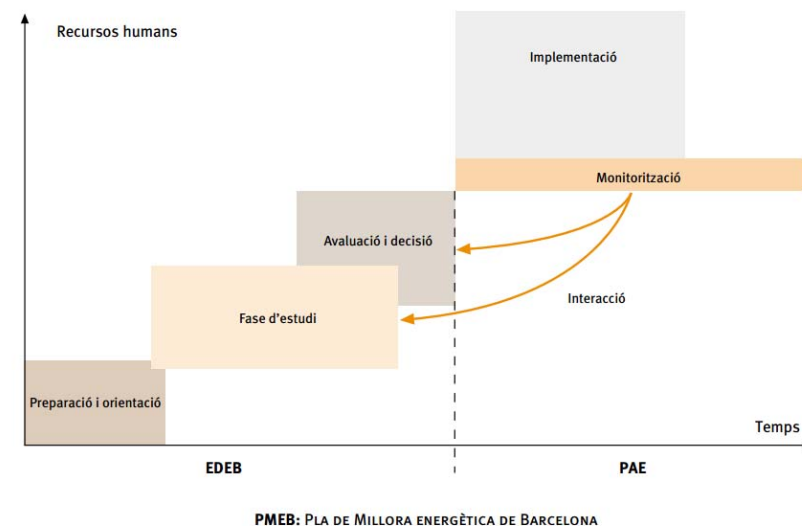


Fig. 13 Esquema de funcionament del Pla de millora. Font PMEB.

La nostra línia de treball dóna resposta directa a dues de les línies estratègiques del Pla: la del subministrament i consum, ja que està directament relacionada amb la reducció de consums energètics en equipaments municipals, i l'estratègia de l'àmbit social i de la comunicació, ja que el fet d'actuar sobre edificis escolars i educatius implica a un sector de la ciutadania molt extens i marca unes pautes de comportament en els ciutadans de futur. Tanmateix també podem considerar que la nostra recerca està relacionada amb les altres dues estratègies, ja que fa referència a la gestió dels recursos energètics en edificis gestionats per l'administració, i com a conseqüència, també té a veure amb l'estratègia econòmica de reducció de la despesa.

De la taula completa d'estratègies definides en el Pla hi ha tres apartats en els que la Universitat pot ser un actor principal: la recerca, la transferència de tecnologia i la docència, que a fi de comptes són els objectius fundacionals de la institució pública al servei de la societat, i que a més està obligada a col·laborar en l'establiment de les línies de futur pel desenvolupament de l'activitat d'un país.

Com hem dit prèviament, el Pla d'Acció del PMEB definia, finalment, 55 projectes impulsats des de l'Ajuntament i que en el seu moment es van classificar per sectors:

- Residencial (RES), compost per tots els edificis d'habitatges
- Edificis i instal·lacions públiques exteriors (PUB), on s'hi contemplava tot el conjunt d'il·luminació i senyalització públiques així com altres elements urbanístics
- Industrial (IND), un sector que no va tenir cap projecte definit en el PMEB per ser considerat aquest com a una primera fase
- Xarxes (XAR), que incloïa les xarxes de distribució energètica de la ciutat
- Serveis i comercial (S&C), en el que entrava tot el sector terciari
- Oficines (OFI), on s'incloïen tant les oficines ubicades en edificis exclusivament per a aquest ús, com aquelles que es trobaven aprofitant edificis d'habitatges.
- Transport (TRA) en el que s'incloïen tots els projectes relacionats amb el transport
- Residus (RSU) en el que s'incloïen tant els projectes relacionats amb els residus urbans com les instal·lacions en les que es tracten o transformen.

Els projectes es van classificar també dins dels anomenats programes, que els agrupaven segons l'àmbit d'actuació: Energies renovables (REN), Eficiència energètica (EFI), Estalvi de consum (EST), Gestió (GES), Revisió de l'estructura legal actual (LEG), Informació i comunicació (I&C), i Educació (EDU).

Cal destacar que en aquest darrer programa (EDU) es consideren els projectes d'educació amb l'objectiu clau d'educar, conscienciar i introduir a les escoles o centres de formació la filosofia del *“consum energètic sostenible (...) i els programes per ajudar a canviar els hàbits de les persones cap a un estil de vida més eficient energèticament”*. Així mateix, també es contemplava *“l'educació necessària per al coneixement i ús en temes de tecnologies de generació energètica renovable, mobilitat sostenible, alternatives al consum energètic, etc.”* Creiem doncs que la recerca que hem realitzat dóna resposta a ambdues línies de treball: des de la conscienciació ciutadana centrada en els escolars i els equips docents; i des de la formació universitària vinculant aquest projecte amb els Projectes Finals de Grau de les diferents titulacions relacionades amb la construcció, l'edificació, l'arquitectura i l'energia.

Analitzats els 55 projectes que contemplava el Pla, s'han identificat aquells clarament relacionats amb el contingut d'aquesta recerca i en els quals es poden cercar les referències i, sobretot, es pot fer el seguiment dels resultats per tal d'actuar a partir de la informació recollida, tenint en compte quins han estat els punts forts i febles de cadascun dels projectes, si s'han pogut dur a terme, i quantificar el seu grau de compliment.

Finalment, i en relació al Pla de Millora de l'Energia de Barcelona, cal destacar que del parc edificat analitzat, les escoles van estar específicament excloses de l'anàlisi en quant al seu comportament energètic, els seus consums associats, les seves oportunitats de millora o fins i tot les previsions en els escenaris de futur. El propi Pla explicava que el sector de salut (clíniques, hospitals, ambulatoris) no s'havia considerat perquè ja s'havien fet estudis des de l'ICAEN i l'IDAE i que a partir d'aquests estudis ja s'havien realitzat alguns projectes. Pel que fa als edificis d'ús educatiu, no s'havien fet estudis detallats perquè segons el Pla, *“la problemàtica d'aquests edificis és coneguda (...) i per aquest motiu es considera que amb els estudis d'edificis d'altres usos, creuats amb la informació del consum energètic de les escoles (coneguda per l'anàlisi de la despesa energètica de les dependències municipals) es poden proposar actuacions i projectes coherents”*. Val a dir, com es pot observar en la (Fig. 13) que els m<sup>2</sup> no considerats pel PEMB pel que fa a escoles, col·legis, facultats i col·legis

majors s'ha mesurat en 2.865.861 m<sup>2</sup>, essent del llistat d'elements arquitectònics no considerats, el tercer en superfície, molt darrera això sí, dels paquets Indústria i magatzems, i del Garatges i aparcaments (que no estan climatitzats).

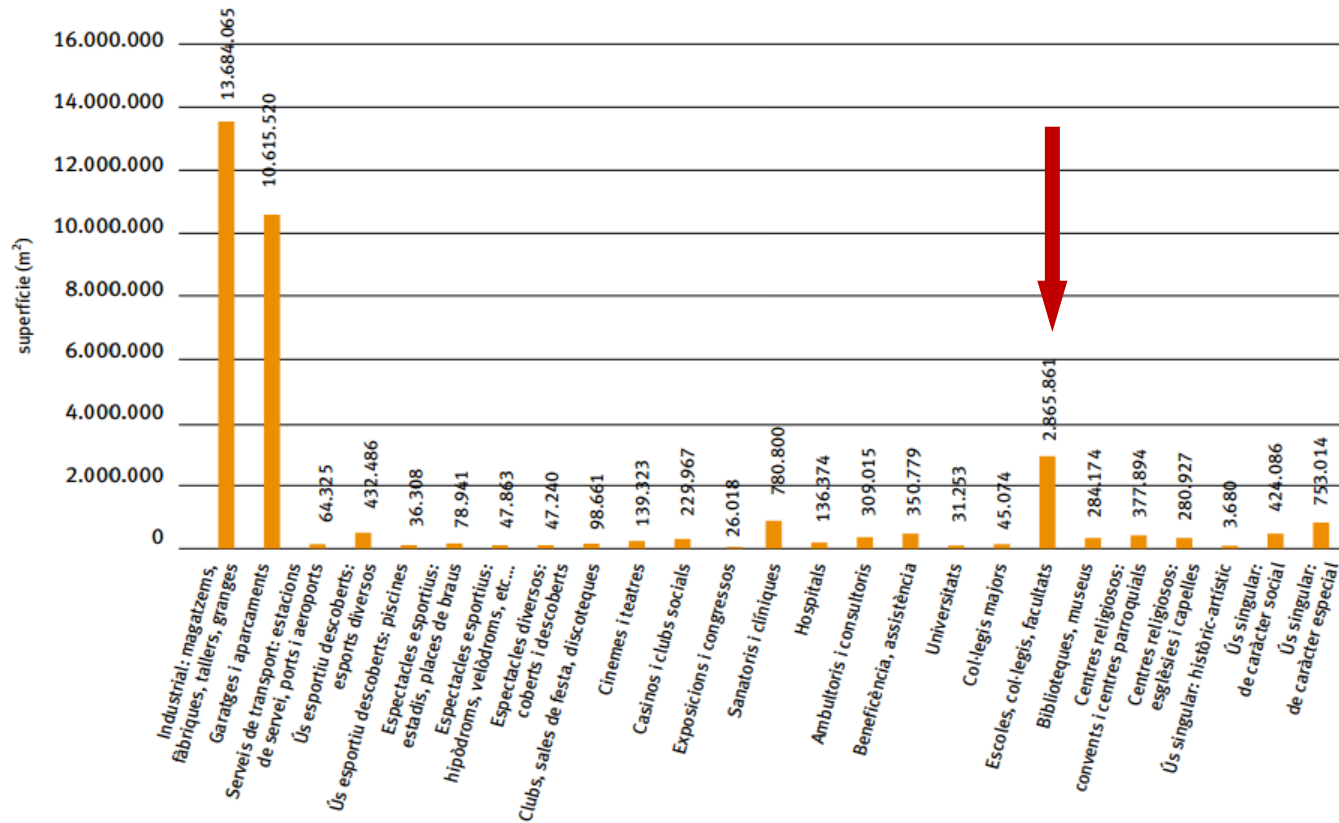


Fig. 14 Elements arquitectònics no considerats pel PMEB. Taula 5.21 del document

Com s'explicarà més endavant en la **Metodologia de la Recerca**, l'administració no ha treballat en el reconeixement de l'estat del parc edificat ni dels seus consums energètics associats, de manera metòdica i, ni tant sols la quantitat i qualitat de les dades que actualment disposa l'administració d'aquesta tipologia d'edificis, és suficientment acurada i endreçada com per establir línies de treball generals ni tant sols específiques. Aquest és un fet important, ja que se'n deriva la hipòtesi d'aquesta tesi.

El que sí considerem interessant recollir com a paràmetres a considerar quan s'estableixin les característiques que cal estudiar dels edificis escolars de la ciutat de Barcelona, és el llistat que el PMEB ha realitzat per analitzar el parc residencial, adaptant-les a les especificitats del tipus d'equipament:

- *Característiques generals: època aproximada de construcció, zones majoritàries de construcció, agregació típica de parcel·la, ús, estat de conservació.*
- *Característiques urbanístiques: orientació, amplada del carrer, tipus d'illa, forma de les parcel·les, longitud de la façana al carrer, alçada, possibilitat de solellament.*
- *Característiques tipològiques: nombre d'entitats per planta, superfície útil, nombre d'habitants (en el nostre cas usuaris), patis de parcel·la, estances, alçada lliure interior, façanes, cobertes, plantes baixes.*
- *Característiques constructives: estructura vertical, estructura horitzontal, fonaments, coberta, façanes, particions interiors, fusteria interior, acabats interiors, fusteria exterior, protecció solar, aïllament tèrmic, massa tèrmica, equipament: original/actual.*
- *Característiques operacionals: règim de calefacció, règim de refrigeració, ús de proteccions solars mòbils (persianes), ús de finestres que defineixen les infiltracions, perfil d'ús de l'enllumenat, perfil d'ús de l'equipament domèstic (en el nostre cas caldrà incloure altre tipus d'equipaments propis dels centres educatius), generadors de calor, perfil d'ocupació dels recintes i activitat metabòlica de les persones.*
- *Característiques d'equipaments: implantació i tipus de sistemes de cobriment de la demanda d'ACS, implantació i tipus de sistemes de cobriment de la demanda de calefacció, implantació i tipus de sistemes de cobriment de la demanda de refrigeració, implantació de sistemes d'energia solar tèrmica, implantació i tipus d'equipament domèstic en l'habitatge (en el nostre cas en cuines i serveis del centre educatiu), implantació i tipus d'equipament domèstic/ofimàtic en oficines, implantació i tipus de sistemes d'il·luminació.*



### 3.4 El Pla de millora energètica dels edificis municipals (PMEIM) (2009-2011) (Ajuntament de Barcelona, 2011)

El Pla de Millora Energètica dels edificis i Instal·lacions Municipals, aprovat el juny de 2009 i elaborat per l'Agència d'Energia de Barcelona, pretenia dur a terme durant el període 2009-2011, en les fases inicials de desenvolupament, “la localització d'edificis a estudiar, la coordinació amb els districtes, els anàlisis tècnics, econòmics i de viabilitat previs a l'impuls de diferents projectes i a la realització de projectes pilot que permetessin replicar experiències durant els propers anys. D'altra banda, en coherència amb els objectius del PMEIM, integrar en el mateix aquelles actuacions relacionades de l'anterior mandat pendents de finalització (la instal·lació de sistemes fotovoltaics en equipaments municipals) o que pel seu caràcter tenien continuïtat en el temps, com ara el monitoratge d'instal·lacions d'energies renovables”.

En el seu Plantejament global i per tal d'aconseguir els objectius previstos es determinaven certes actuacions i projectes d'inversió a implementar durant el període com ara:

- *Identificar els edificis municipals amb un potencial de millora que els fessin susceptibles d'incloure'ls en el Pla*
- *Determinar els aspectes a analitzar en els edificis i, del paquet de propostes de millora, quines es podien implementar en el PMEIM*
- *Realitzar una auditoria a mode de prova pilot en un edifici municipal que permetés obtenir un protocol d'actuació per a la millora energètica de l'edifici, replicable en altres edificis municipals*
- *Realitzar estudis de viabilitat per a la implantació de sistemes solars tèrmics per a la producció d'ACS i climatització per reduir els consums d'energia, combinat amb la reducció de la demanda de calor i fred actuant sobre els tancaments de l'edifici o altres mesures.*
- *Execució de les instal·lacions fotovoltaïques ja estudiades en alguns centres cívics.*
- *Implantar nous sistemes de monitoratge a partir de l'estàndard definit per l'Agència d'Energia de Barcelona, en dos edificis municipals concrets.*
- *Implantar sistemes de monitoratge del consum mitjançant la telemesura*
- *Ajudar a la implantació de sistemes d'alta eficiència de generació de clima i electricitat (cogeneració) en edificis singulars.*

El Pla mostra, en un esquema, els actors que han d'intervenir en el desenvolupament del Pla i pel que fa al sector Educació, identifica l'Institut Municipal d'Educació de Barcelona (IMEB) com a responsable de 69 centres mentre que el Consorci d'Educació gestiona 450 centres educatius.

Finalment el Pla facilitava unes fitxes resum dels treballs i encàrrecs que tenia previst realitzar en les quals es recullen la descripció de la tasca i els motius:

- Monitoratge de consums energètics
- Millora de l'eficiència energètica en l'enllumenat interior
- Millora en l'eficiència energètica de les instal·lacions tèrmiques en edificis existents
- Rehabilitació energètica de l'envolupant dels edificis existents (tancaments)
- Inversió en instal·lacions de cogeneració
- Implantació d'Energies renovables en edificis i instal·lacions municipals

Podem concloure doncs, que el PMEIM estableix una sèrie d'accions a realitzar sobre els edificis municipals però que, ara per ara, es circumscriuen a un número molt limitat d'equipaments en els quals, a més ja s'ha realitzat alguna intervenció prèvia encara que només sigui per avaluar un consum excessiu en relació a altres equipaments similars.

Creiem que la metodologia per a la rehabilitació energètica centrada únicament en edificis escolars, pot ser una bona eina per a que les administracions coneguin l'estat actual dels equipaments escolars, puguin avaluar quins són els objectius que pretenen complir en quant a reducció de consums i compliment dels protocols i directives d'eficiència energètica, i puguin actuar a partir "d'edificis diana", altament consumidors i amb un potencial de millora i reducció de consums molt elevat. Una bona difusió de les accions que es duguin a terme hauria de permetre avançar en la conscienciació ciutadana, l'estalvi quantificat que es produeixi en consums podria servir per a noves inversions, les experiències es podrien traslladar a altres tipologies d'equipaments municipals i, finalment, mantenir una acció continuada hauria de permetre avançar envers una ciutat certament més sostenible.

### 3.5 El Pla d'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire de Barcelona (2011-2020) (PECQ).

Finalment, per saber quin és l'estat de la qüestió en quant a estratègies i plans desenvolupats per l'Ajuntament de Barcelona des de les seves agències d'energia, analitzarem el PECQ (Ajuntament de Barcelona, 2008), que és un document de futur, que planifica les accions fins l'any 2020, i del que caldrà fer-ne un seguiment constant i estar-ne atents, ja que les noves polítiques municipals derivades del canvi de tendència en el govern de la ciutat han significat canvis d'estratègia i/o d'objectius.

La primera novetat que incorpora el Pla respecte als anteriors és la incorporació dels conceptes "Canvi climàtic" i "Qualitat de l'aire" en el propi títol del document, justificat per una nova consideració cultural del que significa la despesa energètica i quantificant des de bon principi l'impacte de les actuacions en quant a la reducció de consum energètic que significarà el desenvolupament del pla i també la mesura de la reducció d'emissions associades de gasos amb efecte hivernacle que es derivaran de la seva aplicació.

El Pla es desenvolupa a partir d'un esquema amb 4 objectius: la reducció del consum energètic; la reducció de les emissions de CO<sub>2</sub>; la millora de la qualitat de l'aire; i la millora de la qualitat del subministrament; i té un abast de 108 projectes distribuïts en diversos sectors com poden ser el residencial, la indústria, les xarxes, el transport o la generació eficient. Val a dir que aquest és un programa d'intencions a mig termini i que el document disponible des de l'Agència d'Energia de Barcelona no explica en detall en què han de consistir aquests programes ni projectes. No s'hi ha trobat enlloc un pla d'actuacions en edificis municipals, per exemple, i per tant, del que recull el PECQ només podem tractar de relacionar aquesta Tesi amb les actuacions dirigides al sector residencial.

En el sector residencial, el Pla proposa fer actuacions en dues direccions: visualitzadors de consums a les llars; i millora de l'eficiència energètica en la reforma d'habitatges

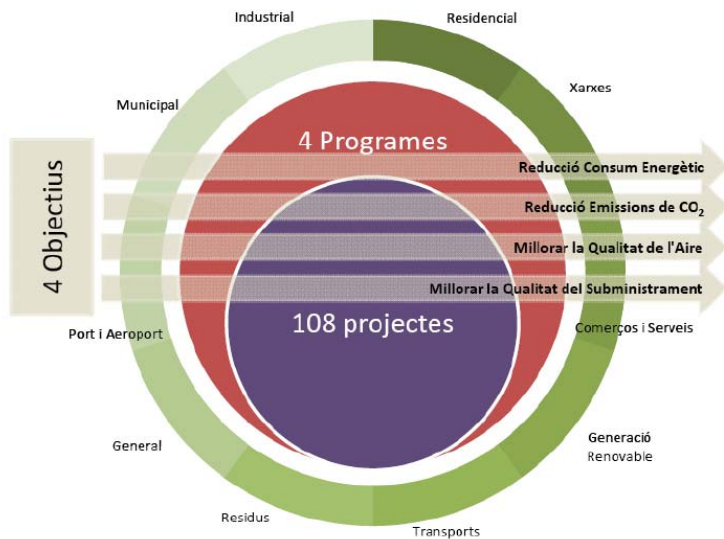


Fig. 15 Esquema de treball del PECQ- 2011-2020. Font: (Ajuntament de Barcelona, 2008)

El fet de fer visible el consum de les llars és una mesura en la qual existeix un elevat consens en quant a la seva efectivitat, ja que quan es coneix en què es gasta l'energia és més fàcil prendre mesures de contenció i introduir noves cultures d'estalvi i actituds més responsables. En aquest sentit, la mesura hauria d'estendre's al parc edificat d'equipaments públics, com ja s'ha fet en alguns sectors i con ve fent la UPC des de fa uns anys.

Aquesta proposta d'acció contrasta amb la tendència que s'ha dut a terme en els darrers anys en quant a la centralització dels consums en factures úniques per a diversos equipaments. Molts dels centres educatius amb els que s'ha contactat al llarg dels darrers anys per fer-ne les avaluacions energètiques, ens han informat que ja fa temps que l'Ajuntament o darrerament el Consorci d'Educació s'ocupen de gestionar les factures de consums energètics i que, en conseqüència desconeixen quina és la seva despesa energètica. Aquesta és una pràctica que va en la direcció oposada a totes les estratègies de contenció de consums, i en conseqüència, caldria com hem dit, estendre la proposta de visualització d'aquests consums, de manera individualitzada i detallada, també a l'àmbit dels edificis gestionats per les administracions.

Per altra banda, la qüestió d'incorporar les exigències en eficiència energètica en les reformes del sector residencial també és una acció ben dirigida però que creiem que encara és difícil d'implementar degut a la conjuntura econòmica, a la manca de consciència ciutadana que encara no dóna valor a les inversions que suposen estalvis energètics i, fins i tot, a la manca d'ambició que mostra l'administració a l'hora de legislar i redactar normes d'obligat compliment en el sector de l'edificació.

En aquest sentit, creiem que pot servir d'exemple l'aprovació, per part del Govern de la Generalitat, el 23 de novembre de 2010, del Decret 187/2010 ([Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya., 2010](#)) de les Inspeccions Tècniques d'Edificis, que és la revisió obligatòria que han de passar tots els edificis d'habitatges plurifamiliars segons la seva antiguitat.

Aquest document estableix una inspecció visual a realitzar per un tècnic competent, qui ha de documentar, amb l'ajut d'un formulari, les següents característiques i condicions de l'edifici:

- Descripció de l'edifici, a partir de fotografies, un text, i un esquema que indiqui façanes, mitgeres i patis
- La relació del nombre d'entitats que conformen l'edifici

- La descripció del sistema envolupant, a partir de text i fotografies
- La descripció del sistema estructural distingint entre el sistema horitzontal, el vertical i l'escala
- La descripció dels sistemes d'instal·lacions: xarxa de sanejament, instal·lació d'aigua, instal·lació d'electricitat, instal·lació de gas i altres fonts energètiques i ascensor
- Relació de deficiències detectades: amb una localització, descripció de la deficiència i fotografia
- Qualificació de les deficiències: que poden ser considerades greus o lleus

Finalment, el tècnic signa l'Informe d'Inspecció declarant l'estat general de l'edifici segons les deficiències detectades com a “Molt greus”, “greus”, “lleus” o “sense deficiències”.

Actualment, i a rel de la publicació del “Plan Estatal de Fomento del Alquiler de Viviendas, Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana (2013-2016)” ([Ministerio de Fomento, 2013](#)) i de l'esmentat Reial Decret 235/2013 ([Boletín Oficial del Estado BOE, 2013](#)) pel qual s'aprova el procediment bàsic per a la certificació de l'eficiència energètica dels edificis, s'ha fixat l'1 de juny de 2013 com a data a partir de la qual és obligatori disposar del certificat energètic per als edificis d'habitatges i d'ús terciari nous, per a les transaccions de compravenda o de lloguer d'edificis ja existents i per a edificis públics de més de 500 m<sup>2</sup>. A Catalunya l'ICAEN és l'organisme encarregat de gestionar la certificació d'eficiència energètica d'edificis. L'entrada en vigor d'aquest procediment és doncs d'obligat compliment per a la majoria d'edificis escolars existents a Catalunya.

A partir d'una experiència consistent en realitzar la certificació energètica d'edificis en diversos països de la Unió Europea ([Balaras, et al., 2007](#)), l'edat de l'edifici es pot relacionar amb les transmissibilitats tèrmiques de l'envolupant i per tant, la data de construcció de l'edifici es pot usar com a un indicador del seu comportament energètic, bàsicament perquè les diferents solucions de façana i coberta venen donades per factors com l'evolució tecnològica, l'aparició de normativa o el desenvolupament de nous materials.

Tot i que entenem que la prioritat per a l'administració sigui la seguretat dels ciutadans i que l'esperit del Decret rau en la necessitat d'inspeccionar els edificis per evitar accidents degut al mal estat de l'estructura o l'envolupant, considerem que la Inspecció Energètica d'Edificis (IEE) és un

procediment clau que permet una recollida d'informació relacionada específicament amb el comportament energètic de l'edifici, avaluar si existeixen sistemes de climatització, o verificar si les fusteries exteriors tenen infiltracions d'aire excessives, inspeccions que es poden fer de manera visual i permeten avaluar l'envolupant de l'edifici en clau energètica.

Així mateix, és clau fer extensiva l'obligatorietat d'inspeccionar els edificis de caire públic, administratiu, docent, sanitari, etc., perquè precisament aquest tipus d'edificacions són les que presenten, sovint, manteniments més precaris i gestions poc acurades, donada la manca d'implicació dels usuaris amb l'estat de conservació dels edificis.

Es pot comprovar doncs que les línies d'aquesta Tesi s'ajusten molt bé a les voluntats que des de les distintes administracions es consideren claus per a la reducció del consum energètic en els edificis municipals, i que es consideren com a estratègiques perquè comporten noves sinergies en aquest camp.

La nostra experiència desenvolupada al llarg de més de 10 anys de treballs en eficiència energètica i reducció de consums en edificis escolars, es veu confirmada per les actuacions previstes en el Pla: identificar i conèixer els potencials d'estalvi; realitzar auditories energètiques; fer el monitoratge dels consums, i realitzar estudis de viabilitat de propostes.

Volem destacar que algunes d'aquestes accions ja s'han dut a terme en els darrers anys dins l'àmbit de la Universitat Politècnica de Catalunya, i en són exemple el SIRENA ([CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya](#)), l'eina desenvolupada pel Centre Interdisciplinari de Tecnologia, Educació i Innovació per a la Sostenibilitat (CITIES) dins el Marc del Pla UPC Sostenible 2015, o el Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos (PECR) de la UPC i en el qual vàrem participar portant la tutoria de més de 25 projectes finals de carrera consistents en la realització d'auditories energètiques d'alguns edificis universitaris ([Bosch, et al., 2006a](#)), i del que se n'han derivat diverses publicacions ([Cantalapiedra, et al., 2006](#)) i que han estat mostrats en diferents congressos internacionals ([Bosch, et al., 2006b](#)) ([Bosch, et al., 2009](#)) ([Bosch, et al., 2012](#))<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> En el Capítol 7 es troben relacionats tots els congressos en els que hem participat fent difusió de les tasques realitzades.

Àmbit	Objectiu
Energia	Reducció del 14,4% del consum estimat d'energia final del parc edificat residencial i terciari Català (equivalent a l'estalvi de 558kTep).
Emissions de CO2	Reducció del 22% de les emissions de CO2 del parc edificat residencial i terciari Català (equivalent a l'estalvi d'emissions de 2,6 Milions de TnCO2).
Estalvi econòmic	Estalvi d'un 21% de la despesa econòmica del parc edificat residencial i terciari Català (equivalent a 800 Milions €).
Edificis	Intervenció mitjançant una gestió energètica renovada i/o renovació energètica integral en el 61% del parc edificat residencial i terciari Català (790.672 edificis).
Inversió	Mobilització d'una inversió de 1.400 Milions d'Euros de fons públics i privats per a 120 macroprojectes de Renovació Energètica
Ocupació	Creació i/o reciclatge de més de 14.000 llocs de treball

Fig. 16 Objectius de l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis. Font (Agència de l'Habitatge de Catalunya, 2014)

També és cert que la nostra experiència ens ha mostrat que, per exemple, la instal·lació de sistemes d'energia solar per a la producció d'ACS en els edificis escolars o universitaris no és una línia de treball altament rentable donada la poca despesa en aigua calenta sanitària que es produeix en aquest tipus d'edificis (al voltant del 8% del consum total de recursos energètics, amb l'excepció dels que disposen de piscina), i com ja vàrem constatar en el seu dia a partir de la signatura d'un conveni amb l'Ajuntament de Barcelona per fer els estudis de viabilitat de les instal·lacions solars d'ACS en edificis escolars.

### 3.6 L'Acord de Govern sobre l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis

La recentment publicada "Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis" (Agència de l'Habitatge de Catalunya, 2014) neix en el marc del Projecte europeu MARIE, amb l'objectiu d'assolir, abans de desembre de 2014, la renovació del parc edificat d'acord amb la Directiva 2012/27/UE (European Commission, 2012) del Parlament Europeu.

L'objectiu central de l'Estratègia és assolir el repte marcat per la Unió Europea per al 2020:

- Augmentar l'eficiència energètica dels edificis catalans en un 20%
- Augmentar el percentatge d'energies renovables en els edificis en un 20%
- Reduir les emissions de CO<sub>2</sub> equivalent associables als edificis en un 20%

El procés de renovació preveu afectar, entre 2014 i 2020, al 100% dels edificis públics, suposant, no només estalvi econòmic sinó també en molts casos una millora en les condicions d'habitabilitat i confort dels edificis.

Els objectius del Pla d'Acció queden resumits en la següent taula de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, i en destaquem el que fa referència a l'àmbit de l'energia: "Reducció del 14,4 % del consum estimat d'energia final del parc edificat residencial i terciari català". Aquesta reducció del 14,4% serà la que assumirem com a pròpia en el transcurs de la nostra proposta metodològica d'actuacions sobre el parc d'edificis escolars de Barcelona.

### 3.7 Altres estratègies per reduir el consum energètic associat a l'edificació.

Per complir amb les polítiques energètiques cal, doncs, definir unes estratègies per a reduir el consum energètic, que en el cas d'aquesta tesi es centrarà en el sector de l'edificació, i en concret en els edificis ja existents, ja que el potencial d'estalvi energètic en aquest sector ha estat avaluat per l'ECOFYS (Klessmann, 2007) entre el 30% i el 45%. Per treballar en aquests objectius, i amb la voluntat de definir unes estratègies a adoptar que permetin reduir els consums energètics relacionats amb l'edificació existent, hem centrat la recerca que dóna contingut a aquesta tesi en edificis públics i específicament en els centres educatius de la ciutat de Barcelona.

Els Organismes Internacionals (UNEP-Sustainable Buildings and Construction Initiative, 2007) que revisen periòdicament les diverses estratègies desenvolupades pels diferents països i avaluen aquelles que es considera que són altament efectives en quant a reducció de consums i la relació cost/efecte, han destacat, entre d'altres, que cal: l'establiment de criteris revisats periòdicament, el control dels consums i de les emissions, la informació, la comunicació i l'educació; els reglaments i codis en edificació si són d'obligat compliment; l'obligatorietat i l'establiment de quotes d'eficiència energètica; les auditories energètiques si van acompanyades d'incentius financers; l'ús de programes de gestió de consums, sobretot en el sector comercial i serveis; o la reducció i les exempcions fiscals per accions d'estalvi energètic.

Algunes de les estratègies desenvolupades no sempre són traslladables a la realitat del nostre entorn, i l'estudi d'estratègies d'intervenció ha de tenir en compte també aquells factors associats al territori que incideixen en el consum energètic final, i que dificulten la importació directa de les conclusions extretes d'estudis i experiències llunyanes. Aquests factors no només poden estar relacionats amb la climatologia o amb la tipologia arquitectònica de cada lloc, sinó també amb els aspectes culturals i de comportament propis de cada territori i de cada moment històric, que incideixen de forma determinant en els hàbits de consum en general, i per tant, també en el consum energètic dels edificis (Lazzarini, et al., 2015).



Etapa educativa	Públics (Dept. Ensenyament)	Privats (inclou centres concertats)	Altres	Total
Escola Bressol (0-3)	42	588	928*	1558
Educació infantil i primària (3-12)	1694	154	17	1865
Educació secundària- instituts (12-18)	545	134	14	693
Institut-escola (primària i secundària al mateix centre) (3-18)	18	489	0	507
Educació especial	24	64	16	104
<b>TOTAL</b>	<b>2323</b>	<b>1429</b>	<b>975</b>	<b>4727</b>

\*Aquest alt nombre d'escoles bressol correspon a les escoles públiques de titularitat municipal.

Fig. 17 Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. De (Ferrer, et al., 2015)

Zona climàtica	Graus dia de calefacció 15/15	Nombre d'escoles	Consum d'energia final (de factures) kWh/m <sup>2</sup> /any	Energia tèrmica	Font
Litoral (província de Barcelona)	1075	212	85	72%	Diputació de Barcelona*
Central (província de Barcelona)	1645	86	99	74%	Diputació de Barcelona*
Pirineu i pre-pirineu (província de Barcelona)	3070	25	122	87%	Diputació de Barcelona*
Terrassa (Barcelona)	818	31	68	63%	Departament d'Ensenyament (2011-2012)

\*Dades obtingudes d'auditories energètiques realitzades en el marc dels PAES fins l'any 2012

Fig. 187 Taula resum de consum energètic en escoles segons dades dels PAES. (Ferrer, et al., 2015)

### 3.8 Edificis escolars i eficiència energètica: un repte educatiu.

D'entre les propostes presentades en el Pla de l'energia a Catalunya 2006-2015 (Generalitat de Catalunya, 2005), ens podem centrar en la de “Promoure la construcció de nous edificis i la rehabilitació d'existents per assolir una alta qualificació energètica (es proposa que el 17% de la superfície construïda sigui d'alta qualificació energètica, classe A o B)”. Aquesta aposta quantificada ens pot servir per centrar els objectius de la metodologia de treball per a aquesta Tesi: si apostem per actuar sobre els edificis escolars que estan més a prop d'aconseguir qualificacions energètiques A o B serà més fàcil arribar al percentatge que es proposa. Però també cal actuar sobre els edificis més ineficients i “energívors” per a que es produeixin majors reduccions de consums. En conseqüència la recerca d'aquesta tesi s'ha centrat en estudiar l'estat del parc escolar edificat, definir els indicadors que ens serviran per establir l'escenari de sortida i focalitzar els escenaris de futur.

### 3.9 Edificis escolars a Barcelona. Estat del parc edificat.

A Catalunya hi havia censades, l'any 2015, 4727 escoles (Ferrer, et al., 2015), de les quals el paquet més nombrós (Fig. 16) és el de les Escoles d'Infantil i Primària (de 3 a 12 anys), que gestionen en la seva majoria els propis ajuntaments. En el marc del projecte ZEMEDS (ZEMEDS, 2014) s'han recollit dades de consums de centres escolars a partir de les auditories energètiques dutes a terme durant l'elaboració dels Plans d'Acció per l'Energia Sostenible (Diputació de Barcelona, PAES) de diverses poblacions.

Com es pot observar a la taula de la Fig. 17 els consums energètics dels centres escolars situats al litoral (província de Barcelona) tenen, de mitjana (sobre una mostra de 212 centres), un consum de 85 kWh/m<sup>2</sup>/any, mentre que els de Barcelona ciutat amb més graus/dia de calefacció mostren uns consums de 99 kWh/m<sup>2</sup>/any (sobre una mostra de 86 centres).

Barcelona ciutat disposava d'un parc escolar edificat de 750 centres (segons l'IDESCAT (Generalitat de Catalunya), l'any 2006) que es distingeixen segons el tipus d'ensenyament i per si són de titularitat pública o privada (302 centres públics i 448 privats i/o concertats). Com és lògic, aquest extens parc edificat s'ha construït al llarg de més de 100 anys i en conseqüència les tipologies edificatòries són

molt diverses perquè responen a moments tecnològics diferents i perquè les escoles s'han dissenyat en concordança amb els diferents models pedagògics de cada època que, també definien l'arquitectura.

Tot i que és difícil establir una classificació temporal dels models arquitectònics dels edificis escolars, si podem fer una ordenació generalista per períodes, seguint la presentada en el llibre *Arquitectura Escolar a Catalunya 1990-2001* (Conselleria d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya, 2003):

- 1900-1931. Aquest període correspon a les grans escoles religioses de finals del segle XIX principis del XX. Són edificis monumentals, de gran envergadura i que tipològicament segueixen l'estructura del convent. Els sistemes constructius són bàsicament les parets de pedra o maons ceràmics, sense cap tipus d'aïllament tèrmic en l'envolupant (parets o cobertes), amb obertures petites per la pròpia limitació del sistema estructural que impedia fer grans forats a les parets de càrrega, sostres alts i aules espaioses. Evidentment, aquests edificis no disposaven de sistemes de calefacció centralitzada i intentaven aprofitar la llum natural per la qual cosa les aules estaven disposades habitualment sempre en contacte amb les façanes.
- Paral·lelament, entre 1900 i 1915 també es comencen a edificar escoles públiques que segueixen el model pedagògic dissenyat per Eladi Homs i que són, generalment de planta baixa i pis, construccions petites i integrades dins la trama urbana, i amb les mateixes característiques constructives que les religioses.
- I en el període que va de 1915 a 1931 es construeixen els grups escolars de l'Ajuntament de Barcelona, dissenyats per l'arquitecte Josep Goday, que donen resposta al model educatiu de Manel Ainaud i que afavoreixen la pedagogia activa a partir de vestíbuls que donen accés a conjunts d'aules. En general són edificis monumentals, de construcció tradicional, però que encara conserven la seva qualitat edificatòria.

- 1931-1939. En aquest període, la directriu d'escolarització real per a tota la població en edat escolar, les previsions del mapa escolar d'urgència definit pel Consell de l'Escola Nova Unificada (GENU), i la incorporació de les teories higienistes en els projectes arquitectònics, es tradueixen en edificis d'escola corredor, amb les aules a una sola banda, però ja orientades per beneficiar-se de l'orientació solar, amb un tractament acurat de les ventilacions, i en alguns casos amb adaptacions d'edificis existents. Tot i que la industrialització ja permet l'ús de materials més elaborats com l'acer i els maons industrials, les tècniques constructives es mantenen a partir d'estructures de parets de càrrega ceràmiques, de gruixos diversos cada cop més esveltes a la mesura de les sol·licitacions que reben, i encara amb sostres unidireccionals metàl·lics, cobertes planes sense aïllament que disposen de càmera d'aire ventilada i, en alguns casos, cobertes inclinades de teula ceràmica.
- 1939-1980. Durant els anys de la postguerra i fins ben entrada la democràcia, es repeteixen els models anteriors, però la necessitat de places escolars deguda a l'allau de la immigració interior, la manca de sol urbà, i la intenció de l'abaratiment de costos, porten cap a una arquitectura escolar de baixa qualitat. La introducció del formigó en la construcció, i fins i tot dels primers experiments de formigó industrialitzat comporten ja nous models arquitectònics i la possibilitat de fer finestres més àmplies, tot i que la mala qualitat dels tancaments i de les fusteries (metàl·liques o de fusta) comporten una manca de confort important que, sovint es pal·lia amb la incorporació d'equips i sistemes de climatització poc eficients o amb uns consums que, avui dia ens semblen desmesurats. La majoria d'escoles objecte d'aquesta tesi corresponen a aquest llarg període d'arquitectura escolar.

Val a dir però, que en aquest mateix període també apareixen un seguit d'edificis d'iniciativa privada que segueixen el model de renovació pedagògica, en el que es prioritza l'ús dels espais comuns i en els que, en molts casos, es pot observar una marcada voluntat arquitectònica en el seu disseny, tot i les mancances pròpies del moment constructiu i de la manca de normativa que obligui a garantir uns paràmetres de confort.

També a finals d'aquest període es publica la *NBE Norma básica de edificación NBE-CT-79, condiciones térmicas de los edificios* (Dirección General para la Vivienda y Arquitectura . Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1982) i la *NBE-CT-81* (Isover, España, 1984) que obligaran a partir de la seva entrada en vigor, a incorporar aïllament en les envolupants.

- 1980-1990. A partir de la re instauració de la democràcia i de la Generalitat, que assumeix les competències plenes en matèria d'educació l'any 1981, el panorama educatiu es capgira: s'organitzen les primeres jornades sobre edificació escolar, s'assumeix la necessitat d'actuar sobre els edificis escolars que es troben en estat precari i es fa un esforç important de renovació y de construcció de nous centres, a partir d'una àmplia diversitat de propostes arquitectòniques. Els edificis ja responen a diverses tipologies edificatòries: estructures de sostres reticulars, façanes lleugeres, aïllament en les parets i cobertes; sistemes d'instal·lacions i equipaments per garantir el confort tèrmic i lumínic, etc. També es dona una tipologia d'edifici escolar a partir de la rehabilitació d'altres equipaments que han quedat en desús, com per exemple complexes industrials. Aquests exemples de rehabilitació i canvi d'ús comporten sovint actuacions a l'interior dels espais per adaptar-los a les necessitats pedagògiques i un rentat de cara a les envolupants, el que es tradueix en edificis confortables però a partir d'un alt cost energètic per garantir les condicions. Cal dir que en aquell moment la necessitat d'estalviar energia o l'eficiència energètica dels edificis no formava part dels requisits bàsics a l'hora d'escometre els projectes.
- 1990-actualitat. A Catalunya es va produir, entre els anys 90s i els 2000s (en el context històric de les migracions interiors) un allau d'un milió de persones, el que va suposar un increment de fins a un 16% de la població, i en conseqüència la necessitat de construir escoles per donar servei a aquesta nova ciutadania. La Tesi d'Oriol Pons (Pons, 2009) es centra en la construcció d'escoles prefabricades que són les que es van fer, majoritàriament en aquell moment, per donar una resposta ràpida a la demanda de places escolars i que han seguit fent-se fins als nostres dies.

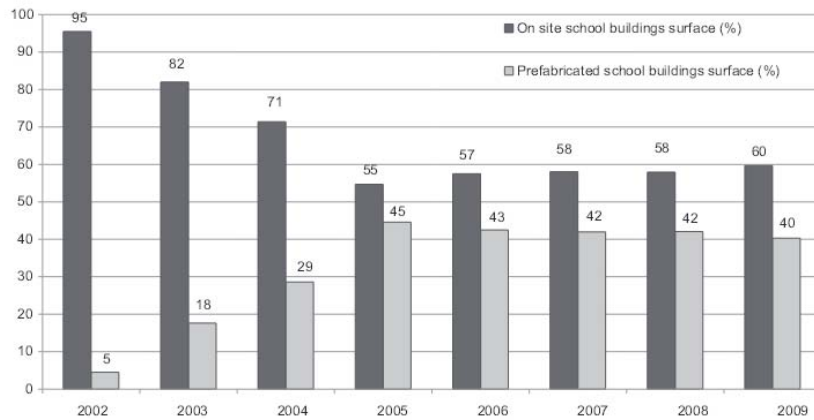


Fig. 19 Superfície construïda in situ i prefabricada des de 2002 a 2009 en percentatge.  
Font (Pons, et al., 2012)

Cal destacar i aturar-se en aquest treball dut a terme per Oriol Pons i el Grup MIVES (Modelo Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible) consistent en avaluar els sistemes constructius emprats per fer escoles a partir d'una eina optimitzada i que permet comparar i quantificar la "sostenibilitat" dels edificis escolars fets a Catalunya en els darrers anys (2002-2009).

El Grup MIVES defineix 4 tipologies constructives d'edificis escolars i fa un arbre de requeriments als quals assignen un pes: pels requeriments econòmics un 50% (repartits en cost 52% i temps 48%); requeriments mediambientals amb un 30% (repartits en extracció i fabricació de materials 30%, transport 10%, i construcció 15%); i socials amb un pes del 20% (repartits en ús i manteniment 30%, enderroc 15%, i adaptabilitat als canvis 35%) amb els corresponents indicadors. Finalment, avaluen les diferents tecnologies i demostren que l'eina MIVES és adequada per mesurar l'impacte ambiental dels edificis escolars, per la qual cosa posen a disposició de l'administració la seva eina d'avaluació per a que sigui útil a l'hora d'encarregar o establir els criteris per a la construcció de noves escoles.

## Taula de figures

Fig. 1 Evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a Espanya en CO2 equivalent. Font (CCOO Comissions Obreres, 2010) .....	42
Fig. 2 Potencial d'estalvi energètic per al 2030 segons el G8 i altres 5 països en relació a l'escenari actual. (Klessmann, 2007) .....	42
Fig. 3 Estructura del consum d'energia primària a Catalunya l'any 2007. Font ICAEN .....	31
Fig. 4 Estructura del consum final d'energia a Catalunya l'any 2007. Font ICAEN .....	43
Fig. 5 Estructura del consum final d'energia per sectors a Catalunya l'any 2007. Font ICAEN .....	44
Fig. 6 Consum d'energia a Barcelona, l'any 2008 [17.001,78 GWh]. Font: Agència de l'energia (Ajuntament de Barcelona, 2002) .....	44
Fig. 7 Distribució del consum d'energia en els edificis municipals de Barcelona, l'any 2008, segons usos. Font: Agència de l'energia (Ajuntament de Barcelona, 2002) .....	45
Fig. 9 Esquema d'organigrama en temes d'energia a Catalunya. Font: (Casanovas, 2007) .....	48
Fig. 8 Esquema d'organigrama en temes d'energia a l'Estat espanyol. Font. (Casanovas, 2007). .....	48
Fig. 10 Esquema d'organigrama en temes d'energia a Barcelona. Font: (Casanovas, 2007) .....	48
Fig. 11 Consum de gas i electricitat d'algunes ciutats europees. ....	49
Fig. 12 Esquema de funcionament del Pla de millora. Font PMEB.....	51
Fig. 13 Elements arquitectònics no considerats pel PMEB. Taula 5.21 del document .....	54
Fig. 14 Esquema de treball del PECQ- 2011-2020. Font: (Ajuntament de Barcelona, 2008).....	58
Fig. 15 Objectius de l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis. Font (Agència de l'Habitatge de Catalunya, 2014).....	62
Fig. 16 Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament .....	64
Fig. 17 Taula resum de consum energètic en escoles segons dades dels PAES. (Ferrer, et al., 2015).....	64
Fig. 18 Superfície construïda in situ i prefabricada des de 2002 a 2009 en percentatge.....	68



## Bibliografia

**Agència de l'Habitatge de Catalunya** Acord de Govern sobre l'Estratègia catalana per a la renovació energètica d'edificis [En línia]. - 2014. - 29 / març / 2015. -

[http://www.agenciahabitatge.cat/wps/wcm/connect/d0cf9500434354aba318ebe4abf159ca/Acord+Govern\\_RENOVACI%C3%93+ENERG%C3%88TICA+EDIFICIS%2BESTRAT%C3%88GIA.pdf?MOD=AJPERES](http://www.agenciahabitatge.cat/wps/wcm/connect/d0cf9500434354aba318ebe4abf159ca/Acord+Govern_RENOVACI%C3%93+ENERG%C3%88TICA+EDIFICIS%2BESTRAT%C3%88GIA.pdf?MOD=AJPERES).

**Ajuntament de Barcelona** Energia i qualitat ambiental [En línia]. - Ajuntament de Barcelona, 2002. - 15 / març / 2015. - <http://www.barcelonaenergia.cat/>.

**Ajuntament de Barcelona** Pla d'Energia , canvi climàtic i qualitat atmosfèrica de Barcelona 2010 – 2020 [En línia]. - 2008. - 19 / maig / 2013. -

[http://www.barcelonaenergia.cat/document/actuacions/Nou\\_PECQ.pdf](http://www.barcelonaenergia.cat/document/actuacions/Nou_PECQ.pdf).

**Ajuntament de Barcelona** Pla de millora energètica de Barcelona [En línia]. - 13 / febrer / 2011. - [http://www.barcelonaenergia.cat/document/PMEB\\_integre\\_cat.pdf](http://www.barcelonaenergia.cat/document/PMEB_integre_cat.pdf).

**Ajuntament de Barcelona** Pla de millora energètica dels edificis municipals 2009 – 2011 [En línia]. - 13 / febrer / 2011. -

[http://www.barcelonaenergia.cat/document/actuacions/Memoria\\_PMEB\\_2009\\_v2.pdf](http://www.barcelonaenergia.cat/document/actuacions/Memoria_PMEB_2009_v2.pdf).

**Annunziata E., Frey M. i Rizzi F.** Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe [Revista]// Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2013. - p. 1-9. - <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.049>.

**Balaras CA. [et al.]** European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings [Revista]// Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - Vol. 42. - p. 1298-1314.



**Boletín Oficial del Estado BOE** Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios [En línea]. - 2013. - 19 / maig / 2013. - <http://www.boe.es/boe/dias/2013/04/13/pdfs/BOE-A-2013-3904.pdf>.

**Bosch M. [et al.]** Avaluació energètica d'edificis : l'experiència de la UPC , una metodologia d'anàlisi [Llibre]. - Barcelona : Edicions UPC, 2006a.

**Bosch M. i R. Cantalapedra I** Energy savings in Sabadell (Spain) school facilities [Conferència] // 1st International Conference on Construction and Building Research. - Madrid : [s.n.], 2009. - Disponible al dipòsit: E-prints UPC. - <http://hdl.handle.net/2117/9574>.

**Bosch M. i R.Cantalapedra I.** Eficiencia energética y reducción de consumos en edificios universitarios. El caso de la Universidad Politécnica de Catalunya [Conferència]. - Donosti, España : III European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning, 2012.

**Bosch M. i R.Cantalapedra I.** Final architecture diploma projects is the analysis of the UPC buildings energy performance [Conferència]. - Tallin, Estonia : The Sustainable CITY 2006 Wessex Institute of Technology, 2006b.

**Cantalapedra I.R., Bosch M. i López F.** Involvement of final architecture diploma projects in the analysis of the UPC buildings energy performance as a way of teaching practical sustainability [Revista] // Journal of Cleaner Production.. - [s.l.] : Elsevier, 2006. - 9-11 : Vol. 14. - p. 958-962.

**Casanovas X.** L'energia solar a Barcelona: L'ordenança solar tèrmica. Barcelona [Llibre]. - Barcelona : Ajuntament de Barcelona., 2007. - Dipòsit legal B-38950-2007.

**CCOO Comissions Obreres** [http://www.ccoo.cat/pdf\\_documents/gasos\\_efecte\\_hivernacle.pdf](http://www.ccoo.cat/pdf_documents/gasos_efecte_hivernacle.pdf) [En línia]. - 2010. - 16 / març / 2015. - [http://www.ccoo.cat/pdf\\_documents/gasos\\_efecte\\_hivernacle.pdf](http://www.ccoo.cat/pdf_documents/gasos_efecte_hivernacle.pdf).

**CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya** Sirena [En línia]. - 17 / febrer / 2013. - <http://www.upc.edu/sirena/>.

**Conselleria d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya** Arquitectura escolar a Catalunya 1990-2001 [Llibre]. - Barcelona : Servei de Difusió i Publicacions. Generalitat de Catalunya, 2003. - B-45.664-2003.

**Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.** DECRET 187/2010, de 23 de novembre, sobre la inspecció tècnica dels edificis d'habitatges.. - Barcelona : Generalitat de Catalunya, 23 / novembre / 2010. - Vol. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya [en línia]. 2010, núm.. - p. 86763-86781. -

<http://www.gencat.cat/eadop/imatges/5764/10322147.pdf> . - ISSN 1988-298X.

**Diputació de Barcelona, PAES** Plans d'Acció per a l'Energia Sostenible (PAES) [En línia] // Medi Ambient. Pacte d'alcaldes. - Diputació de Barcelona. - 30 / març / 2015. -

<http://www.diba.cat/web/mediambient/pactecalcaldes/paes>.

**Dirección General para la Vivienda y Arquitectura . Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo** Norma básica de la edificación : NBE-CT-79 : condiciones térmicas en los edificios [Normativa]. - Madrid : [s.n.], 1982.

**EMSU International Conference** A New knowledge culture, universities facing global changes for sustainability [Conferència]. - Barcelona : [s.n.], 2008.

**European Comission** Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings [En línia]. - 2011. - 19 / maig / 2013. - [http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/doc/2011\\_directive/com\\_2011\\_0370\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/doc/2011_directive/com_2011_0370_en.pdf).

**European Commission** Directiva 2012/27/EU del Parlament Europeu i el Consell [En línia]. - 2012. - 19 / maig / 2013. -

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:EN:PDF>.

**European Commission** European Commission. Energy [En línia]. - 2012. - 19 / maig / 2013. - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:EN:PDF>.

**Ferrer C. i Bertomeu J.** Camins per a transformar les escoles mediterrànies en NZEB. - Barcelona : UB-UPC, 2015. - Treball Final de Màster Interuniversitari UB-UPC d'Enginyeria en Energia.

**Generalitat de Catalunya** Institut d'Estadística de Catalunya IDESCAT [En línia]. - 19 / maig / 2013. - [http://www10.gencat.cat/sac/AppJava/organisme\\_fitxa.jsp?codi=1520](http://www10.gencat.cat/sac/AppJava/organisme_fitxa.jsp?codi=1520).

**Generalitat de Catalunya** Pla de l'energia de Catalunya 2006 - 2015 [En línia]. - 2005. - 22 / gener / 2011. -

[http://www20.gencat.cat/docs/icaen/01\\_Estalvi%20i%20Eficiencia%20Energetica/Documents/Arxius/QuadernPlaEnergia.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/icaen/01_Estalvi%20i%20Eficiencia%20Energetica/Documents/Arxius/QuadernPlaEnergia.pdf).

**Generalitat de Catalunya** Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 [En línia]. - 2012. - 19 / maig / 2013. -

[http://www20.gencat.cat/docs/icaen/03\\_Planificacio%20Energetica/Documents/Arxius/20121001\\_PE\\_CAC.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/icaen/03_Planificacio%20Energetica/Documents/Arxius/20121001_PE_CAC.pdf).

**International Energy Agency IEA** [En línia]. - 2006. - 19 / maig / 2013. - <http://www.iea.org/>.

**Isover, España** Normativa técnica referente al aislamiento térmico y acústico en el sector de la edificación : norma básica NBE-CT-81 sobre condiciones térmicas en los edificios. - Madrid : Isover, 1984.

**Klessmann C. [et al.]** Making energy-Efficiency happen: from potential to reality. [Informe] / Ecofys, Netherlands. - 2007.

**Lazzarini B. i Cendra J.** Innovación tecnológica y cultura del consumo: la necesidad de una aproximación sistémica [Revista] // II Congrés UPC sostenible 2015 . - Barcelona : [s.n.]. - II Congrés UPC sostenible 2015 [en línia]. [Consulta:Disponible a:

<[http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8155/1/47\\_lazzarini.pdf](http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8155/1/47_lazzarini.pdf)>..

**Ministerio de Fomento** Programas de ayudas a la vivienda [En línea]. - Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2013. - 30 / març / 2015. -

[http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/ARQ\\_VIVIENDA/APOYO\\_EMANCIPACION/PLAN\\_ESTATAL.htm](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/ARQ_VIVIENDA/APOYO_EMANCIPACION/PLAN_ESTATAL.htm).

**Ministerio de Industria, Turismo y Comercio** Plan de ahorro y eficiencia energética 2011 – 2020: 2º Plan de acción nacional de eficiencia energética de España [En línea]. - 2011. - 2 / febrer / 2011. - [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Plan\\_de\\_Accion\\_\\_2011-2020\\_29072011\\_Version\\_Definitiva\\_4c46f595.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Plan_de_Accion__2011-2020_29072011_Version_Definitiva_4c46f595.pdf).

**Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.** Plan de acción 2008 – 2012 [En línea]. - 2008. - 27 / gener / 2011. -

[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Plan\\_de\\_Accion\\_2008-2012\\_19-07-07\\_con\\_TABLAS\\_PDF\\_ACC\\_2936ad7f.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Plan_de_Accion_2008-2012_19-07-07_con_TABLAS_PDF_ACC_2936ad7f.pdf).

**Naciones Unidas ONU** Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [En línea]. - 1998. - 19 / maig / 2013. -

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.

**Organisation for Economic Co-operation and Development** OECD [En línea]. - 2003. - 19 / maig / 2013. - <http://www.oecd.org/>.

**Parlament Europeu i del Consell** Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings [En línea]. - 2010. - 19 / maig / 2013. - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010L0031:EN:NOT>.

**Pons O.** Arquitectura escolar prefabricada a Catalunya [Tesi]. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I, 2009. - 9788469270844.

**Pons O. i Aguado A.** Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 53. - p. 49-58.

**Solanas T., Calatayud D. i Claret C.** 34 kg de CO2 [Llibre]. - Barcelona : Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2009.

**UNEP-Sustainable Buildings and Construction Initiative** Assessment of policy instruments for reducing greenhouse gas emissions from buildings [Informe]. - Budapest : Central European University, 2007.

**ZEMEDS** Projecte ZEMedS [En línia]. - 2014. - 8 / agost / 2014. - <http://www.zemeds.eu/>.

**Estat de l'art | 4**



## Índex

4	Estat de l'art .....	81
4.1	Introducció.....	81
4.2	Experiències a gran escala d'àmbit europeu.....	85
4.3	El perquè dels edificis escolars.....	88
4.4	L'anàlisi del parc escolar edificat mitjançant la recollida de dades.....	90
4.5	L'anàlisi del parc edificat mitjançant programes de simulació.....	104
4.6	L'anàlisi dels sistemes d'instal·lacions: estat actual, eficiència, exergia i marges de millora 110	
4.7	Qualitat de l'aire interior i confort ambiental .....	113
4.8	Avaluació d'experiències, retorn d'inversions i estratègies econòmiques.....	118
4.9	Ús, gestió d'edificis i responsabilitat dels usuaris .....	128
	Taula de figures.....	133
	Bibliografia.....	135





## 4 Estat de l'art

### 4.1 Introducció

En el capítol 3. **Antecedents** hem analitzat les qüestions de caire legislatiu, i hem comprovat com totes les administracions, des de la Comunitat Europea fins als municipis, passant pels ens estatals i autonòmics, han elaborat les directives, programes i plans d'actuació per tal de reduir la despesa energètica a partir d'estratègies diverses. És en aquest escenari on hem ubicat la nostra recerca, amb la intenció de participar en les polítiques de reducció de consums des del coneixement i anàlisi exhaustiu del parc edificat, i des de la rehabilitació energètica, actuant sobre un conjunt d'edificis escolars que tenen característiques similars (o no), i hem decidit centrar les actuacions en la millora de l'envolupant, per tal de reduir la demanda, en l'eficiència dels sistemes que deuen garantir el confort interior, sense oblidar la importància cabdal que té una bona gestió de l'edifici i el compromís de l'usuari en fer ús dels edificis en clau d'eficiència energètica.

La nostra experiència en rehabilitació energètica d'edificis és prou àmplia: hem participat en diferents projectes liderats per l'Administració i, en general, sota encàrrecs dels Ajuntaments, com és el cas del de Barcelona i Sabadell, segurament perquè des de la proximitat del que significa la gestió municipal, és més fàcil focalitzar les actuacions que es suposen més eficients i a l'hora serveixen com a laboratoris d'assaig. També hem publicat diferents treballs a partir dels resultats obtinguts durant els anys de recerca aplicada i hem vinculat la línia de treball en eficiència energètica en edificis existents

amb la docència universitària, a partir de la tutoria d'un bon número de Projectes Finals de Carrera, de Màster i de Grau.

Al marge dels nostres propis documents i de la recerca duta a terme durant aquests anys, per a la realització d'aquesta tesi s'ha realitzat una cerca documental del que s'està investigant des d'altres grups de recerca en la mateixa línia de treball que la nostra, i per analitzar l'estat de l'art en aquestes qüestions, hem procedit de la següent manera: hem fet el seguiment setmanal i hem realitzat el buidat de revistes científiques relacionades amb sostenibilitat, eficiència energètica i edificació, durant els darrers quatre anys, el que ens ha permès, a partir del sistema de referències d'articles relacionats i la disposició de la majoria d'ells en xarxa, fer també la consulta de documents previs o antecedents de manera prou àgil. A més, pel que fa a les línies de treball que es duen a terme des d'altres grups de recerca, hem intentat acotar els camps d'investigació a les experiències més properes geogràfica i tipològicament.

Així, hem consultat per a la redacció d'aquesta tesi, articles relacionats amb les propostes legislatives de diferents països, dins el marc de la Unió Europea i bàsicament de l'arc mediterrani, per tal de poder contrastar-les amb les del nostre país, tenint en compte les similituds i diferències estructurals com poden ser el clima, els paràmetres de confort exigibles en els edificis, la gestió dels edificis públics, etc.

En aquesta línia, es troben treballs i projectes de recerca dins l'àmbit de la Mediterrània que investiguen en com acotar o regular les condicions de climatització per estalviar energia a Romania (Poputoaia, et al., 2010); o les característiques del comportament energètic dels edificis residencials existents a Xipre, de cara al compliment de la Directiva Europea del 2002 (Panayiotou, 2010). A França, s'ha treballat en sistematitzar la gestió dels sistemes energètics en els edificis (Paris, 2010), en mostrar el desenvolupament urbà de les ciutats mediterrànies com una lliçó de sostenibilitat (Salat, et al., 2011), o en el desenvolupament d'eines multicritèria per optimitzar les rehabilitacions d'edificis (Chantrelle, et al., 2011).

Les experiències consultades pel que fa a Itàlia passen per l'aplicació de tests per detectar les possibilitats de millora dels edificis (Tronchin, et al., 2010), avaluar l'impacte que tenen les polítiques en clau energètica (Arbolino, et al., 2010), treballar en casos concrets per avaluar l'eficiència

energètica com a actuació urbana (Massimo, 2009), o el desenvolupament de metodologies per a una correcta i eficient gestió energètica per part de les administracions públiques (Capobianchi, 2010).

Dels grups de recerca espanyols, podem fer referència, entre altres, als treballs que es duen a terme en la reglamentació dels requeriments dels sistemes de calefacció, ventilació i condicionament climàtic HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) en edificació, realitzats pel Grup de Termodinàmica de l'Escola Superior d'Enginyers de la Universitat de Sevilla (Pérez-Lombard, 2010); o des de la recerca en edificació, els treballs que es desenvolupen en l'avaluació i selecció de les millors solucions de coberta (Machado, et al., 2000) des del punt de vista del seu comportament enfront les precipitacions (Farrenya, et al., 2011) o l'ús de materials amb canvi de fase per a rehabilitació de façanes (Cabeza, et al., 2007).

En aquest darrer camp de recerca, cal fer esment al projecte “*Mejora de la eficiencia energética en edificios mediante el almacenamiento de energía térmica*” (IEEB-TES), finançat pel Plan Nacional de I+D+i (2008-2011), liderat per Ana Inés Fernández Renne, de la Universitat de Barcelona (UB) i en el que hi he participat com a membre investigador per part de la UPC.

Hi ha també una abundant literatura científica relacionada amb l'objecte de la nostra recerca desenvolupada en altres països de la Unió Europea que ens serviran com a referents (tenint en compte que el compliment de les Directives europees ens són comuns), però que tenen factors estructurals com el clima, els models edificatoris o les estratègies de desenvolupament sostenible o de rehabilitació del parc existent, molt diferents a les del nostre entorn més proper. És el cas dels treballs duts a terme a Bèlgica, Regne Unit, Irlanda, Hongria, Suècia, Noruega, Dinamarca, Finlàndia i Eslovènia, i que tracten de les mesures polítiques en qüestions d'eficiència energètica, de ciutats “verdes”, de l'ús de sistemes intel·ligents de monitorització i mesura, de modelització de consums en el sector domèstic, etc.

Tot i que el gros de l'estat de l'art que es cita en aquest document fa referència a treballs realitzats des d'Europa, també s'han consultat altres documents de la resta dels continents per diversos motius: avui dia les universitats xineses, per exemple, mantenen un altíssim nivell de producció científica, i el país ha començat a actuar en estratègies de reducció de consums per qüestions òbvies en paral·lel a la seva incorporació al model capitalista i al seu creixement econòmic. Per a la redacció d'aquesta tesi he consultat alguns articles (s'han descartat els que estan en xinès) relacionats amb els índexs i mètodes

d'avaluació d'eficiència energètica en edificis (Wang, 2009); l'anàlisi dels potencials de millores energètiques en edificis residencials (Ye, 2009); en modelització de consums energètics (Ma, 2010) i supervisió de la gestió de recursos a gran escala d'edificis públics (Ma, 2010); o en l'anàlisi de consums d'energia i climatització interior en edificis universitaris (Tian, 2009). D'Àsia han estat consultats també articles de Turquia (Kayihan, et al., 2010) i Israel (Perez, et al., 2009) dins l'arc mediterrani, i d'Oman (Zurigat, et al., 2003), Aràbia Saudita (Sait, 2013) i Japó (Shimoda, 2009), i han estat especialment interessants un parell de treballs duts a terme a Corea (Taehoon Hong, 2012) (TaeHoon Hong, 2012) centrats en edificis escolars, tot i que el clima i les exigències de confort a l'interior dels edificis són molt diferents a les del nostre entorn.

També han estat consultats alguns articles dels Estats Units d'Amèrica, des d'on fa anys que es treballa en estratègies per reduir el consum energètic dels edificis, i en concret edificis escolars i universitaris. Cal destacar dels articles consultats, aquells que fan referència al confort ambiental dels espais educatius, i que relacionen la qualitat de l'aire interior amb el rendiment escolar, l'absentisme de mestres i estudiantat i, a la llarga, la repercussió econòmica que la mala qualitat de l'aire interior comporta.

De la producció científica d'Amèrica Llatina, que en aquests moments també es troba a uns nivells de productivitat molt elevats, he consultat alguns articles específicament relacionats amb els consums de les escoles a Argentina (Filippin, 2000) i han estat molt interessants els articles d'autors brasilers, específicament pel que fa a la relació dels espais educatius amb les teories pedagògiques i com cal dissenyar els centres escolars amb objectius docents. Cal fer esment en aquest sentit que es detecta la influència de les teories del pedagog Paulo Freire, la pedagogia de la consciència i les formes del pensament popular (Colom, et al., 2005), en la manera d'enfocar en aquests articles les necessitats dels edificis escolars en clau social, que sovint es troben en entorns rurals i amb impactes mediambientals específics.

Pel que fa a la consulta de Tesis Doctorals relacionades amb el nostre treball, hem fet un buidat del TDX (Tesis Doctorals en Xarxa) per tal d'acotar la cerca a l'àmbit de les universitats més properes. En aquest sentit, han estat consultades les tesis d'Anna Pagès (Pagès, 2012), Josep Bunyesc (Bunyesc, 2013), Irene Marincic (Marincic, 2006), Gabriel Pérez (Pérez), Oriol Pons (Pons, 2009), i han estat un referent les de Galdric Ruiz (Ruiz, 2009) i Fabián López (López Plazas, 2006), autors

amb els que varem treballar per a la redacció de la metodologia d'avaluació energètica del PECE i que han desenvolupat la seva trajectòria en recerca a l'estudi i comportament dels edificis de la UPC.

A continuació es presenten els resultats de la recerca realitzada per conèixer l'estat de l'art en eficiència energètica en edificis públics en entorns geogràfics, climàtics, socials i econòmics propers i fent especial èmfasi en les actuacions específiques en edificis escolars.

#### 4.2 Experiències a gran escala d'àmbit europeu.

El marc en el que es desenvolupa aquesta tesi és la Unió Europea i més concretament l'espai que determinen els països de l'àrea mediterrània, per tenir unes condicions climàtiques similars i que en termes d'eficiència energètica la pròpia UE defineix com a l'"excepcionalitat de l'arc mediterrani". Cal entendre aquesta excepcionalitat per la resposta a les necessitats de climatització que han d'oferir els edificis d'aquesta zona, ja que el conjunt dels països europeus té unes mitjanes anuals de temperatura clarament inferiors a les de països com Grècia, Itàlia i Espanya.

A partir d'aquesta premissa, i per tal de veure quines eines s'han desenvolupat en el marc europeu per qualificar energèticament els edificis, i més específicament els ja existents, s'ha consultat el projecte "*DATAMINE Collecting Data from Energy Certification to Monitor Performance Indicators for New and Existing buildings*" (DATAMINE, 2006), que ha tingut per objectiu recollir la informació sobre comportament energètic dels edificis en 12 països de la UE (Alemanya, Polònia, Regne Unit, Holanda, Itàlia, Grècia, Bèlgica, Àustria, Eslovènia, Irlanda, Bulgària i Espanya).

Aquest projecte, basat en els diferents sistemes de certificació energètica sobre edificis existents, tracta de posar en comú les diverses eines de mesura dels diferents països i de facilitar el flux de coneixements adquirits, per la qual cosa es desenvolupa a partir d'un primer capítol en el que es recullen les experiències realitzades en cadascun dels països participants i en un segon capítol a comparar les dades recollides i analitzar els resultats obtinguts.

Per a la redacció d'aquesta tesi, el projecte DATAMINE ha estat esmentat perquè proporciona una informació molt genèrica però que, traslladada a l'àmbit de treball específic dels edificis escolars en ciutats mediterrànies, pot ser perfectament assimilable a partir de les dades que hem obtingut de la

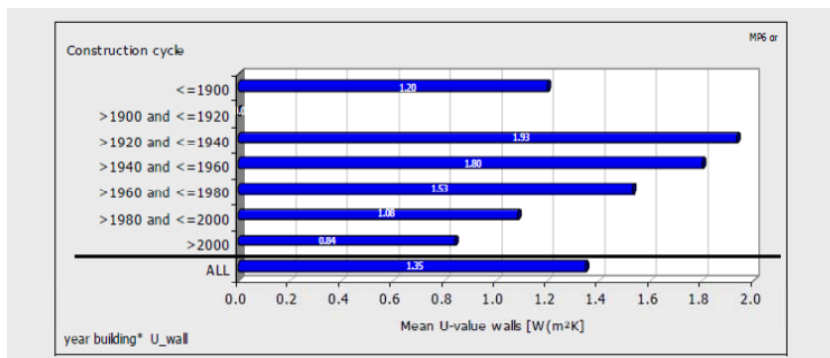


Fig. 1 Valors promig de les transmissibilitats tèrmiques de diferents solucions de façana, en edificis de Grècia, segons l'any de construcció. Font DATAMINE

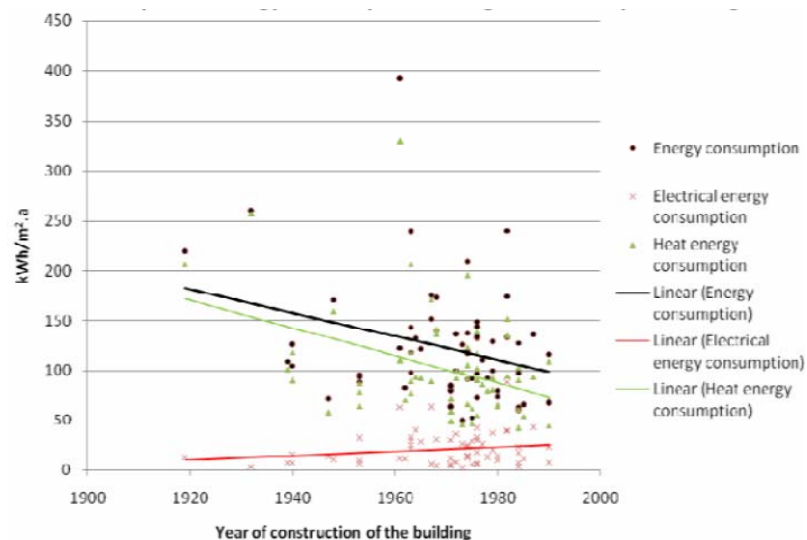


Fig. 2 En el cas dels edificis municipals estudiats a Bulgària, les tendències de consums relacionades amb l'any de construcció de l'edifici mostren comportament diferenciats. Font DATAMINE

recerca sobre els consums i paràmetres característics i edificatoris dels edificis a estudi. Per exemple: el model de recollida de dades en quant a endreçar els edificis per edat (any de construcció) a l'hora de comparar els seus consums energètics o els valors característics de transmissibilitats tèrmiques de parets i cobertes ( $U$ ); o la classificació dels edificis per usos, distingint els edificis educatius i els universitaris com a grups amb condicionants específics.

La lectura d'algunes de les gràfiques i dades del projecte DATAMINE, ens permeten veure, per exemple, que en els edificis estudiats pel grup de recerca de Grècia, la construcció tradicional proporcionava unes transmissibilitats tèrmiques en tancaments molt elevades ( $U=1,91 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) que a mida que avançava el segle XX anaven minvant, i que ja als anys 80, amb la incorporació massiva d'aïllaments tèrmics, es reduïen substancialment arribant a partir de l'any 2000, als seus valors mínims ( $U=0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) (Fig. 1). Aquest processament d'informació seriada i endreçada és el que s'ha realitzat amb les solucions constructives dels nostres centres educatius, per tal de poder comprovar si l'any de construcció és determinant en quant a comportament de l'edifici i la seva demanda energètica associada.

També cal analitzar les tendències de consums diferenciant el recurs energètic i la finalitat a que es destina: si en general, un millor aïllament de l'envolupant de l'edifici, com és el cas dels edificis més recents, pot comportar menors despeses en climatització, aquests mateixos edificis acostumen a tenir una tendència a l'alça en quant a consums energètics en electricitat, recurs associat a l'enllumenat i als equípaments informàtics, o fins i tot, sistemes de refrigeració puntuals tipus ventiladors o altres (Fig. 2).

De totes maneres, el projecte DATAMINE està centrat majoritàriament en edificis d'ús residencial: dels 18.793 edificis certificats, 17.727 pertanyen a aquest grup (el 94%) i, de la resta, és a dir edificis no residencials, només s'han avaluat 712 edificis d'ús docent (597 escolars i 115 d'estudis universitaris) que signifiquen un 3,8% del conjunt (Fig. 3). D'aquests 712 edificis escolars, 445 edificis (el 62%) són escoles i llars d'infants d'un únic país, Bulgària, que ha centrat el seu estudi en edificis municipals, el 16% són edificis universitaris estudiats a Itàlia i el 20% edificis escolars austríacs, és a dir el 98% dels edificis escolars estudiats pertanyen a tres únics països. D'aquests, Àustria ofereix una informació poc contrastable amb les dades que puguem obtenir de Barcelona per les raons climàtiques obvies, les dades d'Itàlia també són allunyades en la tipologia edificatòria pel que fa a usos dels edificis, i Bulgària és un dels països que més recentment s'ha incorporat a la Unió

Europea (2007), per la qual cosa la comparativa s'ha de fer amb certa cautela degut a les diferències estructurals pròpies dels països de l'àrea d'influència soviètica.

Hi ha altres experiències més centrades en la problemàtica específica dels edificis escolars, desenvolupades en l'àmbit anglosaxó en les que, a partir d'eines informàtiques de lliure accés i fàcils d'usar, es llisten les problemàtiques habituals en els edificis escolars que generen problemes d'ineficiència energètica i les possibles solucions avaluades, a més, a partir del període de retorn de la inversió que impliquen.

Aquesta eina anomenada REDUCE (Reduce Retrofitting in Educational Buildings) (Fraunhofer Institute for Building Physics, 2004), permet consultar experiències en edificis escolars de diversos països, ofereix recomanacions per solucionar problemes específics en els edificis, compara els edificis objecte d'estudi amb els referents nacionals, i avalua les millores que suposen les possibles intervencions en l'edifici, des de les actuacions sobre l'envolupant a la millora del rendiment dels sistemes energètics (Fig. 4).

La tercera experiència d'abast europeu a la que cal fer referència és el projecte EURONET 50/50 (Diputació de Barcelona, 2009), consistent en implicar als gestors i a la comunitat educativa per implantar accions d'estalvi d'energia a les escoles i que el resultat d'aquest estalvi es reparteix a parts iguals entre l'ajuntament i l'escola. Desenvolupat en la seva fase inicial entre els anys 2009/2012, abastava 6900 alumnes, 58 escoles i 43 municipis de 9 països europeus, dels quals els 13 espanyols eren de Catalunya. Hores d'ara, segons la darrera consulta realitzada (desembre 2013), les escoles catalanes implicades són ja 46 del total de 92.

El projecte Euronet 50/50 ha mostrat uns resultats certament engrescadors, amb estalvis i reduccions de consums importants, i amb l'experiència destacada per la pròpia pàgina web [www.euronet50-50.eu](http://www.euronet50-50.eu) dels estalvis aconseguits pel municipi de Montmeló (Barcelonès), seguint la metodologia del projecte 50/50 en un equipament cultural (57% de reducció de consum elèctric) i un altre esportiu (41% de reducció de consum elèctric) a partir d'una implicació dels usuaris.

A més d'aquests projectes de gran abast, existeix una extensa producció científica que hem consultat per a la realització d'aquesta tesi, relacionada amb la classificació, caracterització i anàlisi d'edificis escolars existents des del punt de vista dels consums energètics associats, així com d'experiències

Total number of collected datasets				18793
<b>Certificate types</b>		<b>Utilisation types</b>		
whole buildings	10625	residential buildings	17727	
building parts	0	offices	56	
apartments	8168	education	597	
<b>Rating types</b>		higher education	115	
only asset rating	17542	hospitals	34	
only operational rating	810	hotels and restaurants	4	
both asset and oper. rating	421	others	368	
<b>Considered energy uses</b>		<b>Buildings constructed ...</b>		
heating	18751	1900 or earlier	160	
hot water	18377	from 1901 to 1940	352	
cooling / air conditioning	222	from 1941 to 1980	8616	
lighting	10312	from 1981 to 2000	3920	
others	10202	since 2001	4313	
<b>Contribution of the Model Projects</b>				
MP 1 Germany	515	MP 7 Belgium	113	
MP 2 Poland	133	MP 8 Austria	6715	
MP 3 United Kingdom	0	MP 9 Slovenia	100	
MP 4 The Netherlands	10109	MP 10 Spain	50	
MP 5 Italy	188	MP 11 Ireland	126	
MP 6 Greece	250	MP 12 Bulgaria	494	

Fig. 3 Taula amb el nombre d'edificis estudiats al projecte DATAMINE, segons els usos a que estan destinats. Font DATAMINE.



**Describe the existing building**

**How to use this part**  
 The building, for which the possibilities for a energy efficient should be analysed, is defined in this section. By choosing the basic values, a default building is created. This building can be further defined in the lower part of this section. **Changes in the "Further Refinement of the building" are reseted by changing the basic values!**

**Define key values for a default building**

Basic Data

Building Type: school

Construction year: 1970-1990

Type of Roof: pitched (heated attic)

Type of basement: slab on ground

Heated floor area [m²]: 5100,00

Number of storeys: 3

Orientation:

Example buildings: Typology: Side corridor school

Click on picture to have a look at the case study!

Primary and Secondary School, Stuttgart-Pfeningen, Germany

Consumption of heat energy: Energy source: Oil Consumption: 374,00 kWh/m²a

**Case Studies & Retrofit Measures**

Sorting of: Case Studies by country Retrofit Measures by Energy technologies

Country	Case Studies	Retrofit Measures	Energy technologies	Energy technologies	Energy technologies	Energy technologies	Energy technologies
		✓	✓	✓		✓	✓
		✓	✓	✓			
		✓		✓		✓	✓
				✓			

Fig. 4 Recollida bàsica de dades i representació esquemàtica dels conceptes estudiats. Font REDUCE

d'intervenció en edificis escolars no només en clau energètica, si no també a partir de la millora dels paràmetres de confort ambiental (soroll, qualitat de l'aire interior, temperatures o humitats), i que analitzem a continuació.

### 4.3 El perquè dels edificis escolars.

Un dels majors obstacles per millorar l'eficiència energètica dels edificis públics és la manca de finançament, bé perquè l'administració pública no pot fer les inversions necessàries (i actualment aquest és, a Catalunya, un escenari tràgicament real) o bé per la manca de motivació o d'incentius per als propis gestors dels edificis i per als usuaris. També és cert que els edificis públics són, en línies generals, altament consumidors d'energia degut a la seva edat, a l'obsolescència dels equipaments i també per la manca de vinculació o corresponsabilitat dels usuaris envers als gestors. Alguns autors calculen els potencials d'estalvi a partir de comparar les necessitats energètiques dels edificis construïts actualment, amb alts estàndards ambientals, que necessiten només el 10% d'energia que els construïts als anys 60's i 70's (Berlo, et al., 2007). Per exemple, a Alemanya, els edificis consumeixen actualment en calefacció menys de 30 kWh/m²/any gràcies a un bon aïllament, proteccions tèrmiques en les finestres, energia solar passiva i control de les ventilacions dels edificis.

Aquesta preocupació pel consum associat als edificis públics és generalitzada, i donada la diversitat d'equipaments de que disposen les administracions, la majoria de grups de recerca se centren en tipologies prou acotades que permetin fer una anàlisi quantitativa però també qualitativa. En el cas de les escoles, la literatura científica és prou abundant.

En els treballs realitzats a Itàlia sobre escoles, s'estima que el consum d'energia elèctrica i tèrmica de les 8000 escoles italianes és de 500.000 PET (5816.10<sup>6</sup> kWh) per any, el que significa 60 Kg de petroli per estudiant i any (558 kWh) (Desideri, et al., 2002). De l'anàlisi de la despesa energètica del municipi de Certaldo, a la Toscana, (16.000 habitants), el 13% del consum elèctric correspon a la il·luminació de les escoles, (el 60% a l'enllumenat públic), i de la despesa en recursos per a climatització, el 60% correspon a la calefacció en escoles (i el 18% en instal·lacions esportives) (Fiaschi, et al., 2011), per la qual cosa proposen mesures de reducció d'aquests consums, que a més són traslladables a altres municipis de dimensions i amb climatologies similars.

També als EUA (Madeira City Schools. Planning Commission, 2009) les dades de consum energètic dels edificis escolars signifiquen la segona partida de despesa després de les nòmines i està molt per sobre del cost dels llibres o dels equipaments. I al Regne Unit, la recollida comparada de dades dels consums energètics en edificis públics mostra que, al marge de que el consum augmenta al llarg dels anys, els edificis escolars estudiats són el sector amb més emissions associades de CO<sub>2</sub> d'entre el conjunt d'edificis públics (Russell, 2007).

Hi ha doncs motius econòmics i mediambientals per treballar en els edificis escolars i convertir-los en laboratoris per implantar mesures d'eficiència i estalvi energètic: si les escoles redueixen la seva factura energètica, se'n beneficia l'administració i en conseqüència tota la societat; i les ciutats que incorporen energia solar i noves tecnologies per a un ús racional de l'energia poden reconèixer-se com a referents i potenciar la seva actitud sostenibilista com a exemple.

Al marge d'aquests aspectes, treballem en edificis escolars perquè estem convençuts que la sostenibilitat millora l'aprenentatge. (Olson, et al., 2003) demostren que les escoles sostenibles, enteses com aquelles que disposen de llum i ventilació natural per garantir la qualitat de l'aire interior, comporten impactes positius en els resultats acadèmics i millors rendiments en nens de fins a 12 anys.

També (Olson, et al., 2003) sostenen que hauríem de potenciar la intervenció, la rehabilitació energètica en edificis escolars i l'educació en sostenibilitat a les escoles perquè els mateixos usuaris, estudiantat i professorat, i també els pares, aprenen a utilitzar acuradament l'energia i els recursos com l'aigua, es redueixen les emissions de CO<sub>2</sub>, amb el que es contribueix de forma important a la protecció enfront el canvi climàtic, i el que és més important; s'aconsegueixen canvis actitudinals permanents. Per tant, treballar amb edificis escolars té moltes avantatges, uns requeriments estandarditzats (horaris, calendaris lectius, dimensions dels espais o distribucions) i uns elevats paràmetres de confort ambiental que, a més, s'han de garantir.

Number and segmentation of the processed buildings

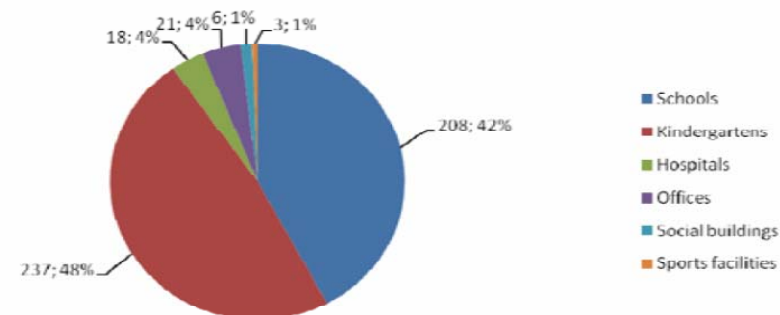


Fig. 5 Gràfic d'identificació d'edificis estudiats segons usos.  
Font DATAMINE

#### 4.4 L'anàlisi del parc escolar edificat mitjançant la recollida de dades

Com hem dit anteriorment, el sector de la construcció consumeix al voltant del 39% (455,2 Mtoe) del total de l'energia consumida i emet al voltant del 35% del total d'emissions de CO<sub>2</sub> a Europa. La Directiva Europea 2006/32/EC anima a cada país a reduir en un 9% el seu consum a partir de l'eficiència energètica per a l'any 2020, en conseqüència, cal intervenir en l'edificació existent. Per fer-ho cal conèixer l'estoc d'edificis i les seves característiques i cal desenvolupar eines per fer una recollida sistemàtica, una classificació i la posterior anàlisi curosa de dades del sector de l'edificació.

El compliment de la Directiva Europea 2002/91/EC sobre millores energètiques en edificis EPBD (*Energy Performance of Buildings*) comporta l'aplicació de Certificacions Energètiques que mostrin les millores (EPC *Energy Performance Certificates*) que es realitzen en els edificis, i en aquest sentit, Europa ha realitzat ja els primers mapejats de quin és l'estat del seu estoc edificat a partir de recollir i organitzar dades, el monitoratge dels edificis per comprovar les millores energètiques, i el tractament sistemàtic d'aquestes dades. I en aquest sentit s'han desenvolupat ja algunes bases de dades comunes i diferents eines d'avaluació.

La base de dades DATAMINE (DATAMINE, 2006), ja citada, inclou 255 paràmetres agrupats en: dades generals dels edificis (localització, ús, zona condicionada); dades sobre l'envolupant de l'edifici (transmitàncies U, superfícies i sistemes constructius); dades electromecàniques (E/M sistemes d'instal·lacions inclosos els sistemes d'energies renovables que podrien estar en funcionament) i la seva eficiència; i dades sobre la demanda energètica (calefacció, refrigeració, i ACS), energia primària consumida (segons factures o calculada), així com emissions associades de CO<sub>2</sub>. Aquesta metodologia de recollida de dades hauria de servir als tècnics i gestors dels edificis públics (i també privats) per recollir, organitzar i analitzar les dades rellevants amb l'objectiu de mantenir, gestionar i monitoritzar les millores energètiques dels seus edificis. És important entendre que conèixer els edificis i recollir les dades és el que permet estalviar.

Al marge d'aquesta base de dades ambiciosa però que, com ja hem comentat a l'inici d'aquest capítol, recull una mostra molt poc representativa de l'estat del parc escolar edificat, s'han realitzat recollides de dades des de diferents grups de treball, i s'han desenvolupat projectes d'abast nacional i municipal en condicions variades.

Un primer exemple el tenim en els treballs duts a terme pel grup del Departament d'Enginyeria Industrial de la Universitat de Perugia (Itàlia) (Desideri, et al., 2002). Segons la seva recerca (sobre consums de 29 edificis escolars i l'estudi en detall de tres), les tipologies de les escoles italianes és bastant variable: l'edat, l'aïllament de les parets, sostres i finestres pot ser certament diferent i, en conseqüència, els consums poden diferir substancialment. En molts casos no es du a terme una gestió energètica i sovint els sistemes d'enllumenat i de climatització estan obsolets. Segons aquests autors, el gran nombre d'escoles de que disposa la província de Perugia converteix el parc escolar edificat en prioritari si es vol anar assumint els compromisos d'eficiència energètica marcats per la UE.

L'estudi es va dur a terme en col·laboració amb l'*Energy and Environment Agency* (AEA) de la província de Perugia, dins el marc d'un projecte Europeu per sensibilitzar a l'estudiantat en l'anàlisi dels edificis escolars. És una metodologia d'estudi que pot ser aplicada a tots els edificis escolars d'Europa, que pot ser seguida per l'estudiantat ja que l'involucra en la recollida de dades, i que analitza les característiques estructurals i els consums energètics, a més de permetre fer una diagnosi energètica i definir possibles actuacions, la qual cosa permet que siguin les pròpies escoles les que decideixin quines iniciatives energètiques volen dur a terme.

Pel que fa als condicionants arquitectònics i constructius, a Perugia (però podríem considerar la mateixa situació a la majoria de ciutats europees), les escoles més antigues generalment estan ubicades en els centres històrics de les ciutats, són edificis d'un únic cos amb parets amb una alta inèrcia tèrmica però sense aïllament tèrmic i amb fusteries poc estanques i vidres simples. Les escoles més recents, en canvi, estan sovint ubicades als perímetres de les ciutats, són edificis de cossos modulars i en blocs diferenciats, en general d'una única Planta baixa i amb uns consums energètics més alts.

Pel que fa a aquests consums energètics, tant electricitat com climatització, quasi bé el 80% de l'energia consumida per les escoles estudiades de la província de Perugia és destinada a climatització, però aquestes dades difereixen bastant segons les característiques arquitectòniques i constructives en quant a les possibles carències en aïllament tèrmic i a les característiques higròtèrmiques de les superfícies exteriors.

Per analitzar els consums elèctrics es van verificar les dades de facturació i es va comprovar com, sovint, era suficient modificant els contractes amb les companyies elèctriques per reduir els imports,

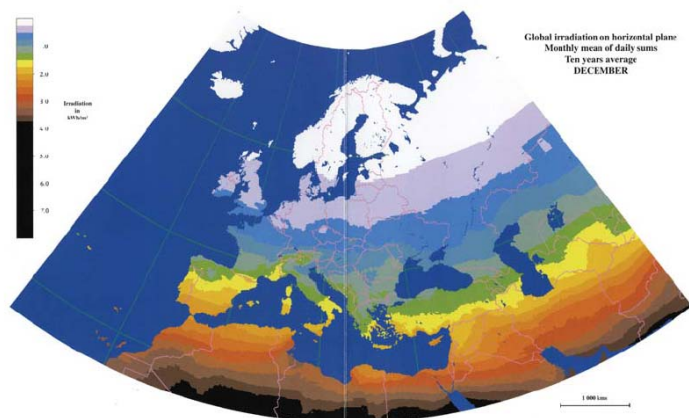


Fig. 6 Radiació global en el pla horitzontal promig durant 10 anys. Font: Atlas de Radiación Solar Europeo (ESRA)

tot i que es podien dur a terme altres accions com: corregir el “factor de potència” de la instal·lació, sobretot si hi ha maquinari, o avaluar els nivells d’il·luminació per verificar si era possible estalviar o instal·lar lluminàries d’alt rendiment.

De la mostra analitzada, diversificada, representativa i amb disposició de dades, es van relacionar els consums amb: els volums de les escoles, la tipologia dels edificis i el n° d’estudiants, i es van poder analitzar un 35% de les escoles en quant als consums en calefacció i només el 15% de les escoles segons els consums elèctrics. Aquesta realitat mostra que, a dia d’avui, encara és difícil treballar en eficiència energètica en edificis públics perquè la informació no està processada ni és, en molts casos, fiable. Finalment es va fer una tria més restrictiva d’edificis per tal d’estudiar en més profunditat el més “energívors”.

Per classificar les escoles en clau d’eficiència energètica es van definir una sèrie d’indicadors: per a les dades tèrmiques, la càrrega tèrmica de les aules (MWh), la potència instal·lada (kW), i el tipus de combustible; per a les dades elèctriques, l’energia activa (kWh), l’energia reactiva (kWh) i en alguns casos la potència absorbida (kW); i pel que fa a les característiques estructurals, el volum ( $m^3$ ), les superfícies ( $m^2$ ), les orientacions i un indicador general del tipus de sistema constructiu i el període de construcció.

Indicadors energètics:

*Iv*: consum específic en energia tèrmica ( $kWh/m^3$  per any)

*Is*: consum específic en energia tèrmica per estudiant ( $kWh$  per estudiant per any)

*Ic*: consum específic en energia tèrmica per aula ( $kWh$  per aula per any)

*Ev*: consum específic en energia elèctrica per unitat de volum ( $kWh/m^3$  per any)

*Es*: consum específic en energia elèctrica per estudiant ( $kWh$  per estudiant per any)

*Ec*: consum específic en energia elèctrica per aula ( $kWh$  per aula per any)

Amb tot es va realitzar una taula de les escoles (amb un codi de referència en comptes del nom per qüestió de preservar la identitat dels centres) que relacionava el tipus d’ensenyament que s’imparteix, un número d’ordre, l’antiguitat o el sistema constructiu mitjançant un codi de color, es van relacionar aquests paràmetres amb els tres indicadors tèrmics (*Iv volum*, *Is estudiant*, *Ic aula*) i es va cercar els valors promig dels tres indicadors segons si els edificis són “vells”, “de formigó in situ” o de “formigó prefabricat”; segons l’ensenyament que s’hi fa (estudis científics, tecnològics, industrials, recordem

que són instituts de secundària) i finalment també han fet la classificació dels edificis pels combustibles que usen (gas natural, gasoil o altres).

Fan el mateix amb les dades de consums elèctrics, i a partir de l'anàlisi dels resultats dels índex es trien 10 escoles per analitzar-les més profundament i es trien les que més consumeixen i també les que menys (per verificar si les condicions de confort són correctes i adequades), amb la intenció de:

- Verificar la validesa de la metodologia i si els paràmetres que s'han usat són vàlids
- Correlacionar els diferents sistemes constructius amb els consums elevats o amb els edificis més eficients
- Identificar possibles millores en la gestió energètica
- Identificar els edificis escolars en els quals l'anàlisi energètica es pot fer vinculant als estudiants.

Les escoles que tenien uns consums més allunyats respecte la mitjana, es van visitar per fer-ne l'anàlisi detallat i verificar les causes i proposar mesures d'intervenció. En les que tenien més baixos consums, es va comprovar que no fos per problemes de confort o per verificar quines eren les solucions constructives/arquitectòniques que les feien eficients i a partir d'aquestes anàlisis es van triar 3 escoles concretes per extreure les següents conclusions: la recerca en eficiència energètica aplicada en edificis escolars serveix per implicar als estudiants en el consum dels seus edificis; es pot avaluar el potencial d'estalvi energètic en escoles i intentar que aquelles que són més "energívores" ajustin els seus consums a les mitjanes; la metodologia emprada en l'anàlisi dels edificis escolars es traslladable a altres sectors homogenis.

Altres treballs realitzats en la pròpia Itàlia (Fiaschi, et al., 2011) se centren en la ciutat de Certaldo (a la Toscana), una ciutat més petita però amb un nivell de vida i clima assimilables als de Barcelona.

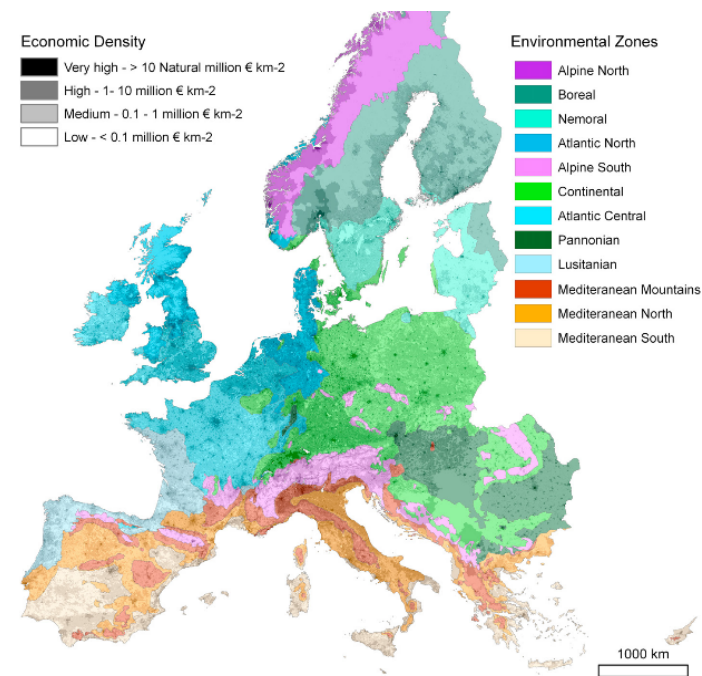


Fig. 7 Mapa de les 48 regions socio-ecològiques europees derivades de la intersecció entre Zones Ambientals i densitat econòmica. (Metzger, et al., 2010)

## SHARES OF THE EU MARKET (NEWLY INSTALLED CAPACITY)

Shares of the European Solar Thermal Market (Newly Installed Capacity)

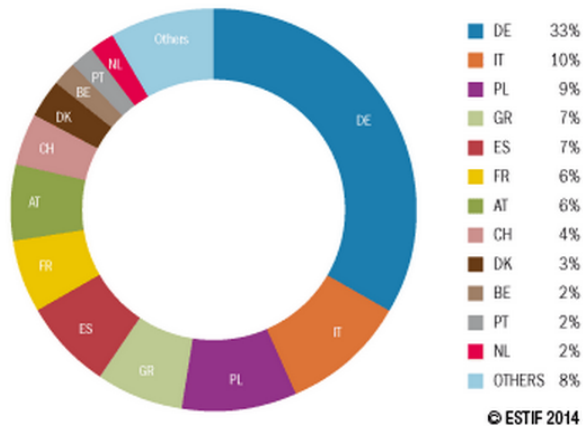


Fig. 8 Distribució del mercat Solar Tèrmic per països de la UE.  
Font: (European Solar Thermal Industry Federation, 2013).

L'anàlisi que fan dels edificis educatius públics (escoles, llars d'infants o universitats), demostra que s'han construït de manera prou semblant en diversos països i aquesta experiència permet comprovar com les millores que es proposen són fàcilment exportables a altres entorns. Aquest tipus d'edificis sovint consumeixen molta energia i necessiten de reformes. El desenvolupament de l'*Energy Concept Adviser* (ECA) (Fraunhofer Institute for Building Physics, 2004) sobre edificis escolars de diferents països indica que una rehabilitació integral incloent la millora de l'envolupant i l'eficiència de les instal·lacions permet una bona relació cost/benefici.

El grup de treball que analitza les escoles de Certaldo fa una anàlisi del progrés dels consums energètics en calefacció, a partir d'aquestes dades les comparen amb les dades recollides per altres grups de treball en la literatura científica que van des dels 57 kWh/m<sup>2</sup> per any en les escoles de Grècia (Fiaschi, et al., 2011), els 100 kWh/m<sup>2</sup> de mitjana entre 117 escoles registrades a la zona de Torí (Itàlia) (Corgnati, et al., 2008), fins als 200 kWh/m<sup>2</sup> a Flandès (Hernández, et al., 2008). Tenim referenciades altres dades de diversos autors en països com són 96 kWh/m<sup>2</sup> a Irlanda i 157 kWh/m<sup>2</sup> a Regne Unit (Hernández, et al., 2008), o 192 kWh/m<sup>2</sup> a Eslovènia (Butala, et al., 1999).

Per a la seva recerca en edificis escolars fan la recollida de dades de consum energètic de dues escoles de Certaldo, amb uns consums en gas (la mitjana de tres anys) de 32kWh/m<sup>3</sup> i 25kWh/m<sup>3</sup> (86kWh/m<sup>2</sup> i 67kWh/m<sup>2</sup> respectivament si considerem una altura mitjana de 2,7m i que ens serveixen per comparar amb els consums en gas de les escoles analitzades en altres estudis i en la nostra recerca) associats als sistemes de climatització. Evidentment, aquesta dispersió de consums està directament relacionada amb el rigor climàtic d'hivern de les diferents zones analitzades, tot i que també es donen importants diferències de consums dins una mateixa zona.

A partir del coneixement de l'estat actual de les dues escoles analitzades, es proposa un Pla per reduir el consum energètic i integrar les energies renovables en serveis i edificis públics tenint en compte quines accions tenen millor acceptació per part de la comunitat: reduir el consum dels edificis públics; o llogar les cobertes d'aquests edificis a inversors privats per a que explotin en elles instal·lacions d'energia solar, inversions que s'ha calculat tenen períodes de retorn de menys de 10 anys i que és una estratègia que també proposen altres autors (alemanys bàsicament, amb la indústria solar capdavantera a nivell europeu Fig. 8 i també algunes propostes en aquest mateix sentit als EUA)

Sense menystenir aquesta promoció de les instal·lacions solars en cobertes, no podem obviar la inevitable necessitat de dur accions en la línia de les rehabilitacions energètiques, tot i que són accions a llarg termini i que impliquen períodes de retorn de la inversió de més de 15 anys. Una revisió feta sobre 135 escoles que ja han introduït millores per reduir els seus consums en tres zones climàtiques diferents de Grècia (Balaras CA, 2007), ha mostrat que les actuacions més rentables són, tal i com es mostra en la taula de la Fig. 9.

Proposta d'intervenció	Reducció de consums estimada	Recurs sobre el que actua la intervenció
Millora de l'aïllament	33-60%	consum en calefacció
Canvi de fusteries i finestres	16-21%	consum en calefacció
Col·locar doble vidre en finestres	14-20%	consum en calefacció
Adequat manteniment de les calderes	10-12%	consum en calefacció
Instal·lació plaques solars ACS	80%	consum en producció ACS

Fig. 9 Taula d'actuacions sobre diferents escoles gregues i estimació de reducció de consums. Font: (Balaras CA, 2007)

De les dues escoles analitzades per (Fiaschi, et al., 2011), els potencials d'estalvis energètics calculats a partir de la rehabilitació energètica dels edificis ha estat al voltant de 22 kWh/m<sup>3</sup>/any per a zones climàtiques fredes i del 16,3 kWh/m<sup>3</sup>/any per a zones climàtiques més temperades (tot i que aquests càlculs s'han fet a partir de simulacions amb programes de càlcul i no s'han verificat en intervencions reals).

Un tercer treball dut a terme a Itàlia ha consistit en la recollida de dades per analitzar el consum energètic actual de 140 edificis (120 escoles) a la província de Torí (Itàlia) (Corgnati, et al., 2008), incloses en l'estudi de l'Energy Concept Adviser, que han servit per avaluar indicadors de millora energètica en relació a l'espai a climatitzar per a cada edifici, i que han arribat a demostrar que aquests estalvis poden anar des del 38% al 46%.



En aquesta experiència, en cada edifici s'ha mesurat el consum en energia primària (les diferents fonts energètiques multiplicades pel seu valor calorífic), els metres calefats, els períodes de funcionament i han monitoritzat les dades de les condicions climàtiques. Les dades de consums anuals i mensuals es normalitzen i s'analitzen estadísticament per comparar els diferents edificis i les diferents èpoques de climatització. I l'estudi permet avaluar “un indicador de millora específic relacionat amb l'espai a calefactar” per a cada edifici. Aquest indicador pot utilitzar-se per establir uns valors de referència de contractació energètica, per predir el consum energètic per a calefacció o per verificar l'augment o la disminució dels actuals consums en futures estacions a partir dels valors de referència. I a més, és molt útil per trobar aquells edificis que no compleixen amb els requeriments i, en conseqüència necessiten una diagnosi més profunda.

Pel que fa a la literatura científica produïda a Grècia, cal fer referència als treballs duts a terme per (Dascalaki, et al., 2010) relacionats amb el programa DATAMINE (DATAMINE, 2006); i els de (Gaitani, et al., 2010), (Santamouris M, et al., 2007), (Theodosiou, et al., 2008) i (Dimoudi, et al., 2009).

Dascalaki analitza el parc edificat hel·lènic a partir de 250 edificis dels quals un 2% són escolars, els endreça segons les zones climàtiques, i centra la seva recerca en la caracterització de les solucions constructives de les envolupants i les transmissió tèrmiques U corresponents, arribant a la conclusió que el 70% dels edificis públics analitzats tenen problemes d'aïllament tèrmic, la qual cosa significa que no compleixen amb els requeriments de les actuals directives europees. Segons les dades recollides per aquests autors, els consums energètics en calefacció suposen el 50% dels consums totals en edificis no residencials (NR); altres sistemes d'escalfament signifiquen un 22,5% (ACS i consum per cuina); els sistemes elèctrics un 16,5%; la il·luminació un 4%, i la refrigeració un 6,5%.

(Gaitani, et al., 2010), per la seva banda desenvolupen una metodologia per avaluar el consum energètic en calefacció en 1100 escoles gregues, recullen dades (superfície a escalfar; edat de l'edifici, aïllament de l'edifici; número de classes; número d'estudiants; hores operatives de l'escola; i edat del sistema de calefacció), apliquen un algoritme per normalitzar les dades recollides i uns histogrames, i a partir dels resultats determina una escola “patró” per poder comparar i mesurar els potencials marges d'estalvi, calculen l'energia consumida per escalfar els edificis escolars a Grècia, l'energia que es podria estalviar si s'incorporessin mesures d'eficiència energètica i finalment proporcionen unes línies

generals d'intervenció que poder servir per prendre decisions als gestors dels edificis o a la pròpia administració.

(Theodosiou, et al., 2008) centren el seu treball en les escoles ubicades en la zona climàtica freda de Grècia, fan una revisió del parc edificat a partir de la presa de dades i incorporen una novetat respecte a la resta d'autors amb la realització d'enquestes la qual cosa nosaltres també hem fet ja que considerem que és bàsic involucrar als usuaris des de l'inici dels treballs d'avaluació energètica. De les enquestes i la recollida de dades de consums es dedueix que els paràmetres que afecten a la majoria d'edificis investigats passen per l'envolupant de l'edifici, un control inapropiat dels sistemes de calefacció i enllumenat, l'absència de mesures normatives, i també la manca d'interès en relació a l'eficiència energètica per part dels usuaris i gestors de la majoria d'edificis.

L'article, que és de 2007, lamenta que la Directiva Europea 2002/91/EC sobre eficiència energètica encara no s'apliqui a Grècia però justifica el seu treball centrat en escoles com a tipologia d'edificis públics especialment interessants perquè tenen més de 1000 m<sup>2</sup>, i sobretot les llars d'infants que són d'una única planta, estan a ran de terra i per tant disposen de 6 "façanes" (les 4 habituals, la que està en contacte amb el terreny i la coberta, la qual cosa significa que les pèrdues energètiques per l'envolupant són especialment destacables). Tot i que el treball se centra en escoles d'infantil i primària, el grup de treball té previst seguir analitzant el parc escolar edificat amb les escoles de secundària per tenir tot el sistema educatiu del país estudiat.

La recollida de dades que es fa en aquesta recerca és la bàsica: pel que fa a l'arquitectura dels edificis, les característiques mecàniques i d'operativitat, i les factures de consums energètics del període comprès entre els anys 2003 i 2007 (electricitat i calefacció). L'existència o no i la qualitat de l'aïllament de les envolupants es va verificar inicialment amb l'ús de càmeres termogràfiques (tant des de l'interior com des de l'exterior de l'edifici) i es van fer registres de condicions higrotèrmiques en els interiors amb l'ajuda de termohigròmetres (ambdues tècniques utilitzades també en la nostra recollida de dades). D'alguns edificis no es van trobar els plànols per la qual cosa van ser exclosos de la mostra. D'altres escoles no disposaven de les factures elèctriques o aquestes eren incompletes per la qual cosa tampoc es van incorporar a l'estudi. I la resta d'escoles, incloses en l'estudi, representen el 62% de les escoles urbanes.

Donada la diversitat de zones climàtiques a Grècia, les dades recollides dels centres estudiats van des dels 31 kWh/m<sup>2</sup>/any de mitjana per a la totalitat del país, als 46 kWh/m<sup>2</sup>/any per a les escoles de la zona més freda tot i que en una campanya anterior de recollida de dades, aquests consums estaven al voltant dels 68 kWh/m<sup>2</sup>/any. En l'article no s'explica a què es deu aquesta diferència de dades.

De l'anàlisi també es veu que no hi ha correlació entre les característiques dels edificis i el seu consum en calefacció. Per exemple, l'únic edifici completament aïllat tèrmicament no és el més eficient. Altres factors que es tenen en compte són: que les escoles d'Educació Infantil tenen neveres, característiques d'ús, escalfadors i altres aparells, que fan que consumeixin més energia elèctrica. I pel que fa al consum d'electricitat vinculat als sistemes d'iluminació, aquest s'ha de relacionar amb l'accés a la llum natural i així, els edificis exempts tenen més accés a la llum natural que els que estan encaixats en mig de la ciutat per la qüestió de les ombres dels edificis veïns i, en conseqüència, tenen menor consum elèctric, tot i que no és l'únic factor d'impacte.

En quant a la qualitat de l'aire interior (temperatura i humitat) i les renovacions d'aire, les condicions climàtiques, tot i no ser dolentes, no tenen una relació directa amb el grau d'aïllament de les parets si més no, amb la inèrcia tèrmica dels tancaments que garanteixen bones condicions a primeres hores del matí i amb els sistemes d'encesa i gestió dels sistemes.

Els autors fan una reflexió final respecte de l'estudi realitzat força preocupant: es detecten tants problemes en l'estat del parc escolar edificat grec que la conclusió és que a ningú preocupa ni tampoc no es treballa en la cerca de les possibles actuacions.

Fora de l'arc mediterrani es troben treballs realitzats per Butala i Novak ([Butala, et al., 1999](#)), que analitzen a partir de dades molt bàsiques 24 escoles a Eslovènia, però relacionant els consums amb els factors de forma i a més detecten una mala qualitat de l'aire interior, amb nivells de CO<sub>2</sub> que estan per sobre dels 4000 ppm, el que significa que l'aire està carregat i resulta irritant <sup>1</sup>. Aquesta incidència sembla estar deguda als sistemes de climatització obsolets (una realitat possiblement causada per un

---

<sup>1</sup> El valor màxim per als interiors és de 1000 ppm i el valor límit per a oficines és de 1500 ppm. Cal tenir molta precaució ja que aquest valor límit s'aconsegueix amb certa facilitat. Per exemple, en una oficina de 25 m<sup>2</sup> en què treballen 4 adults i que ha estat recentment ventilada, la concentració de diòxid de carboni és de 2000 ppm una hora després d'haver tancat les finestres aïllants. ([Suntaxi Pichuasamin, 2015](#))

ús dels recursos energètics poc acurat, per qüestions socials, històriques, climàtiques, i de cultura en sostenibilitat).

A partir de l'aplicació d'una fórmula que permet calcular les pèrdues de calor dels edificis a través de l'envolupant i que relaciona el factor de forma com a valor, es verifica que els problemes van des de la sobrecapacitat dels sistemes de climatització degut a un disseny deficient de l'edifici, als sistemes constructius del passat i a la manca de coneixement i d'experiència.

Des del punt de vista dels possibles estalvis energètics, coincideixen amb altres autors en que la mesura més important, i necessària en un 83% dels edificis, és la millora de l'aïllament de l'envolupant i la substitució de les finestres que pot arribar a significar un estalvi del 7% en clau econòmica i reduir les pèrdues per calefacció un 20%, però per altra banda empitjora la qualitat de l'aire interior degut a la manca de renovacions d'aire que estan també relacionades amb els rigors climàtics de l'hivern eslovè. Com la majoria d'autors, arriben a les tres conclusions habituals: per implementar mesures d'estalvi cal actuar sobre la pell de l'edifici, millorar l'eficiència dels sistemes de climatització i actuar des de la gestió dels edificis, mesures que poden significar estalvis amb períodes de retorn curts (quan són menors a 5 anys); mitjans (entre 5 i 10 anys); i a llarg termini (si són a més de 10 anys).

Pel que fa a (Hernández, et al., 2008) que han treballat en eficiència energètica en escoles d'Irlanda, també desenvolupen una metodologia de caracterització dels edificis a partir d'uns qüestionaris amb dades bàsiques (nom, adreça, nombre d'estudiants, etc.); caracteritzen les solucions constructives dels edificis i les seccions constructives amb les especificacions dels diferents materials que conformen les envolupants (parets, sostres, cobertes, finestres i portes); els sistemes de climatització, les pautes d'ús de l'aigua calenta sanitària, els sistemes d'il·luminació, les característiques dels sistemes de ventilació forçada, així com els combustibles emprats, els horaris de funcionament de les escoles o el control d'encesa de les calderes.

Del conjunt inicial d'edificis a estudiar (500 centres escolars), descarten alguns per motius diversos: manca de dades, no han contestat als qüestionaris enviats o tenen consums energètics poc representatius (per excés i per defecte) i finalment treballen amb un total de 88 escoles, amb les que obtenen un valor a assolir com a mitjana (96 kWh/m<sup>2</sup>/any) i el valor que haurien d'assolir si es

volgués complir amb la regulació edificatòria segons les directives europees (65 kWh/m<sup>2</sup>/any corresponents al quartil òptim).

Pel que fa a les experiències realitzades en escoles dels EE.UU, són destacables els treballs de (Martani, et al., 2012), tot i que s'escapen una mica del marc de treball objecte d'aquesta tesi, ja que analitzen dos edificis universitaris del Campus del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) i relacionen els consums de calefacció, ventilació i refrigeració i d'enllumenat amb l'ocupació.

Sota la premissa (amb la que coincidim plenament) de que per poder actuar en eficiència energètica cal saber com es gasta l'energia, proposen per exemple la monitorització dels centres educatius (que de fet, ja s'ha comprovat en els treballs duts a terme per la UPC (Mata, et al., 2009) que és un sistema molt adequat i que possibilita la presa de decisions acurada i específica per a cada centre).

Com ja hem comentat en altres punts d'aquest document, en escoles o edificis universitaris és interessant relacionar l'ocupació dels espais amb els consums ja que hi ha uns períodes d'ús molt determinats amb molta variabilitat i moments en que l'ocupació pot estar als volts dels 0 usuaris. En el MIT, per contrastar aquests dos paràmetres, monitoritzen dos edificis i mitjançant sensors WiFi que utilitzen com a indicadors d'activitat, fan mapes d'ocupació durant dues setmanes, i arriben a dues conclusions obvies però que s'han de destacar: mentre el consum vinculat als sistemes HVAC no està relacionat amb l'ocupació si no amb la T<sup>a</sup> exterior, el consum elèctric en els edificis està directament relacionat amb el número d'ocupants. Aquesta reflexió ens ha de servir per posar en evidència les possibilitats d'estalvi en electricitat que es poden assolir fent un ús acurat dels sistemes i ajustant-los a les veritables necessitats dels edificis, intentant minimitzar el que hem donat en anomenar “consum fantasma”. Aquest és, en principi, el consum d'electricitat dels aparells electrònics connectats permanentment a la xarxa, o que estan en “stand by” (s'estima que aquest consum suposa entre un 7% i un 11% del consum elèctric d'una llar, segons l'IDAE). En edificis públics a aquest consum, s'ha d'afegir el d'aquells aparells que romanen encesos tot i no estar en ús, és a dir quan no hi ha ocupants als edificis (impressores, ordinadors, termos elèctrics, aparells de vending, servidors, etc.).

En aquest “consum fantasma” treballa un grup de la *North-West University* de Sud Àfrica (Masoso, et al., 2010), que ha analitzat els consums energètics de 7 edificis (comercials, administratius i docents) per arribar a la conclusió que més del 50% del consum es produeix quan els edificis estan sense ocupació. Tot i que en el cas dels edificis escolars aquests valors no són tan alts, sí és cert que quan

s'han dut a terme mesures de control d'aquesta despesa mitjançant la conscienciació dels usuaris, s'ha aconseguit reduir aquesta de manera important (un 20% de reducció en consum elèctric en el cas de l'edifici VERTEX de la UPC tot i que acompanyat d'altres mesures d'estalvi) (Mata, et al., 2009).

Altres estudis duts a terme als EUA (Madeira City Schools. Planning Commission, 2009) s'han centrat en els edificis escolars del districte de Madeira per donar resposta a tres preguntes: com es pot reduir el consum energètic? com es poden millorar les condicions d'operativitat i manteniment dels edificis? i com es pot integrar la importància de la reducció dels consums energètics en la cultura del districte?

Per donar resposta a aquestes qüestions, fan una anàlisi minuciosa de totes aquelles incidències que detecten en els 3 edificis a partir dels històrics de facturació, entrevistes amb els directors dels centres, recerca nacional i internacional de bones pràctiques, supervisió de les activitats i comportament dels usuaris, entrevistes a experts de la indústria, i amb tot fan un llistat d'accions que es poden dur a terme. Finalment avaluen la despesa energètica que signifiquen els tres centres escolars actualment per a la comunitat i les previsions d'increment d'aquestes despeses per als propers anys, de manera que acaben emmarcant la seva recerca en el projecte "Greening American's Schools- Costs and benefits" (Kats, 2009).

Per la seva banda, (Olson, et al., 2003) treballen en els criteris de disseny, ús i manteniment dels edificis escolars des de la preocupació del confort ambiental interior i que es resumeixen en:

- Un disseny i una planificació paisatgística que redueixi l'ús de pesticides i permeti fer part de l'aprenentatge a l'exterior de l'edifici.
- Una bona envolupant amb finestres amb valors d'aïllament adequats que redueixen les corrents i millorin els nivells de confort d'estudiantat i professorat.
- Una il·luminació adequada amb increment de l'aportació de llum natural, ja que aquesta millora el rendiment de l'estudiantat i augmenta els paràmetres de confort.
- Bona qualitat de l'aire interior amb adequades infiltracions d'aire i sistemes de renovació que evitin l'entrada de fums dels autobusos o camions amb els components tòxics. La incorporació de sistemes de clima en els districtes també redueix la pol·lució dins els edificis.

- L'ús d'energies verdes i de materials que minimitzin en lo possible les toxines, els al·lèrgens, i altres elements de pol·lució com components orgànics volàtils, o formaldehids.
- Un disseny i un manteniment adequats dels sistemes de climatització, calefacció, refrigeració i ventilació que funcionin sense sorolls i no distreguin l'atenció de l'estudiantat. Les aules petites precisen que aquestes decisions hagin de ser més acurades.
- Incorporació d'energies renovables com la fotovoltaica que, a més, poden servir com a eines d'ensenyament a l'estudiantat.

Finalment, en aquest apartat centrat en les experiències d'anàlisi del parc escolar edificat, cal destacar els estudis fets des de la Yonsei University de Seul, República de Korea ([Taehoon Hong, 2012](#)) i en els que a partir del plantejament de donar compliment a les estratègies d'estalvi energètic de la cimera de Copenhaguen, es plantegen treballar en les 11680 escoles coreanes i es centren en les escoles d'infantil perquè suposen el 41% del consum elèctric. De la mostra final, amb 6282 centres escolars, endrecen les escoles a partir dels resultats de la monitorització prèvia dels consums i s'explica un procés de tria i retroalimentació de la recerca a partir d'un arbre de decisions.

Donat que treballen amb una molt important quantitat de dades, analitzen les diferents eines que es poden utilitzar per preveure els consums dels edificis: Xarxes Neuronals Artificials (ANNs, Artificial Neural Networks,) que és un algoritme que relaciona diferents factors econòmics, demogràfics i de condicions climàtiques; l'ús de l'Arbre de decisions DT (Decision Tree), que és una metodologia que s'ha mostrat molt efectiva per desenvolupar models de suport per prendre decisions; i el Raonament basat en casos (CBR, Case Based Reasoning,) que és útil quan tens retroalimentació dels casos i és el sistema que finalment han considerat per a la seva recerca combinat amb GA (Genetic Algorithms). Finalment, els criteris utilitzats per aquests autors per fer la tria serien l'antiguitat, tot i que per si sola no serveix com a criteri; la petjada ecològica de les escoles; i l'accessibilitat a les dades. Però també ens interessa d'aquest article altres criteris de selecció com són:

- Els espais amb funcions diverses no es contemplen: menjadors, o magatzems, i només es consideren els espais educacionals.
- Per a l'estudi es van considerar els edificis escolars d'estructura de formigó armat, mentre que els d'estructura metàl·lica o parets de maó (que signifiquen només un 0,1% dels existents) es van rebutjar.

- També es van excloure de la mostra els edificis considerats “outliers”, és a dir el 2,5% dels edificis amb consums energètics majors i el 2,5% dels edificis amb consums energètics inferiors (cues a dreta i esquerra).
- Els edificis amb manca de dades tant edificatòries com de consums es van rebutjar.

En definitiva, tot i que l'anàlisi numèrica mostrada en aquest article s'escapa dels objectius d'aquesta tesi, sí s'ha considerat interessant utilitzar la metodologia de recollida de dades i l'arbre de decisions.

Amb tot, sembla que la majoria d'autors coincideixen en definir els paràmetres que cal estudiar del conjunt d'edificis per fer-ne l'estudi comparatiu, i acaben també coincidint amb la sèrie d'indicadors que, en la majoria dels casos són de tipus físic o econòmic, ja que s'han mostrat els més comunament acceptats per mesurar l'eficiència energètica.

Altres autors ([Theodoridou, et al., 2012](#)), que es centren en la ciutat de Tessalònica (Grècia), utilitzen per calcular el potencial de mesures possibles per estalviar energia i com a estratègia urbanística multicritèria Sistemes d'Informació Geogràfica GIS, que relacionen dades com els ràtios de consums, la densitat de la ciutat, la incidència de vents, la incidència solar, l'aïllament en parets, l'existència de cobertes verdes, etc.

Aquest darrer article, ens ha estat útil també per tal d'acotar el que considerem una ciutat mediterrània, i ens permet, per tant, localitzar les ciutats de l'arc mediterrani a les que es pot traslladar la nostra metodologia de treball i la nostra recerca.

La recerca socioeconòmica també ha estat experimentada per autors danesos ([Engelund, et al., 2009](#)), que a més fan una revisió dels incentius, dels retorns econòmics, el desenvolupament de noves guies de disseny, o fins i tot els “checklist” sobre control de qualitat per a garantir una millora a llarg termini en els edificis.



#### 4.5 L'anàlisi del parc edificat mitjançant programes de simulació

Fins aquí hem considerat aquella literatura científica que treballa sobre dades reals de consums, però hi ha diversos grups de recerca que utilitzen els programes de simulació per avaluar, certificar, comparar, contrastar o verificar la bondat dels edificis i del seu funcionament.

Per avaluar l'impacte ambiental dels edificis existeixen, actualment, diverses eines desenvolupades en els diferents països de la UE: BREEAM (Regne Unit, 1990), CASBEE (Japó, 2004), DGNB-Seal (Alemanya 2008), EcoEffect (Suècia, 2000), Green Globes (Canadà, Regne Unit, 1996), Green Star (Austràlia, 2003), HQE (França, 1996), BEAM (Hong Kong, 1996), LEED (EUS, 2000), i VERDE (Espanya, 2010), dels quals només el BREEAM i el LEED estan reconeguts internacionalment, i la resta són d'aplicació nacional en cadascun dels seus territoris o estan sent implementats. Les diferents eines d'avaluació de l'impacte ambiental dels edificis recullen des d'aspectes econòmics (cost., temps,...), ambientals (consum d'energia, aigua, emissions de CO<sup>2</sup>, residus...), socials (salubritat, seguretat, qualitat...), indicadors (amb ratis i assignació de valor als diferents criteris), i alguns d'ells amb aplicacions que permeten avaluar l'impacte ambiental en edificis escolars.

En aquesta línia treballen des de la Universitat de Cambridge ([Sunikka, et al., 2012](#)), que comparen les dades de consums reals amb les dades de consums que surten de les simulacions i acaben preguntant-se per què difereixen tant, i conclouen que la viabilitat i el potencial d'estalvi a partir de les millores tecnològiques en edificació existent poden arribar a quedar superades pel potencial d'estalvi que s'aconsegueix a partir dels canvis de comportament i de polítiques d'estalvi. Introdueixen també una qüestió molt interessant en quant a l'efecte "rebot" (rebound effect) entès com l'augment de consum d'energia a conseqüència d'una reducció prèvia que significa més disponibilitat econòmica; i l'efecte "pre-bot" que és aquell que avalua els estalvis i/o eficiències que determinats usuaris fan prèviament a qualsevol millora i sobre els quals no es pot calcular un impacte econòmic de retorn.

També treballen amb simulacions els autors de l'estudi sobre els dos edificis escolars de Certaldo ([Fiaschi, et al., 2011](#)), que comparen el consum teòric segons la simulació amb programes amb la realitat energètica segons les factures de consum, i per acabar comprovant que les estimacions superen àmpliament els consums reals.

El més interessant de les simulacions però, és que permet avaluar les millores que significarien, en clau de consums energètics, les possibles intervencions, i que van des del 60% de reducció de la demanda tèrmica si s'intervé en millorar les transmissibilitats de parets, cobertes i terres en contacte amb el terreny tenint en compte les diferents zones climàtiques; del 14% al 20% si es col·loquen dobles vidres en finestres; entre el 10% i 12% si s'implementa un pla de manteniment de les calderes; una reducció de la demanda d'un 8% si només s'intervé solucionant els ponts tèrmics; fins a un 12% si es fan actuacions relacionades amb els sistemes de ventilació; i un 50% al 80% del consum en energia per a producció d'aigua calenta sanitària (ACS) instal·lant plaques solars.

Evidentment aquests estalvis són relatius a l'energia que es consumeix derivada de cada variable, però en general es poden classificar vinculant-los a tres estratègies:

- **Estalvis energètics màxims:** a partir de diferents millores des d'una aproximació holística del problema amb l'objectiu de reduir al màxim els consums però acceptant que els *Pay Back Time* PBT (períodes de retorn) són a llarg termini.
- **Estalvis energètics mitjans:** centrats en tecnologies amb una millora i uns resultats immediats però menors i també en menors períodes de retorn.
- **Estalvis energètics mínims:** relacionats amb millorar la qualitat del clima a l'interior, qualitat de l'aire i del confort lumínic i considerant els estalvis energètics com a benefici addicional.

L'ús de programes de simulació es troba prou estès entre els grups que treballen en eficiència energètica, com és el cas de (Filippin, 2000), que fa una recollida de dades de 15 escoles d'Argentina, les comparen en quant a consums (consum anual de gas i electricitat per m<sup>2</sup> i per estudiant), les classifiquen i comparen amb els valors de referència de les escoles angleses, i a partir dels resultats obtinguts llisten una sèrie de propostes d'intervenció, que en general donen resposta als problemes derivats d'un disseny poc acurat pel que fa a l'eficiència energètica.

Segons aquests treballs, els edificis escolars analitzats poden reduir els seus consums a partir d'un millor ús dels edificis: amb un manteniment periòdic de les calderes; la col·locació estratègica dels termòstats per a regular les temperatures; identificar les zones que tenen pèrdues d'energia per minimitzar-les; monitoritzar els registres de consums per identificar les disconformitats; però també a partir d'encoratjar als gestors, usuaris i estudiants a fer un ús eficient dels recursos, i fer-los entendre

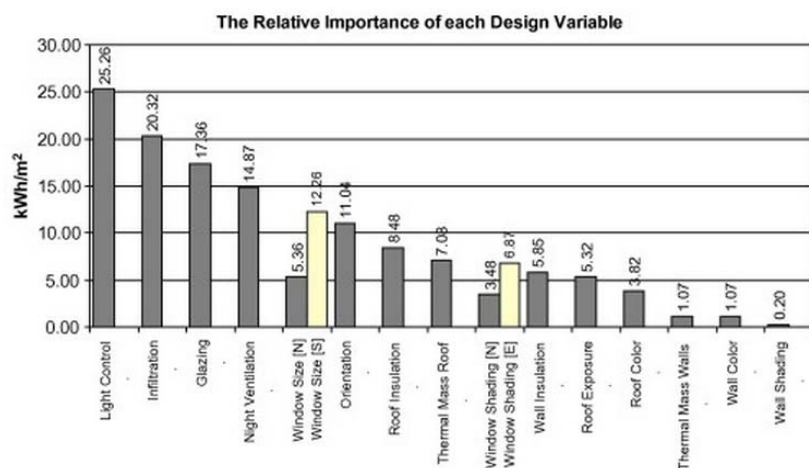


Fig. 10 Importància relativa de cada variable de disseny segons (Perez, et al., 2009)

que els estalvis energètics suposen beneficis econòmics i mediambientals. En aquesta línia, proposen incorporar en els programes formatius temari docent de com utilitzar l'energia i instruir i documentar per escrit unes guies de procediments per als gestors i caps de manteniment dels edificis.

Els programes de simulació permeten també treballar en el disseny dels nous edificis, ja que amb ells es poden revisar totes les possibilitats de l'envolupant dels edificis (parets, finestres i cobertes), diferents sistemes d'aïllament tèrmic, les infiltracions, etc. És el que fan alguns autors grecs citats anteriorment (Santamouris M, et al., 2007) i que els permet concloure que una aproximació holística al disseny dels edificis eficients energèticament pot reduir les dimensions dels sistemes i, en conseqüència, es compensa la despesa econòmica que pot tenir incorporar en el disseny elements i estratègies en clau energètica.

Per tant, a partir de les simulacions es pot avaluar l'eficiència energètica dels edificis i el que es pot aconseguir millorant l'aïllament de les envolupants i el rendiment dels sistemes (estratègies passives o actives): estalvis de fins a un 34% del consum en apartaments en clima humit incorporant aïllament de poliestirè extruït (EPS); o la incorporació d'aïllaments (en parets, sostres i cobertes) que han suposat estalvis del 20-40%; estratègies per reduir les infiltracions d'aire que es tradueixen en reduccions del 20% del consum energètic; ombres exteriors a les finestres o la incorporació de colors reflectants en les parets exteriors que han permès reduir els consums entre el 30% i el 2-4% respectivament en edificis estudiats a Grècia.

Des d'Israel (Perez, et al., 2009) en un entorn climàtic càlid i humit s'han dut investigacions a partir de la reproducció d'una aula com a espai model, una modelització a partir del programa ENERGY PLUS que calcula l'energia estimada, a partir del programa SHADING (que avalua per la seva banda la insolació), i del programa RADIANCE (que demostra la incidència lumínica de les finestres). A partir d'aquesta aula-model i amb unes condicions d'assaig especificades, es modifiquen diferents variables (a raó de mantenir totes iguals en cada assaig i modificant-ne només una), per trobar quan arriben a proporcionar els valors òptims, i quina de les variables és la més influent a l'hora de reduir el consum energètic sense comprometre el confort a les aules. Aquestes variables són:

- Aïllament i ventilació nocturna
- Infiltracions
- Inèrcia tèrmica (ja que la majoria d'escoles estan fetes amb parets "pesades")

- Color i exposició de la coberta i les parets
- Dimensió de les finestres segons l'orientació
- Ombres sobre fusteries
- Envidraments
- Sistemes de control d'enllumenat

I arriben a classificar les variables entre les que tenen un alt impacte en la reducció de consums, les que el tenen mitjà i les que el tenen baix: el control de l'enllumenat; la gestió activa de les infiltracions; les característiques dels envidraments; la incorporació de ventilació nocturna; la dimensió de les finestres (diferenciant l'orientació, ja que en el clima en que es realitza la simulació aquesta dada és poc influent si les finestres estan encarades a Nord però molt si es troben encarades a Sud); l'aïllament de les cobertes; la inèrcia tèrmica de la coberta; l'existència d'ombres en les finestres (de nou més important si es troben ubicades a la façana Est i Oest que en la façana Nord), l'aïllament de les parets; el color de la coberta; la inèrcia tèrmica de les parets; el color de les parets; i els factors d'ombra sobre les parets (Fig. 10).

Amb tot, els autors arriben a la següent conclusió: tot i que a Israel, com també succeeix a Catalunya, hi ha unes recomanacions sobre com dissenyar, projectar i construir edificis escolars per a que siguin eficients, agradables i econòmics, cal pensar de manera molt acurada en un bon disseny de les aules (en un clima càlid i humit) per reduir efectivament els consums energètics per a calefacció, refrigeració, ventilació i enllumenat, ja que els estalvis modelitzats s'han avaluat en més del 50% de l'energia consumida per una aula existent (des de 180 kWh/m<sup>2</sup>/any com a valor actual mig als 80 kWh/m<sup>2</sup>/any assolibles si s'incorporen les mesures proposades).

Altres autors han destacat la sèrie de dificultats per desenvolupar models d'anàlisi a escala urbana del parc edificat per la diversitat edificatòria dels edificis no residencials. En aquest sentit es troba la recerca feta per la Universitat de Cambridge sobre edificis no residencials, (que al Regne Unit són responsables del 17% de les emissions associades de CO<sub>2</sub>), en concret sobre edificis escolars de Londres, (Regne Unit) (Tian, et al., 2012), i que ha consistit en generar un model probabilístic basat en enginyeria *bottom-up*.

Aquests autors detecten les diferents qüestions i incerteses que impedeixen modelitzar el parc edificat en conjunt, en comparació amb les simulacions puntuals i les certificacions de qualificació energètica que sí es realitzen de manera individualitzada:

- la manca d'informació detallada dels edificis existents (consums o solucions constructives);
- les diferents variables per a un mateix grup d'edificis del mateix tipus amb diferents consums molt dispersos;
- i la qualitat de les dades, que varia segons qui les proporciona (en el cas de les superfícies, per exemple difereixen perquè en alguns casos s'obtenen dades de superfície construïda, mentre que altres fonts proporcionen les dades de superfícies útils).

En el cas de les escoles de Londres, es treballa amb models probabilístics a partir de la recollida de la següent informació:

- informació de l'edifici (superfícies, altures, percentatge de forats, i materials de construcció);
- característiques operacionals, que inclouen el sistema de calefacció i refrigeració i les càrregues internes;
- els equipaments (llum, ocupants, gestió del HVCA, etc.);
- l'anàlisi precisa de les dades de consums actualitzades d'un grup substancial d'edificis similars.

De les dades obtingudes, i a partir de models estadístics, es calculen les dades mitjanes pel conjunt d'edificis i es defineix un Coeficient de Regressions Estandaritzat (SRC Standardized Regressions Coefficient) amb el que es simula un edifici patró.

Comparant els diferents edificis escolars amb aquest edifici patró es detecten els tres factors principals que afecten la Intensitat Energètica (EUI Energy Use Intensity kWh/F/any) per a calefacció, i que resulten ser, en un clima atlàntic com el de Londres: la temperatura de consigna, la ventilació i els ratis d'infiltracions solars. Aquests tres factors junts sumen el 85% de la variabilitat anual del consum en gas per a calefacció.

En un context absolutament llunyà per les evidents diferències climàtiques, han treballat a Oman (Zurigat, et al., 2003) a partir de simulacions i maquetes, comprovant la importància de l'aproximació a l'edifici en conjunt, i el que signifiquen els aspectes relacionats amb l'emplaçament (el més important, l'orientació), els sistemes arquitectònics, els sistemes d'instal·lacions, els sistemes de control i les qüestions acústiques.

Aquests treballs estan orientats a la cerca de solucions passives que redueixin les necessitats de refrigerar, (que a Oman, en edificis públics, és una realitat important durant molts mesos de l'any perquè disposen d'un clima molt càlid), que s'han avaluat al voltant d'un 45% de mitjana, i que tot i ser un problema poc equiparable amb les condicions de confort dels edificis escolars de clima mediterrani, si ens interessa conèixer per insistir, davant algunes situacions puntuals que hem començat a detectar, en evitar la incorporació de sistemes de refrigeració a les nostres escoles.

En aquesta experiència s'utilitza un software per simular en els edificis les possibles millores a introduir combinant aïllament de la pell, ventilacions, ombres, envidraments, variacions en la il·luminació i, com a innovació tecnològica, el refredament de l'estructura. A partir d'un edifici que es presta a ser un "laboratori" per experimentar, es caracteritza la pell, se li apliquen les condicions climàtiques que han estat recollides durant tot un any; es calculen les necessitats de refrigeració a partir del programa de simulació; i finalment es comparen aquestes necessitats entre l'edifici base i l'edifici simulat segons les següents variables de millora:

- L'edifici base, amb 25 mm d'aïllament en l'envolupant i amb 50 mm d'aïllament;
- L'edifici base, amb doble vidre i amb triple vidre
- L'edifici base, amb ombra per l'interior i amb ombra per l'interior i l'exterior alhora
- L'edifici base, amb ombra en cobertes a partir de panells retràctils, pèrgoles vegetals o cobertes enjardinades

Combinant diferents factors es comprova, mitjançant el programa, que el consum en refrigeració es pot reduir fins a un 32% si s'apliquen diferents estratègies. Per exemple, amb la proposta de 50 mm d'aïllament en les pells, col·locació de doble vidre en finestres i amb un 0,8 de factor d'ombra interior, més un 80% de la superfície de coberta ombrejada es baixen els 22 MWh de necessitats de refrigeració a 15 MWh, i que amb la introducció de només mesures passives es pot arribar a reduir en un 43% les necessitats de refrigeració, el que significa que també es pot baixar la inversió de

construcció perquè es redueix en el moment del disseny de l'edifici el dimensionat dels sistemes de refrigeració.

També han treballat en estratègies des del projecte arquitectònic la firma d'arquitectura *Innovative Design Inc.* (Nicklas, et al., 1996), que ha desenvolupat una eina per projectar de manera que s'optimitzi l'enllumenat natural en aules d'infantil i primària (fins a 12 anys) després d'haver analitzat diferents aules en escoles de Carolina del Nord (EUA).

#### **4.6 L'anàlisi dels sistemes d'instal·lacions: estat actual, eficiència, exergia i marges de millora**

Hem pogut comprovar de la lectura dels treballs citats anteriorment, que una línia d'actuacions principal és la de reduir la demanda energètica dels edificis a partir de millores en l'envolupant per tal d'aïllar l'espai interior de les variacions tèrmiques degudes al clima. Però, evidentment, per molt eficient que sigui l'envolupant, la majoria d'edificis escolars del nostre entorn necessiten de sistemes de recolzament, que funcionen amb recursos energètics, per garantir el confort ambiental (lumínic, climàtic, acústic, etc.).

Hi ha diversos autors, generalment de l'àmbit de les enginyeries, que han centrat les seves línies de recerca en el rendiment dels sistemes energètics, la gestió dels sistemes tarifaris, reconsiderant els paràmetres i les exigències de confort ambiental, l'eficiència, la intensitat o la millora energètica i avaluant els marges de millora a partir d'avaluar l'exergia dels sistemes o bé intentant reduir l'energia reactiva.

En aquesta línia, han estat consultats els treballs de la *Leonardo Academy, Inc.* (EUA), una organització independent sense ànim de lucre que treballa assessorant i realitzant anàlisis per promoure l'eficiència energètica. En els seus treballs relacionats amb les escoles infantils (per a infants de fins a 12 anys) (Olson, et al., 2003), s'identifiquen les necessitats dels edificis escolars per garantir la qualitat ambiental que ha de facilitar l'aprenentatge i el confort dels usuaris, i es llisten els recursos disponibles en l'escenari nord-americà per fer les escoles més sostenibles: la certificació amb LEED; la definició de "Energy Smart Schools"; l'agència de Protecció Ambiental Americana (EPA) que fa una classificació amb estrelles de les escoles que introdueixen mesures d'estalvi, o la

Collaborative for High Performance Schools (CHPS), que ajuda a les escoles a estalviar amb informació, serveis i programes d'incentius. El més destacat de l'article però és la vinculació directa que s'estableix entre la qualitat ambiental dels edificis escolars, i els beneficis educatius, en relació amb la salut dels usuaris i, també i molt important, econòmics. És a dir, millorar el funcionament dels sistemes d'enllumenat, climatització i ventilació dels espais escolars només comporta que avantatges.

Les estratègies per actuar directament en els sistemes són variades tot i que els diferents autors consultats coincideixen en que per poder millorar l'eficiència energètica dels edificis cal definir clarament els indicadors amb els que s'ha de treballar per poder establir els marges de millora.

En aquest sentit han estat imprescindibles els treballs realitzats per Pérez-Lombard et al. (Pérez-Lombard, et al., 2012) per tant que defineixen una sèrie d'indicadors energètics:

- Indicadors d'eficiència energètica ( $\eta$ ) que es defineix com el ràtio d'energia utilitzada en relació a l'energia incorporada:

$$\eta = \frac{\text{useful energy output}}{\text{energy input}}$$

- Indicadors d'intensitat energètica (EI) definits com la quantitat d'energia necessària per a proporcionar el servei

$$EI = \frac{\text{energy input}}{\text{service output}}$$

- I l'indicador de millora energètica, que s'utilitza en el camp de l'eficiència energètica i en l'anàlisi com a un conjunt d'indicadors energètics (energy performance indicators) (EPI).

En el desenvolupament metodològic i la discussió dels resultats d'aquesta tesi, hem fet ús dels indicadors globals per a la lectura comparada del conjunt d'edificis i, en aquells edificis objecte d'anàlisi detallat, s'han utilitzat els indicadors dels serveis, subsistemes i equips, quan ha estat possible.



Hi ha altres autors que han treballat en estratègies centrades en la monitorització dels sistemes per tal de conèixer en temps reals com es produeixen els consums energètics en els edificis i, d'aquesta manera actuar de manera individualitzada segons els casos. En aquest sentit, es poden incloure els treballs duts a terme per la UPC des de fa més de 10 anys i en els que hem participat, també el professorat i estudiantat de l'Escola Politècnica Superior de l'Edificació, des de fa anys en diferents actuacions.

En l'article de (Mata, et al., 2009) s'expliquen les mesures preses per aquesta institució per tal de reduir el consum de calefacció en els edificis de la UPC, i es mostren els resultats obtinguts a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV) de Sant Cugat, que han arribat a significar una reducció dels consums relacionats amb la calefacció de fins a un 40%. Altres resultats relacionats amb tot el procés iniciat per la UPC amb la implantació del Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos (PECR) i amb els estalvis aconseguits per la UPC a partir del coneixement monitoritzat dels consums es poden consultar en l'article publicat l'any 2006 (R. Cantalapiedra, et al., 2006a) les diferents actes de congressos en les quals hem participat (Bosch, et al., 2006e), (R.Cantalapiedra, et al., 2006b), (Bosch, et al., 2012).

Efectivament la monitorització dels sistemes s'ha mostrat com a una eina eficaç a l'hora de plantejar estratègies d'eficiència energètica en edificis existents perquè aporta coneixement a la gestió dels recursos, però hi ha autors que han anat més enllà i han utilitzat la monitorització per fer un plantejament relacionant els consums amb els sistemes tarifaris de facturació. És el cas dels treballs duts a terme per Oldewurtel et. Al (Oldewurtel, et al., 2011) des de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), i que relacionen els consums en temps reals, coneguts a partir de la monitorització, amb les possibilitats de les tarifes elèctriques "dinàmiques", i amb la incorporació en els sistemes energètics de bateries per emmagatzemar l'electricitat en els moments en que les tarifes són més baixes per aprofitar-la en els moments de màxima demanda, que es produeixen, habitualment, quan les tarifes de facturació són més altes. Això permet reduir costos econòmics, tot i que no té cap intenció de reduir els consums ni, en conseqüència, l'impacte ambiental.

Un altre camp de treball ha estat el d'estudiar els marges d'eficiència energètica dels propis aparells dels sistemes, i que alguns autors (Russell, 2007) han arribat a quantificar (mitjançant simulacions) en fins a un 64% del consum a partir del canvi dels equips de climatització obsolets i al voltant del 31%

per millores en l'eficiència dels sistemes d'enllumenat amb l'acompanyament d'altres mesures relacionades amb el bon ús.

De totes maneres, si es vol parlar d'eficiència dels sistemes, cal introduir el concepte d'exergia, entesa com la mesura de la disponibilitat de l'energia o, en altres paraules, com la màxima potència de treball d'un flux d'energia o massa en relació al seu entorn. La idea és que part de l'energia d'un sistema es pot aprofitar per a realitzar treball mecànic, elèctric o d'altre tipus (amb les limitacions pràctiques que estableix el segon principi de la termodinàmica), però que existeix una altra limitació pràctica en quant a que només es pot realitzar treball si el sistema emmagatzema energia en relació a l'ambient que l'envolta.

Per a la comprensió d'aquest principi, i la seva aplicació a la nostra recerca, hem consultat els treballs duts a terme per la Universitat de Kassel (Alemanya), en concret la tesi doctoral del professor Schmidt (Schmidt, 2004) que permet entendre el concepte i la seva aplicació al camp de l'edificació i l'eficiència energètica en edificis, i les seves ponències en actes de congressos (Schmidt, et al., 2004), (Schmidt, 2005). També han estat consultats altres articles que mostren exemples d'aplicació del càlcul de l'exergia i de les possibilitats d'aplicació del concepte en edificis del sector terciari (Lozano, 2009) i (Xydis, et al., 2009). Així mateix, durant la nostra recerca hem fet ús de l'eina de càlcul *Design of Low Exergy Buildings – Method and a pre-design tool*, desenvolupada a partir de la tesi doctoral del professor Schmidt, per calcular l'exergia en alguns dels edificis escolars (Jiménez del Amo, et al., 2013) dels quals es disposava de les dades detallades dels sistemes de climatització (Fig. 11).

#### 4.7 Qualitat de l'aire interior i confort ambiental

Evidentment, la millora del rendiment dels sistemes no ha de comprometre la qualitat de l'aire interior ni, en conseqüència, el confort ambiental dels usuaris, per la qual cosa cal ajustar ambdós conceptes, ja que el confort ambiental millora el rendiment dels estudiants i de la resta d'usuaris. Molt recomanables en aquest sentit els informes de la *National Clearing House for Educational Facilities* (Schneider, 2002) que relacionen la millora de l'aprenentatge amb la qualitat de l'aire interior, la temperatura i humitat, les condicions de ventilació i il·luminació les condicions acústiques, l'edat i qualitat edificatòria de l'escola, i les dimensions de la pròpia escola així com les de les aules.

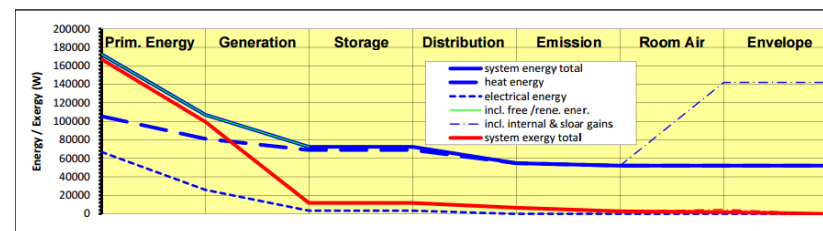


Fig. 11 Exergia i energia a través dels components. Font: (Jiménez del Amo, et al., 2013)

Segons aquests estudis que relacionen les condicions ambientals amb la qualitat educativa, l'acondicionament acústic, per exemple, afecta directament la comunicació dins les aules, i el soroll exterior és especialment greu en escoles dins els nuclis urbans. Un soroll que pot crear, a les aules, problemes disciplinaris i afectar a la comprensió del llenguatge verbal. En conseqüència, la decisió de com seran les parets i els sostres d'una aula, afecta a la qualitat dels processos d'aprenentatge.

Per a aprofundir en aquests aspectes, hem consultat els treballs duts a terme per diversos autors brasilers que s'han mostrat especialment actius en el camp de les relacions entre aspectes mediambientals/disseny d'edificis escolars i avaluació dels paràmetres de confort, i d'entre ells, han estat especialment interessants els treballs de Graça et al ([Graça, et al., 2004](#)) i ([Graça, et al., 2007](#)).

En el primer dels articles, de l'any 2004, s'estableix la metodologia d'anàlisi del disseny de 35 edificis escolars existents i es consideren els 4 factors que proporcionen el confort ambiental: tèrmic, acústic, il·luminació natural i funcionalitat, i s'avaluen posteriorment les condicions d'ocupació (*Post Occupancy Evaluation, POE*). També es defineixen uns indicadors ambientals com els estalvis energètics i d'aigua, el confort dels ocupants (segons la seva percepció), el correcte manteniment o, fins i tot, la prolongació del cicle de vida l'edifici (és a dir la seva durabilitat).

Sobre la mostra de les 35 escoles analitzades i a partir de les 15 POE realitzades per verificar la satisfacció dels ocupants, s'han avaluat les condicions de funcionalitat, tèrmiques, acústiques i de confort visual amb l'ajut d'instrumentació i la realització d'enquestes amb els següents resultats: en relació a les condicions tèrmiques, la majoria de les escoles són caloroses a l'estiu i en algunes escoles a la tarda s'arriba a temperatures superiors als 30° C; l'orientació de les finestres és clau perquè la incidència solar directa sobre alguns estudiants mentre estan asseguts és important des del punt de vista del desconfort, però per altra banda les finestres són les que proporcionen els guanys solars; els nivells d'il·luminació no són regulars i hi ha espais foscos que estan per sota dels 500 lux.

Pel que fa a l'acústica, al marge del compliment o no de les recomanacions i exigències d'aïllament acústic de parets, portes i finestres, (variables segons els autors i les reglamentacions dels diferents països i que van des dels 35 dB(A) que l'American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) ([American Speech-Language-Hearing Association \(ASHA\), 2003](#)) recomana i estipula com el límit ideal de soroll a l'interior de les aules, als 40 i 50 dB(A) que recomanen ([Metha, et al., 1999](#)), en

molts casos els valors obtinguts de reverberació és sovint massa llarga (mesurada en algunes aules a 1,2s mentre que les recomanacions estan entre 0,4s i 0,6s).

Amb les dades recollides, fan una classificació en 7 tipus de les formes de distribucions en planta dels edificis, i els contrasten amb la despesa energètica associada, amb la intenció de veure quins disseny i orientacions són millors des del punt de vista de l'eficiència energètica i en relació al confort ambiental obtingut (tot i que eliminen alguns edificis de la mostra perquè les possibilitats del solar, dins un cas urbà, impossibiliten cap alternativa de projecte), i conclouen quins dissenys són els més confortables. Finalment arriben a la conclusió que la maximització de diferents aspectes de confort simultània no és possible, encara que sí es possible arribar a solucions de compromís.

En el segon article consultat d'aquesta mateixa autora (Graça, et al., 2007), s'avalua el mètode emprat com a eina de disseny per a futurs projectes d'edificis escolars, definint un sistema d'avaluació ambiental dels projectes i una aproximació d'optimització multicritèria.

Autors que també han treballat des dels EUA ens els criteris de disseny relacionats amb el confort (Olson, et al., 2003) estableixen que un bon emplaçament i disseny paisatgístic permet als estudiants aprendre de l'entorn; un bon disseny de l'envolupant amb finestres eficients i ben aïllades que redueix l'enlluernament, millora els nivells de confort d'estudiants i mestres; un enllumenat adequat amb major ús de la llum natural millora el rendiment de l'estudiantat i els nivells de confort; cal treballar per a una bona qualitat de l'aire interior amb bona infiltració i sistemes de ventilació que impedeixen l'entrada dels fums dels busos o del tràfic o fins i tot incorporar busos elèctrics en el districte escolar; utilitzar materials ecològics per evitar o minimitzar les possibles toxines, al·lèrgens i altres contaminants; un disseny i manteniment adequat dels sistemes de climatització i ventilació per a que aquests siguin silenciosos i no produeixen molèsties ni distreguin als estudiants, problema que s'accentua quan les aules són petites; o la incorporació d'energies renovables pròpies com les fotovoltaïques, que es poden usar com a eina per ensenyar a l'estudiantat i interessar-los pels recursos energètics alternatius.

En aquesta línia, classifiquen les escoles en tipologies edificatòries segons les èpoques en que es varen construir i la relació amb l'accés a la llum natural, ja que segons alguns estudis, els estudiants que treballen sota condicions lumíniques "full spectrum" amb traces ultraviolades aprenen més de pressa, tenen millors resultats, creixen més de pressa (sic) i tenen menys absències per malaltia (el que

tradueixen en resultats econòmics), i fins i tot asseguruen que la llum natural “energitzada” als estudiants. Per tant, dissenyar per a que l'edifici tingui un bon accés a la llum natural és important perquè en definitiva millora el rendiment dels estudiants.

Passa el mateix amb la qualitat de l'aire interior. L'aire interior té més pol·lució (entre 5 i 100 vegades més) que l'exterior. Si es millora la qualitat de l'aire interior hi ha menys absentisme; menys malalts d'asma; etc. Donat que els sistemes que afecten a la qualitat de l'aire interior són la climatització i la ventilació, es considera que un mal manteniment d'aquests equips es pot considerar com una de les causes principals per a la mala qualitat de l'aire interior i per al que s'ha donat a anomenar “síndrome de l'edifici malalt”. En conseqüència, si es detecten problemes en la qualitat de l'aire interior, el que s'ha de fer és actuar d'immediat.

L'ús de ventilació natural com a estratègia per reduir consums, també ha estat estudiada per (Kolokotroni, et al., 2001) al Regne Unit, entre altres motius perquè ho prefereixen els usuaris i, en conseqüència, millora el seu rendiment, però també com a estratègia “sostenible” per a les pròpies entitats gestores dels edificis.

Per avaluar les possibilitats de l'ús intensiu de la ventilació natural en substitució de la ventilació forçada, els autors mesuren amb termohigròmetres i anemòmetres durant 1 setmana un edifici de la Universitat de Portsmouth (Regne Unit), prenen mesures en l'aire i el terra en el 1é i el 3é pis i, quan ja han verificat el comportament tèrmic, simulen com s'ha de provocar la ventilació natural per millorar el confort (manual o mecanitzat).

D'aquests treballs, conclouen que s'ha de potenciar la ventilació nocturna però de manera controlada, ventilar quan a l'exterior de l'edifici la temperatura és més baixa (amb l'inconvenient que és l'horari en que el centre està buit i per tant la gestió del sistema no és fàcil fer-la per mitjà d'una gestió manual i s'ha de fer domòticament) i també demostren la importància de les proteccions solars i la gestió de les càrregues internes.

La ventilació natural pot reduir doncs l'efecte de les condicions climàtiques externes caloroses i a més estableix condicions de confort a l'edifici, tot i que l'estudi també demostra que si la ventilació es fa de manera incontrolada es produeixen condicions a l'interior de l'edifici desfavorables, en concret quan hi ha episodis de fred nocturn durant l'estiu, per la qual cosa cal utilitzar sistemes de control

senzills, basats en la temperatura exterior i els guanys solars, com a estratègia sostenible que a més millora el confort a l'interior dels espais.

Com veiem, les finestres tenen doncs un paper clau en la qualitat ambiental dels edificis escolars, i és per aquest motiu que també ha estat interessant la consulta de l'article de (Nicklas, et al., 1996) que han treballat en escoles de Carolina del Nord (EUA), amb un clima molt assimilable al mediterrani, i que han analitzat els factors de disseny de les finestres amb qüestions tècniques com: optimitzar l'envidrament per maximitzar la transmissió de la llum diürna; millorar la reflectància lumínica, la qual cosa té relació amb la tria dels acabats de sostres que tinguin considerades, a més, prestacions acústiques però que redueixen la reflectància de la llum; prioritzar l'envidrament en les façanes sud, per qüestions de beneficis relacionats amb l'escalfament passiu, ja que l'envidrament en façana sud requereix un 25% menys de superfície per proporcionar la mateixa llum que si l'envidrament està en la façana nord; incorporar elements blancs a les finestres el que pot permetre una reducció de fins a un 10% de superfície de finestra per produir la mateixa llum natural; col·locar safates lumíniques per aprofitar la llum de primera i última hora del dia, relacionat aquest concepte amb l'angle d'Azimut; considerar les limitacions de les finestres per qüestions de seguretat; incorporar cortines en l'interior de les finestres; etc.

Aquestes qüestions de disseny es troben relacionades amb la millora de l'entrada de llum diürna el que significa que es pot projectar llum indirecta com una bona solució per crear espais ben il·luminats en combinació amb la llum diürna; es poden col·locar les lluminàries que són estrictament necessàries i no cal sobredimensionar les instal·lacions d'il·luminació; o es poden projectar revestiments específics per als paraments dels passadissos quan aquests no disposen de llum natural i que permetin fer aquests espais més lluminosos.

#### 4.8 Avaluació d'experiències, retorn d'inversions i estratègies econòmiques

Fins aquest moment hem estat analitzant l'estat de l'art en eficiència energètica d'edificis escolars des del punt de vista de l'anàlisi i l'avaluació de l'estat actual del parc edificat, però calia també cercar quins han estat els resultats de les actuacions que s'han fet en el nostre entorn més proper per tal de veure quines línies d'actuació semblen més oportunes, quina és la inversió que comporten, quin és l'estalvi real que s'assoleix i, en conseqüència quins serien els períodes de retorn de les inversions i les diferents estratègies per a dur-les a terme.

Hem consultat els treballs de Desideri a la Toscana (Desideri, et al., 2002) que analitzen les possibles intervencions a realitzar en edificis escolars per a un ús racional de l'energia i que entre altres recullen:

- Intervencions en el pla elèctric: “*power factor correction*”, substitució de les lluminàries per altres d'alt rendiment;
- Intervencions en el sistema de calefacció: avaluar el sistema de generació de calor; millorar o incorporar aïllament tèrmic en els conductes; instal·lació de termòstats; control de la termoregulació interior eficient i diferents regulacions tèrmiques per a diferents espais;
- Intervencions en les envoltants dels edificis: aïllament en les parets exteriors; millora de les finestres;
- Intervencions en quant a gestió: amb optimització dels contractes amb les companyies subministradores, per exemple.

I evidentment avaluen econòmicament les actuacions (Net Present Value, NPV) relacionant diferents factors per tal de que el resultat sigui positiu, de manera que com més alt és el NPV més econòmicament viable és la intervenció, tot i que en escoles, donat que cal garantir el confort dels estudiants, es poden acceptar NPV lleugerament positius.

També en edificis públics de la Toscana treballen (Fiaschi, et al., 2011) que analitzen les diferents iniciatives que ha dut a terme el municipi de Certaldo per reduir el consum energètic i per integrar energies renovables en els seus edificis. Analitzades aquestes accions, s'ha comprovat que un 73% dels edificis han incorporat alguna mesura d'eficiència energètica en els darrers anys, essent el paquet

d'escoles i equipaments esportius el més representatiu (un 55% dels edificis que han estat objecte d'intervenció).

De les intervencions realitzades, un 18% ha consistit en la substitució de finestres; un altre 18% en la instal·lació de plaques fotovoltaïques; un 22% en la incorporació d'instal·lacions solars tèrmiques; un 13% en la inclusió dels edificis en el sistema de calefacció centralitzada per al districte; un 11% en la introducció de sistemes fred/calor per planta; 9% de les intervencions s'han centrat en actuacions sobre l'enllumenat públic; només un 4% en millores de l'aïllament en parets; i un 2% d'incorporació de sistemes de climatització a partir d'instal·lacions geotèrmiques.

També han incorporat en la seva recerca l'anàlisi de les intervencions mitjançant indicadors econòmics com el "*net present value*" (NPV); el "*payback time*" (PBT) i "*l'internal rate of return*" (IRR). A partir de la incorporació dels indicadors econòmics es va poder comprovar com, en el cas dels edificis estudiats, la substitució de finestres no era viable per l'elevat cost (entre 300/400 €/m<sup>2</sup> \* m<sup>2</sup> de finestres) envers el que significava intervenir sobre les parts opaques de les parets per tal de millorar el seu aïllament (50-60 €/m<sup>2</sup> \* m<sup>2</sup> de parets). Tot i que les reduccions de consums relacionades amb les pèrdues degudes a la ineficient pell de l'edifici es podien avaluar en un rang que va dels 22,2 kWh/m<sup>3</sup>/any en la zona 1 als 116,3 kWh/m<sup>3</sup>/any per a la zona 2, els períodes de retorn (PayBack Time PBT) eren massa llargs: més de 24 anys en alguns casos, que s'han de contemplar a més tenint en compte la vida útil dels edificis, ja que alguns d'ells ja havien superat els 50 anys.

Com podem comprovar, aquests autors consideren els retorns econòmics de les intervencions com a una eina de decisió a l'hora de proposar les possibles intervencions de millora, però com que no només es poden considerar les qüestions econòmiques quan es tracta d'edificis escolars, s'introdueix un indicador social (Social Return Of Investment SROI) que relaciona els estalvis energètics, i en conseqüència econòmics, amb programes socials d'anàlisi a partir de la col·laboració amb la fundació filantròpica REDF (THE Roberts Enterprise Development Fund) i diferents informes (Lingane A, 2004), (Mandel, 2010) i (Williams, et al., 2009). Aquest indicador incorpora per exemple els beneficis de la qualitat de l'aire interior dels edificis escolars i per tant la millora de l'aprenentatge, però encara s'utilitza poc perquè no hi ha un marc de processos establert (perquè està poc implementat, alguns beneficis són difícilment quantificables econòmicament, i per les diferències regulatòries entre administracions que poden proporcionar diferents resultats si s'apliquen en diferents països).



També hi ha experiències i treballs duts a terme per alguns investigadors que, per ser innovadores o poc experimentades en el nostre entorn més proper, hem considerat que mereixien ser contemplades per a la realització d'aquesta tesi. És el cas del projecte desenvolupat a Korea amb l'objectiu d'analitzar la incorporació de cobertes vegetals en edificis escolars com a mesura d'estalvi energètic (TaeHoon Hong, 2012), en el qual es proposen i simulen cobertes enjardinades en paral·lel a altres mesures de millora de l'eficiència energètica i després verifiquen l'amortització.

L'opció de les cobertes enjardinades es planteja per qüestions mediambientals: el ràtio de m<sup>2</sup> de parc o bosc urbà/persona és de 6,78 m<sup>2</sup>/persona de mitjana a les ciutats coreanes i 4,54 m<sup>2</sup>/persona a Seul, mentre que segons les recomanacions de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) haurien de ser 9 m<sup>2</sup>/persona. París disposa de 13 m<sup>2</sup>/persona, Nova York 23 m<sup>2</sup>/persona, Londres 27 m<sup>2</sup>/persona i Barcelona 10 m<sup>2</sup>/persona (segons bcn.cat estadística, Planejament urbanístic considera que la ciutat disposa d'un Parc forestal de 16.199.421 m<sup>2</sup> i una població de 1.621.537 a finals de 2010).

Els avantatges d'incorporar cobertes enjardinades en les ciutats són diversos:

- pel que fa a la millora ambiental urbana: alleugen l'efecte tèrmic d'illa de calor; redueixen els problemes deguts a pluges torrencials; purifiquen l'aire (emetent oxigen per absorció de CO<sub>2</sub> i partícules pesades de l'aire); i ajuden a mantenir la bio-diversitat.
- en termes de millora dels edificis: milloren el comportament tèrmic, redueixen les càrregues tèrmiques al bloquejar la incidència solar; aporten aïllament acústic a les cobertes i prevenen el deteriorament dels edificis.

En el cas dels autors coreans, ens ha semblat interessant: el criteri de selecció dels centres a estudi i l'anàlisi de les característiques de consums en els estudis de cas; l'estudi dels sistemes de coberta enjardinada, la relació amb els estalvis energètics associats i l'anàlisi dels efectes que les cobertes verdes suposen, en clau energètica, en combinació amb altres mesures d'estalvi energètic que s'han calculat mitjançant simulacions energètiques (amb el programa Energy Plus); l'anàlisi del Cost del Cicle de Vida (*Life Cycle Cost LCC*, i del carboni LCCO<sub>2</sub>) en cobertes verdes; i finalment quines mesures d'estalvi energètic són més apropiades per combinar-les amb la incorporació de cobertes verdes als edificis.

El criteri per triar les escoles s'ha fet prioritant: aquelles que estan localitzades en els districtes on sigui més urgent incorporar una coberta vegetal perquè els ratis de vegetació/persona són més baixos; en escoles que tinguin més de 20 anys; i a partir de la mitjana de consums, escollint aquelles escoles que tenien uns ratis de consums més allunyats a la mitjana de les escoles de Seul.

Després expliquen els criteris per a la tria de les solucions de cobertes enjardinades segons les transmitàncies U; les necessitats de plantació en quant a gruix de la base i manteniment de la vegetació; la captació de CO<sub>2</sub>; i si poden cuidar-les els nens. Amb tot decideixen quina coberta és la més apropiada per implantar a les escoles. Paral·lelament seleccionen les mesures que s'avaluaran conjuntament amb la proposta de coberta enjardinada, però que no consideraran la renovació dels sistemes de clima (HVAC) perquè té moltes variables i són difícils d'implementar durant les reformes dels edificis, mentre que sí es consideren les possibles millores a introduir en quant a l'aïllament de les parets, generació d'ombres, finestres i enllumenat.

Fan la combinatòria de mesures i coberta enjardinada (amb 16 escenaris diferents), i en tres climatologies: la de la regió on s'ubica el centre a estudi; el clima regional amb diferències de temperatura dràstiques entre l'estiu i l'hivern; i com que el programa Energy Plus no té registrades dades climàtiques de Seul, utilitzen les de ciutats japoneses amb condicions climàtiques similars. A partir de la interpretació dels resultats obtinguts, es desprèn: que allà on fa més calor, la mesura més eficient per reduir consums són les persianes més que l'aïllament; l'aïllament i el doble vidre comporten menys consum en calefacció; però la col·locació de LEDS pot portar més consum en calefacció perquè es redueix la càrrega interna.

I llavors fan les taules per veure els períodes de retorn econòmic i en CO<sub>2</sub> (*Lyfe Cycle Cost LCC*) tenint en compte que l'administració coreana finança la meitat del cost de la instal·lació de la coberta enjardinada. Avaluant els estalvis en electricitat, gas i emissions de CO<sub>2</sub>, i segons els diferents escenaris, les amortitzacions comencen als 27/28/29 mesos.

També ens semblen molt interessants les propostes de façanes vegetals en les que treballen des del Grup GREA (Pérez, et al., 2011a) i (Pérez, et al., 2011b), de la Universitat de Lleida, i amb els que col·laborem en alguns projectes d'eficiència energètica en edificació existent, i que de fet són una de les opcions que analitzem en els edificis escolars que hem utilitzat per a la realització d'aquesta tesi.



Fig. 12 Localització dels projectes que han col·laborat en l'elaboració de la guia "Sustainable energy technologies for schools". Font: el propi document

Pel que fa a la millora del rendiment dels sistemes i a la seva viabilitat, s'han mostrat amb prou èxit les intervencions realitzades en edificis escolars a Alemanya a partir d'involucrar a inversors externs (Berlo, et al., 2007). Aquesta experiència a la regió de Rhen-Westphalia en el marc de referència del "programa solar 100.000 watts" promogut pel Ministeri d'Economia, té com a objectiu la instal·lació de tecnologia solar (per produir 50W per estudiant) i la reducció de consum energètic en enllumenat (50 W per estudiant). Donat que algunes de les escoles incloses en el programa no havien assolit aquests objectius, es va anar un pas més enllà per tal d'actuar en aquests centres que havien mostrat dificultats per a complir amb el programa. Les tecnologies implementades per a reduir la despesa energètica en els edificis escolars han passat per:

- Instal·lar plantes d'energia fotovoltaica
- Sistemes d'enllumenat eficients amb controls d'encesa i "flicker-free lights"
- Millorar la distribució de la calor del sistema de calefacció
- Reorganitzar les tecnologies per a ventilació i control
- Implementar mesures per estalviar aigua.

Els autors consideren que la incorporació d'aïllament o de millora de les transmissibilitats en finestres és poc rentable si no es fa acompanyat d'altres mesures i si no es té previst fer una intervenció de rehabilitació, per la qual cosa proposen altres tres mesures:

- Millorar els sistemes de control de la ventilació i la calefacció, que és una mesura econòmicament molt rentable
- Calibrar correctament els radiadors i l'escalfament d'aigua per a calefacció
- I seguir l'eslògan "més llum amb menys *capacity*" consistent en introduir millores d'eficiència en l'enllumenat a partir de les innovacions tecnològiques del mercat com ara: substitució dels electromagnètics amb balasts electrònics; detectors de presència i sensors de llum, ja que amb aquestes mesures es poden arribar a estalvis del 60% i el 80% dels consums en il·luminació, el retorn econòmic és als volts de 10 anys i a més es redueixen els costos de manteniment.

L'experiència a més incorpora el concepte de l'eficiència energètica com a millora del confort i d'augment de la productivitat, per la qual cosa tothom guanya:

- Les escoles redueixen la seva factura energètica i aquest fet beneficia a l'administració
- Les ciutats que incorporen energia solar i noves tecnologies per a un ús racional de l'energia estan millor considerades
- Les escoles s'equipen amb enllumenats nous i més econòmics
- L'estudiantat i el professorat, així com els pares, aprenen a utilitzar acuradament l'energia i els recursos com l'aigua.
- S'involucra a inversors privats, que amb aquest tipus de projectes augmenten la seva identificació amb els objectius i també i no menys important, poden considerar els retorns econòmics d'un 5% a un 10% com a pràctiques que es consideren ètiques i conseqüents amb els seus objectius de recerca.
- Les emissions de CO<sub>2</sub> es redueixen un 80%, amb el que es contribueix de forma important a la protecció enfront el canvi climàtic.
- Per als inversors la participació en el projecte treballa al seu favor degut a que el preu de l'energia va pujant, amb la qual cosa, com més puja l'energia majors guanys.
- L'extensió de mesures solars i d'estalvi proporcionen un impacte positiu en l'economia municipal i la creació de llocs de treball.

La recerca en tecnologies i la incorporació d'empreses als projectes d'eficiència energètica en edificis públics també l'han dut a terme en el projecte de la Unió Europea BRITA in PuBs (2005), i del qual es recull la part en la que han participat 4 països nòrdics europeus centrant les seves experiències en edificis escolars en l'article de (Korsten et al.) (Engelund, et al., 2009). El més destacable o el pilar principal del projecte BRITA és l'exemple real assolit en 8 experiències en edificis públics de les 4 regions europees (Nord, Central, Sud i Est) (Fig. 13), d'estalvis en demanda energètica per calefacció, ventilació, i ACS, a més de la millora dels nivells de satisfacció dels usuaris i podríem destacar la conclusió a la que s'arriba en el projecte noruec: és necessari desenvolupar tecnologies innovadores i implicar en l'eficiència a inversors i consumidors.

Per acabar amb la documentació consultada per a la realització d'aquesta tesi en quant a la incorporació de tecnologies energètiques en edificis escolars, cal fer esment de la Guia "Sustainable energy technologies for schools", en la que han participat diversos països de la Unió Europea tot i que no hi ha participació espanyola (Fig. 12).

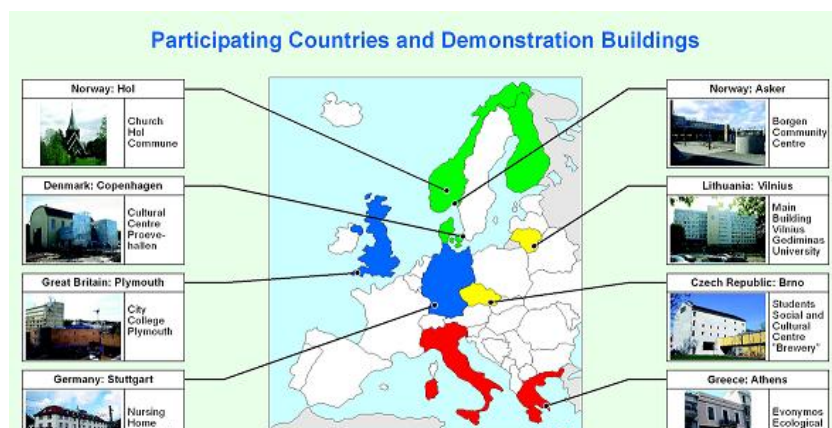


Fig. 13 Països participants en el projecte BRITA in PuBs. Font BRITA in PuBs

Aquesta guia, recull 22 projectes duts a terme, consistents bona part d'ells en intervencions realitzades sobre edificis existents i la resta són guies de disseny, estudis de l'impacte que suposa la intervenció en edificis escolars en la societat, o en anàlisi de les possibilitats de millorar la gestió d'edificis públics amb ocupacions intermitents. Cap dels projectes presentats fa una anàlisi a gran escala del parc escolar edificat, però la guia ofereix un llistat extens de les possibles tecnologies a aplicar, en general, per millorar l'eficiència energètica en edificis escolars, així com defineix els indicadors energètics, d'impacte ambiental i econòmics que s'han d'utilitzar per avaluar els projectes.

Fem un petit resum de 13 de les diferents actuacions per mostrar que la diversitat de propostes és àmplia, que les decisions de com intervenir s'han de prendre de manera individualitzada i que el compromís per part de tots els actors que intervenen en els projectes, administració, usuaris, gestors, industrials i inversors és el que permet assolir els objectius de manera satisfactòria.

*Escola secundària de Valongo do Vouga **Águeda (Portugal)***: ha incorporat sistemes d'aprofitament de la llum natural com lucernaris i conductes de llum, i elements de disseny solar passiu per gestionar les condicions de confort interiors, amb uns resultats de reducció dels consums en climatització del 50% (després de les millores han passat a uns consums de 32 kWh/m<sup>2</sup>/any quan la mitjana dels edificis escolars de la mateixa zona climàtica està en 64 kWh/m<sup>2</sup>/any), amb una inversió total d' 1.796.000 €.

*Escoles d'educació primària **Alcácer do Sal (Portugal)***: ubicades al sud del país, aquestes 20 escoles necessiten de sistemes de calefacció només uns 2 mesos a l'any, per la qual cosa s'han substituït els aparells existents de radiadors elèctrics per la incorporació de salamandres de biomassa. Els estalvis energètics assolits amb aquest programa han significat 223 200 kWh/any amb un estalvi econòmic de 20 958 €/any i un cost total de les intervencions de 24.100 €, el que significa un període de retorn de la inversió d'1,2 anys.

***Basisschool De Wonderboom Amersfoort Nieuwland*** (Països Baixos): s'han instal·lat plaques fotovoltaïques en tres escoles a partir de la implicació d'empreses externes que fan la instal·lació i recuperen la inversió a partir de l'energia que es genera. També s'ha intervingut en la millora dels aïllaments de l'envolupant, sistemes de gestió de la ventilació i s'han instal·lat calderes per a la climatització d'alt rendiment. Amb tot s'han assolit valors de consum de 76 kWh/m<sup>2</sup>/any (baixos per

a les condicions climàtiques de la zona) i la instal·lació fotovoltaica ha reduït el consum en electricitat al voltant de 8000 kWh/any. Aquesta intervenció està finançada en un 60% per organismes locals.

*Groupe scolaire Les Capucines Baigneux-les-Juifs (França)*: aquesta escola d'educació infantil i primària va incorporar mesures arquitectòniques en el projecte per tal d'aprofitar la llum natural i gestionar les condicions climàtiques amb els següents resultats: un consum en calefacció de 50 kWh/m<sup>2</sup>/any a partir d'una inversió de 148 €/m<sup>2</sup> de superfície calefactada, amb un període de retorn de la inversió d'11/13 anys.

*Primary school Cassop (Regne Unit)*: aquesta escola, construïda l'any 1912 amb parets de maó ceràmic, va ser objecte de diverses intervencions al seu interior per tal de millorar les condicions de confort com baixar sostres, incorporar sistemes d'enllumenat eficients, i a més té reputació de ser una escola que treballa els aspectes mediambientals i involucra a l'estudiantat i professorat de manera molt activa. Donada la idoneïtat de la zona en la que es troba, es va instal·lar una turbina eòlica com a font d'energia renovable. Els resultats són: unes emissions associades de CO<sub>2</sub> de 25 tones/any quan la mitjana de les escoles similars està en 60 tones, el que significa una reducció del 41%. La inversió va ser de 182.540 € dels quals 34.650 € els va aportar la companyia Northern Electric and Gas, que també va finançar amb 3.175 € (dels 15.875 € cost total) el panell interactiu que manté informada a la comunitat de les qüestions energètiques de l'escola, i la resta la va sufragar l'Ajuntament de Durham County.

*Escola secundària de Crato (Portugal)*: l'escola, construïda l'any 1988 amb sistemes de tancament tradicionals va ser objecte d'una intervenció l'any 1996 per tal de millorar les condicions climàtiques a l'interior mitjançant sistemes passius de ventilació i de preescalfament de l'aire a l'hivern. Amb una inversió de 603.000 € s'ha aconseguit un consum de 33 kWh/m<sup>2</sup>/any a l'hivern, que comparat amb els 67 kWh/m<sup>2</sup>/any de mitjana de les escoles de la regió, significa uns estalvis energètics del 51%.

*Escola d'educació primària a Dickleburgh (Regne Unit)*: aquesta escola ja va ser construïda l'any 1985 amb uns tancaments altament eficients en parets i sostres. Donada la seva ubicació en l'àmbit rural, el que impossibilitava l'ús de gas per als sistemes de calefacció i per tant calia proporcionar el confort mitjançant recursos elèctrics, es va optar per aprofitar l'energia geotèrmica per preescalfar l'aigua de la instal·lació. Aquestes mesures han significat un consum de 80kWh/m<sup>2</sup>/any que,

comparat amb la mitjana de 180 kWh/m<sup>2</sup>/any de les escoles similars, significa uns estalvis del 56%, amb una inversió de 9 450 € (preus de 1984).

*Joseph Swan comprehensive school* **Gateshead (Regne Unit)**: l'escola, construïda l'any 1963 va ser objecte d'una intervenció consistent en millorar l'aïllament de les parets, i la incorporació d'un atri de llum que permet escalfar tots els espais de l'escola i aportar llum natural. A més es va complementar la instal·lació de calefacció amb calderes de gas d'alta eficiència amb la qual cosa s'ha aconseguit un consum en calefacció i escalfament de l'aigua de 108 kWh/m<sup>2</sup>/any comparat amb els 177 kWh/m<sup>2</sup>/any d'altres escoles similars, el que equival a uns estalvis de consum energètic del 40%. El pressupost d'execució de l'escola, incloses les reformes, ha estat de 9.794.000 €, similar al que han costat altres projectes escolars promoguts pel mateix ajuntament.

*Jändelskolan* **Karlskrona (Suècia)**: aquesta escola d'educació secundària, construïda l'any 1966, va ser objecte d'una reforma l'any 1995 que va consistir en afegir unes cobertes inclinades sobre les cobertes planes existents i crear una càmera d'aire i un espai per al pas de conductes de ventilació. Es van incorporar sistemes d'iluminació i de ventilació d'alta eficiència, i es van substituir les finestres per unes d'altres prestacions tèrmiques amb proteccions solars per evitar els sobrecalfaments. Amb aquesta actuació, els requeriments energètics per a calefacció van passar de 210 kWh/m<sup>2</sup>/any als prop de 94 kWh/m<sup>2</sup>/any, amb un estalvi del 55%. El consum en electricitat també s'ha reduït en un 20% tot i que s'ha vist incrementat l'ús i el nombre d'equips informàtics. Al marge de la reducció del cost energètic, els treballs de rehabilitació han proporcionat al municipi una nova escola per als propers 30 anys i major confort als usuaris del centre. El cost de la intervenció va ser al voltant dels 2 000 000 €, el període de retorn de les millores en il·luminació ha estat de 4 anys i el sistema de climatització i ventilació actual és més econòmic que els tradicionals, amb la qual cosa s'han reduït els costos energètics en 40 000 €.

*Beech Hill special school* **Mansfield (Regne Unit)**: aquesta escola disposa de mòduls prefabricats utilitzats com a aules, que tot i que havien de ser una solució temporal s'ha allargat en el temps. Aquests mòduls es climatitzen amb medis elèctrics, ja que són sistemes econòmics i fàcils de controlar però energèticament són molt poc adequats, per la qual cosa es va proposar una intervenció consistent en petites mesures de millora com la instal·lació de reguladors de temperatura i detectors de presència en els mòduls. També es van substituir les bombetes tradicionals per altres de baix consum

en aules i passadissos, amb un cost de 795 € que van significar una reducció de consum de 7 535 kWh/any el que equival al 3% de la facturació, mentre que la intervenció en la millora dels sistemes de climatització va costar 635 € però en el moment de la publicació no s'havien verificat els estalvis aconseguits.

*Centre infantil a Mértola (Portugal)*: Aquesta petita escola de 669 m<sup>2</sup> ja va ser dissenyada en el seu moment (any 1982) amb mesures passives de control de la incidència solar per aprofitar les condicions climàtiques: una bona orientació, murs trombé que funcionen com a espais hivernacle, elements de protecció solar tradicional, plantació de vegetació per proporcionar ombres i bons aïllaments en parets, sostres i soleres. Aquestes mesures permeten que l'escola tingui una despesa energètica en calefacció de 18 kWh/m<sup>2</sup>/any que, comparat amb els 61 kWh/m<sup>2</sup>/any de mitjana de consums de les escoles tradicionals de l'entorn, significa uns estalvis energètics del 70%.

*Escola d'educació primària a Redondo (Portugal)*: l'escola es troba a l'Alentejo, una zona amb climatologia temperada i en la qual la producció de vi és la principal indústria. Per aquest motiu es va proposar substituir el sistema de radiadors elèctrics existent per un sistema centralitzat amb una caldera de biomassa que s'alimentés dels residus agrícoles de la zona. En comparació amb el consum que generaven els radiadors elèctrics de 114 550 kWh/any, el nou sistema proporciona uns estalvis valorats en 1.900 € anuals. Donat que el cost de la instal·lació va ser de 31 517 € (finançats al 70% per el Programa Valoren de la Unió Europea) el període de retorn sense el finançament econòmic es produeix en 5,5 anys.

*Grund und Hauptschule Stuttgart-Plieningen (Alemanya)*; aquesta escola d'educació primària i secundària va ser objecte d'una rehabilitació integral, ja que els edificis dataven de 1930, 1950 i 1960 i presentava molts problemes per manca d'aïllament en l'envolupant dels diferents edificis, problemes d'enllumenat insuficient i d'enlluernaments per l'entrada de llum natural, instal·lacions de climatització obsoletes que a més donaven servei a l'habitatge del cap de manteniment i en conseqüència l'escola mantenia la calefacció encesa fins i tot en períodes no lectius. Com que s'havia de dur a terme una intervenció de gran abast, es van incorporar aïllaments en els tancaments verticals a l'interior o per l'exterior segons les exigències de conservació patrimonials, les cobertes es van aïllar per l'exterior i l'interior amb la participació d'estudiantat del centre, es van substituir les lluminàries, es van pintar els espais interiors de colors clars, i es van instal·lar panells radiants a més de substituir



les finestres, que eren de fusta. Amb una inversió total de 3.100.000 € finançats per diferents administracions i la implicació dels industrials, les millores han suposat una reducció energètica de la demanda per a calefacció dels 200 kWh/m<sup>2</sup>/any, abans de la intervenció, a 58 kWh/m<sup>2</sup>/any actualment, el que significa un marge d'estalvi del 72%. Així mateix, l'electricitat consumida actualment en enllumenat és de 14 kWh/m<sup>2</sup>/any quan abans anava dels 11 al 20 kWh/m<sup>2</sup>/any, el que significa un estalvi del 10%.

#### 4.9 Ús, gestió d'edificis i responsabilitat dels usuaris

Finalment i ha una corrent d'autors i projectes que treballen en eficiència energètica a partir de millores en l'ús i la gestió dels edificis amb actuacions que passen per involucrar als usuaris dels centres escolars, estudiantat, professorat i gestors; per potenciar la figura dels gestors energètics, la formació dels caps de manteniment en aspectes ambientals; i també, en fer difusió dels objectius assolits i utilitzar les pràctiques sostenibilistes com a part dels continguts curriculars dels centres, especialment els d'educació secundària i superior.

En aquesta línia es troben els treballs duts a terme des de la Universitat de Texas, ja citats anteriorment (Claridge, et al.) i que mostren les diferents actuacions que, des de 1973, han aplicat en els diferents edificis de la Universitat a partir del que anomenen "Operació i Manteniment" (O&M) i que són mesures que es poden implementar a cost 0 o molt baix, accions ja assajades anteriorment i comprovades en edificis comercials, i que passen per una aposta decidida per la monitorització dels edificis, ja que és una mesura que permet comprovar molt ràpid l'eficiència de les accions que es duen a terme

Aquest tipus d'actuacions com apagar llums i aparells quan sigui possible, utilitzar adequadament les temperatures de consigna, plantejar estratègies per a un ús eficient dels sistemes, no acostumen a ser de difícil implantació i tenen a veure, bàsicament amb el sentit comú. De l'experiència duta a terme en els tres edificis universitaris del Camp de Dallas, extreuen el següent:

- El què han après: que hi ha moltes solucions, variables i oportunitats i per tant no es pot oferir un llibre de “receptes”;
- Tenir dades dels consums és importantíssim com a eina per identificar els candidats en els que cal intervenir; i tenir monitoritzat permet saber ràpidament si han sortit efecte les mesures;
- Els enginyers en instal·lacions i els caps de manteniment són uns participants crucials en les mesures d'Operació i Manteniment, així com disposar d'un consultor en O&M pot ser molt efectiu i es poden establir incentius per a que participin abans de començar a plantejar projectes d'intervenció i millora;
- L'anàlisi i els informes s'han de fer de manera particularitzada segons les necessitats i exigències de cada edifici.

La majoria de les millores dutes a terme han significat rellevants estalvis energètics que, a més, han tingut períodes de retorn de les inversions al voltant dels tres anys.

Tot i que hi ha veus que aposten per la “domotització” dels edificis i fins i tot per externalitzar-ne la gestió, instruir, conscienciar i implicar des de l'inici a la comunitat en qualsevol procés d'optimització dels recursos és quasi bé una garantia d'èxit, del qual a la fi, a més se'n sentiran partícips. En el cas dels habitatges, per exemple, hi ha dades a Alemanya que mostren com el consum energètic per a climatització ha baixat un 15% entre 2002 i 2010 en les llars, només que a partir de canvis actitudinals en els usuaris (Sunikka, et al., 2012). Val a dir que Alemanya s'ha mostrat com a un país capdavanter en polítiques d'estalvi energètic i, per tant, és considerat com a un país que pot servir de model per a altres. Els consums molt per sota o molt per sobre de les mitjanes, tant en l'àmbit dels edificis d'habitatges com en els de serveis s'han d'estudiar des d'aquesta perspectiva i no menystenir les actituds dels usuaris.

Hi ha una extensa literatura (Ruiz, 2009), (López Plazas, 2006) que deixa bastant clar que el comportament dels usuaris és tan important que, en algunes actuacions s'ha comprovat com les millores introduïdes en eficiència energètica no donen per si soles els resultats esperats precisament pel comportament dels usuaris i per tant també és important diferenciar els consums associats a qüestions purament climàtiques (inevitables i intrínseques) als consums relacionats amb el funcionament dels edificis (relacionades amb els comportaments dels usuaris).

Per tant, cal sensibilitzar i informar als usuaris per a que sàpiguen que reduir en consums energètics és positiu per a la comunitat en tots els aspectes. En aquesta línia treballen als EUA en un estudi sobre diferents edificis públics en els que, en principi, els beneficis econòmics que comportaven les intervencions de millora dels edificis existents no compensaven els costos de les intervencions (períodes de retorn massa llargs) (Hallinan, et al., 2012), i en canvi es va veure que sí eren efectives actuacions com premiar econòmicament la reducció de consums, que s'aconseguia a partir d'informar i fer entendre als usuaris el seu paper en l'ús i gestió dels sistemes per reduir la despesa. Cal conèixer la comunitat que fa ús dels edificis, les seves percepcions, recollir la informació individual que disposen i explicar què poden fer, com i quan, ja que, en general, els ocupants no saben què fer per reduir consums i, finalment fer-los actuar. Corresponsabilitzar als grups socials només té que avantatges.

En els treballs de (Hallinan, et al., 2012) els tipus d'edificis en els que treballen són universitaris, amb comunitats especialment motivades per viure d'una manera més sostenible, i també per qüestions econòmiques (si es redueix la despesa en consums de recursos es pot augmentar la inversió en altres partides relacionades amb la qualitat de la docència). En aquesta experiència, s'han verificat els estalvis aconseguits en 5 anys deguts als canvis en el comportament dels usuaris o a la millora dels equipaments. En calefacció, el comportament dels usuaris ha significat una reducció dels consums del 20%; en consum d'aigua el 100% de l'estalvi assolit ha estat per canvis actitudinals; en refrigeració el 55%; i en enllumenat i maquinari el 45%, la qual cosa significa que quasi la meitat de l'estalvi prové del compromís de la comunitat. Per contra, també es va comprovar com els consums de recursos van en augment any rere any, un factor que no és adjudicable, evidentment, a les possibles incidències del rigor climàtic.

Altres treballs realitzats en tres escoles del districte de Madeira (EUA) (Madeira City Schools. Planning Commission, 2009), han consistit en llistar les actituds i situacions que funcionen bé i les que no: per exemple la despesa energètica que signifiquen les màquines expenedores de begudes i menjar, que no s'apaguen durant la nit ni els cap de setmana per mantenir en bon estat els seus continguts i que és un consum que no millora la qualitat docent; o les renovacions que s'han fet en il·luminació substituint les lluminàries existents per fluorescents d'alt rendiment però en canvi no s'han sectoritzat els circuits de les enceses; o l'existència de conductes de climatització sense aïllament, etc.

En aquests estudis també s'ha analitzat l'ús dels edificis al llarg de l'any: dies de l'any amb ocupació plena, les activitats extra-escolars que s'hi realitzen, els usos de les diferents àrees, les temperatures de consigna, els protocols d'encesa i apagada, etc.

I també s'ha fet enquestes al professorat per tal de saber, per exemple, si apaguen els ordinadors quan deixen de treballar, si apaguen les llums o els projectors quan acaben el dia o quan surten de les classes per més de 5 minuts, si tenen l'ordinador en funció "hivernació" si el deixen per més de 15 min; i si reciclen o reutilitzen. L'estudi també detecta algunes accions que podrien dur a terme des de la direcció del centre com: sensibilitzar a l'estudiantat a anar vestit en concordança amb l'època de l'any; posar interruptors per apagar alguns aparells; celebrar un dia de l'estalvi energètic; reduir les temperatures de l'aigua calenta sanitària dos graus; i reutilitzar els llibres d'un curs a l'altre, etc. I també introdueixen un programa per incorporar activitats curriculars en la formació escolar segons el curs en el que estan.

Finalment analitzen amb indicadors els consums associats a les tres escoles i el % d'energia que gasten en diferents usos.

Hi ha una altra qüestió important que fa referència a les factures: donat que el sistema de facturació té dues variants, el que es cobra directament pel consum i la potència de contractació, que va en funció del moment "pic" del consum, es pot plantejar la discussió sobre la manera de facturar de les companyies tenint en compte els dies de l'any en que no hi ha pics de consum, sobretot a l'estiu, i re-negociar els conceptes.

Amb tot, la llista d'accions que aquests autors proposen per tal de reduir els consums de recursos son:

- Apagar els llums quan no s'ocupen els espais
- Incorporar detectors de presència per a il·luminació
- Utilitzar una il·luminació mínima en horari no lectiu
- Apagar impressores i perifèrics quan no estan en ús.
- Apagar o reduir l'escalfament de l'aigua per les nits o en aquells períodes de poc ús
- Retirar escalfadors i refrigeradors de les aules
- Ajustar les temperatures de consigna a 20°C a l'hivern i 24,5°C a l'estiu

- Instal·lar sistemes d'apagada automàtics a les màquines de “vending” (que haurien de sufragar els subministradors)
- Concentrar les activitats extraescolars en una zona dels edificis
- Enviar una carta als pares per a que encoratgin als fills a vestir segons l'època de l'any
- Realitzar auditories energètiques i controls

Hi ha altres idees proposades en aquest estudi que s'han de contemplar amb certa distància donades les diferències estructurals entre les prestacions escolars dels EUA i les del nostre entorn més proper, per exemple la setmana escolar de 4 dies (que a més redueix el consum associat al transport), millorar el sistema de transport escolar, gestionar les aules d'acollida, i qüestions relacionades amb els menjadors escolars.

Per tal de reduir la despesa en il·luminació, també proposen estratègies de co-responsabilització amb els usuaris (Nicklas, et al., 1996): esforçar-se en reduir el consum en lluminàries durant les hores diürnes prevenint amb els estudiants i mestres; que els estudiants puguin gestionar pujar i baixar persianes i les estratègies d'ús de la llum diürna; eliminar l'entrada de llum directa, ja que si la llum molesta al mestre aquest bloqueja l'entrada de llum; minimitzar els contrastes entre espais; buscar la manera d'ombrejar les pantalles o fer fosques les àrees de projecció sense haver d'apagar el llum de tota la classe; utilitzar diferents enllumenats i estratègies d'encesa entre la zona d'estudiants i la del professor, etc.

Finalment pel que fa a la gestió i ús dels edificis i dels recursos energètics, hi ha un tercer pilar clau que és la disseminació dels projectes exitosos. Així ho consideren des del projecte BRITA in PuBs (Engelund, et al., 2009) que han treballat en diferents edificis i que han desenvolupat una web que ofereix des d'un mòdul d'aprenentatge en línia a un taulell de fitxes i cursos d'entrenament per als gestors. També cal publicar els treballs de recerca en diferents suports, seminaris i articles i donar a conèixer les experiències que s'han mostrat eficients per tal de motivar als responsables i esperonar noves comunitats i gestors en la millora del parc escolar edificat.

## Taula de figures

Fig. 1 Valors promig de les transmissibilitats tèrmiques de diferents solucions de façana, en edificis de Grècia, segons l'any de construcció. Font DATAMINE .....	86
Fig. 2 En el cas dels edificis municipals estudiats a Bulgària, les tendències de consums relacionades amb l'any de construcció de l'edifici mostren comportament diferenciats. Font DATAMINE .....	86
Fig. 3 Taula amb el nombre d'edificis estudiats al projecte DATAMINE, segons els usos a que estan destinats. Font DATAMINE .....	87
Fig. 4 Recollida bàsica de dades i representació esquemàtica dels conceptes estudiats. Font REDUCE .....	88
Fig. 5 Gràfic d'identificació d'edificis estudiats segons usos.....	89
Fig. 6 Radiació global en el pla horitzontal promig durant 10 anys. Font: Atlas de Radiación Solar Europeo (ESRA).....	92
Fig. 7 Mapa de les 48 regions socio-ecològiques europees derivades de la intersecció entre Zones Ambientals i densitat econòmica. (Metzger, et al., 2010) .....	93
Fig. 8 Distribució del mercat Solar Tèrmic per països de la UE. Font: (European Solar Thermal Industry Federation).....	94
Fig. 9 Taula d'actuacions sobre diferents escoles gregues i estimació de reducció de consums. Font: (Balaras CA, 2007) .....	95
Fig. 10 Importància relativa de cada variable de disseny segons (Perez, et al., 2009).....	106
Fig. 11 Exergía i energia a través dels components. Font: (Jiménez del Amo, et al., 2013).....	113
Fig. 12 Localització dels projectes que han col·laborat en l'elaboració de la guia "Sustainable energy technologies for schools". Font: el propi document.....	122
Fig. 13 Països participants en el projecte BRITA in PuBs. Font BRITA in PuBs .....	124



## Bibliografia

**American Speech-Language-Hearing Association (ASHA)** Guidelines for addressing acoustics in educational settings [Informe]. - Rockville : ASHA, 2003.

**Arbolino R. i Rostirolla P.** Impact evaluation of creative city policies [Revista] // International Journal of Sustainable Development. - [s.l.] : Inderscience Publishers, 2010. - 1-2 : Vol. 13. - p. 31-44..

**Balaras CA. [et al.]** European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - Vol. 42. - p. 1298-1314.

**Berlo K. i Seifried D.** Successful energy efficient building renovation at state schools [Conferència] // eceee 2007 Summer Study proceedings. Saving Energy – Just do it!. - [s.l.] : ECEEE, 2007. - ISBN: 978-91-633-0899-4.

**Bosch M. i R.Cantalapiedra I.** Eficiencia energética y reducción de consumos en edificios universitarios. El caso de la Universidad Politécnica de Catalunya [Conferència]. - Donosti, España : III European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning, 2012.

**Bosch M. i R.Cantalapiedra I.** Final architecture diploma projects is the analysis of the UPC buildings energy performance [Conferència]. - Tallin, Estonia : The Sustainable CITY 2006 Wessex Institute of Technology, 2006e.

BRITA in PuBs [En línia]. - 2005. - 20 / agost / 2013. - <http://www.brita-in-pubs.eu/>.

**Bunyesc J.** Criteris constructius, energètics i ambientals per intervenir o rehabilitar en zones rurals o de muntanya a partir de l'estudi comparatiu de l'arquitectura tradicional al Pirineu Occidental català i els Alps suïssos. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2013. - Tesi Doctoral. - <http://hdl.handle.net/10803/117781>.



**Butala V. i Novak P.** Energy consumption and potential energy savings in old school buildings [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 1999. - 29. - p. 241-246.

**Cabeza LF. [et al.]** Thermal energy storage with phase change materials in building envelopes [Revista] = 501-510 // Contributions to Science / ed. Tecnologia Institut d'Estudis Catalans. Secció de Ciències i. - 2007. - 4 : Vol. 3. - Reproducció del document publicat a <http://dx.doi.org/10.2436/20.7010.01.26>. - 1575-6343.

**Capobianchi S. [et al.]**. Methodology development for a comprehensive and cost-effective energy management in public administrations. [Conferència] // 4th Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES) / ed. Ngamroo I.. - Phuket, Thailand : [s.n.], 2010.

**Chantrelle F. [et al.]** Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings. [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2011. - Vol. 88. - p. 1386-1394.

**Claridge DE. [et al.]** Can you achieve 150% of predicted retrofit savings? Is it time for recommissioning? [Revista]. - Texas : [s.n.].

**Colom A.J. [et al.]** Teoría e instituciones contemporáneas de la educación [Llibre]. - Barcelona : Ariel S.A., 2005. - 84-344-2650-1.

**Corgnati S.P., Corrado V. i Filippi M.** A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - Vol. 40. - p. 801-809.

**Dascalaki EG. [et al.]** Data collection and analysis of the building stock and the energy performance- An exemple for Hellenic buildings [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - 42. - p. 1231-1237.

**DATAMINE** Collecting DATA from Energy Certification to Monitor Performance Indicators for New and Existing buildings [En línia]. - 2006. - 24 / juny / 2011. - [www.meteo.noa.gr/datamine](http://www.meteo.noa.gr/datamine).

**Desideri U i Proietti S.** Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2002. - 34. - p. 1003-1016.

**Dimoudi A. i Kostarela P.** Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece [Revista] // Renewable Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2009. - 34. - p. 289-296.

**Diputació de Barcelona** Euronet 50/50 [En línia]. - 2009. - 27 / març / 2011. - <http://www.euronet50-50.eu/>.

**Engelund K., Mork O. i Buvik K.** Innovative retrofit to improve energy efficiency in public buildings [Conferència] // ECEEE 2009 Summer Study. Act! Innovate! Deliver! Reducing Energy Demand. - 2009. - p. 907-918. - ISBN: 978-91-633-4454-1.

**European Solar Thermal Industry Federation** Solar Thermal Markets in Europe - Trends and market statistics 2013 [En línia]. - European Solar Thermal Industry Federation, 2013. - 30 / març / 2015. - [http://www.estif.org/statistics/st\\_markets\\_in\\_europe\\_2013/](http://www.estif.org/statistics/st_markets_in_europe_2013/).

**Farrenya R. [et al.]** Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain [Revista] // Water Research. - [s.l.] : Elsevier, Maig / 2011. - 10 : Vol. 45. - p. 3245-3254.

**Fiaschi D., Bandinelli R. i Conti S.** A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2011. - 97. - p. 101-114.

**Filippin C.** Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Pergamon, 2000. - 35. - p. 407-414.

**Fraunhofer Institute for Building Physics** IEA ECBCS Annex 36 - Retrofitting of Educational Buildings- REDUCE [En línia]. - 2004. - 20 / juny / 2013. - <http://www.annex36.com/>.

**Gaitani N. [et al.]** Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - 87. - p. 2079-2086.

**Graça VACD, Kowaltowski DCCK i Petreche JRD** An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school

system of the State São Paulo in Brazil [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - 42. - p. 984-999.

**Graça VACD. i Kowaltowski DCCK.** Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério [Revista]. - Porto Alegre : Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004. - 3 : Vol. 4. - p. 19-35.

**Hallinan K. [et al.]** Energy information augmented Community-Based energy reduction [Revista] // Sustainability. - Basel : MDPI, 2012. - 4. - p. 1371-1396. - DOI: 10.3390/su4071371.

**Hernández P., Burke K. i Lewis JO** Development of energy performance benchmarks and building energy ratings non-domestic buildings: An example for Irish primary schools [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - 40. - p. 249-254.

**Jiménez del Amo E. i R. Cantalapiedra I.** Rehabilitación energética en el CEIP General Prim con estudio exergético. - Barcelona : UPC, 2013. - Bachelor Thesis. - <http://hdl.handle.net/2099.1/19820>.

**Kats G.** Greening Americas's Schools- Cost and Benefits [En línia]. - 9 / febrer / 2009. - 15 / juliol / 2013. - <http://www.cap-e.com/ewebeditpro/items/O59F9819.pdf>.

**Kayihan K. i Tönük S.** A study of litter and waste management policies at (primary) eco-schools in Istanbul [Revista] // Waste Management & Research. - [s.l.] : SAGE, 15 / dezembro / 2010. - p. 80-88. - DOI: 10.17177/0734242X10389106.

**Kolokotroni M. [et al.]** An investigation of passive ventilation cooling and control strategies for an educational building [Revista] // Applied Thermal Engineering. - [s.l.] : Pergamon, 2001. - 21. - p. 183-199.

**Lingane A Olsen S** Guidelines for social return on investment [Informe]. - [s.l.] : Calif Manage Rev., 2004.

**López Plazas F.** Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación. Una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios.. -

Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2006. - Tesi Doctoral. - <http://hdl.handle.net/10803/6122>.

**Lozano MA., et al.** Structure optimization of energy supply systems in tertiary sector buildings [Revista] // Energy and Buildings . - 2009. - Vol. 41.10. - p. 1063-1075.

**Ma X. [et al.]** Supervisor and energy management systems of large public buildings. [Conferència] // IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). - 2010.

**Ma Y. [et al.]** Study on power energy consumption model for large-scale public building. [Conferència] // Proceedings 2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications. - 2010.

**Machado M., Brito C i Neila J.** La cubierta ecológica como material de construcción [Revista] // Informes de la construcción. - Madrid : [s.n.], 2000. - 467 : Vol. 52. - p. 15-29.

**Madeira City Schools. Planning Commission** Energy Efficiency for Cost Savings [Informe]. - Madeira (Portugal) : [s.n.], 2009.

**Mandel** Towards a reen economics approach to cost-benefit analysis [Informe]. - [s.l.] : Int J Green Econ, 2010.

**Marincic I.** Respuestas térmicas dinámicas en edificios: control térmico a través de la climatización natural. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2006. - <http://hdl.handle.net/10803/6118>.

**Martani C. [et al.]** ENERNET: Studying the dynamic relationship between building occupancy and energy consumption [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 47. - p. 584-591.

**Masoso O.T. i Grobler L.J.** The dark side of occupants' behaviour on building energy use [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - Vol. 42. - p. 173-177.

**Massimo D.E.** Valuation of urban sustainability and building energy efficiency: A case study [Revista] // International Journal of Sustainable Development. - 2009. - 2-4 : Vol. 12. - p. 223-247.

**Mata É., López F. i Cuchí A.** Optimization of the management of building stocks: An example of the application of managing heating systems in university buildings in Spain [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2009. - 41. - p. 1334-1346.

**Metha M., Johnson J. i Rosafort J.** Architectural acoustics: principles and design [Llibre]. - [s.l.] : Englewood Cliffs, 1999.

**Metzger M.J. [et al.]** An assessment of long term ecosystem research activities across European socio-ecological gradients [Revista] // Journal of Environmental Management. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - Vol. 91. - p. 1357-1365. - DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.02.017.

**Nicklas M. i Atre U.** Comparison of daylight strategies for schools [Informe]. - Raleigh : Innovative Design, Inc., 1996.

**Oldewurtel F. [et al.]** Building Control Storage Management with Dynamic Tariffs for Shaping Demand Response [Conferència]. - [s.l.] : Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, 2011.

**Olson SL. i Kellum S.** The impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools [Informe]. - [s.l.] : Leonardo Academy Inc, 2003.

**Pagès A.** Caracterització del sector de l'edificació des del punt de vista de les emissions de gasos d'efecte hivernacle. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2012. - Tesi Doctoral. - <http://hdl.handle.net/10803/81468>.

**Panayiotou G.P. [et al.]** The characteristics and the energy behaviour of the residential building stock of Cyprus in view of Directive 2002/91/EC [Revista] // Energy and Buildings. - 2010. - 11 : Vol. vol. 42. - p. 2083-2089.

**Paris B. [et al.]** Heating control schemes for energy management in buildings [Revista] // Energy and Buildings. - 2010. - 10 : Vol. 42. - p. 1908-1917.

**Pérez G. [et al.]** Behaviour of green facades in Mediterranean Continental Climate [Revista]. - [s.l.] : Elsevier, 2011a. - 52. - p. 1861-1867.

**Pérez G. [et al.]** Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2011b. - 88. - p. 4854-4859.

**Pérez G.** Façanes vegetades. Estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental // 2010. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya. - <http://hdl.handle.net/10803/6144>.

**Perez YV i Capeluto IG** Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2009. - 86. - p. 340-348.

**Pérez-Lombard L. [et al.]** Constructing HVCA energy efficiency indicators [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - Vol. 47. - p. 619-629.

**Pérez-Lombard L.** A review of HVAC systems requirements in building energy regulations [Revista] // Energy and Buildings. - 2010.

**Pons O.** Arquitectura esclar prefabricada a Catalunya. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2009. - <http://hdl.handle.net/10803/6133>.

**Poputoaia D. i Bouzarovski S.** Regulating district heating in Romania: Legislative challenges and energy efficiency barriers [Revista] // Energy Policy. - 2010. - 7 : Vol. 38. - p. 3820-3829.

**R. Cantalapiedra I., Bosch M. i López F.** Involvement of final architecture diploma projects in the analysis of the UPC buildings energy performance as a way of teaching practical sustainability [Revista] // Journal of Cleaner Production.. - [s.l.] : Elsevier, 2006a. - 9-11 : Vol. 14. - p. 958-962.

**R.Cantalapiedra I. i Bosch González M.** Análisi de la eficiència energètica de edificios públicos universitarios en el proyecto final de carrera de Arquitectura Técnica [Conferència]. - Varadero, Cuba : IV Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética. Universidad de Matanzas, 2006b.

**Ruiz G.** Bases per a la recerca en reducció d'emissions de CO2 en edificació des de la perspectiva dels "edificis vius". - Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2009. - Master thesis. - <http://hdl.handle.net/2099.1/9951>.

**Russell L. i Hinnells M.** Transforming UK non-residential buildings: achieving a 60% cut in CO2 emissions by 2050 [Conferència] // ECEEE 2007 Summer Study. Saving Energy - Just do it!. - 2007. - p. 1001-1104. - ISBN: 978-91-633-0899-4.

**Sait HH** Auditing an analysis of energy consumption of an educational building in hot and humid area [Revista] // Energy Conversion and Management. - [s.l.] : Elsevier, 2013. - 66. - p. 143-152.

**Salat S. i Nowacki C.** The Mediterranean urban development: a Lesson of sustainability for the world [Revista] // International Journal of Sustainable Development. - 2011. - 1-2 : Vol. 14. - p. 3-15.

**Santamouris M Mihalakakou G, Patargias P, Gaitani, N i Sfakianaki K Papaglastra M, Pavlou C, Doukas P, Primikiri, Geros V, Assimakopoulos MN, Mitoula R, Zeferos S** Using intelligent clustering techniques to classify the energy performances of school buildings [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - 39. - p. 45-51.

**Schmidt D** Methodology for the modelling of thermally activated building components in low exergy design.. - Stockholm : Bygghvetenskap, 2004. - Doctoral dissertation.

**Schmidt D.** Designing Low-“Exergy” Buildings. Proceedings of the 7th Nordic [Conferència]. - 2005.

**Schmidt D. i Ala-Juusela M.** Low Exergy Systems for heating and cooling of buildings [Conferència]. - Eindhoven, The Netherlands : The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2004.

**Schneider M.** Do School Facilities Affect Academic Outcomes? [Informe]. - Washington : Education Resources Information Center, ERIC, 2002. - ED470979.

**Shimoda [et al.]** Database and simulation model development for modelling the energy use of non-residential buildings [Conferència] // Eleventh International IBPSA Conference. - Glasgow : Building Simulation 2009, 2009.

**Sunikka M. i Galvin BR** Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption [Revista] // Building Research & Information. - [s.l.] : Tandfonline, 01 / juny / 2012. - Vol. 40:3. - p. 260-273.

**Suntaxi Pichuasamin JA.** Diseño y construcción de un prototipo portátil de monitoreo ambiental, mediante un sistema autónomo de adquisición de datos portátil con comunicación USB hacia un PC // Repositorio Digital EPN. - 2015. - <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9078>.

**Taehoon H., Choongwan K. i Kwangbok J.** A decision support model for reducing electric energy consumption in elementary school facilities [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2012.

**TaeHoon H., JiMin K. i ChoongWan K.** LCC and LCCO2 analysis of green roofs in elementary schools with energy saving measures [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 45. - p. 229-239.

**Theodoridou I. [et al.]** Assessment of retrofitting measures and solar systems' potential in urban areas using Geographical Information Systems: Application to a Mediterranean city [Revista] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - Vol. 16. - p. 6239-6261.

**Theodosiou T.G. i Ordoumpozanis K.T.** Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - 40. - p. 2207-2214.

**Tian P. [et al.]** Survey on energy consumption and indoor thermal environment of University Building in Changsha, Xina [Conferència] // Proceedings 6th International Symposium on Heating, Ventilating and Air Conditioning, (ISHVAC).. - 2009.

**Tian Wei i Choudhary R.** A probabilistic energy model for non-domestic buildings sector applied to analysis of school buildings in greater London [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 54. - p. 1-11.



**Tronchin L. i Fabri K.** A Round Robin Test for buildings energy performance in Italy [Revista] // Energy and Buildings. - 2010. - 10 : Vol. 42. - p. 1862-1877.

**Wang Jiang-Jiang. [et al.]** Evaluation Indexes and methods of energy-efficient buildings [Conferència]. - [s.l.] : Proceedings of the ASME 3rd International Conference on Energy Sustainability, 2009.

**Williams J. [et al.]** Four steps to sustainability [Informe]. - [s.l.] : Sustain, 2009.

**Xydis G., Koroneos C. i Polyzakis A.** Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: An application [Revista] // Energy and buildings . - 2009. - 4 : Vol. 41. - p. 402-406.

**Ye X. [et al.]** Investigation for energy consumption and analysis for energy –efficient buildings. [Conferència]. - [s.l.] : US-EU-China Thermophysics Conference-Renewable Energy Sustainability, 2009.

**Zurigat Y.H., Al-Hinai H. i Al-Masoudi J.** Energy efficient building strategies for school buildings in Oman [Revista] // International Journal of Energy Research. - [s.l.] : John Wiley & Sons, Ltd., 2003. - 27. - p. 241-253.

**Metodologia de la recerca | 5**



## Índex

5. Metodologia de la recerca .....	149
5.1. Antecedents .....	149
5.1.1. L'Ordenança Solar de Barcelona.....	149
5.1.2. El Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos (PECR) de la UPC .....	150
5.1.3. El Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica dels Equipaments Municipals (PE3), de l'Ajuntament de Sabadell.....	153
5.1.4. Altres projectes i col·laboracions actuals .....	154
5.2. Els edificis escolars públics de Barcelona .....	155
5.2.1. Treballs previs .....	155
5.2.2. Definició de la mostra.....	159
5.3. Metodologia de diagnosi.....	163
5.3.1. Procediment per a la prediagnosi energètica .....	163
5.3.1.1. Fitxa dades bàsiques (F0) .....	163
5.3.2. Procediment per a la Diagnosi Energètica .....	164
5.3.2.1. Recollida de dades estàtiques (Codi fitxes DEa, DEc, DEi, DEu) .....	166

5.3.2.2. Recollida de dades dinàmiques (Codi fitxes DDc, DDu, DDg, DDn) .....	167
5.3.3. L'Avaluació Energètica .....	170
5.3.3.1. Avaluació de la Demanda tèrmica .....	170
5.3.3.2. Avaluació de la Demanda lumínica .....	170
5.3.3.3. Avaluació dels paràmetres de confort .....	171
5.3.3.4. Avaluació de l'eficiència dels sistemes.....	172
5.3.3.5. Anàlisi i Avaluació de les dades de consum .....	175
5.3.4. Diagnòstic, Línies d'actuació i Propostes d'intervenció .....	177
5.3.4.1. El diagnòstic .....	177
5.3.4.2. Línies d'actuació.....	178
5.3.4.3. Propostes d'intervenció.....	179
5.4. Definició dels indicadors ambientals .....	181
Taula de figures.....	191
Bibliografia .....	193

## 5. Metodologia de la recerca

### 5.1. Antecedents

L'elaboració d'aquesta tesi és fruit d'una trajectòria professional en l'àmbit de l'edificació que, en els darrers 20 anys s'ha anat traslladant de l'exercici professional cap a la docència universitària. Ens sembla important destacar aquest aspecte perquè, com es veurà a continuació, des de l'any 2000 la tasca com a docent ha estat el vector direccional cap als aspectes mediambientals relacionats amb l'edificació i, més concretament, en la manera d'incorporar els coneixements adquirits cap a la intervenció en l'edificació existent, cercant i analitzant les diferents estratègies per reduir l'impacte ambiental del sector de l'edificació, i sempre amb l'objectiu de vincular aquest progrés a la docència.

#### 5.1.1. L'Ordenança Solar de Barcelona

Es podria dir que el punt de partida d'aquesta tesi es produeix l'agost de l'any 2000, amb l'entrada en vigor de *l'Ordenança Solar de Barcelona*, publicada en data 30/7/99 ([Ajuntament de Barcelona, 1999](#)) i amb unes correccions publicades en data 5/11/99 ([Ajuntament de Barcelona, 1999](#)). En aquell moment vam impulsar la signatura d'un Conveni de Col·laboració entre la Comissió de Sostenibilitat i Ecologia Urbana de l'Ajuntament de Barcelona i el Departament Construccions Arquitectòniques II de la UPC per col·laborar en la confecció d'estudis de l'estat i adequació dels edificis que ambdues parts acordessin en quant a l'aplicació de l'Ordenança Solar en edificis municipals.

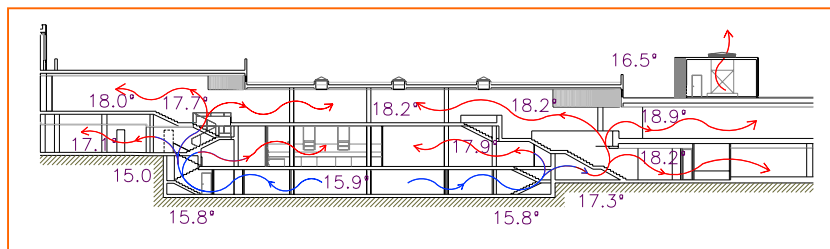


Fig. 1 Estudi de temperatures i circulació de l'aire a l'edifici Coderch de l'ETSAB. Font: (Ruiz Martorell, 2004)

D'aquell conveni van sortir un conjunt de Projectes Finals de Carrera (PFCs) de la titulació d'Arquitectura Tècnica, 16 en total, dels quals més de la meitat estaven aplicats a edificis escolars (Institut d'Educació Superior IES i Centres Educatius Infantil i Primària CEIPs) (Veure Annexes).

Paral·lelament, es van realitzar altres Projectes relacionats amb la sostenibilitat, l'ecologia i els edificis públics, incidint específicament en edificis docents, com per exemple un "Estudi de les cobertes vegetals i aplicació a les escoles de Ciutat Vella de Barcelona" (Rebolleda, et al., 2001).

D'aquest conjunt de treballs es van extreure una sèrie de conclusions: calia reorientar els estudis d'aplicació de l'Ordenança Solar cap a edificis que tinguessin importants consums d'aigua calenta sanitària com poliesportius o piscines municipals i no tant a les escoles, que tenen un consum energètic vinculat a la producció d'ACS que es mou al voltant del 8%. De totes maneres, la instal·lació de plaques solars a les cobertes de les escoles es va comprovar que era una estratègia mediambiental adequada per tal de conscienciar i fer partícips a l'alumnat de les possibilitats d'incorporar energies renovables als centres docents.

Del conjunt de treballs realitzats es va fer l'any 2001 l'Exposició "**APLICACIÓ DE L'ORDENANÇA SOLAR DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA EN EDIFICIS PÚBLICS**", en col·laboració amb la Comissió de Sostenibilitat i Ecologia Urbana del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (CAATB) i l'EUPB al Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics de Barcelona, assolint el Comissariat.

### 5.1.2. El Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos (PECR) de la UPC

En aquest escenari de vincular els projectes finals de carrera de l'estudiantat amb línies de recerca i projectes de gran abast, es començà a treballar amb la Universitat Politècnica de Catalunya (que portava desenvolupant des de l'any 1996 diverses actuacions i estratègies amb l'objectiu de reduir el consum de recursos en els seus 96 edificis) i a partir de l'acord de col·laboració signat a finals de 2006 amb l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), es van començar a desenvolupar mesures per estimular l'estalvi energètic i potenciar l'eficiència energètica dels edificis de la UPC, distribuïts en 10 campus universitaris en tot el territori de Catalunya.

Una de les primeres accions que es va dur a terme va ser la implantació del "*Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos (PECR)*", que va consistir en l'avaluació energètica de diferents edificis de molt

diverses configuracions, usos i tipologies constructives, per fer una primera aproximació a les realitats energètiques en quant a demanda, l'eficiència dels sistemes i les pautes d'ús i gestió dels centres docents i altres edificis de la UPC.

El PECR es va concretar en 29 auditories energètiques realitzades durant els anys 2004/2006 (veure Annexes) i la metodologia utilitzada en aquests treballs es va publicar en format llibre (Bosch, et al., 2006), en un article de revista científica (R.Cantalapiedra, et al., 2006), i és la que s'ha utilitzat ampliada, millorada i adaptada, en la realització de les avaluacions energètiques dels edificis escolars que donen contingut a aquesta tesi.

En paral·lel, i detectada la necessitat de conèixer en detall els edificis sobre els que treballar en clau d'eficiència energètica, la UPC va desenvolupar el projecte *SIRENA* (*Sistema d'Informació del consum de Recursos Energètics i d'Aigua*), que és un eina en línia que proporciona informació dinàmica dels consums en electricitat, gas i aigua, ocupació dels edificis i de les activitats que en ells es realitzen. Aquesta eina ha permès comparar diferents índex de consum (kWh/m<sup>2</sup>, kWh/usuari, kWh/crèdit docent, kWh/per ús, etc.) i generar per a cada edifici les gràfiques de consum i la seva evolució al llarg dels anys (des de l'any 2006 a l'actualitat) (CENTRE per la Sostenibilitat, Universitat Politècnica de Catalunya).

Finalment, la UPC va presentar l'any 2011 el *Pla d'Estalvi d'Energia (ESP)*, que inclou una sèrie de polítiques com: prendre mesures generals per millorar la comunicació entre els actors involucrats en el procés de gestió i en matèria d'energia en els diferents edificis de la UPC; inversions en gestió, en la millora de les instal·lacions i en una distribució adequada d'espais; monitoratge i implementació de polítiques per a una millor gestió de la informació relacionada amb l'energia, amb una extensió gradual de la supervisió de la xarxa, la visibilització dels resultats que es van assolint a través del sistema SIRENA i l'optimització dels sistemes amb la instal·lació del programari Granola PC UPC.

El Pla s'ha fixat un objectiu de reducció per a 2014 del 25% del consum total d'energia (gas i electricitat) en comparació amb 2010 i, per arribar-hi, l'ESP treballa en diferents projectes:

- Projectes d'Optimització Energètica (POE), que són instruments que fomenten la responsabilitat en el consum de recursos a través d'un treball cooperatiu en equips per tal de millorar l'eficiència energètica a la UPC.

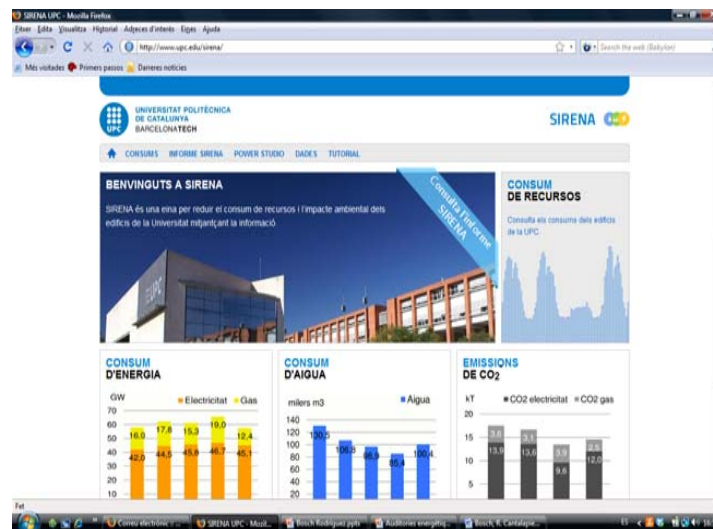


Fig. 2 Pantalla inici del Sistema d'Informació del consum de Recursos Energètics i d'Aigua (CENTRE per la Sostenibilitat, Universitat Politècnica de Catalunya)



- Transmetre la informació i les experiències com a estratègia decisiva del Grup de Treball d'Eficiència Energètica.
- L'elaboració de la Guia 2.0 per a l'estalvi d'energia, que promou la cultura de l'estalvi entre les persones que conformen la comunitat universitària.
- L'elaboració dels Plans de formació sobre eines col·laboratives aplicades a l'estalvi d'energia i que es dirigiran al personal d'administració i serveis.

Aquesta segona actuació en l'àmbit de l'eficiència energètica en edificis existents, que ja té un recorregut de quasi 10 anys, ens ha permès validar la metodologia emprada, ja que hem verificat que l'estratègia de conèixer, avaluar, diagnosticar i actuar de manera individualitzada en cada edifici es tradueix en veritables estalvis energètics.

Al marge dels treballs vinculats al PEQR en els edificis de la UPC, i a partir de la publicació i entrada en vigor l'any 2006 del Código Técnico de la Edificación CTE ([Gobierno de España, 2006](#)), es va comprovar la necessitat de formar a l'estudiantat en les qüestions relacionades amb eficiència energètica en edificis, pel que es va iniciar una nova línia de projectes finals de carrera i finals de grau centrats en la limitació de la demanda energètica en edificis, l'estalvi energètic i en propostes de certificació energètica, prioritzant els edificis públics de l'Eixample de Barcelona: "*Centres Educatius- Fase 1, Limitació de la demanda energètica, en edificis públics de l'Eixample de Barcelona i proposta de certificació energètica: IES La Sedeta (Di Pizzo, 2010) i CEIP Àngel Baixeras (Moreno, et al., 2010)*"

### 5.1.3.El Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica dels Equipaments Municipals (PE3), de l'Ajuntament de Sabadell.

Amb tot aquest bagatge de coneixement, i a través del Centre Interdisciplinari de Tecnologia, Innovació i Educació per a la Sostenibilitat de la UPC (CITIES), ens va arribar el projecte de col·laboració amb l'Ajuntament de Sabadell: *Pla de millora de l'eficiència energètica*, que tenia per objectiu millorar l'eficiència energètica en diferents sectors d'activitat del municipi, promoure l'ús de les energies renovables i disminuir els impactes ambientals derivats del consum energètic. Aquest Pla es concretava en diferents actuacions dins els àmbits de l'educació, la sensibilització i l'assessorament energètic, i a partir de la demanda expressada per la Regidoria de Medi Ambient i Sostenibilitat i la Regidoria de Territori de l'Ajuntament de Sabadell, es va signar un conveni de col·laboració amb el CITIES, que tenia, com a objectiu, realitzar un *Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica dels Equipaments Municipals (PE3)*

El Pla de millora PE3 de l'Ajuntament de Sabadell (iniciat el mes d'abril de 2005), constava de tres fases:

- Fase 0: Diagnòstic inicial i definició de les línies d'actuació.
- Fase 1: Desenvolupament d'estudis específics (auditories energètiques en edificis, per sectors).
- Fase 2: Realització del Pla i prioritització d'actuacions.

El desenvolupament de la Fase 1 consistia en 4 actuacions :

- l'estandardització d'un Protocol d'auditoria energètica de l'Ajuntament de Sabadell i l'establiment d'una metodologia que pogués ser aplicable a qualsevol auditoria que es realitzés a curt termini en les dependències o equipaments municipals.
- la realització d'un estudi detallat dels centres educatius d'ensenyament infantil i de primària que permetés caracteritzar de forma global la generalització de mesures d'estalvi i eficiència energètica
- la redacció d'un Pla d'actuació amb el desenvolupament i avaluació de les propostes de millora

- i la redacció d'un Pla d'actuació general per a tots els equipaments municipals (educatius, esportius, culturals i administratius) a partir de la prediagnòsi de la Fase 0 i tenint en compte les actuacions específiques de la fase 1.

La nostra col·laboració amb l'Ajuntament de Sabadell per al desenvolupament d'aquesta Fase 1 va consistir en l'estandardització del protocol d'auditoria energètica (Rodríguez, et al., 2007) per a quatre tipologies d'edificis municipals (escolars, esportius, culturals i administratius), la realització de 4 auditories energètiques per a un edifici de cada tipologia (R. Cantalapiedra, et al., 2006a) (Bosch, et al., 2006a) (R. Cantalapiedra, et al., 2006b) (Bosch, et al., 2006b), l'avaluació energètica de 4 edificis escolars (Bosch, et al., 2007d) (Bosch, et al., 2007c) (Bosch, et al., 2007b) (Bosch, et al., 2007a) i l'*Estudi de detall dels Centres Educatius d'Infantil i Primària (CEIPs) de la ciutat de Sabadell* (R. Cantalapiedra, et al., 2007).

A partir de la realització d'aquests treballs es va redactar un decàleg de possibles actuacions generals que marcaven ja les línies bàsiques d'alguns dels objectius d'aquesta tesi:

1. El compromís ciutadà
2. Controlar la despesa i gestionar els edificis en clau energètica
3. L'estiu és estiu i l'hivern és hivern
4. La pell de l'edifici
5. Definir un pla de reformes en els edificis existents
6. El rendiment dels sistemes
7. Les Ordenances Solars i altres energies renovables
8. L'energia reactiva
9. Estalviar llum
10. El manteniment de les lluminàries

#### 5.1.4. Altres projectes i col·laboracions actuals

Durant la realització d'aquesta tesi, i fruit de diferents accions de divulgació de la tasca que realitzem des del Grup de Recerca GICITED i des del Laboratori d'Acústica i Eficiència Energètica de l'EPSEB, s'han iniciat diverses col·laboracions amb altres entitats i administracions per a la millora del parc edificat en clau energètica:

- Conveni Específic amb l'AMPA per a la realització de la Diagnosi del comportament energètic de l'Escola Joanot Alisanda (Sabadell)
- Conveni de Suport Tècnic amb la Fundació Privada ASCAMM per a avaluar energèticament edificis escolars a Catalunya (en el marc del projecte europeu ZEMEDS (ZEMEDS, 2013))
- Conveni amb Infraestructures.cat de la Generalitat de Catalunya per a l'Assistència tècnica de la diagnosi energètica de 3 edificis titularitat d'Infraestructures.cat a les comarques del Barcelonès i el Maresme (de les quals dues són escoles).

## 5.2. Els edificis escolars públics de Barcelona

L'any 2011, en el transcurs de l'Àgora de Rehabilitació organitzada pel Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona (CAATEEB) en el marc del Saló CONSTRUMAT, i en el que vam presentar la ponència "*Rehabilitació energètica. Entre l'auditoria, l'edifici i l'energia. Les auditories energètiques com a diagnosi i com a estalvi energètic*" (Bosch, 2011), es va iniciar el contacte amb l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) per tal de treballar en rehabilitació energètica en els edificis escolars de Barcelona, i es van començar a recollir les primeres dades de consums energètics per tal d'estudiar aquest conjunt d'edificis en clau energètica i proposar unes línies d'actuació. Donat que la gestió dels Centres d'Educació Infantil i Primària (CEIPs) de Barcelona es fa des del Consorci d'Educació de Barcelona, es van iniciar els contactes amb aquest ens de l'administració.

### 5.2.1. Treballs previs

En el moment en que vam començar a treballar recollint informació dels edificis escolars públics de Barcelona, vam comprovar que les diferents institucions que gestionen els edificis escolars de la ciutat, i en concret en el cas de Barcelona, es troben mancomunades en el Consorci d'Educació de Barcelona (CEB) que és "*un instrument de cogestió i descentralització, en un marc de col·laboració institucional, que representa la voluntat de la Generalitat de Catalunya i l'Ajuntament de Barcelona de treballar plegats per a la millora dels serveis als centres educatius i a la ciutadania a través d'una única xarxa educativa*" (Generalitat de Catalunya, 1998), constituït legalment pel Decret 84/2002 del Govern de la Generalitat del 5 de febrer de 2002 i que funciona segons el següent organigrama:

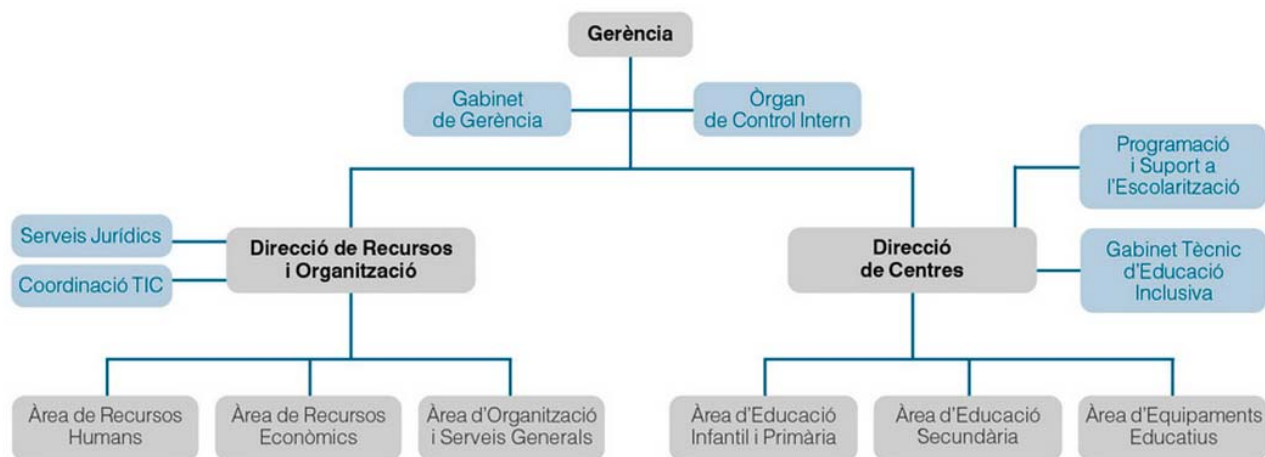


Fig. 3 Organigrama del Consorci d'Educació de Barcelona. Font (Generalitat de Catalunya, 1998)

En l'organigrama s'observa que existeix una Direcció de Construccions i Manteniment Escolar que es desplega en dues Àrees: l'Àrea d'Instal·lacions Escolars i l'Àrea d'Edificis Escolars que són les que disposen del cens escolar de la ciutat i, en teoria, dels reculls històrics de consums. Per experiències prèvies, s'ha comprovat que les dades que es proporcionen des del CEB no estan encara uniformades, són disperses, difícilment comparables i en conseqüència cal fer un treball metòdic de gestió.

Després de la sol·licitud realitzada a l'Agència d'Energia de Barcelona de les dades necessàries per començar a treballar en aquest sector, la resposta rebuda ens va permetre verificar el següent: les darreres dades que l'agència disposava en quant a consums energètics es van recollir en el seu dia per a l'elaboració del Pla d'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire de Barcelona (PECQ) (Ajuntament de Barcelona, 2011) i el Pla d'Estalvi i Millora Energètica d'Edificis i Equipaments Municipals (PEMEEM), inclòs en el PECQ, això vol dir que són dades de l'any 2008 i que són dades de facturació, ja que els edificis escolars de Barcelona no disposen de comptadors addicionals als de

companyia. En alguns casos faltaven lectures d'alguns mesos per la qual cosa els valors de consum d'aquests mesos es van fer estimativament per tal d'acabar tenint valors de consums anuals.

Alguns centres educatius no disposaven de dades i en el document proporcionat per l'Agència d'Energia de Barcelona no estava clar que hi figuressin la totalitat de centres que hi ha a Barcelona, per la qual cosa ha calgut contrastar-ho amb el Consorci d'Educació de Barcelona. També podria ser que, en alguns casos, el consum no es pogués assignar a un sol equipament ja que alguns edificis i equipaments municipals comparteixen escomesa i, del consum assignat a un CEIP, una part s'ha d'imputar, posem per cas, a un IES que està al costat amb la dificultat afegida que no hi ha manera de saber quina part va a cada equipament. Per solucionar aquest problema existeix, per part de l'Agència d'Energia, el projecte de monitoratge energètic d'edificis municipals que s'està portant a terme i pel qual s'estan instal·lant comptadors elèctrics addicionals per discriminar els consums entre equipaments en casos com els esmentats.

Les dades de les superfícies dels edificis no estaven identificades amb un any de referència, i pot haver hagut ampliacions o reformes que hagin modificat aquesta dada; en els casos en que es comparteix escomesa, sovint no hi ha indicacions de quina part de la superfície és d'un equipament i quina de l'altre.

Finalment, segons ens va informar l'Agència d'Energia de Barcelona, les adreces que figuren en el document subministrat són les que figuren en les pòlisses de gas natural i/o electricitat i no tenen perquè coincidir amb l'adreça de correu postal de l'equipament ja que, a vegades, les escomeses entren a l'edifici per un carrer que no és el de l'entrada principal. Els edificis s'identifiquen amb el BIM que és el número de Bé Immobile Municipal, i és una espècie de DNI per identificar els edificis dins l'Ajuntament.

En total, el document subministrat per l'Agència recollia informació de consums de 237 centres escolars, entre CEIPs (Centre Educatiu Infantil i Primària) i IESs (Institut Estudis Secundaris) i altres 112 centres dels quals no es disposava de suficients dades o aquestes es trobaven incompletes o confoses. El full de càlcul proporcionat recollia informació sobre els següents valors: el codi BIM (Bé Immobile Municipal); el codi d'ús que diferencia entre CEIPs i IESs; el nom del centre, l'adreça, qui gestiona l'edifici, el districte en el que es troba, la superfície en m<sup>2</sup>, el consum d'electricitat en kWh/m<sup>2</sup> any i el consum de gas en kWh/m<sup>2</sup> any.

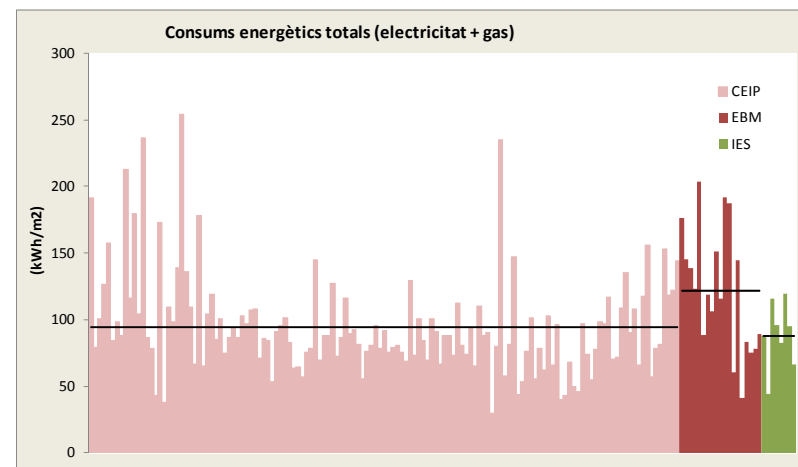


Fig. 4 Conjunt d'edificis escolars públics de Barcelona analitzats amb la mitjana de consums energètics (gas i electricitat) segons tipologies (CEIPs, EBMs i IESs).  
Font pròpia

Amb aquestes primeres dades es van fer els primers quadres comparatius per detectar quins edificis escolars dels quals es disposava de dades fiables eren els més “energívors”. En aquests moments embrionaris de la recerca ja es va comprovar que calia disposar d’informació detallada dels edificis escolars en els que es detectessin els consums relatius més alts, a partir de les lectures mensuals i, si era possible amb lectures horàries si es disposava dels aparells necessaris o si l’escola disposava d’un sistema de monitorització de consums. I a partir d’aquestes dades es podrien realitzar taules de consums diàries, setmanals i mensuals, i d’aquesta manera identificar de manera precisa les possibles disfuncions o sobreconsums.

Per altra banda, per poder avaluar les demandes energètiques dels edificis, es donava la necessitat de definir totes les dades arquitectòniques i edificatòries en quant a les transmissibilitats tèrmiques dels diferents elements de les envolupants, els percentatges de forats per a cadascuna de les orientacions, les càrregues internes dels espais interiors, així com la classificació higromètrica dels espais, etc.

Aquestes dades, òbviament, no estaven recollides i era materialment impossible caracteritzar les solucions constructives de tot el conjunt d’edificis per manca de plànols de detalls, seccions constructives o per la impossibilitat d’efectuar cales. En conseqüència es va començar a acotar la recerca a partir del plantejament dels criteris que servirien per definir la mostra d’edificis sobre els que treballar.

Al marge d’estudiar les envolupants dels edificis per avaluar el seu comportament enfront la demanada energètica, calia estudiar també els sistemes energètics en quant a climatització i enllumenat per verificar la seva eficiència.

Pel que fa als sistemes d’enllumenat i d’aprofitament de la llum natural, per exemple, calia fer la recollida de dades dels elements d’enllumenat instal·lats i dur a terme lectures reals dels nivells d’iluminació amb l’ajut de luxòmetres, que registren els lux sobre les superfícies de treball de les aules i altres estances o bé mitjançant els programes informàtics de lliure accés que simulen les intensitats lumíniques a partir de les instal·lacions de lluminàries existents. A partir d’aquestes lectures, es podria realitzar els plànols de corbes d’intensitat lumínica o mapejats a partir d’escales de color.

Finalment hi havia una informació que també s'havia de verificar en visites al propi centre educatiu i que feia referència als usos dels espais, les percepcions de confort dels usuaris del centre, les pautes de gestió dels sistemes, la implicació dels caps de manteniment dels edificis, etc. Part d'aquesta tasca ha implicat una recerca d'informació que s'ha obtingut a partir d'enquestes als diferents usuaris del centre, i que s'ha discriminat entre professorat, alumnat i personal d'administració i serveis.

### 5.2.2. Definició de la mostra

A partir de les dades que havia proporcionat l'ICAEN, tenint en consideració les polítiques energètiques definides per les administracions i els propis centres educatius, i en col·laboració amb el CEB, es va fer la tria dels edificis que havien de conformar la mostra sobre el conjunt d'edificis escolars de Barcelona amb la que treballar a nivell detallat, a partir dels següents criteris:

- buscar com a mínim un centre per cadascun dels districtes de la ciutat;
- prioritzar els estudis de detall en aquells edificis que estaven en procés de rehabilitació integral o que aquesta estava prevista a curt termini;
- analitzar els edificis que havien estat recentment objecte de reformes per verificar si les actuacions havien anat en la línia de l'estalvi energètic;
- incloure en la llista d'edificis a estudiar aquells que tenien uns ratis de consum més elevats;
- treballar sobre edificis dels quals es disposés de la informació mínima necessària i de certa disponibilitat per part del centre de fer accessibles les instal·lacions per poder fer les avaluacions energètiques.

Per a tot aquest procés, s'ha treballat sobre els edificis identificant-los amb el seu codi de referència per tal de respectar la privacitat de les dades, tal i com ens va demanar el CEB.



A aquest paquet d'edificis escolars que conformaven originàriament la mostra sobre la que s'havia de treballar a nivell detallat, s'han anat afegint en el transcurs d'elaboració d'aquesta tesi, un altre conjunt d'edificis escolars:

- Un primer paquet d'edificis escolars triats per estudiants que volien fer una avaluació energètica, i que en general eren aquelles escoles en les quals havien cursat els seus estudis d'educació infantil, primària i/o secundària;
- Un segon conjunt d'edificis escolars que havien demanat expressament que se'ls avalués energèticament perquè tenien intenció d'introduir millores energètiques en els centres (bàsicament escoles privades i concertades que disposen d'autonomia per a prendre aquestes decisions).

La incorporació d'aquests treballs o estudis ha permès diversificar la mostra amb la incorporació d'alguns edificis escolars no públics (escoles concertades), i amb edificis ubicats fora de la ciutat de Barcelona, tot i que la majoria es troben en la mateixa zona climàtica segons el CTE (dins la província de Barcelona i fins a 400 m per sobre del nivell del mar: Badalona, Esplugues de Llobregat, Pallejà, Sabadell, Sant Feliu de Llobregat, etc.), i alguns edificis d'altres zones climàtiques però sempre de Catalunya: Avià (Berguedà), Manresa (Bages), Solsona (Solsonès) i Tortosa (Baix Ebre).

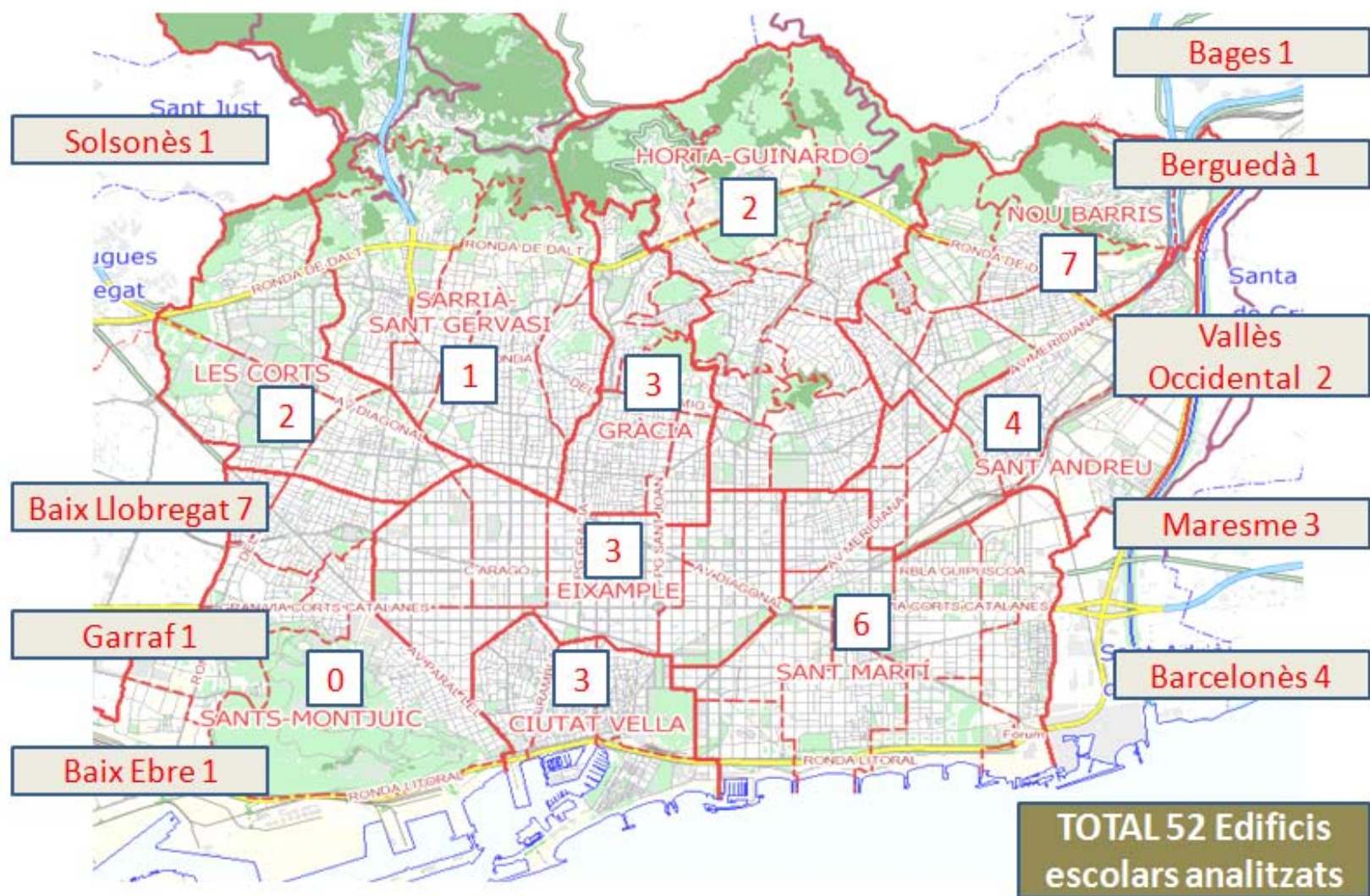


Fig. 5 Mapa de situació dels edificis escolars objecte d'estudi. Font pròpia

Classificació per àmbit territorial	Nº de centres estudiats
Barcelona Ciutat	31
Barcelonès	4
Bages	1
BaixLlobregat	7
Berguedà	1
Garraf	1
Maresme	3
Vallès Occidental	2
Solsonès	1
BaixEbre	1

Tipologies de Centres Educatius	Nº de centres estudiats
Centres Educatius Infantil i Primària CEIPs	26
Instituts d'Estudis Superiors IES	12
Escoles Bressol Municipals EBMs	1
Escoles Privades, concertades i altres	13

Fig. 6 Taules de classificació bàsica dels edificis escolars objecte d'estudi. Font pròpia

Finalment, i per a la recollida de dades, es va involucrar a un grup d'estudiants del Diploma d'Ampliació de Competències (DAC) en Impacte Ambiental i Rehabilitació Energètica d'edificis per tal que, com a Treball compendi de les tres assignatures cursades, realitzessin la Certificació Energètica d'alguns edificis escolars: un primer grup va analitzar els edificis que ens havien assenyalat des del CEB com a susceptibles de ser estudiats en detall, i un segon grup va analitzar les escoles en les que havien estudiat abans de la seva entrada a la Universitat. Per a realitzar aquestes certificacions energètiques s'ha fet ús dels programes de certificació energètica CALENER, CEX, CE3X.

Amb tot, la mostra amb la que hem treballat per a l'elaboració d'aquesta tesi consta dels següents edificis:

- Per a la prediagnosi que havia de servir per fer la tria dels edificis a estudiar en detall, s'han gestionat dades de 349 edificis escolars de Barcelona
- Dels 349 edificis, es disposava de dades fiables de 170 (veure Capítol 6 Resultats) a partir de les quals s'han establert els indicadors energètics i ambientals del conjunt a estudiar
- Dels 170 edificis escolars de Barcelona i amb dades fiables, s'han realitzat 31 estudis dels quals 16 s'han vinculat a la línia de TFCs o PFGs "Avaluacions energètiques d'edificis escolars".
- En paral·lel s'han estudiat 21 edificis escolars no ubicats a Barcelona ciutat, la majoria d'ells amb les mateixes condicions climàtiques (14/21).
- S'han estudiat 7 edificis escolars ubicats en altres zones climàtiques que han servit de referència per verificar la demanda energètica i els consums associats en condicions diverses.

A continuació s'explicarà la metodologia d'anàlisi utilitzada per conèixer i avaluar els edificis escolars objecte d'estudi.

### 5.3. Metodologia de diagnosi

#### 5.3.1. Procediment per a la prediagnosi energètica

La prediagnosi és la primera fase de tot el procés i està orientada a descobrir les disfuncions energètiques presents en un edifici de manera ràpida i orientativa i, bàsicament, a partir de l'anàlisi comparat i de l'experiència.

En general, un cop decidida l'escola que es vol estudiar, es recull una informació bàsica d'identificació i es concerta una visita amb el centre per conèixer l'edifici, identificar una persona de contacte a qui dirigir-nos per poder accedir sense interrompre el bon funcionament de l'escola, i valorar l'accessibilitat i qualitat de les dades disponibles.

##### 5.3.1.1. Fitxa dades bàsiques (F0)

En aquesta primera visita es recull, en la fitxa corresponent (F0), el nom del centre i el codi identificatiu, l'adreça i les dades de contacte; es fa una recull fotogràfic per a una identificació visual fàcil de l'edifici; un llistat dels espais (nº d'aules, existència de cuina, gimnàs, biblioteca, etc.), el nombre d'usuaris (professorat, estudiantat i altres), l'any de construcció i les possibles reformes, modificacions o intervencions que s'hi ha realitzat si és que es té constància. Finalment, en la fitxa s'incorpora l'indicador energètic bàsic  $SEC = C(kWh)/A (m^2)$ , a partir de les dades obtingudes de l'ICAEN, el CEB, o el propi centre (per tant es registra la font d'informació), i amb l'any de referència.

També es verifica l'accessibilitat i qualitat de la informació que ens poden facilitar els gestors i diferents usuaris dels edificis objecte d'estudi, i en aquest sentit, hem considerat que es podien establir tres tipus d'accessibilitat:

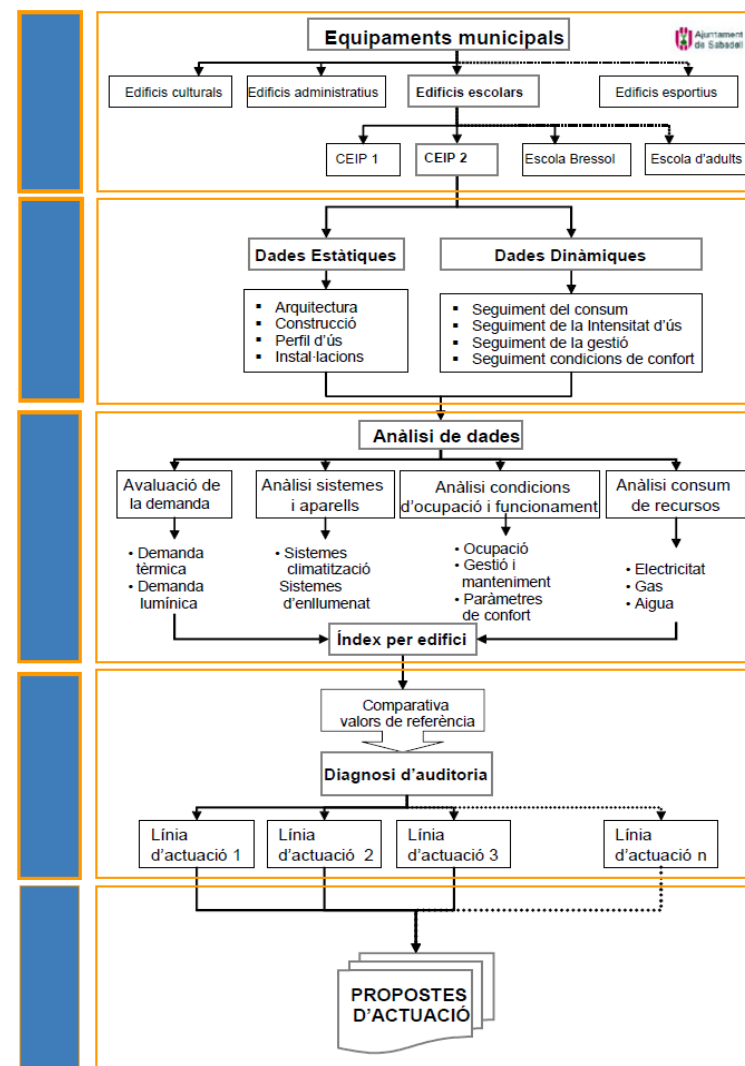


Fig. 7 Esquema de la metodologia d'anàlisi d'edificis en clau energètica. Font pròpia



Fig. 8 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques d'arquitectura (DEa).  
Font (Gilberte, et al., 2012).

- **Accessibilitat a nivell bàsic NB:** pels edificis amb escassa informació o dades que cal verificar.
- **Accessibilitat a nivell mitjà NM:** pels edificis amb disponibilitat de dades parcial i de les quals s'ha de millorar la quantitat i la qualitat.
- **Accessibilitat a nivell detallat ND:** pels edificis amb gran disponibilitat de dades, de bona qualitat, i que només cal constatar.

Aquesta primera recollida de dades bàsiques permet tipificar els edificis objecte d'estudi per programa docent (escoles amb Educació Infantil i/o Primària, i/o Secundària, i/o Batxillerat), zona climàtica en la que es troben (segons classificació del CTE i l'ICAEN (Institut Català de l'Energia, 2003)), l'any de construcció, la ciutat i, en el cas de Barcelona, el districte.

Amb tota aquesta informació és possible realitzar un document resum que pre-avalua l'edifici (en relació amb altres edificis de característiques similars obtinguts de la base de dades pròpia generada durant els anys que hem estat treballant en avaluació energètica d'edificis, o dels ratis publicats per les diferents administracions) i en el que s'informa als gestors/usuaris de la viabilitat d'iniciar el procés de diagnosi, avaluació i propostes d'intervenció.

### 5.3.2.Procediment per a la Diagnosi Energètica

A partir de la prediagnosi, que serveix per detectar els edificis susceptibles de ser estudiats en detall, es defineixen els "edificis diana" sobre els que es treballarà, i s'iniciarà el procediment de la recollida de dades. Tot el procés de diagnosi s'ha realitzant seguint la metodologia assajada en anteriors ocasions (Bosch, et al., 2006). Fig. 7

En aquest procés de recollida de dades, que és la primera fase de tot l'exercici procedimental, i de la qual depèn el bon resultat i la fiabilitat dels resultats, s'han diferenciat els tipus de dades a recollir com a "dades estàtiques" i "dades dinàmiques" segons les modificacions que registraven al llarg del temps. Així, hem considerat "estàtiques" les característiques arquitectòniques de l'edifici, que en principi no variaran, mentre que la intensitat d'ús o les condicions de confort d'un edifici es consideren "dinàmiques". Fem aquesta diferenciació perquè cadascuna d'aquestes dades necessita d'un treball de camp diferent i així s'ha reflectit en uns formats de documents específics.

El procés d'aixecament de dades ha tingut com a objectiu recollir tota aquella informació de l'edifici que ens havia de permetre entendre com funciona, en quines condicions es troba, i quins consums de recursos està generant. Per aquest motiu hem de distingir clarament el que han estat: “**dades arquitectòniques**”, que ens han ajudat a entendre com funciona l'edifici envers l'entorn (l'orientació, el volum, o les ombres que es produeixen sobre la façana, per exemple); “**dades constructives**”, que ens han donat la informació sobre com treballa l'edifici per si sol i quin paper té l'envolupant en el balanç energètic (la disposició de les obertures, els tipus de tancaments, els materials que hi intervenen...); i les “**dades referides a les instal·lacions**”, com els tipus de sistemes de refrigeració i calefacció, si existeix sectorització de xarxes, el rendiment dels sistemes instal·lats o la qualitat lumínica assolida, etc.

Finalment hi ha una valoració de les dades recollides que nosaltres hem diferenciat entre **quantitat** i **qualitat**. Per tal d'implementar la quantitat de dades, sota criteris raonables, s'ha millorat la informació que oferien els plànols disponibles de l'edifici, s'han realitzat seccions constructives, fet fotografies, s'han pres imatges amb càmeres termogràfiques, s'han utilitzat luxòmetres i termohigròmetres i, en casos concrets, s'han pogut realitzar cales. Un cop s'ha tingut accés al màxim nombre de dades ha calgut millorar-ne la qualitat, el que s'ha aconseguit transformant a formats digitals els plànols en suport paper, fent enquestes als usuaris de l'edifici per a detectar conflictes o desconforts, etc.

Cal senyalar que, la diversitat d'edificis i per tant de realitats tot i significar una dificultat, és un condicionant ineludible que permet ampliar les metodologies d'anàlisi i a la vegada enriqueix les propostes d'actuació.

Les dades que hem recollit en origen i les que hem pogut aconseguir durant els aixecaments que ha calgut realitzar han estat determinants ja que han marcat la direcció en que hem enfocat el procés d'anàlisi complet, la direcció de les nostres conclusions i ens ha permès també albirar les propostes d'intervenció que s'han proposat sent realistes i procurant ajustar-nos a les possibilitats i peculiaritats dels edificis estudiats per tal d'extreure'n el màxim profit de les seves singularitats.



Fig. 9 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques de construcció (DEc). Font (Gilberte, et al., 2012).

F1 AIXECAMENT DE DADES **4. Instal·lacions (Climatització i il·luminació)**

SISTEMES D'IL·LUMINACIÓ



Fig. 10 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques d'instal·lacions (DEi). Font (Gilberte, et al., 2012).

Metodologia de la recerca

5.3.2.1. Recollida de dades estàtiques (Codi fitxes DEa, DEc, DEi, DEu)

Per a poder fer una anàlisi de les característiques arquitectòniques i constructives de l'edifici cal, primer de tot, verificar si existeix un joc de plànols complet (plantes, alçats i seccions) en format digital que, en el cas de que no hi sigui, cal realitzar. Quan ens trobem amb edificis "històrics", és interessant buscar bibliografia de referència que ens situï en el context en que es varen construir. En alguns casos també ha estat possible entrevistar els arquitectes o els tècnics que van col·laborar en el projecte i en l'execució de l'edifici, i aquesta informació ha resultat molt valuosa donat la impossibilitat de fer cales.

Aquesta documentació planimètrica permet identificar l'orientació de l'edifici i de quina manera es relaciona amb el seu entorn, caracteritzar els tipus de façanes i la seva orientació, els m<sup>2</sup> de parts opaques i d'obertures (finestres, balcons o portes), altres elements de l'envolupant de l'edifici (cobertes, soleres, mitgeres, etc.), i caracteritzar els sistemes constructius estructurals (verticals i horitzontals) i les diferents tipologies d'elements de divisòria (Fitxa DEa). L'anàlisi de la pell de l'edifici ajuda a determinar, mitjançant els índex que caracteritzen la qualitat de l'envolupant, la interacció tèrmica entre l'edifici i el seu entorn, i la incidència que aquestes característiques poden tenir en la demanda energètica de l'edifici.

Així, a partir de la identificació dels diferents elements de l'envolupant, i la tipificació per materials i gruixos de les seccions constructives, es podran definir els valors U (transmitàncies) i F (factor solar modificat) mitjançant la comparació i el càlcul, i segons els paràmetres llistats en el *Catàlego de Materiales del CTE* (Ministerio de Economía y Competitividad, 2010). (Fitxa DEc). Alguns dels edificis han estat objecte d'estudi també a partir de l'ús de càmeres termogràfiques que permeten detectar fuites de calor, ponts tèrmics, o manques d'aïllament (Sánchez Manchón, 2013).

Durant la recollida de dades estàtiques també s'han analitzat els sistemes i aparells que consumeixen energia i amb els que es cobreix la demanda de climatització i il·luminació dels diferents edificis (Fitxa DEi). Ha calgut descriure tots els sistemes i aparells que l'edifici utilitza segons els usos energètics dels quals disposa (enllumenat, equipaments, climatització, etc.) El fet de realitzar l'aixecament exhaustiu de les dades dels sistemes i aparells de l'edifici permet conèixer el funcionament i l'estat real de les instal·lacions, i és útil també com a eina d'actualització d'una informació que sovint es troba disgregada o en formats difícils d'interpretar.

F1 AIXECAMENT DE DADES **6. Base de dades (Fitxa general)**

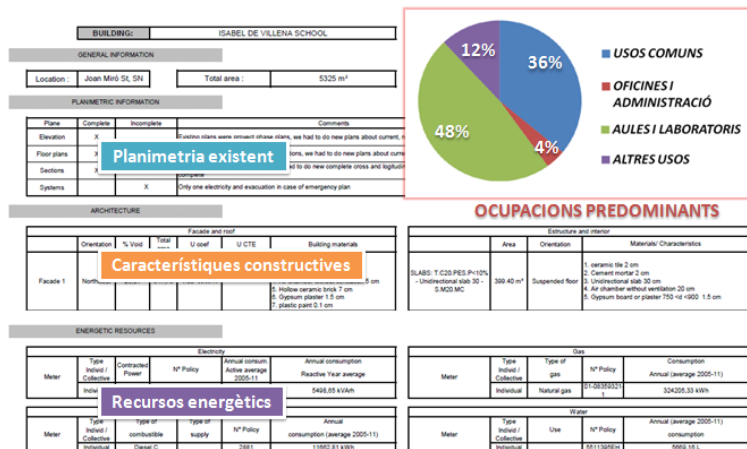


Fig. 11 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques d'ús (DEu). Font (Gilberte, et al., 2012).

Entre les dades estàtiques que fan referència als sistemes, també es registra tota aquella informació disponible relacionada amb la facturació de recursos, ja que s'ha observat que alguns edificis tenen contractacions de potència molt superiors a la potència necessitada, hi ha edificis que consumeixen energia activa i reactiva, i també es pot realitzar un control de contractació pel que fa a les tarifes (tarifa lliure o tarifa d'últim recurs TUR).

El joc de plànols serveix també per identificar el programa teòric d'usos dels espais en planta (aules, zones comuns i de distribució, despatxos, laboratoris, area d'esbarjo, etc.) i quantificar el percentatge d'espai que es dedica a cada ús (Fitxa DEu). Aquesta informació és clau per estimar la demanda de necessitats energètiques de l'edifici, analitzar la gestió que se'n fa i establir si l'edifici es comporta conseqüentment amb aquest perfil teòric.

Finalment la recollida de dades estàtiques permet calcular la superfície específica de l'edifici  $S_e$  (superfície total d'envolupant/volum), que és un indicador que es pot analitzar per tractar de veure si hi ha superfícies específiques més eficients que altres, i el programa distributiu (aules amb ventilacions creuades, amb superfícies similars, recorreguts i circulacions, etc.) que també permet avaluar si hi ha distribucions més eficients que altres.

#### **5.3.2.2. Recollida de dades dinàmiques (Codi fitxes DDc, DDu, DDg, DDn)**

Per altra banda, recollim les dades dinàmiques, que són aquelles que varien en el temps, ja siguin consums (al llarg del dia, al llarg de l'any o l'evolució en els darrers 5 anys, per exemple); intensitats d'ús (els menjadors per exemple només s'utilitzen, generalment als migdies, o les aules de laboratoris amb uns usos molt puntuals); la gestió de l'edifici (temperatures de consigna, protocols d'encesa i apagada dels sistemes de climatització, conscienciació dels usuaris en quant a actituds responsables amb la gestió dels recursos); i condicions de confort (que en general es mesuren, de manera objectiva amb aparells, i/o de manera subjectiva mitjançant enquestes als usuaris dels centres).

El seguiment dels consums permet identificar com es consumeix l'energia i de quina manera varien els consums al llarg del temps (Fitxa DDc). Tot i que seria molt interessant poder assignar a cada aparell de l'edifici quina part de responsabilitat té en el consum de recursos, mentre no s'introdueixen mecanismes de mesura i control en els sistemes, és difícil poder detallar els consums per maquinari. L'accés als registres històrics de facturació ofereix dades de referència del propi edifici i tendències en



F2

AVALUACIÓ

## 8. Tècniques d'avaluació

(Informàtiques)

Requeriment a estudi:	Limitació de la demanda energètica
Normativa referència:	CTE – HE1
Software utilitzat:	LIDER
Requeriment a estudi:	Anàlisi de la instal·lació d'il·luminació
Normativa referència:	CTE – HE3
Software utilitzat:	DIALUX
Requeriment a estudi:	Qualificació de l'eficiència energètica dels sistemes
Normativa referència:	CTE – HE1
Software utilitzat:	CALENER VYP
Requeriment a estudi:	Estudi d'ombres i radiació solar de l'envolupant
Software utilitzat:	SketchUp 7
Requeriment a estudi:	Estudi de l'envolupant, avaluació tèrmica i acústica
Normativa referència:	CTE – HE1 CTE – HR
Software utilitzat:	CYPE aïllament

Fig. 12 Fitxa Resum de les eines d'avaluació informàtiques emprades habitualment.  
Font (Gilberte, et al., 2012).

els consums (la incorporació de més aparells informàtics comporta, generalment, més despesa elèctrica, mentre que la impulsió de mesures per co-responsabilitzar als usuaris pot significar-ne, en alguns casos, una important reducció).

La tendència actual a centralitzar la facturació de diferents centres en un únic abonat per tal d'aconseguir tarifes més avantatjoses per als usuaris fa necessària, per altra banda, la instal·lació de sistemes de monitoratge que permetin conèixer les dades diferenciades per a cada edifici. També es pot recórrer a la presa de dades in situ mitjançant aparells de mesurament situats a la sortida de comptadors o, més com a exercici didàctic, col·locar amperímetres abans dels endolls per saber el que consumeix cada aparell en funcionament i també quan es troba en stand-by (el que repercuteix en el que anomenem “consum fantasma”).

Pel que fa a les dades dinàmiques d'intensitat d'ús ([Fitxa DDu](#)) el que es pretén es conèixer l'ocupació real de l'edifici i la seva distribució en el temps i en l'espai (nombre d'usuaris i hores d'utilització) que no sempre coincideixen amb les teòriques (ocupació d'aules d'acollida, realització activitats extraescolars fora de l'horari lectiu, etc.).

La gestió dels edificis, tant pel que fa a l'ús i al manteniment de les instal·lacions com el que respecta a les rutines d'utilització dels sistemes per part dels usuaris, és un element clau en el consum dels recursos. Aquesta és una realitat que hem comprovat en la nostra experiència en projectes d'avaluació energètica del parc edificat i que hem contrastat amb les experiències de diferents autors consultats per a la redacció de l'estat de l'art d'aquesta tesi. Els edificis per si sols no gasten energia, són els usuaris, i l'ús que en fan, els responsables dels consums ([Ruiz Martorell, 2009](#)).

La gestió energètica i la recollida de dades que permet avaluar-la ([Fitxa DDg](#)) és un concepte ampli i complex que recull diferents aspectes. Pel que fa als sistemes, cal millorar l'eficiència garantint el confort; pel que fa a l'envolupant de l'edifici, cal mantenir les característiques d'aïllament per tal de no augmentar la demanda energètica (mantenint tancades les finestres a l'hivern o pujant les persianes en horaris en que la llum diürna és suficient per garantir la qualitat lumínica dels espais); i pel que fa a les reformes, cal establir els criteris d'actuació de manera que estiguin definits en clau d'estalvi energètic. La recollida de dades relacionades amb la gestió de l'edifici es fa a partir d'una reunió amb el cap de manteniment del centre o el gestor per tal de conèixer les pautes d'ús.

Finalment, la recollida de dades dinàmiques de les condicions de confort (**Fitxa DDn**) permet conèixer quines condicions es donen en els diferents espais, tant lumíniques, com termohigromètriques (temperatura i humitat), acústiques, o de qualitat de l'aire interior. Les dades objectives, que es poden recollir a partir de diferent maquinari (termohigròmetres, luxòmetres, anemòmetres) proporcionen una informació puntual que cal contrastar amb el que anomenem dades subjectives i que són les que es recullen a partir d'enquestes de confort als usuaris dels centres. Val a dir que en alguns casos ens hem trobat que per a un mateix espai, hi havia usuaris que consideraven que a l'espai es passava fred mentre que altres usuaris no estaven d'acord amb aquesta afirmació.

Seguint doncs la metodologia assajada amb els edificis de la UPC i amb els edificis escolars de Sabadell, podem dir, en línies generals, que el nivell d'accessibilitat a les dades dels diferents edificis ha estat de Nivell Mitjà, ja que les dades disponibles eren parcials i calia millorar-ne la quantitat i la qualitat. Les dades estàtiques, entre les que es contempen les arquitectòniques i constructives, eren en molts casos d'un nivell bàsic: jocs de plànols incomplets o inexistents, en format còpia paper de baixa qualitat, i sense seccions constructives ni memòries de qualitats.

Aquest fet és habitual quan abordem treballs d'actuacions en edificis públics, tant siguin municipals com de qualsevol altra administració, ja que la informació es troba dispersa entre els diferents equipaments municipals, alguns jocs de plànols es conserven en els arxius dels propis edificis, altres són còpies antigues que no recullen les diferents reformes, modificacions o ampliacions dutes a terme en el decurs dels anys, etc. Sovint, aquestes reformes i intervencions han anat canviant la fisonomia i l'ús dels espais dels edificis i aquest fet comporta molt sovint canvis també en les necessitats de confort d'espais rehabilitats o d'ampliació de sistemes energètics per donar servei a nous espais.

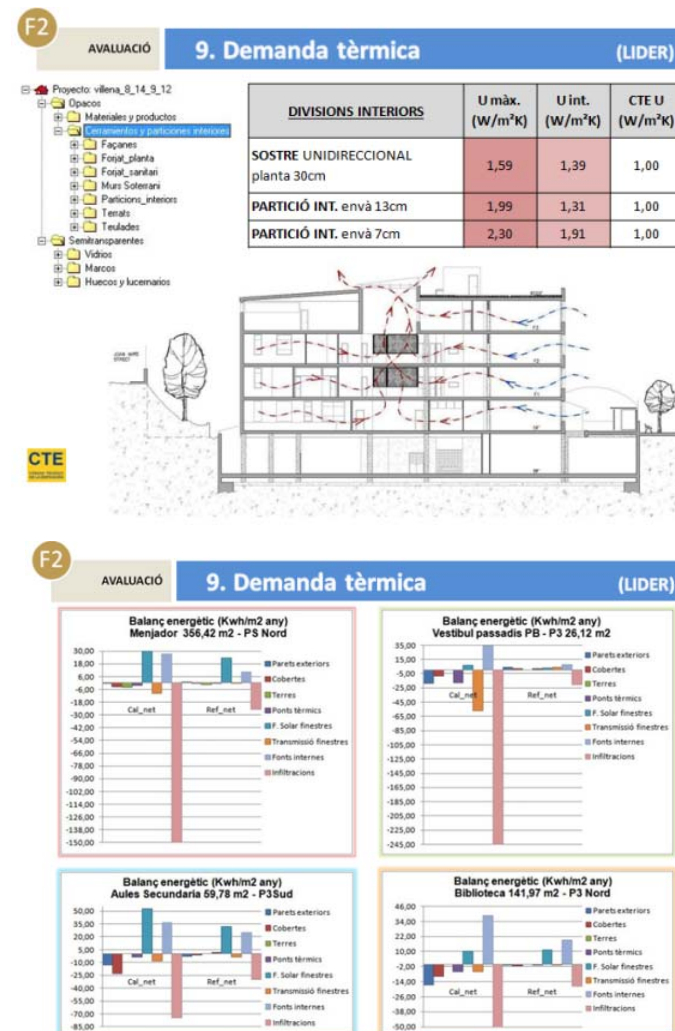
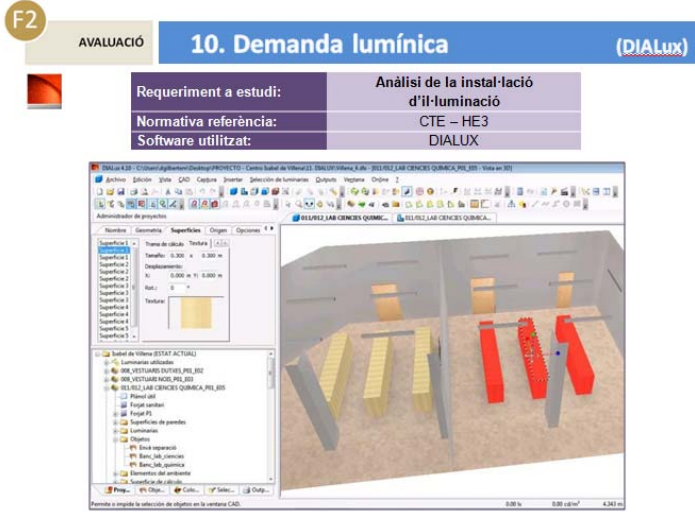


Fig. 13 Fitxa Resum de l'avaluació d'un edifici amb l'ajut del programa LIDER. Font (Gilberte, et al., 2012)



### 5.3.3. L'Avaluació Energètica

A continuació, es valora el nivell d'eficiència energètica dels edificis en el seu estat actual mitjançant les dades de demanda tèrmica, calculades mitjançant el programa LIDER-CALENER, les incidències solars amb l'SketchUp, i la demanda lumínica, calculada mitjançant el programa DIALux.

#### 5.3.3.1. Avaluació de la Demanda tèrmica

Per mesurar la demanda tèrmica cal valorar quins són els guanys i pèrdues a través de la pell dels edificis objecte com a conseqüència directa de les seves solucions constructives, l'orientació o el clima de la zona. En la majoria dels edificis estudiats s'ha fet ús de l'eina informàtica LIDER, que és una aplicació que verifica si un edifici compleix amb la *Limitació de la demanda tèrmica* demandada al CTE DB HE-1. La forma amb la que es calcula i es comprova si compleix o no, consisteix en comparar l'edifici objecte amb un edifici de referència que sí està adaptat a la normativa vigent. D'aquesta manera si l'edifici objecte exposa unes dades inferiors a les estimades de l'edifici de referència estarem complint la normativa.

A fi de quantificar aquestes pèrdues i guanys energètics el programa treballa a partir de les transmissàncies tèrmiques U de la pell de l'edifici, la possibilitat de que es produeixin condensacions superficials o intersticials i les pèrdues energètiques per infiltracions d'aire dins del centre educatiu a estudiar. Amb la definició adequada d'aquestes característiques, el programa avalua la demanda de calefacció i refrigeració necessària per garantir unes condicions de confort òptimes i les compara amb la demanda de l'edifici de referència.

#### 5.3.3.2. Avaluació de la Demanda lumínica

L'avaluació de la demanda lumínica s'ha fet mitjançant el programa informàtic DIALux que permet simular els espais i comprovar si es compleix amb la normativa del CTE DB HE-3. Ens servirà com a referència la taula 2.1 d'aquest document normatiu on s'estipula els valors d'eficiència energètica VEEI ( $W/m^2/100$  lux), els nivells d'il·luminació mitjana mantinguda ( $E_m$ ) en lux i els valors límit d'índex d'enlluernament (UGR) segons el que diu la Normativa UNE-EN 12464-1. No només cal verificar si es compleix amb la normativa sinó també si es garanteix el nivell d'il·luminació òptim per garantir un mínim de confort per l'usuari.

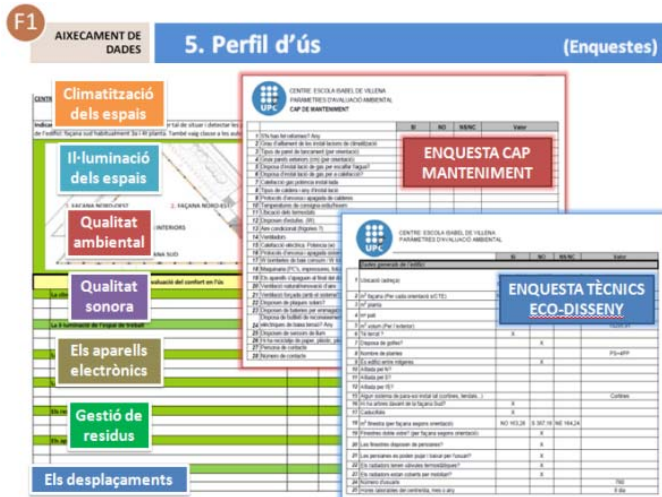


Fig. 14 Fitxa Resum de l'avaluació de la demanda lumínica amb l'ajut del programa DIALux. Font (Gilberte, et al., 2012)

### 5.3.3.3. Avaluació dels paràmetres de confort

Per analitzar els paràmetres de confort (temperatura i humitat) de les aules i altres espais dels centres educatius, s'han realitzat mesuraments en diferents espais amb l'ajut de termohigròmetres i software TESTO. Amb el registre d'aquestes dades (que en el nostre cas hem ajustat, en la majoria dels casos a dues setmanes) es poden comparar:

- les temperatures exteriors i les obtingudes als interiors dels espais en època calorosa i època freda,
- en època lectiva i sense activitat (per verificar el comportament de l'edifici sense sistemes de climatització en funcionament, i sense càrrega interna deguda a l'ocupació)
- segons les distribucions dels edificis seguint diferents criteris: en aules amb diverses orientacions, en les mateixes aules però de diferents pisos, per comprovar si les que es troben sota coberta disposen de registres de temperatura diferents, en aules similars però amb diversos usos, etc.

Tot i que aquesta recollida objectiva de dades de confort tèrmic és bàsica per conèixer les condicions en les que es treballa al centre escolar, és cert que el confort conté una percepció subjectiva segons els propis usuaris dels edificis. Per aquest motiu, s'han realitzat, sempre que ha estat possible, enquestes als usuaris (professorat, estudiantat, cap de manteniment, directors de centre) per tal de conèixer quin és el grau de conformitat amb les condicions ambientals.

Finalment, en alguns dels centres analitzats, s'han verificat les condicions acústiques, bàsicament els temps de reverberació en aules i espais comuns com menjadors i gimnasos per tal de comprovar si compleixen amb els paràmetres de confort que estableix la normativa.

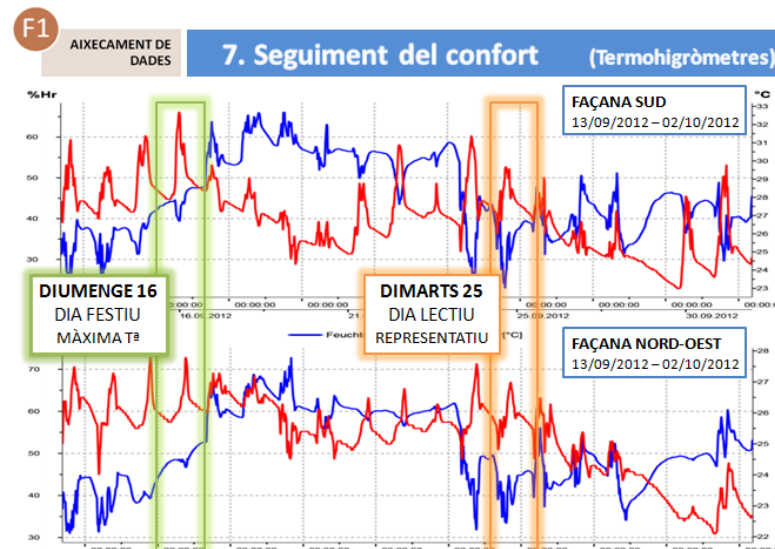
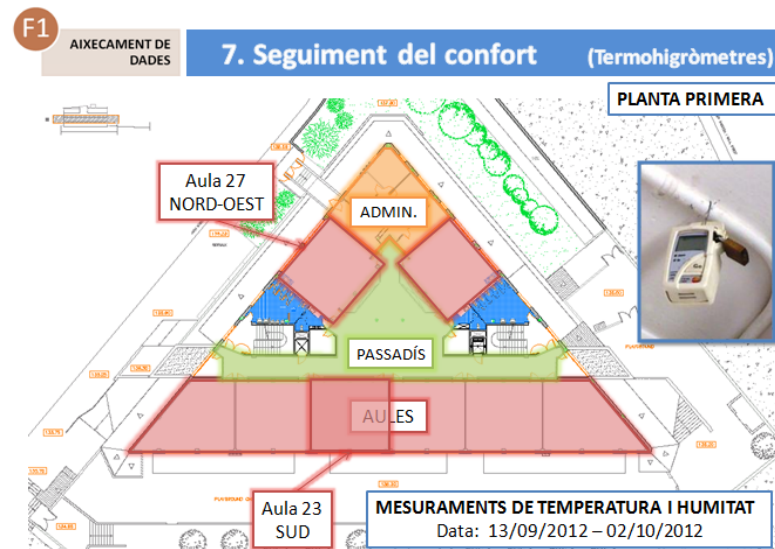




Fig. 17 Fitxa Resum de l'avaluació de les condicions de confort acústiques mitjançant la recollida de dades a partir de sonòmetres. Font (Gilberte, et al., 2012).

#### 5.3.3.4. Avaluació de l'eficiència dels sistemes

Pel que fa a l'avaluació dels sistemes i equips d'instal·lacions existents, l'objectiu és conèixer el grau de resposta que els aparells ofereixen davant la demanda tèrmica dels edificis escolars.

Aquest grau de resposta es valora en un percentatge sobre la capacitat màxima que els sistemes podrien arribar a oferir, en condicions òptimes, però que varien segons l'estat i el tipus d'aparells, les condicions de manteniment, els mecanismes de regulació i modulació, o el període de vida útil. Per tal de determinar les característiques que condicionen el grau de resposta davant la demanda tèrmica de l'edifici, cal caracteritzar el seu sistema de condicionament: centrals productores de calor/fred, bombes i ventiladors, conductes de distribució, emissors i sistema de regulació i control.

Un cop caracteritzats els elements que determinen la demanda tèrmica, a partir de les eines de simulació informàtica que analitzen l'eficiència energètica dels sistemes de climatització (calefacció, aigua calenta sanitària i refrigeració), s'obté el còmput global de la demanda i el consum associat a l'edifici en funció de l'energia primària (font energètica) i l'energia final consumida. Donat que treballem en edificació existent, i disposem de dades reals de consum energètic, l'objectiu de les simulacions és avaluar el grau d'eficiència energètica de les instal·lacions per poder comparar-lo amb els consums reals obtinguts de les factures i d'aquesta manera realitzar una diagnosi.

En la majoria dels casos estudiats s'ha fet ús del programa CALENER VYP (Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas y Terciarios pequeños y medianos (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013)) que defineix un perfil d'ús estàndard per al sector terciari, tot i la dispersió de tipologies i usos: oficines, hotels, poliesportius, escoles, etc.

Aquest és un fet important a l'hora d'avaluar els resultats que s'obtenen, i aquests s'han de considerar amb certa cautela. Com a exemple, es pot donar el cas d'un edifici objecte que tingui una instal·lació d'il·luminació infradimensionada, on els seus valors VEEI normatius (eficiència energètica per m<sup>2</sup>) es situïn per sota del que exigeix la normativa, i que, en el moment de realitzar la comparació edifici objecte/edifici de referència, el resultat de la instal·lació de referència consumeixi molta més energia que l'edifici objecte precisament perquè l'edifici de referència sí treballa amb els valors de VEEI màxims exigits, amb una atribució major de potència instal·lada per m<sup>2</sup> de superfície. En comparar els dos edificis, l'edifici objecte resulta satisfactori i menys consumidor que el de referència, però

aquesta circumstància no indica que sigui eficient si no que té uns valors de confort lumínic per sota dels exigibles.

Altres limitacions que té el programa de simulació es troben resumides en el següent recull d'un fragment de l'Informe final de les jornades de treball sobre *Certificación de Eficiencia Energética. La calificación de los edificios, en el 9º Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2008)*.

#### ***Limitaciones de los procedimientos de Certificación Energética***

- *Pueden obtenerse buenas calificaciones para edificaciones “inhóspitas”, ya que un sistema infradimensionado emite menos CO<sub>2</sub> que uno correctamente dimensionado*
- *Consideración parcial de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el proceso edificatorio, que deja a un lado aspectos importantes del ciclo de vida de la edificación*
- *El procedimiento actual no contempla la no utilización de instalaciones activas de climatización en edificios de uso terciario, por el contrario Lider y Calener siempre comparan con edificios de referencia que sí contemplan instalaciones activas – (por esta razón pueden ser edificios con mayor consumo)*
- *Ligado al punto anterior, las “simplificaciones” que han de realizarse para la introducción de sistemas pasivos en las herramientas proporcionadas pueden resultar problemáticas –*

#### ***Propuestas de líneas de trabajo futuras***

- *Se propone la incorporación al sistema de los edificios a rehabilitación*
- *Conseguir que el procedimiento reconocido nos conduzca realmente a reducir emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por parte de nuestro sector.*

Tot i les dificultats i limitacions de les eines de simulació, sí és cert que aquestes serveixen per avaluar els graus d'eficiència que assoleixen els edificis objecte de qualificació a partir del rendiment dels equips, la demanda dels sistemes i el posterior consum que originen, per tal de caracteritzar la

## Metodologia de la recerca

	Edifici Objecte		Edifici Referència	
Demanda	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any
Calefacció	51,9	246176,0	55,9	265149,1
Refrigeració	10,7	50753,1	8,1	38420,5

	Edifici Objecte		Edifici Referència	
Cons. Energia Final	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any
Calefacció	43,9	208298,8	84,8	402061,6
Refrigeració	0,5	2207,9	0,6	2924,2
ACS	9,9	46703,4	5,7	27196,6
Il·luminació	22,2	105241,7	43,7	207192,8
<b>TOTAL</b>	<b>76,4</b>	<b>362451,8</b>	<b>134,8</b>	<b>639375,1</b>

	Edifici Objecte		Edifici Referència	
Cons. Energia Primària	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any
Calefacció	49,4	234113,7	91,6	43628,5
Refrigeració	1,2	5747,1	1,6	7611,6
ACS	10,0	47217,1	14,9	70792,7
Il·luminació	57,8	273944,2	113,7	539322,8
<b>TOTAL</b>	<b>118,3</b>	<b>561022,1</b>	<b>221,9</b>	<b>1052355,6</b>

	Edifici Objecte		Edifici Referència	
Emissions associades	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kgCO <sub>2</sub> /any	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kgCO <sub>2</sub> /any
Calefacció	10,9	51701,7	24,3	115261,6
Refrigeració	0,3	1423,0	0,4	1897,3
ACS	2,0	9486,6	3,7	17550,1
Il·luminació	14,4	68303,2	28,4	134468,1
<b>TOTAL</b>	<b>27,6</b>	<b>130914,4</b>	<b>56,8</b>	<b>269408,2</b>

	Classificació	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/any
Demanda calefacció	C	51,9	246176,0
Demanda refrigeració	E	10,7	50753,1

	Classificació	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kgCO <sub>2</sub> /any
Emissions CO <sub>2</sub> calefacció	B	10,9	51701,7
Emissions CO <sub>2</sub> refrigeració	C	0,3	1423,0
Emissions CO <sub>2</sub> ACS	B	2,0	9486,6
Emissions CO <sub>2</sub> il·luminació	B	14,4	68303,2
<b>Emissions CO<sub>2</sub> TOTALS</b>			<b>130.914,40</b>

Energia primària consumida CAL + REF = **80,8%**  
Demanda CAL + REF

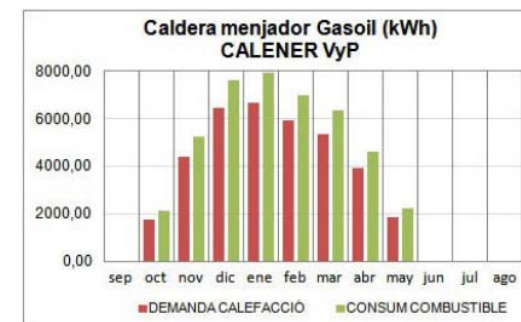
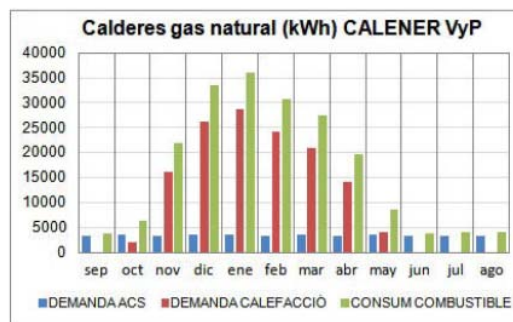


Fig. 19 Taules resum dels resultats de la simulació d'Eficiència Energètica amb el programa CALENER VYP d'un edifici escolar.  
Font: (Gilberte, et al., 2012)

responsabilitat de cadascuna en el global de l'edifici i així valorar la potencial millora de les actuacions a realitzar.

$$CEE = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{Energia Necessària}} \times 100 (\%)$$

Si CEE > 100 % → **INEFICIENT** Consum més del necessari  
Si CEE < 100 % → **EFICIENT** Consum menys del necessari



TOTAL (kWh/any)	Demanda ACS	Demanda CAL	Consum Combustible	Eficiència CEE
Caldera mixta	40625,64	136520,02	200145,82	112,98

TOTAL (kWh/any)	Demanda CAL	Consum Combustible	Eficiència CEE
Caldera gasoil	36357,7	43121,02	118,6

Fig. 18 Fitxa Resum de l'avaluació de la demanda dels diferents sistemes de climatització d'un edifici escolar.  
Font: (Gilberte, et al., 2012)

### 5.3.3.5. Anàlisi i Avaluació de les dades de consum

Finalment s’ha de realitzar l’anàlisi i avaluació del consum de recursos sense deixar de banda la valoració del confort dels usuaris de l’edifici: es tracta de conèixer si aquest és eficaç atenent les necessitats energètiques però, i el que és més important, també si és eficient en relació als recursos que consumeix per assolir-lo.

Les dades històriques, que es poden obtenir de les enregistrades en les factures corresponents i que les companyies subministradores faciliten, permeten obtenir una visió general de l’evolució i dels nivells de consum elèctric o de gas de l’edifici, i també comparar-los amb edificis de característiques similars. Sempre que sigui possible, és interessant realitzar també enregistraments in situ del consum elèctric diferenciat per a cada ús energètic (enllumenat, calefacció, equipaments o motors). D’aquesta manera, podrem atribuir millor la responsabilitat que cada element del sistema té en els resultats del consum final de l’edifici i, en conseqüència, detectar més acuradament les possibles desviacions respecte al que hi havia previst.

En aquest punt cal dir que, en aquells edificis en que es disposava de dades de consum monitoritzades, (només dos dels edificis escolars analitzats en el transcurs d’aquesta recerca) l’enregistrament en continu, minut a minut, dels diferents usos energètics, permet caracteritzar el perfil de consum elèctric de l’edifici i comparar-lo amb el corresponent perfil d’ocupació i d’ús dels espais. També es poden detectar fets com l’esmentat “consum fantasma”, les potències “pic” que es produeixen i comparar-les amb les de contractació, o l’evolució del consum elèctric al llarg d’un període determinat (diari, setmanal o anual).

Aquesta informació també és molt útil a l’hora d’avaluar si la gestió dels sistemes és l’adequada així com si ho és la resposta que donen.

En alguns casos, l’enregistrament diferenciat per a cada ús energètic no és possible, ja que no sempre un únic ús energètic es correspon amb una sola font d’energia. A més, la disponibilitat d’aparells de mesurament pot limitar els períodes d’enregistrament i, per tant, reduir la quantitat de dades enregistrades. L’enregistrament en forma de full de càlcul i l’elaboració posterior de gràfiques diàries, setmanals, mensuals o anuals de l’energia elèctrica consumida permeten visualitzar fàcilment l’evolució i la correspondència entre el consum elèctric i les diferents situacions de l’edifici: canvis

F2

AVALUACIÓ

## 13. Comparació entre centres area Metropolitana

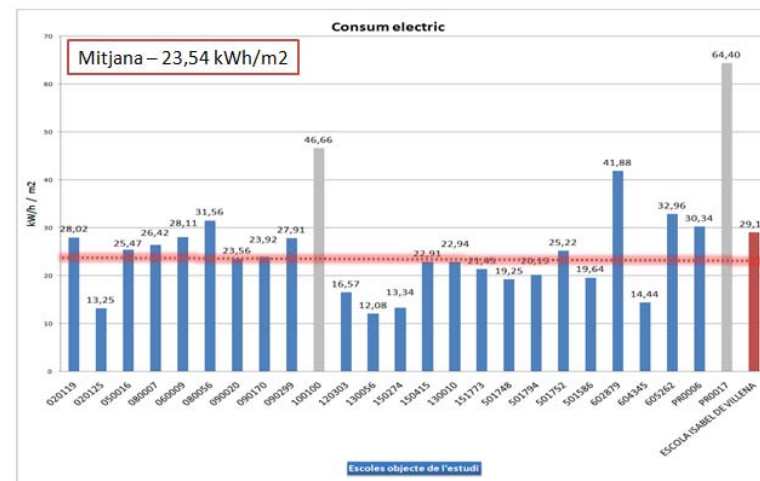


Fig. 20 Fitxa d’avaluació del comportament energètic d’un edifici objecte en comparació amb altres edificis de característiques similars. Font: (Gilberte, et al., 2012)

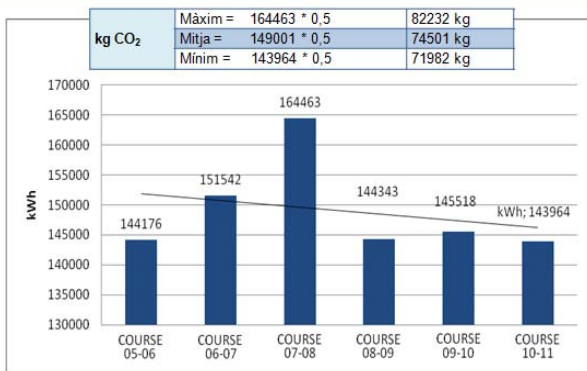


Fig. 21 Captura de pantalla d’inici del sistema de gestió energètica DEXCell.



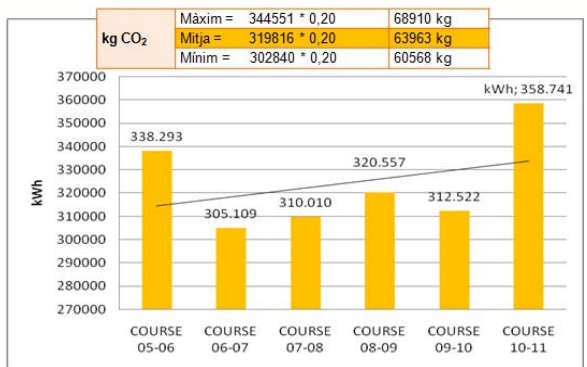
**F2** AVALUACIÓ **12. Avaluació dels Consums (Electricitat)**

kWh/Nº Usuaris	Màxim = 164463 / 780	210,85 kWh	kWh/m²	Màxim = 164463 / 5120,89	32,12 kWh
	Mitja = 149001 / 780	191,03 kWh		Mitja = 149001 / 5120,89	29,10 kWh
	Mínim = 143964 / 780	184,57 kWh		Mínim = 143964 / 5120,89	28,11 kWh



**F2** AVALUACIÓ **12. Avaluació dels Consums (Gas LP)**

kWh/Nº Usuaris	Màxim = 344551 / 780	441,00 kWh	kWh/m²	Màxim = 344551 / 5120,89	67,28 kWh
	Mitja = 319816 / 780	388,26 kWh		Mitja = 319816 / 5120,89	62,45 kWh
	Mínim = 302840 / 780	410,00 kWh		Mínim = 302840 / 5120,89	59,14 kWh



provocats per les diferents necessitats estacionals, variacions en els volums d'ocupació o les condicions meteorològiques.

Pel que fa a l'anàlisi dels consums de gas, a diferència del que succeeix amb l'anàlisi dels consums elèctrics, no es pot fer a partir de dades obtingudes in situ mitjançant aparells de mesurament col·locats en diferents punts de la xarxa de distribució. Per tant, les úniques dades disponibles són les que ofereix la companyia de gas per mitjà de les factures periòdiques.

Les dades obtingudes es refereixen, doncs, als períodes de consum mensuals, bimensuals o anuals, sense poder arribar al detall que aportarien les dades contínues o que permetrien elaborar perfils diaris de consum. La comparació amb dades històriques és, en aquest cas, molt més important, atès que no és possible disposar d'informació més concreta.

La informació principal vindrà donada pels valors dels consums enregistrats a les factures mensuals i anuals recollides per a cada edifici, les quals, en edificis de tipus docent, per exemple, es poden atribuir majoritàriament als sistemes de calefacció i, per tant, estan fortament vinculades a les condicions climàtiques que es donen. En conseqüència cal verificar a partir dels registres de dades meteorològiques la coincidència o no d'elevats consums per a climatització amb períodes de rigor climàtic anormal.

Cal comprovar també que aquells edificis que disposen d'aigua calenta sanitària per a consum en cuines o vestuaris estiguin utilitzant el recurs més adient des del punt de vista de l'impacte ambiental. En alguns casos, les necessitats d'instal·lacions s'han resolt amb sistemes elèctrics, que òbviament no són els més adients per a l'escalfament d'aigua.

Fig. 22 Fitxa Resum de l'avaluació dels consums de recursos (electricitat i gas) d'un edifici escolar. Font: (Gilberte, et al., 2012)

### 5.3.4. Diagnòstic, Línies d'actuació i Propostes d'intervenció

#### 5.3.4.1. El diagnòstic

Aquesta és l'etapa final de l'avaluació energètica pròpiament dita, i pretén sintetitzar en un sol document el treball realitzat al llarg del procés d'avaluació. En aquest document es realitza una valoració sistemàtica dels diferents aspectes que caracteritzen l'eficiència en el consum de recursos de l'edifici, per tal d'identificar-hi les possibilitats de millora

Proposem que aquesta valoració es realitzi de forma disgregada per àmbits d'actuació, de la manera següent:

- Diagnòstic de envoltupant de l'edifici: estat actual dels tancaments verticals, les cobertes, els sostres, etc., respecte a uns valors de referència.
- Diagnòstic sobre els sistemes: estat actual dels sistemes que l'edifici disposa per poder atendre la demanda energètica (climatització, enllumenat, equipaments, etc.)
- Diagnòstic sobre la gestió dels recursos energètics: manteniment, control dels sistemes, ocupació, etc., de l'edifici.
- Diagnòstic sobre el consum de recursos: anàlisi detallada de les característiques del consum i comparació amb els valors de referència.
- Diagnòstic sobre les condicions de confort: anàlisi del grau de compliment de les condicions de confort interior, adequades a la tipologia d'ús de cada espai.

Aquest diagnòstic serà necessari justificar-lo de forma quantitativa i qualitativa per a cadascun dels àmbits esmentats i, donat que és el resultat d'una anàlisi realitzada per persones especialitzades, normalment alienes a l'edifici (i que aporten una visió objectiva que serveix sovint per descobrir aspectes que podrien quedar ocults en la gestió diària), és convenient comentar-lo i arribar a un consens, si és possible, amb els usuaris dels centres. En el cas d'edificis amb gestió centralitzada (com és el cas dels edificis escolars de titularitat pública de Barcelona), cal també discutir les conclusions amb l'entitat que fa aquesta gestió, per tal d'aprofitar-ne l'experiència i fer-los participants de les conclusions finals a què s'arribi. Aquest diàleg és molt recomanable, per no dir imprescindible, per tal que les accions posteriors de millora puguin ser realment fructíferes

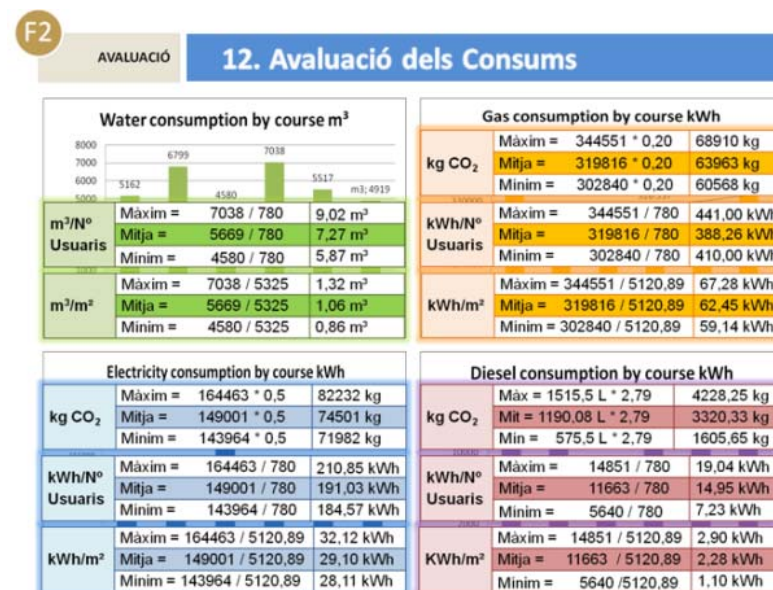


Fig. 23 Fitxa Resum de l'avaluació dels consums de recursos d'un edifici escolar. Font: (Gilberte, et al., 2012)

#### 5.3.4.2. Línies d'actuació

Una vegada identificades les deficiències i les oportunitats de millora de l'edifici, cal agrupar-les en els tres àmbits definits prèviament: l'envolupant de l'edifici, les instal·lacions i els sistemes, i la gestió. Totes les oportunitats de millora identificades en cadascun d'aquests àmbits constitueixen una línia d'actuació que es pot desenvolupar en diferents projectes o intervencions específiques.

És recomanable plantejar línies d'actuació organitzades per àmbits, ja que els criteris de decisió estan sovint influïts per altres consideracions alienes a l'avaluació energètica. Per millorar l'eficiència en el consum de recursos, es poden proposar actuacions molt diverses: des del simple canvi d'hàbit d'ús de la caldera d'un edifici, fins a la substitució dels vidres de la fusteria exterior, o una substitució progressiva de lluminàries. Per aquest motiu, cal avaluar de forma adequada la viabilitat de cadascuna de les actuacions proposades per tal de prendre les decisions corresponents

Segons la línia d'actuació (LA) en què s'actui, es pot definir el tipus d'intervenció que cal realitzar de la manera següent:

LA 1. Actuacions sobre la gestió dels recursos: aquestes actuacions es refereixen tant a la millora del perfil de gestió de l'edifici per tal que s'ajusti a la demanda identificada, com al control dels paràmetres de confort i les condicions de funcionament de l'edifici.

En aquesta línia d'actuació, tenen molta repercussió les actuacions relacionades amb el manteniment tant preventiu com correctiu de l'edifici i les seves instal·lacions, com també les actuacions relacionades amb la gestió de les fonts energètiques que es fan servir i el seu potencial d'impacte ambiental, que estan relacionades amb aspectes tan importants com la incorporació de sistemes d'aprofitament d'energies renovables.

LA 2. Actuacions sobre l'envolupant: aquestes actuacions es refereixen principalment a la millora de la qualitat de la pell de l'edifici i poden comportar actuacions com:

- col·locació d'elements de protecció solar: ràfecs, lames, vegetació, etc
- reforç de l'aïllament dels tancaments exteriors o dels espais interiors respecte de zones no climatitzades
- correcció de ponts tèrmics

- substitució de materials
- afavoriment de la ventilació natural encreuada
- substitució de finestres i fusteries, vidres i marcs.

LA 3. Actuacions sobre les instal·lacions: que tenen com a objectiu la millora del rendiment global de les instal·lacions amb la substitució d'aparells de baix rendiment per d'altres de més bon rendiment i també la millora dels sistemes de distribució, dels conductes, del seu aïllament i dels emissors. Poden també fer referència a la millora del sistema de control i regulació de les instal·lacions.

#### 5.3.4.3. Propostes d'intervenció

Tota l'anàlisi realitzada fins ara ha servit per identificar les possibles línies d'actuació que hem emmarcat en els tres àmbits d'intervenció en els edificis: la gestió, l'envolupant i els sistemes. A partir d'aquest moment es poden concretar les propostes específiques d'intervenció, en l'etapa d'avantprojecte, que s'haurien de desenvolupar com a projectes específics d'intervenció en fases posteriors a l'avaluació energètica realitzada.

Qualsevol proposta d'intervenció determinada per a un edifici no és sinó el resultat de tot aquest procés realitzat i necessàriament ha de contemplar una anàlisi del seu potencial d'estalvi en termes energètics i de l'impacte ambiental associat, de la seva complexitat tècnica i logística i de la seva viabilitat econòmica.

Respecte al potencial d'estalvi en termes d'energia, les eines d'avaluació de la demanda energètica i del consum serviran per avaluar la bondat de la proposta en termes de kWh, MJ, Btu, etc., estalviats segons l'àmbit d'actuació a què es refereixin (calefacció, il·luminació, etc.)

Pel que fa al potencial d'estalvi en termes d'impacte ambiental, aquest concepte se sol expressar en termes d'emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, perquè es considera que, dels diferents gasos associats a l'efecte hivernacle, aquest és el que hi té més incidència (al voltant del 50%). La forma d'analitzar-lo és a partir de la font energètica que s'utilitzi. Per a cada font energètica, s'empren coeficients de conversió que determinen els kg de CO<sub>2</sub> que suposa el consum d'un kWh d'energia, d'acord amb el mix de producció energètica del lloc que es consumeix.

**F4** PROPOSTES D'INTERVENCIÓ

### 16. Quadre de prioritats

QUADRE DE PRIORITATS		ENERGIA	ESTALVI (kWh)	ANYS
<b>1. LÍNIES AMB MÉS ESTALVI</b>				
LA3.1	PROGRAMACIÓ TEMPERATURES DE CONFORT EN CLAU D'ESTALVI ENERGÈTIC	GAS	31.981,60	immediat
		ELECT.	14.900,01	
LA1.1	SUBSTITUCIÓ LLUERNARIS INCLINATS, CUINA, MENJADOR I VESTÍBUL CENTRAL	GASOIL	45.883,44	5,98 anys
		GAS	9.093,20	
LA2.2	DIFERENCIAR ENCESA LLUMS AULES, FINESTRES	ELECT.	1.490,01	immediat
LA1.4	PROTECCIONS SOLARS AULES FAÇANA SUD, VOLADIU	ELECT.	5.097,16	---
		GAS	-3.959,40	
<b>2. RECOMANATS</b>				
LA4.1	FOMENT DEL RECICLATGE AMB ELS ALUMNES	---	---	---
<b>3. NO PROCEDEIX</b>				
LA1.2	AÏLLAMENT FAÇANA PER L'EXTERIOR	GAS	18841,14	> 100 anys
		ELECT	-7236,09	
LA1.3	PROTECCIONS SOLARS PATI PARVULARI	ELECT.	1.137,76	> 100 anys
LA1.5	AÏLLAMENT I REFORMA COBERTA PLANA INVERTIDA NO TRANSITABLE	GAS	4824,06	> 100 anys
		ELECT	-546,12	
LA2.1	ESTUDI D'IL·LUMINACIÓ D'ESPAYS	ELECT.	1.986,68	> 100 anys

Fig. 24 Fitxa Resum del llistat d'actuacions proposades, amb l'avaluació de l'estalvi i l'amortització. Font: (Gilberte, et al., 2012)

Aquestes dades són oficials i, en el cas de Catalunya, es defineixen anualment a través de l'IDAE o l'ICAEN. Pel que fa a la complexitat tècnica i logística, cal considerar, d'acord amb l'estat actual de l'edifici i de les seves instal·lacions: les obres que s'han de realitzar, els sistemes o els aparells que s'han de substituir o reparar, com també les dificultats que aquestes intervencions puguin comportar per al bon funcionament de l'edifici.

A partir d'aquesta anàlisi, és relativament senzill establir el cost econòmic de la intervenció i, segons l'energia que es pugui estalviar, la viabilitat econòmica o, el que és el mateix, el període de retorn de la inversió. Aquesta dada és de gran utilitat a l'hora de definir prioritats en les actuacions que s'han de realitzar (Fig. 24).

Cal tenir en compte una sèrie de consideracions finals: la decisió sobre les actuacions que cal realitzar en un edifici requereix establir unes prioritats a l'hora de planificar les inversions i, en aquest sentit, la variable econòmica en termes d'amortització de les actuacions sol ser el criteri que preval a l'hora de decidir. La situació dels recursos naturals i l'impacte ambiental que generen els edificis són raons suficients per considerar que el criteri econòmic no ha de ser l'únic que determini les decisions i orienti els esforços.

De la mateixa manera que la decisió d'instal·lar un ascensor no s'avalua amb criteris d'amortització sinó de benestar comú, les actuacions en benefici de l'eficiència i la reducció de l'impacte ambiental no haurien d'estar supeditades, exclusivament, a l'amortització com a condició fonamental. La definició de la viabilitat de qualsevol actuació hauria de ser sempre producte d'una doble anàlisi: la que fa referència al potencial d'estalvi energètic i la que considera la reducció de l'impacte ambiental com un criteri fonamental de benefici social.

#### 5.4. Definició dels indicadors ambientals

Com hem apuntat anteriorment, l'anàlisi sistèmica de qualsevol problema relacionat amb la sostenibilitat ha d'incorporar indicadors que no es poden limitar a les dades relacionades amb els propis edificis, els seus consums energètics o les emissions de gasos associades. En el cas de les escoles, aquests indicadors poden ser molt diversos, ja que poden proporcionar una informació molt valuosa a l'hora d'identificar possibilitats de millora o disfuncions que amb una lectura simplement arquitectònica, per exemple, no es poden detectar. En aquest sentit hem consultat diversos quadres d'indicadors que incorporen qüestions socioeconòmiques i ambientals i que, en molts casos, tenen una relació directa amb la qüestió que plantegem.

Així, durant el transcurs de la realització d'aquesta tesi s'ha verificat que, a més de sistematitzar la recollida de dades, calia relacionar aquestes amb uns indicadors que permetessin avaluar les deficiències o oportunitats de millora energètiques dels centres educatius, i també que calia poder comparar aquestes realitats amb altres properes geogràfica i socialment.

En general, els principals indicadors utilitzats per analitzar el consum energètic d'un país, i a petita escala d'un edifici, són:

**El consum energètic:** que permet observar l'evolució històrica, discriminar els consums per font energètica i per tant dóna una informació comparable entre edificis de característiques i entorns climàtics similars.

**L'activitat:** que quantifica el conjunt de necessitats personals i col·lectives; són indicadors d'activitat dels usuaris d'un centre escolar o la superfície construïda.

**L'estructura:** que defineix les condicions diferents de desenvolupament de l'activitat en un país o zona respecte d'un altre o en el temps, com per exemple, el clima, que afecta la necessitat de calefacció.

**La intensitat energètica:** que és la relació entre el consum i l'activitat; és una primera aproximació a l'eficiència energètica ja que quan més petit és el consum pel mateix volum d'activitat o per mes de l'any, més gran sol ser l'eficiència. Aquest indicador cal utilitzar-lo amb una base comuna, per

exemple una mateixa activitat (en el nostre cas centres escolars) i un mateix clima (ciutat de Sabadell, Barcelona, etc).

**Consum específic:** que en el nostre cas no podem utilitzar perquè relaciona l'energia consumida amb la produïda; en el cas d'una escola hauríem de poder avaluar la qualitat de l'ensenyament, per exemple, per relacionar-la amb l'energia consumida per un centre educatiu.

Existeixen gran quantitat d'indicadors que s'han d'escollir segons l'objectiu de la recerca que s'estigui duent a terme, però segons Rodríguez González (Rodríguez, et al., 2011) els indicadors han de ser fàcils per a que els usuaris o els gestors en puguin fer ús. Els que existeixen són dispars segons els països, i en el cas d'Espanya, el programa CALENER és un indicador que inclou massa dades i que treballa sobre un edifici de referència fent simulacions. Nosaltres treballem sobre edificis existents, amb els consums reals i amb dades verificades i que, per tant, podem mesurar a partir de:

$$SEC = C(\text{kWh})/A \text{ (m}^2\text{)}$$

un indicador físic per a cada sector que relaciona el consum d'energia específic (SEC) com el consum (C) amb un indicador d'activitat A.

O un indicador monetari que pot servir per mesurar diferents escenaris.

$$SEC = C(\text{kWh})/A \text{ (€)}$$

Però aquests indicadors no es poden usar en anàlisi comparatius en eficiència energètica degut a les diferències estructurals (clima, sistemes constructius, etc), les seves variables en el temps i segons els països. En conseqüència cal un índex d'eficiència que relacioni les dades amb algun valor de referència:

$$EEI = SEC/SEC_{\text{Ref}} = C(\text{kWh})/C_{\text{Ref}}(\text{kWh})$$

El valor crucial d'aquesta fórmula és la definició del valor de referència, que sovint s'obté de les sèries històriques o bé dels valors d'eficiència energètica obtinguts a partir d'exemples de bones pràctiques.

Per exemple, amb les dades que es varen registrar i sistematitzar per a realitzar el *Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica dels Equipaments Municipals (PE3)* de Sabadell, varem diferenciar els edificis escolars com ja hem dit anteriorment, en dos conjunts: els realitzats abans de l'any 1981 i els de després degut a que l'any 1979 va entrar en vigor la NBE-CT-79 i en conseqüència se suposa que els edificis fets després de l'entrada en vigor de la Norma havien de tenir millor comportament en quant a l'aïllament tèrmic de les seves envolupants. Analitzats els indicadors, es va poder comprovar que hi havia línies de tendència diferenciades, però hi ha altres maneres de mesurar: a partir de la relació superfície específica, relacions  $m^2$  d'envolupant/Volum, Volum/Superfície, Volum/ $m^2$  de coberta; transmitàncies/any de construcció, etc.

També hi ha diversos autors que han definit índex d'eficiència energètica en edificis basats en els consums reals d'energia en comptes de mesures estimatives com les que s'obtenen dels programes de certificació energètica i que a més poden ser utilitzats en qualsevol zona climàtica (Rodríguez, et al., 2011).

Fig. 102

Site:	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> .a	kWh/user.a	kgCO <sub>2</sub> eq/a/z	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> .z
School	546 701	136	1 095	146 183	38
Kindergarten	294 820	171	2 118	77 400	45
Hospital	1 345 095	363	4 017	365 105	99
Admin. building	211 882	110	1 367	62 137	32
Social building	588 048	113	4 400	116 407	22
Average for all types of buildings	597 307	179	2 599	153 446	47

Fig. 25 Taula d'indicadors per a diferents tipologies d'edificis públics: escoles, llars d'infants, hospitals, edificis administratius, habitatge social, i la mitjana. Font.: Projecte DATAMINE.

En el nostre cas, ens interessava incorporar també alguns indicadors que relacionessin l'ús i la gestió dels edificis escolars. Per exemple, el nombre d'infants que es queden a l'aula d'acollida per les tardes, en horari extraescolar, que podia significar un augment de consums energètics; la qualitat de l'espai exterior per a ús de patis que podia comportar estalvis importants si es podia usar en diferents moments del dia i de l'any; la generació d'energia solar tèrmica o fotovoltaica que equilibra la balança de despesa energètica; la temporalitat del personal docent que podia afectar al grau d'implicació en les



Subsistema Indicadors	Indicadors	Unitat de mes	Font d'informació
Indicadors de fluxe	consum d'energia elèctrica		
	consum de gas o altres combustibles		
	generació energia solar tèrmica		
	generació fotovoltaica		
	altres		
Indicadors institucionals	nom del gestor		
	nº d'usuaris		
	piràmides d'edat		
	fusos horaris d'ús		
	m2/usuari		
Indicadors econòmics	% de nens immigrants		
	nivell socioeconòmic del districte		
	escola pública/concertada		
Indicadors socials	nº de mestres/alumne		
	temporalitat del personal contractat		
	Cap de manteniment al centre		
	AMPA		
	% infants que arriben en transport públic		
	% infants que arriben a peu		
	% infants que arriben en transport particular		
	% de nens que es queden al servei menjador		
	% de nens que realitzen extra-escolars		
	% de nens en aula d'acollida		
Indicadors ambientals	Superfície de pati		
	Superfície de pati amb ombra		
	Superfície vegetal		
	Rati m2pati/infant		
	Temperatures exteriors		
	Nivell de soroll ambiental		
Indicadors edificatoris	Recollida aprofitament aigües pluvials		
	m2/planta		
	m2 totals		
	relació superfície/volum		
	superfície façanes/orientació		
	superfície coberta		
	% forats en façana		
	transmitàncies tèrmiques		
	existència proteccions solars		
	superfície aules ocupació fixa/superfície total		
	superfície serveis (menjador, gimnàs, biblioteca)/superfície total		
	superfície espais distribució/superfície total		
Indicadors energètics	sistema de climatització calefacció		
	sistema de climatització refrigeració		
	enllumenat		
	altres		

Fig. 26 Quadre 1 d'indicadors ambientals per a l'anàlisi de les dades obtingudes.  
Font pròpia

polítiques d'estalvi; la sensibilitat o conscienciació de les Associacions de Mares i Pares (AMPA) que pot ajudar a establir pautes actitudinals; o les piràmides de població, que poden donar informació sobre les diferents necessitats dels infants en relació als espais (espais per a migdiada, aules tecnològiques o d'informàtica), Fig. 26.

En conseqüència, per poder analitzar el parc edificat d'edificis escolars tenint en compte els valors mediambientals que es volien incorporar a aquest treball, es va definir un primer quadre d'indicadors que s'endrecaven a partir de diferents subsistemes:

- indicadors de flux, que ens permetrien avaluar els balanços energètics dels edificis;
- indicadors institucionals, que proporcionaven la informació relacionada amb els usos dels edificis i els usuaris;
- indicadors del subsistema econòmic, que incorporava les variables relacionades amb el nivell econòmic dels usuaris (una dada que pot tenir relació amb el districte en el que es troba ubicat el centre i en l'anàlisi de la població de l'àrea d'incidència);
- indicadors del subsistema social, que incorporava algunes de les variables que poden incidir en els consums a partir dels diferents usos i necessitats de la població usuària;
- indicadors del subsistema ambiental, que recollia indicadors relacionats amb la qualitat de l'ambient pel que fa a confort acústics i de temperatura (i que vam acotar en 7 indicadors però que, òbviament poden ampliar-se);
- indicadors del subsistema edificatori, que recollien les principals dades relacionades amb l'arquitectura i la construcció de l'edifici que poden influir en els consums energètics;
- i el subsistema d'indicadors energètics, que endrecava els valors relacionats amb les instal·lacions i els sistemes.

Aquest primer quadre d'indicadors es va mostrar massa ambiciós donada la quantitat de dades que calia recollir sobretot pel que feia referència als indicadors socials, ja que calia fer una recollida de dades demogràfiques que escapaven de les nostres possibilitats, per la qual cosa, a partir de les dades disponibles de l'anàlisi dels diferents edificis escolars, es va acabar conclouent un nou quadre amb 48 indicadors endrecats segons els següents subsistemes:

- Dades Generals (DG), que recollien la zona climàtica ([Institut Català de l'Energia, 2003](#)), l'any de construcció, la superfície construïda, el nº d'usuaris, les hores d'ús dels edificis, el volum, la superfície de pell (façanes) i el tipus d'ensenyament;
- Indicadors clau (Key Performance Indicators, KPI), obtinguts a partir dels consums energètics en electricitat, gas o altres recursos, i relacionats amb els m<sup>2</sup>, amb el nº d'usuaris i les hores d'ús;
- Indicadors arquitectònics (A), que analitzaven específicament la Façana Nord (AFN, ja que és la que està més fortament vinculada als consums de calefacció), el Factor de Forma (FF), l'Aprofitament de la Llum Natural per a il·luminació (ALN, analitzant una aula tipus, la seva superfície i la superfície de finestres);
- Els indicadors dels sistemes (NI Nivells d'enllumenat en aules tipus, i CL rendiment dels sistemes de CLimatització);
- I finalment uns indicadors d'Ús i Gestió (UG) que permetessin avaluar aquests paràmetres a partir de la informació disponible.

CODI		NOM ESCOLA				
		Concepte	Fòrmula	Unitats	Criteri	
Dades generals	DG-01	Zona climàtica	S/ICAEN			
	DG-02	Any de construcció				
	DG-03	Superfície construïda		m2		
	DG-04	Nº usuaris		U		
	DG-05	Hores ús/dia		h/d		
	DG-06	Volum		m3	196000	
	DG-07	Sup. Pell		m2	2688	
	DG-08	Tipus d'ensenyament		EB/CEIP/IES		
Indicadors energètics KPI	Consums energètics/any	KPI-01	kWh/any en electricitat		kWh/any	s/ factures
		KPI-02	kWh/any en gas		kWh/any	s/ factures
		KPI-03	kWh/any en altres recursos		kWh/any	s/ factures
		KPI-04	kWh/any Elec.+ Gas		kWh/any	s/ factures
	Consums energètics/any/m2	KPI-11	kWh/any/m2 en Electricitat	KPI-01/DG-03	kWh/m2	
		KPI-12	kWh/any/m2 en Gas	KPI-02/DG-03	kWh/m2	
		KPI-13	kWh/any/m2 en altres recursos	KPI-03/DG-03	kWh/m2	
		KPI-14	kWh/any/m2 en Elec.+ Gas	KPI-04/DG-03	kWh/m2	
	Consums energètics/any/usuari	KPI-21	kWh/any/usuari en Electricitat	KPI-01/DG-04	kWh/u	
		KPI-22	kWh/any/usuari en Gas	KPI-02/DG-04	kWh/u	
		KPI-23	kWh/any/usuari en altres recursos	KPI-03/DG-04	kWh/u	
		KPI-24	kWh/any/usuari en Elec.+ Gas	KPI-04/DG-04	kWh/u	
	Consums energètics/any/hora d'ús	KPI-31	kWh/any/hora d'ús en Electricitat	KPI-01/DG-05	kWh/h	
		KPI-32	kWh/any/hora d'ús en Gas	KPI-02/DG-05	kWh/h	
		KPI-33	kWh/any/hora d'ús en altres recursos	KPI-03/DG-05	kWh/h	
		KPI-34	kWh/any/hora d'ús en Elec.+ Gas	KPI-04/DG-05	kWh/h	

Fig. 27 Quadre 1 d'indicadors ambientals per a l'anàlisi de les dades obtingudes.

Indicadors Arquitectura	Façana Nord	AFN-01	Transmitància U paraments opacs		W/m <sup>2</sup> °C					
		AFN-02	Transmitància U obertures		W/m <sup>2</sup> °C					
		AFN-03	% de superfície d'obertures en façana							
		AFN-04	KPI-12/U paraments opacs	KPI-12/AFN-01						
		AFN-05	KPI-12/U obertures	KPI-12/AFN-02						
		AFN-06	KPI-12/% sup. obertures en façana	KPI-12/AFN-03						
	Factor de forma	FF-01	Factor de forma sup construïda/volum							
		FF-02	KPI-14/factor de forma	KPI-14/FF-01						
IE Aprofitament llum natural	ALN-01	% sup finestres en aula tipus			m2 sup finestres/m2 sup paret					
	ALN-02	kWh electricitat/any/m2 /% sup finestres en aula tipus	KPI11/AL-01	kWh/ALN-01						
Indicadors Sistemes	Enllumenat	NI-01	Nivell enllumenat en aules		lux	inferior al recomanat, = recomanat, major del recomanat, excessiu				
		NI-02	Tipus de lluminària majoritari en aules			icandescent/florescent/baix consum				
		NI-03	Detectors de presència o fotosensibles zones secundàries							
		NI-04	d'enllumenat	KPI-11/nivells il·luminació						
	Climatització	CL-01	Antiguitat caldera			x<10 anys	10<x<20	x>20		
		CL-02	Existència vàlvules			si/no				
		CL-03	Sectoritzacions			si/no				
		CL-04	Recurs energètic per a climatització			gas/electricitat/altres				
Indicadors ús i gestió	Gestió	UG-01	Manteniment			Manteniment extern/manteniment tècnic/manteniment usuari				
		UG-02	Confort ambiental			Tª<confort/ Tª>confort/Tª adequada				
		UG-03	Hores encesa calefacció							
		UG-04	Públic/privat/concertat							
	Ús	UG-05	Agenda 21 o altres accions							
		UG-06	Plaques solars ACS			SI en funcionament/SI fora de servei/ No				

Fig. 28 Quadre 1 d'indicadors ambientals per a l'anàlisi de les dades obtingudes.

Aquest nou Quadre d'Indicadors s'ha mostrat prou eficaç per al tractament de resultats comparables, tot i les dificultats d'obtenir les dades des de la diversitat dels Treballs d'Avaluació energètica realitzats sobre els diferents edificis escolars objecte d'estudi. Amb tot, 48 indicadors també resultaven excessius si es volia fer una comparativa explícita dels resultats obtinguts, per la qual cosa es va fer una tria d'aquells que proporcionaven una informació més qualitativa. El Quadre definitiu es va concloure amb els següents 15 indicadors:

1	FF-04	Sup específica coberta. Sup.coberta/volum	m2 Coberta/V
2	CL-06	Indicador eficiència sistema calefacció	Ind. Eficiència Calefacció
3	CL-01	Rendiment sistema climatització	Rendiment Caldera
4	ALN-01	% sup finestres en aula tipus	Finestres/Sup. aula
5	NI-04	Indicador eficiència sistema enllumenat	Ind.Eficiència Il·luminació
6	NI-05	Valor d'Eficiència Energètica de la instal·lació VEEI	VEEI
7	UG-10	Indicador gestió	Ind. Gestió
8	KPI-11	kWh/any/m2 en Electricitat	Consum Electricitat
9	KPI-12	kWh/any/m2 en Gas	Consum Climatització
10	ATU-01	Transmitància U paraments opacs	U Paraments opacs
11	ATU-02	Transmitància U obertures	U Finestres
12	ATU-03	Transmitància U Coberta	U Coberta
13	FF-01	Factor de forma	Factor de forma
14	FF-02	Sup específica façanes. Sup. façanes/volum	m2 Façana/V
15	FF-03	% de superfície d'obertures en façana	% finestres

Fig. 29 Quadre final d'indicadors utilitzats per a l'anàlisi dels resultats. Font pròpia

Per mostrar els valors dels indicadors en gràfics radials, i tenint en compte que els valors eren excessivament dispersos s'ha hagut de definir unes escales segons els diferents indicadors. Així mateix ens hem proposat que gràficament fossin fàcilment comprensibles, ja que per exemple, escalant de l'1 al 10 les transmitàncies, aquestes mostraven uns valors que podien portar a confusió, al marge que distorsionaven la relació entre els valors de les  $U_{obertures}$ ,  $U_{tancaments\ opacs}$ ,  $U_{coberta}$ .

Els indicadors també s'han endreçat per qüestions gràfiques ubicant els valors de consums en la part inferior, i agrupant la resta d'indicadors en paràmetres constructius (les transmitàncies U), arquitectònics (Indicadors de forma), de rendiment dels sistemes, i d'ús i gestió.

Finalment, s'ha treballat amb les dades de 19 edificis que s'han identificat amb un codi per preservar la privacitat, i dels quals s'han pogut extreure dades comparables Fig. 30.

Aquest quadre resum mostra de manera visual la variabilitat dels resultats que ofereixen els 19 estudis de detall seleccionats per al tractament de dades i per a l'anàlisi dels resultats que farem en el següent capítol.

A mode de resum, podem concloure que la metodologia emprada durant aquesta recerca, es pot resumir en les següents fases:

- Experiències prèvies
- Reflexió i publicació d'una metodologia per a l'avaluació energètica d'edificis escolars
- Estudi d'experiències similars i incorporació al projecte de recerca
- Estudi de detall d'edificis escolars segons metodologia experimentada
- Compendi dels resultats obtinguts
- Anàlisi de les variables i establiment d'indicadors clau
- Cerca d'un sistema gràfic per a l'exposició de dades
- Elaboració de les gràfiques
- Extracció de conclusions
- Revisió de la metodologia de treball per a la incorporació de millores

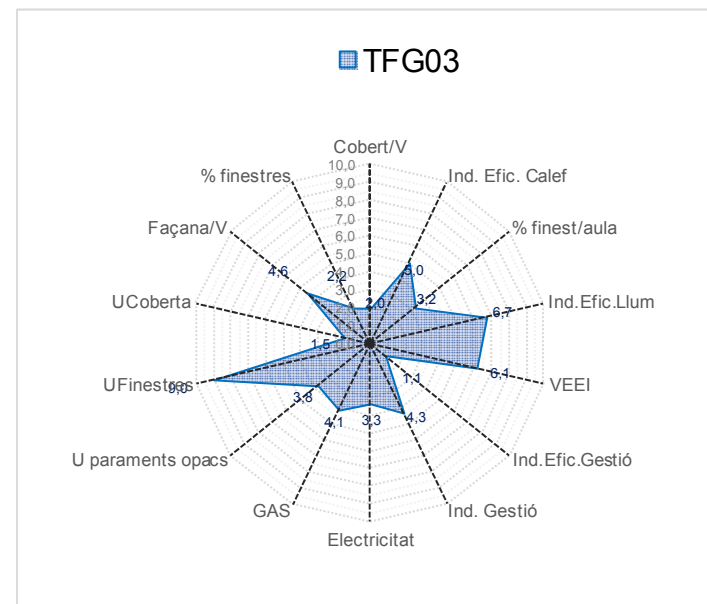


Fig. 30 Gràfic radial per a l'anàlisi d'un edifici escolar a partir d'indicadors. Font pròpia.

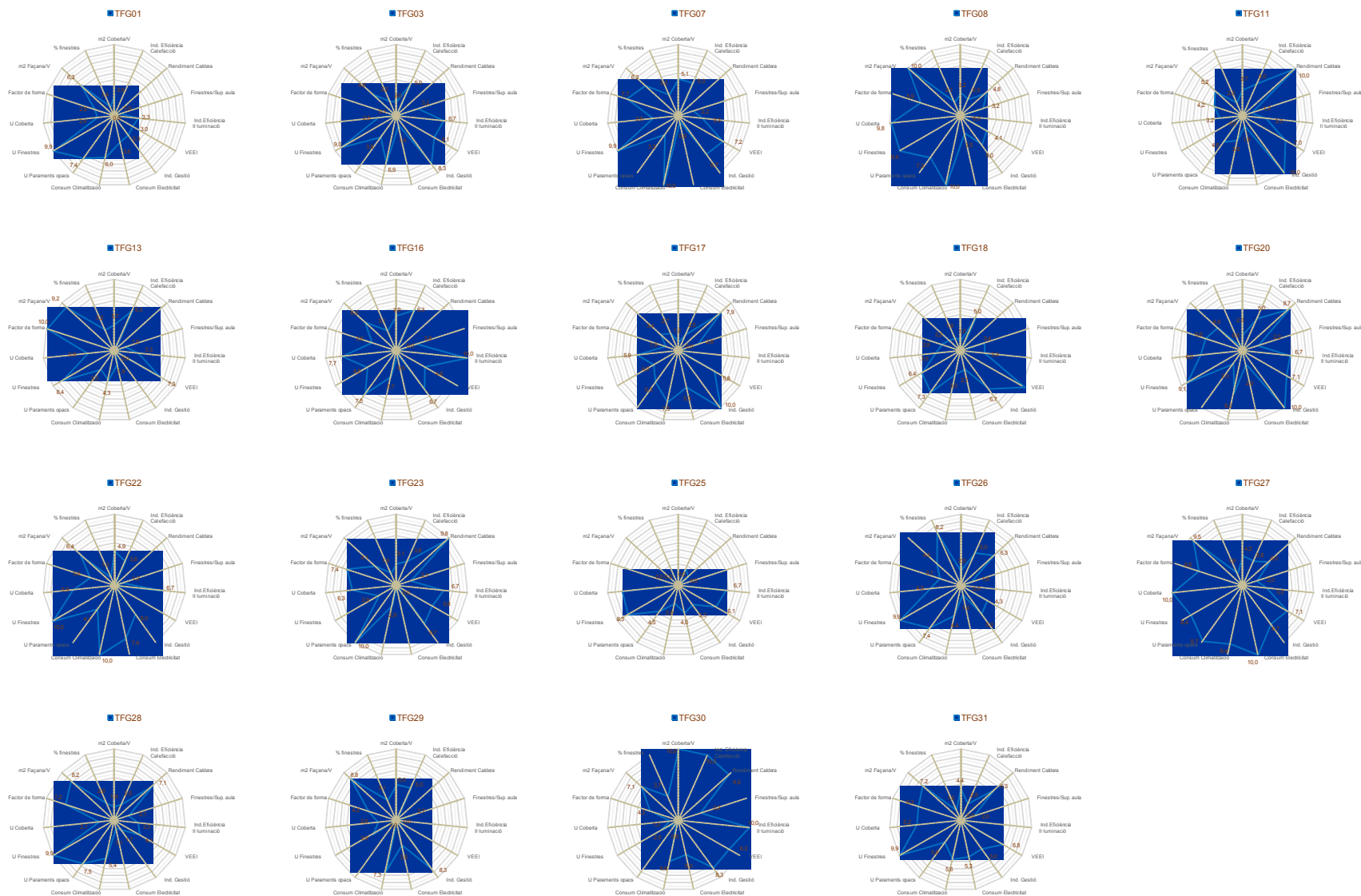


Fig. 31 Taula resum amb el conjunt d'edificis escolars estudiats i els resultats obtinguts dels estudis de detall, en gràfica radial d'indicadors clau.

## Taula de figures

Fig. 1 Estudi de temperatures i circulació de l'aire a l'edifici Coderch de l'ETSAB. Font: (Ruiz Martorell, 2004) .....	150
Fig. 2 Pantalla inici del Sistema d'Informació del consum de Recursos Energètics i d'Aigua (CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya) .....	151
Fig. 3 Organigrama del Consorci d'Educació de Barcelona. Font (Generalitat de Catalunya).....	156
Fig. 4 Conjunt d'edificis escolars públics de Barcelona analitzats amb la mitjana de consums energètics (gas i electricitat) segons tipologies (CEIPs, EBM i IESs). Font pròpia .....	157
Fig. 5 Mapa de situació dels edificis escolars objecte d'estudi. Font pròpia.....	161
Fig. 6 Taules de classificació bàsica dels edificis escolars objecte d'estudi. Font pròpia .....	162
Fig. 7 Esquema de la metodologia d'anàlisi d'edificis en clau energètica. Font pròpia.....	163
Fig. 8 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques d'arquitectura (DEa).....	164
Fig. 9 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques de construcció (DEc). Font (Gilberte, et al., 2012). .....	165
Fig. 10 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques d'instal·lacions (DEi). Font (Gilberte, et al., 2012). .....	166
Fig. 11 Fitxa Resum de la recollida de Dades Estàtiques d'ús (DEu). Font (Gilberte, et al., 2012). ..	166
Fig. 12 Fitxa Resum de les eines d'avaluació informàtiques emprades habitualment. Font (Gilberte, et al., 2012). .....	168
Fig. 13 Fitxa Resum de l'avaluació d'un edifici amb l'ajut del programa LIDER. Font (Gilberte, et al., 2012) .....	169
Fig. 14 Fitxa Resum de l'avaluació de la demanda lumínica amb l'ajut del programa Dialux. Font (Gilberte, et al., 2012) .....	170
Fig. 15 Fitxa Resum de l'avaluació de les condicions de confort mitjançant la recollida de dades a partir d'enquestes (subjectives). Font (Gilberte, et al., 2012) .....	171
Fig. 16 Fitxa Resum de l'avaluació de les condicions de confort mitjançant la recollida de dades amb termohigròmetres Font (Gilberte, et al., 2012).....	171



Fig. 17 Fitxa Resum de l'avaluació de les condicions de confort acústiques mitjançant la recollida de dades a partir de sonòmetres.....	172
Fig. 18 Fitxa Resum de l'avaluació de la demanda dels diferents sistemes de climatització d'un edifici escolar. ....	174
Fig. 19 Taules resum dels resultats de la simulació d'Eficiència Energètica amb el programa CALENER VYP d'un edifici escolar. Font: (Gilberte, et al., 2012) .....	174
Fig. 20 Fitxa d'avaluació del comportament energètic d'un edifici objecte en comparació amb altres edificis de característiques similars. Font: (Gilberte, et al., 2012) .....	175
Fig. 21 Captura de pantalla d'inici del sistema de gestió energètica DEXCell. ....	175
Fig. 22 Fitxa Resum de l'avaluació dels consums de recursos (electricitat i gas) d'un edifici escolar. Font: (Gilberte, et al., 2012).....	176
Fig. 23 Fitxa Resum de l'avaluació dels consums de recursos d'un edifici escolar. Font: (Gilberte, et al., 2012).....	177
Fig. 24 Fitxa Resum del llistat d'actuacions proposades, amb l'avaluació de l'estalvi i l'amortització. Font: (Gilberte, et al., 2012).....	180
Fig. 25 Taula d'indicadors per a diferents tipologies d'edificis públics: escoles, llars d'infants, hospitals, edificis administratius, habitatge social, i la mitjana. Font.: Projecte DATAMINE. ....	183
Fig. 26 Quadre 1 d'indicadors ambientals per a l'anàlisi de les dades obtingudes. Font pròpia .....	184
Fig. 27 Quadre 1 d'indicadors ambientals per a l'anàlisi de les dades obtingudes.....	186
Fig. 28 Quadre 1 d'indicadors ambientals per a l'anàlisi de les dades obtingudes.....	187
Fig. 29 Quadre final d'indicadors utilitzats per a l'anàlisi dels resultats. Font pròpia .....	188
Fig. 30 Gràfic radial per a l'anàlisi d'un edifici escolar a partir d'indicadors. Font pròpia.....	189
Fig. 31 Taula resum amb el conjunt d'edificis escolars estudiats i els resultats obtinguts dels estudis de detall, en gràfica radial d'indicadors clau.....	190

## Bibliografia

**Ajuntament de Barcelona** Butlletí Oficial de la Província de Barcelona [En línia] // B.O.P 143. - 16 / juny / 1999. - 13 / setembre / 2013. - <http://www.mediambient.bcn.es/cat/down/text.pdf>.

**Ajuntament de Barcelona** Butlletí Oficial de la Província de Barcelona [En línia] // B.O.P 181. - 5 / novembre / 1999. - 13 / setembre / 2013. - <http://www.mediambient.bcn.es/cat/down/bop265.pdf>.

**Ajuntament de Barcelona** Pla d'Energia , canvi climàtic i qualitat atmosfèrica de Barcelona 2010 – 2020 [En línia]. - 2011. - 19 / maig / 2013. -

[http://www.barcelonaenergia.cat/document/actuacions/Nou\\_PECQ.pdf](http://www.barcelonaenergia.cat/document/actuacions/Nou_PECQ.pdf).

**Bosch M. [et al.]** Avaluació energètica d'edificis : l'experiència de la UPC , una metodologia d'anàlisi [Llibre]. - Barcelona : Edicions UPC, 2006.

**Bosch M. i R. Cantalapedra I.** Avaluació, diagnosi i línies d'actuació en el CEIP Amadeu Vives, Sabadell. [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2007a. - No publicat.

**Bosch M. i R. Cantalapedra I.** Avaluació, diagnosi i línies d'actuació en el CEIP Andreu Castells [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2007b. - No publicat.

**Bosch M. i R. Cantalapedra I.** Avaluació, diagnosi i línies d'actuació en el CEIP Arraona [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2007c. - No publicat.

**Bosch M. i R. Cantalapedra I.** Avaluació, diagnosi i línies d'actuació en el CEIP Espronceda [Informe] = Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2007d. - No publicat..

**Bosch M. i R. Cantalapedra I. Martí, J.** Auditoria Energètica del Poliesportiu Can Balsach. [Informe] : Tècnic. - 2006b. - No publicat.

**Bosch M.** Les auditories energètiques com a diagnosi i com estalvi energètic [Conferència] // *Ágora de la Rehabilitación. Rehabilitación energética. Entre la auditoría, el edificio y la energía* / ed. CAATEEB. - Barcelona : [s.n.], 2011. -

[http://www.apabcn.cat/documentacio/comunicacio/activitats/construmat/agora/ponencies/Montse\\_Bosch.pdf](http://www.apabcn.cat/documentacio/comunicacio/activitats/construmat/agora/ponencies/Montse_Bosch.pdf).

**Bosch M., R. Cantalapiedra I. i Martí J.** Auditoria Energètica de la Biblioteca Vapor Badia [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2006a. - No publicat.

**CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya** Sirena [En línia]. - 17 / febrer / 2013. - <http://www.upc.edu/sirena/>.

**CONAMA** Fundación CONAMA [En línia]. - 2008. - 31 / març / 2015. - <http://www.conama.org/web/es/congresos-y-actividades/conama.html>.

**Di Pizzo F. Bosch, M.** Limitación de la demanda energética en edificios públicos del Ensanche de Barcelona (centros educativos Fase 1) y propuesta de certificación energética: CEIP La Sedeta. [Projecte Final de Carrera]. - Barcelona : [s.n.], 2010.

**Generalitat de Catalunya** Consorci d'Educació de Barcelona. [En línia]. - 1998. - 25 / abril / 2011. - [www.edubcn.cat/ca/el\\_consorci/que\\_es\\_el\\_ceb](http://www.edubcn.cat/ca/el_consorci/que_es_el_ceb).

**Gilberte David i Marcos Omar** Estudis previs d'un centre docent de 1975, rehabilitació energètica, acondicionament acústic-tèrmic i pla de manteniment. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2012. - Treball Final de Grau. - <http://hdl.handle.net/2099.1/17548>.

**Gobierno de España** CTE Código Técnico de la Edificación [En línia]. - Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.CSIC para la Secretaria de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, abril / 2006. - 13 / setembre / 2013. -

[http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB\\_HE\\_abril\\_2009.pdf](http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf).

**Institut Català de l'Energia** [www.icaen.cat](http://www.icaen.cat) [En línia] // Els graus-dia de calefacció i refrigeració de Catalunya. Resultats a nivell municipal. - 2003. - 8 / agost / 2014. - <http://www20.gencat.cat/docs/icaen/Migracio%20automatica/Documents/Activitats%20i%20dades%20energetiques/Arxius/monografic14.pdf>.

**Ministerio de Economía y Competitividad** Catálogo de elementos constructivos del CTE [En línia]. - 3 / març / 2010. - 8 / agost / 2014. -

[http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3\\_marzo\\_10.pdf](http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf).

**Ministerio de Industria, Energía y Turismo** Programa CALENER VYP [en línia]. - 2013. - <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/documentos/reconocidos/programacalener/paginas/documentosreconocidos.aspx>.

**Moreno V i Bosch M.** Limitación de la demanda Energética en Edificios Públicos del Ensanche de Barcelona (Centros Educativos Fase I) y propuesta de certificación energética: “CEIP Àngel Baixeras”. - Barcelona : [s.n.], 2010. - Projecte Final de Carrera, UPC. -

<http://hdl.handle.net/2099.1/11048>.

**R. Cantalapedra I. i Bosch M.** Estudi de detall dels Centres d'Educació Infantil i Primària (CEIP) de Sabadell [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2007. - No publicat.

**R. Cantalapedra I., Bosch M i Martí J.** Auditoria Energètica CEIP Miquel Carreras [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2006a. - No publicat.

**R. Cantalapedra I., Bosch M. i Martí J.** Auditoria Energètica de Can Marcet [Informe] : Tècnic. - Barcelona : [s.n.], 2006b. - No publicat.

**R. Cantalapedra I., Bosch M. i López F.** Involvement of final architecture diploma projects in the analysis of the UPC buildings energy performance as a way of teaching practical sustainability [Revista] // Journal of Cleaner Production.. - [s.l.] : Elsevier, 2006. - 9-11 : Vol. 14. - p. 958-962.

**Rebolleda S., Ruiz D. i Bosch M.** Estudi de les cobertes vegetals i l'aplicació a les escoles de Ciutat Vella de Barcelona. - Barcelona : UPC, 2001. - PFC.

**Rodríguez A.B. [et al.]** Towards a universal energy efficiency index for buildings [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2011. - 43. - p. 980-987.

**Rodríguez I. i Bosch M.** Manual d'auditories energètiques. [Informe]. - Barcelona : [s.n.], 2007. - (Confidencial).

**Ruiz Martorell Galdric** Bases per a la recerca en reducció d'emissions de CO2 en edificació des de la perspectiva dels "edificis vius". - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2009. - Master thesis. - <http://hdl.handle.net/2099.1/9951>.

**Ruiz Martorell Galdric** Pla d'eficiència en el consum de recursos de l'edifici Coderch-ETSAB. - Barcelona : Univrsitat Politècnica de Catalunya, 2004. - 1400518111.

**Sánchez Manchón Patricia** Caracterització de l'envolvent de dos conjunts d'edificis mitjançant tècniques termogràfiques. - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2013. - Treball Final de Grau. - <http://hdl.handle.net/2099.1/19004>.

**ZEMEDS ZEMedS** [En línia]. - 2013. - 8 / agost / 2014. - <http://www.zemedes.eu/>.

**Resultats | 6**



## Índex

6	Resultats.....	201
6.1	Anàlisi exploratòria de les dades proporcionades per l'Agència de l'Energia.....	201
6.1.1	Conclusions de l'anàlisi exploratòria de les dades proporcionades per l'Agència de l'Energia .....	213
6.2	L'anàlisi exploratòria dels edificis escolars objecte de l'estudi detallat .....	214
6.2.1	Definició de la mostra .....	214
6.2.2	Els ratis de consums o consums específics.....	216
6.2.3	L'edat dels edificis .....	224
6.2.4	Els paràmetres arquitectònics i constructius.....	228
6.2.5	El rendiment dels sistemes .....	236
6.2.6	L'ús i gestió dels edificis.....	241
6.3	L'anàlisi multivariable.....	245
6.4	L'anàlisi dels resultats a partir de la regressió múltiple.....	265
	Taula de figures.....	269
	Bibliografia.....	273





## 6 Resultats

### 6.1 Anàlisi exploratòria de les dades proporcionades per l'Agència de l'Energia

Del document subministrat en el seu dia per l'Agència de l'Energia de l'Ajuntament de Barcelona i que recollia informació de consums de 349 centres escolars, entre EBMs (Escoles Bressol Municipals), CEIPs (Centres Educatius Infantil i Primària) i IESs (Instituts Estudis Secundaris) i d'altres, es va treballar només amb les dades de 237 (considerats pel propi ajuntament com "amb dades"), ja que dels altres 112 centres no es disposava de suficients dades o aquestes es trobaven incompletes o confoses.

La taula de dades proporcionada recollia informació sobre els següents valors: el codi BIM (Bé Immobile Municipal); el codi d'ús que diferencia entre EBMs, CEIPs, IESs (i diferents nomenclatures que ha calgut unificar); el nom del centre, l'adreça, qui gestiona l'edifici, el districte en el que es troba, la superfície en m<sup>2</sup>, el consum d'electricitat en kWh/any i el consum de gas en kWh/any (any de lectures, 2006).

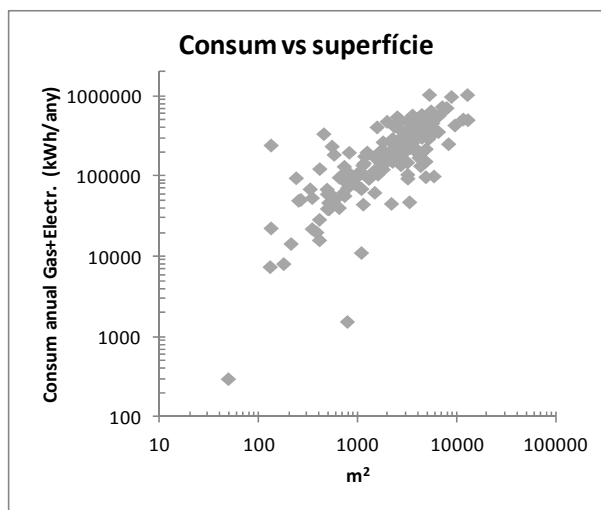


Fig. 1 Relació superfície vs consums energètics a escala logarítmica.

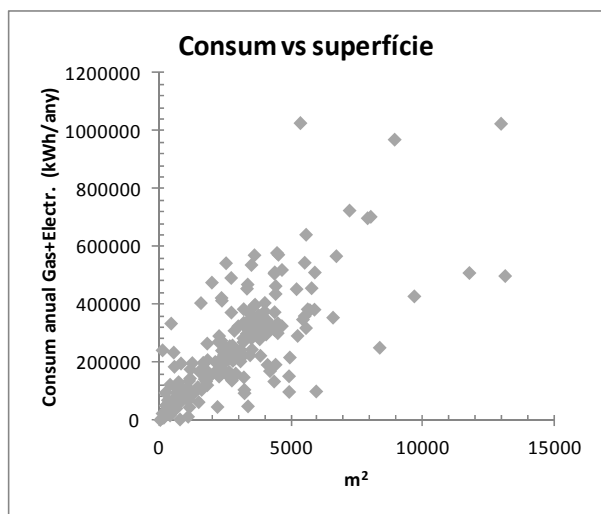


Fig. 2 Relació superfície vs consums energètics a escala normal.

Val a dir que, les dificultats per normalitzar les dades són un problema que també han detectat altres investigadors (Tian, et al., 2012): la manca d'informació detallada dels edificis existents (tant pel que fa a consums com a les solucions constructives; la diversitat de tipologies edificatòries i de variables tot i treballar en un mateix grup d'edificis; i la qualitat de les dades disponibles, que depèn de qui les proporciona i que a més no són unitàries, p.e. les superfícies construïdes, o útils, o calefactades).

Amb les dades dels 237 centres dels quals es disposava, en principi, de dades fiables, es va fer una primera gràfica que relacionés consums energètics amb  $m^2$  per tal de detectar fàcilment els edificis que es mostraven anòmals. Realitzant les gràfiques a diferents escales, es podien detectar els edificis que tenien consums destacadament baixos (a escala logarítmica) (Fig. 1) i els que tenien consums destacadament alts (a escala normal) (Fig. 2). A la vista que efectivament hi havia edificis que semblaven tenir comportaments allunyats de la normal, es va fer una revisió de les dades aportades per acabar eliminant:

- Els centres escolars duplicats o amb errors d'adreça per motius diversos: perquè el centre està conformat per diferents edificis, amb superfícies diverses però amb comptadors no independents; perquè el centre disposa de dues adreces que semblen no tenir relació física; i perquè el nom del centre no coincideix amb la seva adreça real (un conjunt escolar CEIP+IES i 2 CEIPs eliminats).
- Els centres escolars dels quals no es disposava de dades de superfície (12 CEIPs, 1 IES i 10 EBM).
- Els centres escolars dels quals no es disposava de dades de consum elèctric, ja que és impossible que un edifici escolar funcioni sense aquest subministrament (2 CEIPs, 2 EBMs i un Centre Primària Educació Especial-CPEE).
- Es van eliminar els centres que no disposaven de consums de gas perquè, tot i ser possible que un centre escolar funcioni sense aquest subministrament, aquesta circumstància és excepcional i, o bé suposa que el sistema de climatització és elèctric, o bé que no es disposa de sistemes de climatització, amb la conseqüent manca de confort ambiental.
- Es van eliminar de la mostra altres 2 edificis dels quals les dades no semblaven fiables: un CEIP amb una superfície de  $135 m^2$  (i que és una dada clarament errònia però que ve donada per una excepcionalitat relacionada amb l'ús del sòl i la propietat); i un CEIP amb una superfície de  $557 m^2$  (dada també errònia segons visita al centre);

- També es van eliminar dues escoles que no són equiparables al conjunt que es pretén avaluar (una escola d'adults, i una escola vinculada a la UPC); dues EBM amb 135 m<sup>2</sup> i 136 m<sup>2</sup> respectivament que, tot i ser possibles (hi ha escoles bressol ubicades en PB o pisos) es poden considerar excepcions de la mostra; i 4 EBM amb superfícies de més de 3000m<sup>2</sup> que també es consideren excepcionalment atípiques i que probablement acullen altres serveis municipals.
- Finalment es va eliminar de la mostra un EBM que tenia uns consums en gas exageradament alts (4 vegades la mitjana) i que, a manca de més dades, s'ha considerat que aquesta dada era poc fiable.

Després d'aquesta “neteja” el conjunt d'edifici dels quals es disposava de dades per a seguir treballant va quedar en: 133 CEIPs, 19 EBMs, 8 IESs, 4 CPEE, i 6 ESC (Escoles, nom genèric que s'utilitza darrerament per anomenar els edificis escolars), en total 170 centres. Com es pot observar en les (Fig. 3 i Fig. 4), els edificis eliminats de la mostra (en vermell) són bàsicament els que tenen consums energètics atípicament baixos, mentre que aquells que tenen consums excepcionalment alts s'han conservat, seguint la lògica de la base fonamental d'aquesta tesi, que és detectar edificis poc eficients energèticament i treballar per a una reducció del seu consum energètic.

Es va prendre la decisió de deixar de treballar amb els edificis identificats amb el codi ESC (escoles que podien ser tant escoles bressol, escoles d'educació infantil o escoles d'adults) i els CPEE (escoles d'educació especial amb necessitats i ratis d'alumnat diversos) ja que eren edificis amb consums especialment anòmals en relació a la resta del conjunt d'edificis amb dades (10 en total).

Un cop definit el conjunt, es van analitzar les dades de consums d'electricitat/m<sup>2</sup>, de gas/m<sup>2</sup>, així com la suma total d'ambdós consums per tal de conèixer les mitjanes i establir unes desviacions estàndard (Fig. 5 i Fig. 6).

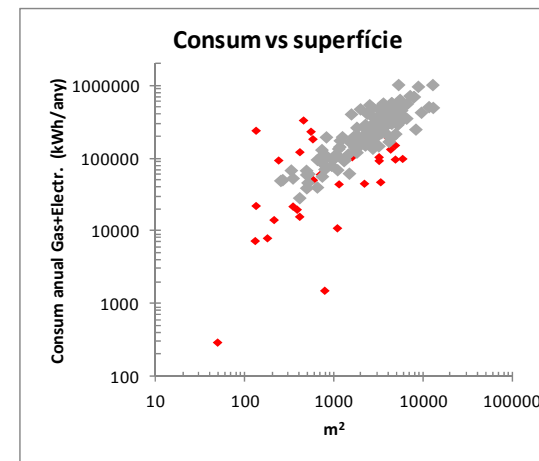


Fig. 3 Relació superfície vs consums energètics a escala logarítmica, indicant edificis anòmals

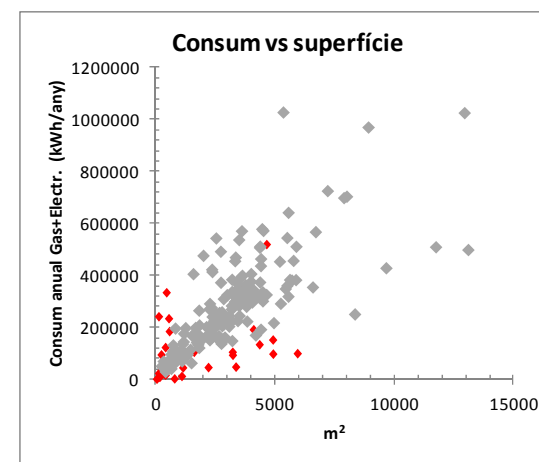


Fig. 4 Relació superfície vs consums energètics a escala normal, indicant edificis anòmals

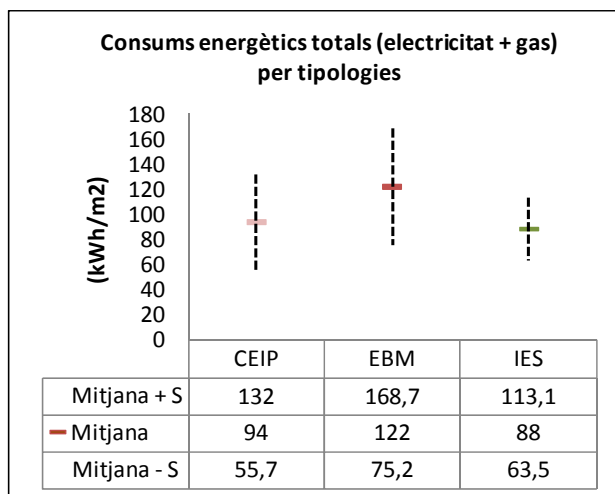


Fig. 5 Mitjana de consums dels edificis escolars analitzats, i la seva desviació estàndard.

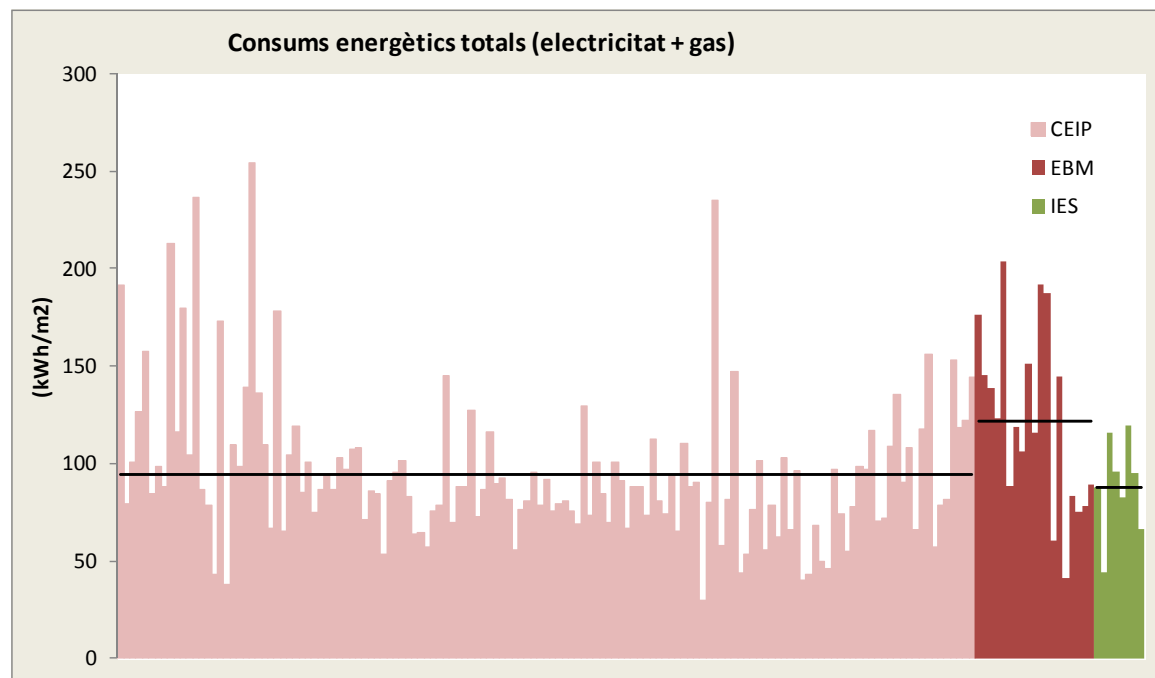


Fig. 6 Conjunt dels edificis analitzats amb la mitjana de consums segons tipologies (CEIPs, EBMs i IESs).

Aquesta anàlisi de dades també va permetre:

- Verificar, com diu la literatura consultada (Hong, et al., 2012), que les EBMs tenen uns ratís de consums ( $122 \text{ kWh/m}^2/\text{any}$  de mitjana) superiors a les escoles d'infantil i primària (CEIPs  $94 \text{ kWh/m}^2/\text{any}$  de mitjana), i que aquestes alhora tenen majors consums que les escoles d'educació secundària (IESs  $88 \text{ kWh/m}^2/\text{any}$  de mitjana). De totes maneres el PAES (Diputació de Barcelona, 2014) estableix com a ratís de referència un consum unificat per a qualsevol tipus de centre educatiu de  $91,23 \text{ kWh/m}^2/\text{any}$  a Barcelona (ciutat i província).

- Comprovar si la distribució de la despesa energètica dels edificis escolars estudiats és similar a la que senyala l'ICAEN en el document “Diagnòstic energètic en el centre escolar” (ICAEN. Monogràfic 14): 20% dels consum de recursos en electricitat i 80% en gas per a edificis escolars de Barcelona, i que és una dada molt general però que permet pensar que, si es busca només una reducció de consums energètics, d'emissions associades i d'estalvis econòmics, cal actuar prioritàriament sobre les condicions tèrmiques dels edificis (millores en l'aïllament de les envoltupants i en l'eficiència dels sistemes de climatització)
- Com es pot observar en la Fig. 7 aquests percentatges no s'ajusten a les nostres realitats: i si bé els CEIPs tenen una proporció gas/recursos energètics del 72% (que és la més propera al 80% de la literatura consultada) les EBMs estan en una mitjana del 55% però amb una desviació molt àmplia (del 30% al 80%) i els IESs tenen un comportament entremig (65%).
- La distribució percentual de recursos en el conjunt d'edificis estudiats, és més propera a la presentada per (Otero Prim, 2011), tal i com es mostra en la Fig. 8.

A partir de les gràfiques obtingudes, diferenciant els centres educatius per tipologies, es va observar que les dades dels CEIPs (amb 133 edificis dins de la mostra) es mostraven prou homogènies per a ser contrastades, així com les dades de les EBMs tot i que aquest conjunt era més reduït (amb 19 edificis). Es va deixar de treballar amb les dades dels IES (8 en total) perquè aquests edificis escolars tenen unes pautes d'ús clarament diferenciades amb les dels CEIPs, el conjunt era petit, i a més, poc representatiu del conjunt d'IES de la ciutat de Barcelona, ja que la majoria d'aquests centres es gestionen des de la Generalitat de Catalunya

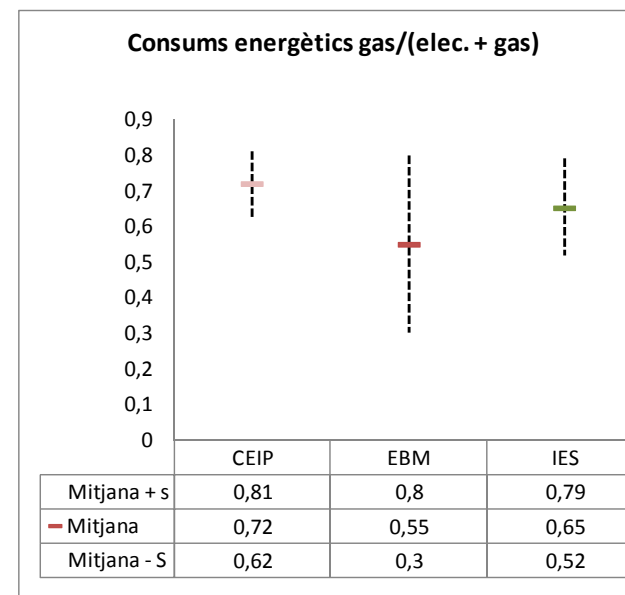


Fig. 7 Relació de consums de gas en relació als consums energètics totals

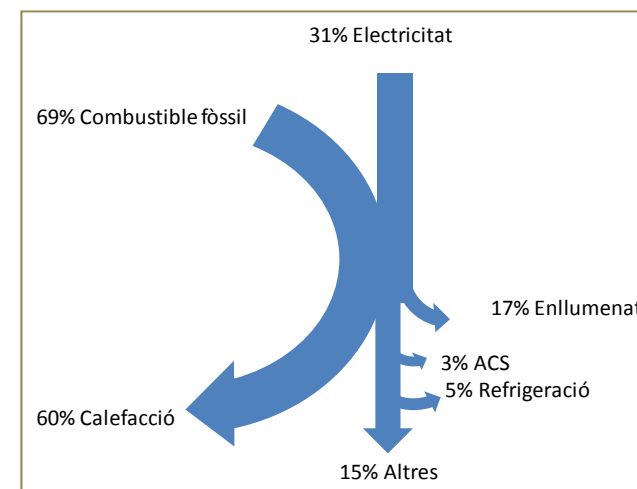


Fig. 8 Distribució de recursos per a edificis escolars segons el Diagrama de Sankey. Font: Otero, Villarrubia

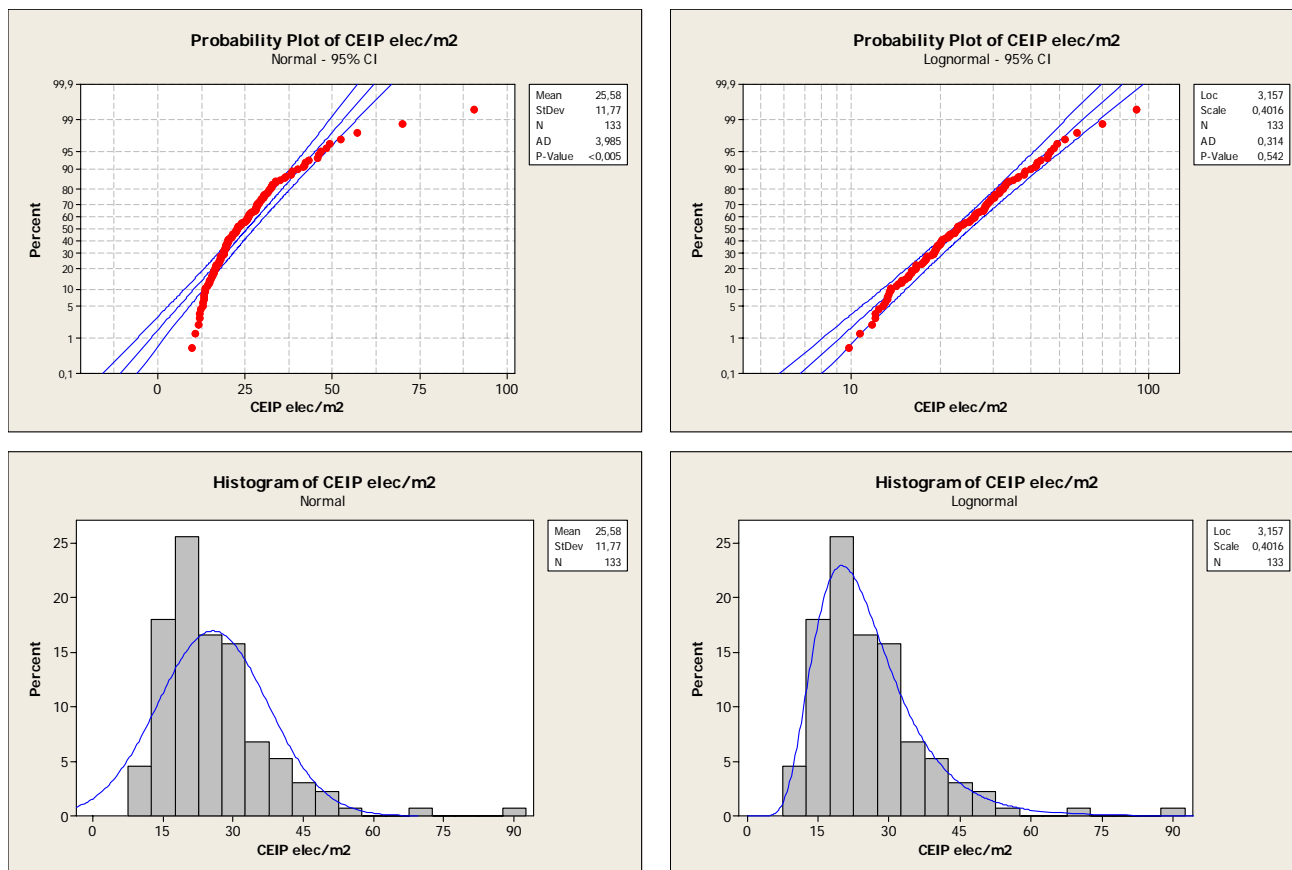


Fig. 9 Histogrames del comportament energètic (consum elèctric) dels CEIPs

Finalment, l'anàlisi de les dades d'aquests dos conjunts d'edificis (CEIPs i EBMs) ens ha permès saber si hi ha un comportament normalitzable dels centres educatius analitzats segons la seva tipologia (CEIPs/EBMs) i en relació amb els consums energètics/m<sup>2</sup>.

Els resultats obtinguts ens mostren (Fig. 9):

- L'histograma de consum elèctric/m<sup>2</sup> dels CEIPs s'ajusta millor a un model de distribució Lognormal que a una distribució Normal.

- L'histograma de consum gas/m<sup>2</sup> dels CEIPs també s'ajusta millor a un model de distribució Lognormal que a una distribució Normal (Fig. 10)

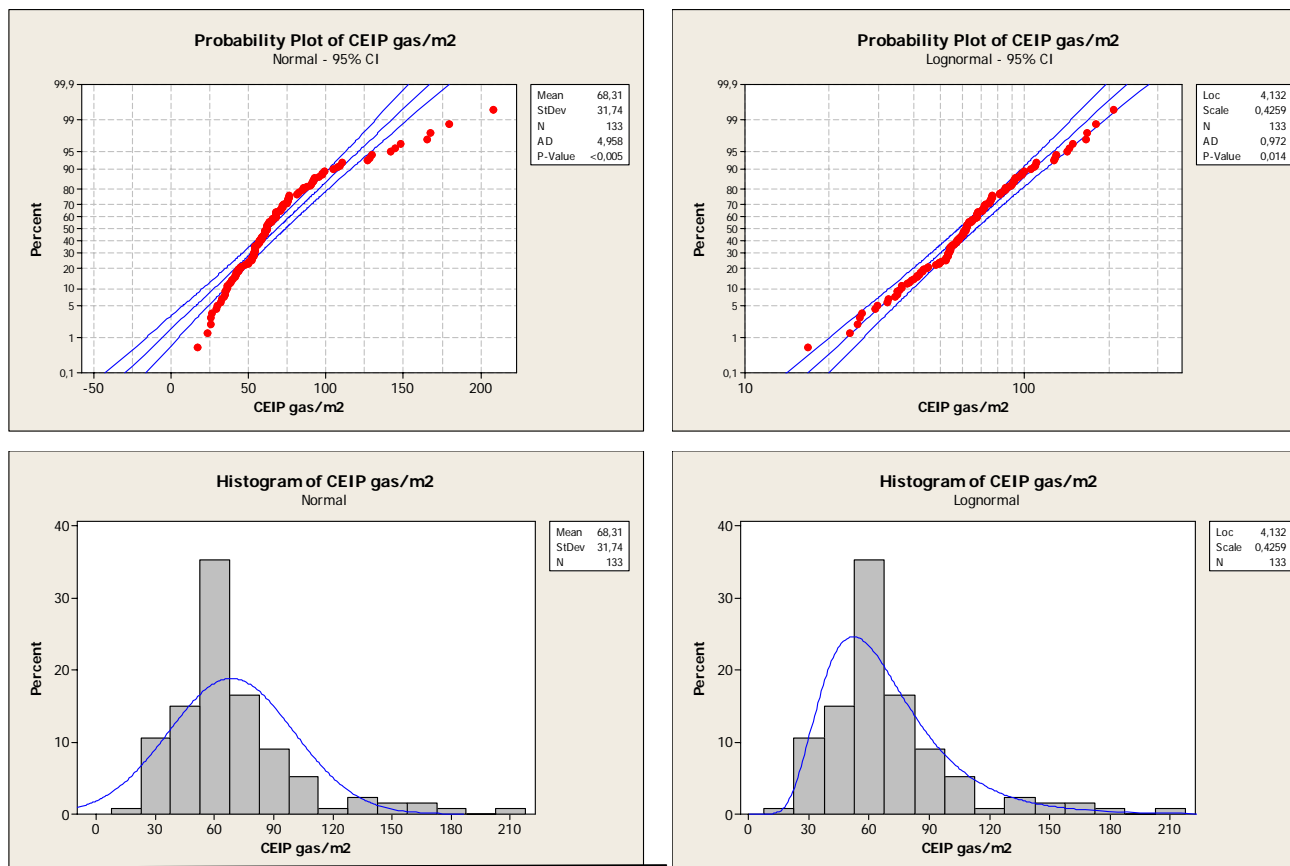


Fig. 10 Histogrames del comportament energètic (consum de gas) dels CEIPs



Aquests resultats tenen una explicació fàcilment comprensible: és difícil tenir edificis que tinguin consums de gas molt per sota de la mitjana i evidentment és impossible tenir edificis amb consums negatius, mentre que sí és possible tenir edificis que consumeixen molt o molt més que la mitjana, per motius diversos: ineficiència dels sistemes de climatització; edificis obsolets en quant al comportament de l'envolupant, amb pèrdues importants i, en conseqüència, amb demandes superiors a les de càlcul; edificis amb problemes de gestió, com horaris d'ús de la calefacció o temperatures de consigna inadequats. Així doncs, un model de distribució asimètric amb cua a la dreta s'ha d'adaptar millor al conjunt de dades.

Per la seva banda, les EBMs també mostren uns models de distribució Lognormal, tant en consums d'electricitat com en consums de gas (Fig. 11):

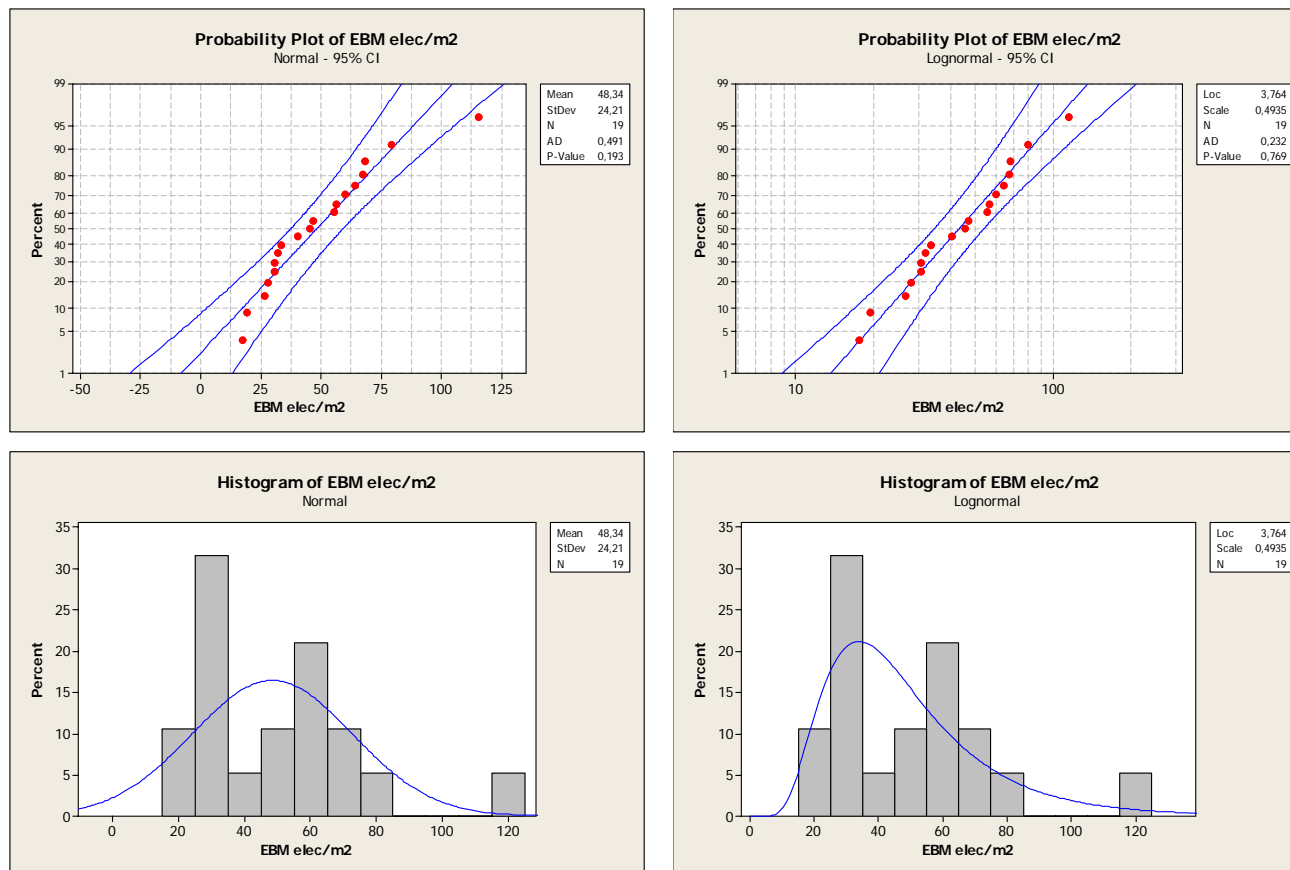


Fig. 11 Histogrames del comportament energètic (consum elèctric) de les EBMs

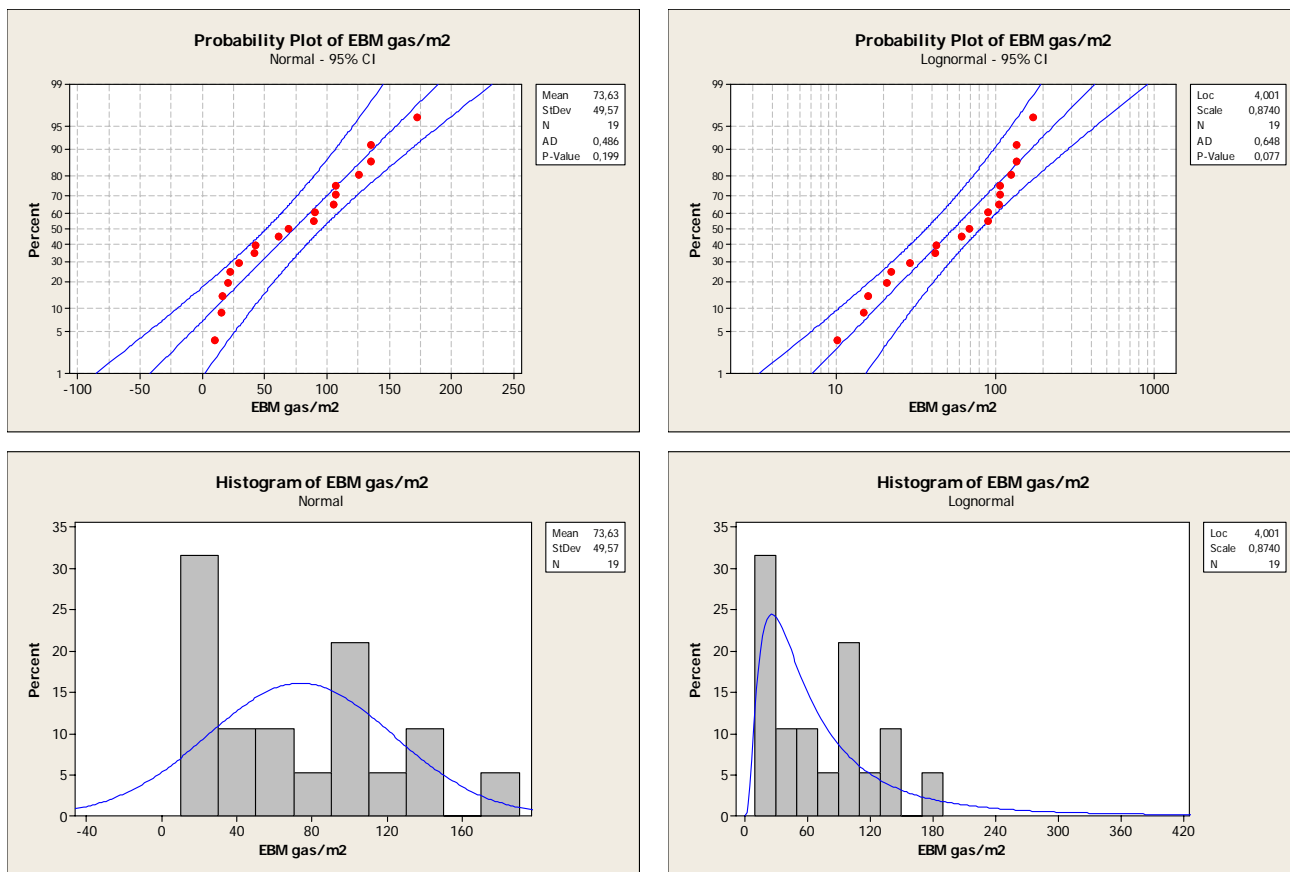


Fig. 12 Histogrames del comportament energètic (consum de gas) de les EBMs

Val a dir, però, que donat que la mostra d'EBMs és més reduïda, les possibles excepcionalitats o disfuncions d'alguns dels centres modifiquen substancialment els graus de confiança dels intervals (Fig. 12)

Una darrera gràfica (Fig. 13) ens permet observar aquesta realitat: si relacionem el consum elèctric amb el consum de gas de cada un dels edificis escolars dels que disposem de dades fiables, distingint entre CEIPs i EBM's podem comprovar que el núvol de punts dels CEIPs és més compacte, i que es mou dins de bandes més estretes, mentre que el conjunt de punts corresponents als EBM's és més dispers, el que significa que és menys homogeni i podríem dir, a la vista dels histogrammes (Fig. 14) es pot considerar bimodal.

D'aquesta primera anàlisi exploratòria de les dades s'observa que el conjunt de CEIPs es mostra suficientment homogeni, tot i que es detecten edificis especialment "energívors", i que la mostra d'EBM's després de la "neteja" s'ha vist reduïda a 19 centres que, a més, proporcionen dades amb valors de desviació estàndard de 46,7.

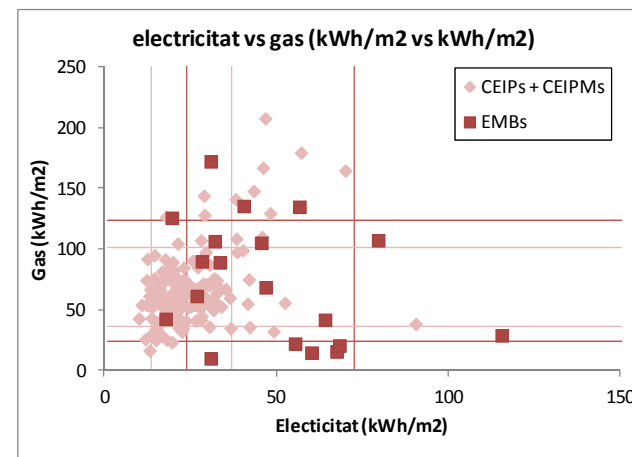


Fig. 13 Relació de consums electricitat i gas dels edificis escolars segons tipologia

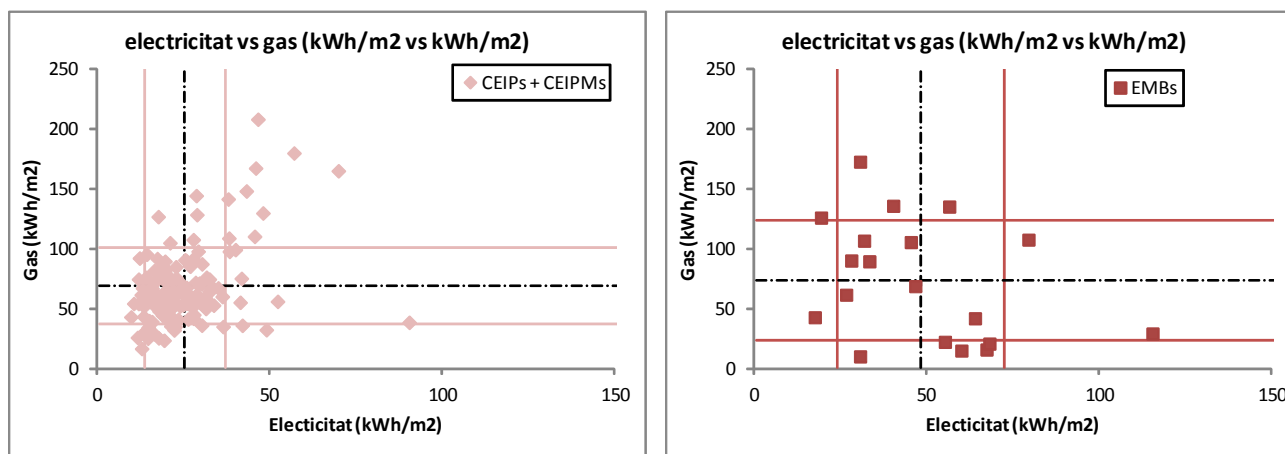


Fig. 14 Relació de consums electricitat i gas dels edificis escolars segons tipologia, mitjanes i desviacions

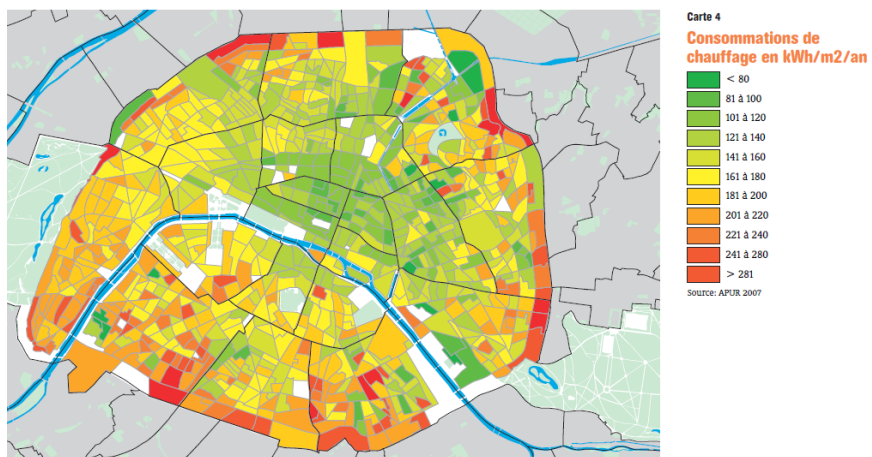


Fig. 15 Mapa de la ciutat de París amb els consums en calefacció . APUR, 2007

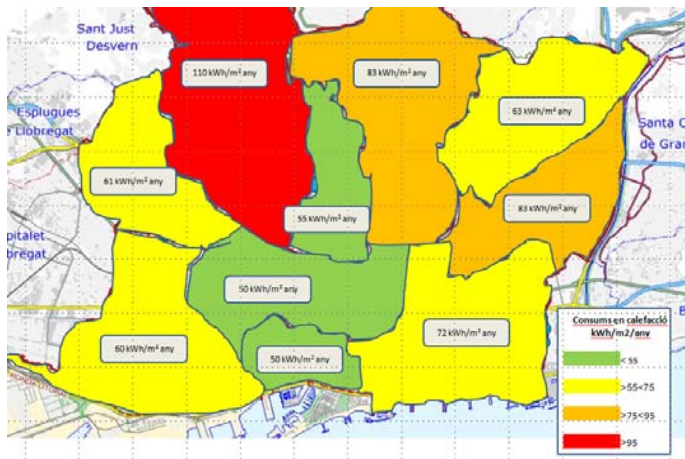


Fig. 16 Mapa de Barcelona amb les mitjanes de consums de calefacció per districtes

Hem fet un darrer estudi comparatiu dels consums energètics en climatització dels CEIPs (la mostra més robusta) per districtes. Ens vam plantejar aquesta comparativa a partir de la lectura d'un article sobre consum energètic en edificis (Casanovas, 2013) que feia referència a un treball previ realitzat per l'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR. Atelier Parisien d'Urbanisme, 2007) (Fig. 15). L'objectiu era verificar si es podien caracteritzar els edificis escolars segons aquesta variable territorial, tal i com sí succeïa amb els edificis d'habitatges de París, que registren inferiors consums en calefacció en els barris més consolidats o cèntrics que en els perifèrics.

Tal i com senyalen els estudis fets a la província de Perugia (Itàlia) (Desideri, et al., 2002), la ubicació de les escoles en els barris també està relacionada amb els diferents sistemes constructius: aquelles que estan ubicades en els barris històrics són, habitualment, edificis d'un únic cos amb parets amb alta inèrcia tèrmica però sense aïllament tèrmic i amb fusteries poc estanques i vidres simples. En canvi, les escoles més recents, estan sovint ubicades als perímetres de la ciutat, són edificis de cossos modulars, en blocs diferenciats, i en general de dues o tres plantes amb consums energètics més alts.

A la vista dels resultats (Fig. 16), es pot confirmar que es produeix aquesta circumstància, i que (a manca d'un estudi més detallat dels diferents edificis, que es fa en el següent apartat d'aquest capítol), pot explicar-se a partir de diferents supòsits:

- els edificis escolars ubicats en els barris del centre de la ciutat responen en principi a sistemes constructius tradicionals, amb parets massives i una major inèrcia tèrmica;
- les temperatures registrades a l'hivern en els barris més cèntrics són més suaus que les enregistrades als barris perifèrics i especialment al barri de Sarrià/Sant Gervasi (amb la important influència de la muntanya del Tibidado);
- els edificis escolars dels barris cèntrics són més "compactes", és a dir amb una densitat d'ocupació m<sup>2</sup> més elevada el que pot comportar una major càrrega interna i menys necessitat d'aportar calor;
- molts dels edificis escolars construïts als barris perifèrics als anys 60s-70s-80s es van construir en un moment de creixement ràpid de la població de la ciutat i amb sistemes constructius poc acurats, el que suposa envolupants lleugeres i, encara sense aïllament incorporat en la majoria dels casos.

### 6.1.1 Conclusions de l'anàlisi exploratòria de les dades proporcionades per l'Agència de l'Energia

D'aquesta primera anàlisi exploratòria de les dades de consums del conjunt d'edificis escolars dels quals es disposava de dades, s'ha pogut observar que hi ha algunes pautes en quant al comportament energètic dels Centres estudiats:

- els consums energètics són, en general, majors en aquells edificis amb més superfície;
- els centres escolars d'educació infantil consumeixen més que els d'educació primària, i aquests més que els d'educació secundària;
- les mitjanes de consum en calefacció dels edificis escolars en barris centrals són més baixes que en els barris perifèrics.
- els ratis de consums són molt variables, i en conseqüència cal analitzar el parc escolar edificat a partir d'una anàlisi qualitativa més detallada dels múltiples factors que influeixen en els consums energètics.

A partir d'aquest moment, vam decidir seguir treballant la recerca a un segon nivell d'anàlisi de dades circumscrit a una sèrie d'edificis escolars diversos i que conformen el conjunt TFG d'estudis detallats.

A continuació es mostren els resultats obtinguts dels estudis de detall de diferents escoles per tal de poder analitzar els diferents factors que afecten als consums energètics com són les dades arquitectòniques, les dades constructives, l'eficiència dels sistemes i les pautes d'ús i gestió dels edificis.

Municipi	Zona	Crteri	ANUAL	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES
Barcelona	1	calef.	1515	573	152	114	77	50	2	0	0	0	5	56	117
		calef.	1818	1128	246	195	154	117	40	0	0	0	46	125	205
		ref.	2121	354	0	0	0	0	5	44	118	135	52	0	0
Badajona	1	calef.	1515	686	163	122	102	69	20	0	0	0	9	74	127
		calef.	1818	1238	261	206	188	143	69	10	0	0	44	149	218
		ref.	2121	285	0	0	0	0	0	31	96	101	50	7	0
Castelldefels	1	calef.	1515	668	161	125	95	59	15	0	0	0	11	67	135
		calef.	1818	1264	262	210	178	128	57	7	0	0	4	50	139
		ref.	2121	388	0	0	0	0	12	51	119	133	58	15	0
Espiguens de Llobregat	1	calef.	1515	712	181	135	96	60	7	0	0	0	11	73	149
		calef.	1818	1311	279	219	179	129	49	5	0	0	4	58	147
		ref.	2121	292	0	0	0	0	0	35	103	116	38	0	0
Sant Boi de Llobregat	1	calef.	1515	706	174	131	98	59	11	0	0	0	13	72	148
		calef.	1818	1286	269	212	177	125	51	9	0	0	8	55	142
		ref.	2121	328	0	0	0	0	6	43	108	121	45	5	0
Sant Feliu de Llobregat	1	calef.	1515	819	190	142	109	71	19	0	0	0	30	89	169
		calef.	1818	1420	278	218	185	136	64	22	0	0	23	81	159
		ref.	2121	421	0	0	0	1	22	62	127	136	59	14	0
Hospitalet de Llobregat, I	1	calef.	1515	639	166	123	87	53	4	0	0	0	7	64	135
		calef.	1818	1213	262	205	167	120	44	3	0	0	50	136	226
		ref.	2121	322	0	0	0	0	3	40	110	125	44	0	0
Vianova i la Geltrú	1	calef.	1515	483	130	99	72	39	1	0	0	0	0	35	107
		calef.	1818	995	221	177	148	101	35	0	0	0	4	23	94
		ref.	2121	422	0	0	0	0	11	62	129	154	46	20	0
Mataró	1	calef.	1515	578	143	116	92	56	7	0	0	0	10	54	100
		calef.	1818	1146	236	197	173	123	45	9	0	0	9	51	121
		ref.	2121	275	0	0	0	0	3	33	95	112	31	1	0
Masnou, el	1	calef.	1515	725	184	133	99	60	10	0	0	0	12	78	149
		calef.	1818	1323	286	220	185	131	48	0	0	0	53	155	245
		ref.	2121	338	0	0	0	0	5	44	120	124	45	0	0
Teià	1	calef.	1515	804	201	147	110	66	12	0	0	0	16	87	165
		calef.	1818	1430	305	236	198	140	53	0	0	0	5	61	168
		ref.	2121	306	0	0	0	0	0	40	112	116	38	0	0
Tortosa	4	calef.	1515	706	171	131	94	53	12	0	0	0	21	79	145
		calef.	1818	1282	261	208	168	113	52	14	0	0	20	68	147
		ref.	2121	414	0	0	0	0	21	61	127	141	51	13	0
Palljà	5	calef.	1515	842	197	146	110	70	18	0	0	0	31	94	176
		calef.	1818	1446	286	222	186	135	62	21	0	0	24	84	164
		ref.	2121	423	0	0	0	1	23	63	129	137	57	13	0
Sabadell	5	calef.	1515	781	188	125	95	63	17	0	0	0	7	31	90
		calef.	1818	1366	282	201	168	124	52	19	0	0	28	77	160
		ref.	2121	384	0	0	0	0	19	57	129	131	41	7	0
Santa Perpètua de Mogoda	5	calef.	1515	897	195	152	120	69	22	4	0	0	10	29	109
		calef.	1818	1479	285	228	194	127	59	17	0	6	36	72	180
		ref.	2121	426	0	0	0	0	23	71	144	131	41	16	0
Solsona	7	calef.	1515	1484	299	225	173	139	59	16	0	0	26	98	182
		calef.	1818	2222	393	307	254	214	117	55	11	12	70	167	263
		ref.	2121	317	0	0	0	0	15	47	108	107	36	4	0
Avià	7	calef.	1515	1714	320	256	208	162	84	29	0	6	40	109	201
		calef.	1818	2561	422	347	304	251	157	73	14	17	91	189	295
		ref.	2121	190	0	0	0	0	4	23	76	72	15	0	0
Manresa	7	calef.	1515	1425	302	231	168	114	43	10	0	0	21	84	184
		calef.	1818	2134	396	313	249	184	95	43	9	11	61	149	265
		ref.	2121	345	0	0	0	1	22	56	113	108	40	5	0

Fig. 17 Llista de Municipis amb centres escolars objecte d'estudi i la seva classificació climàtica segons Monogràfic 14. ICAEN

## 6.2 L'anàlisi exploratòria dels edificis escolars objecte de l'estudi detallat

Hem analitzat en l'apartat anterior els consums energètics de centres escolars a partir dels indicadors que relacionen kWh/m<sup>2</sup>/any (consums elèctrics, en gas i la suma d'ambdós conceptes). Aquest tipus d'anàlisi és el que habitualment fan els gestors de grans parcs edificats, en general ens de l'administració com el Consorci d'Educació de Barcelona, les Diputacions provincials, la Conselleria d'Ensenyament o els mateixos Ajuntaments, en el que hem donat per considerar estratègies Up to Bottom. Les diferents realitats d'ús dels edificis ens obliguen, però, a fer una anàlisi a partir d'altres variables.

Com hem comentat en apartats anteriors, la nostra experiència ens ha mostrat que l'estratègia contrària (Bottom to Up) ofereix resultats diferents i permet treballar des de l'especificitat dels casos concrets que després podran ser traslladats a gran part del conjunt. És el que vàrem fer en el seu dia amb el conjunt d'edificis de la UPC, amb el conjunt de les escoles públiques de Sabadell i el que s'ha realitzat durant la recerca que dona contingut a aquesta tesi.

### 6.2.1 Definició de la mostra

En aquest tipus d'anàlisi és clau definir els criteris sobre els que es treballa per aprofundir la recerca, per la qual cosa s'ha procedit de la següent manera:

- Per no mediatitzar la tria, s'ha incorporat l'estudi edificis escolars a partir de dos criteris absolutament diferents: els edificis assenyalats pel Consorci d'Educació de Barcelona, que es considerava que complien certs requisits que els feien objecte d'anàlisi; i els edificis escolars que proposaven els estudiants del DAC d'impacte Ambiental i Rehabilitació Energètica (Diploma d'Ampliació de Competències propi de la EPSEB), que havien rebut formació en aquests continguts i que generalment eren els edificis escolars on havien cursat els seus estudis secundaris (total 52 edificis escolars).
- Aquest conjunt d'edificis es troben ubicats: 45 en zona climàtica 1 (ICAEN. Monogràfic 14), 1 a zona climàtica 4, 3 a zona climàtica 5 i altres 3 a zona climàtica 7 (Fig. 17). El fet de recollir informació detallada d'escoles en diferents zones climàtiques permet comparar els consums segons les suposades demandes en climatització degudes al rigor d'hivern, ja que el

rigor climàtic d'estiu es relaciona amb els consums per a refrigeració i en els edificis escolars no es disposa d'aquests sistemes (excepte en alguns espais molt poc representatius).

- Dels 45 edificis escolars ubicats en la mateixa zona climàtica 1, s'han analitzat 25 CEIPs, 10 IESs (centres de titularitat pública) i 9 escoles privades o concertades.
- De les escoles ubicades en altres zones climàtiques, s'han estudiat un IES (zona climàtica 4); un CEIP, un IES i una escola concertada (zona climàtica 5); i 2 edificis escolars públics més una escola concertada (zona climàtica 7).
- Així mateix, dels 45 edificis escolars en zona climàtica 1, 31 estan ubicats a Barcelona ciutat: 19 CEIPs, 1 EBM, 7 IESs i 4 són escoles privades o concertades (Fig. 21).

Del conjunt total d'edificis estudiats segons la metodologia explicada en el [Capítol 5 Metodologia de la Recerca](#), i un cop definits els indicadors sobre els que volíem treballar, finalment s'han analitzat les dades de 19 centres escolars dels quals es disposava de tota la informació necessària i amb un alt grau de fiabilitat per poder extreure conclusions.

Classificació per àmbit territorial	Nº de centres estudiats
Barcelona Ciutat	31
Barcelonès	4
Bages	1
Baix Llobregat	7
Berguedà	1
Garraf	1
Maresme	3
Vallès Occidental	2
Solsonès	1
Baix Ebre	1

Fig. 18 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per àmbit territorial

Tipologies de Centres Educatius	Nº de centres estudiats
Centres Educatius Infantil i Primària CEIPs	26
Instituts d'Estudis Superiors IES	12
Escoles Bressol Municipals EBMs	1
Escoles Privades, concertades i altres	13

Fig. 21 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per tipologia de centre

Classificació per Zona Climàtica	Nº de centres estudiats
Zona 1	45
Zona 4	1
Zona 5	3
Zona 7	3

Fig. 20 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per zona climàtica

Classificació per Districtes a Barcelona	Nº de centres estudiats
Ciutat Vella	3
Eixample	3
Gràcia	3
Horta-Guinardó	2
Les Corts	2
Nous Barris	7
Sant Andreu	4
Sant Martí	6
Sants-Montjuï	0
Sarrià Sant Gervasi	1

Fig. 19 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per districtes



### 6.2.2 Els ratis de consums o consums específics

Com hem comprovat en la literatura científica i ens els treballs duts a terme per les administracions en quant a l'avaluació energètica dels edificis, el més habitual és utilitzar indicadors d'eficiència energètica que relacionin els consums amb els m<sup>2</sup> de l'edifici objecte d'estudi.

Els indicadors energètics emprats en la nostra recerca han estat els següents:

CODI		NOM ESCOLA				
		Concepte	Fòrmula	Unitats	Crteri	
Indicadors energètics KPI	Consums energètics/any	KPI-01	kWh/any en electricitat		kWh/any	s/ factures
		KPI-02	kWh/any en gas		kWh/any	s/ factures
		KPI-03	kWh/any en altres recursos		kWh/any	s/ factures
		KPI-04	kWh/any Elec.+ Gas		kWh/any	s/ factures
	Consums energètics/any/m2	KPI-11	kWh/any/m2 en Electricitat	KPI-01/DG-03	kWh/m2	
		KPI-12	kWh/any/m2 en Gas	KPI-02/DG-03	kWh/m2	
		KPI-13	kWh/any/m2 en altres recursos	KPI-03/DG-03	kWh/m2	
		KPI-14	kWh/any/m2 en Elec.+ Gas	KPI-04/DG-03	kWh/m2	
	Consums energètics/any/usuari	KPI-21	kWh/any/usuari en Electricitat	KPI-01/DG-04	kWh/u	
		KPI-22	kWh/any/usuari en Gas	KPI-02/DG-04	kWh/u	
		KPI-23	kWh/any/usuari en altres recursos	KPI-03/DG-04	kWh/u	
		KPI-24	kWh/any/usuari en Elec.+ Gas	KPI-04/DG-04	kWh/u	
	Consums energètics/any/hora d'ús	KPI-31	kWh/any/hora d'ús en Electricitat	KPI-01/DG-05	kWh/h	
		KPI-32	kWh/any/hora d'ús en Gas	KPI-02/DG-05	kWh/h	
		KPI-33	kWh/any/hora d'ús en altres recursos	KPI-03/DG-05	kWh/h	
		KPI-34	kWh/any/hora d'ús en Elec.+ Gas	KPI-04/DG-05	kWh/h	

Fig. 22 Indicadors energètics

En una primera anàlisi bàsica dels resultats obtinguts de l'estudi de detall dels edificis observem que dels consums/m<sup>2</sup>:

- La dispersió de consums és molt àmplia (Fig. 23) fins i tot dins una mateixa zona climàtica (ZC1), amb valors que van, des dels 34 kWh/m<sup>2</sup>/any de l'edifici TFG23 fins als 121 kWh/m<sup>2</sup>/any del TFG22;
- Es pot comprovar que el consum en gas (o altres recursos equiparables) és sempre major que el consum de kWh/m<sup>2</sup> en electricitat.
- La proporció de consums elèctrics/gas també és força variable: mentre que per al TFG7 el consum elèctric suposa un 13% del consum energètic total, per al TFG18 suposa un 48%.
- Disposar d'edificis en zones climàtiques diverses (ZC1, ZC4, ZC5 i ZC7), ens permet comprovar si el rigor climàtic influeix de manera decisiva en els consums. Segons els nostres resultats, certament els edificis ubicats en la Zona climàtica 1 (Barcelona i entorns) tenen una mitjana de consums (99 kWh/m<sup>2</sup>/any) més baixa que els ubicats en ZC5 (115 kWh/m<sup>2</sup>/any) i ZC7 (114 kWh/m<sup>2</sup>/any) (Fig. 24).
- L'edifici ubicat en ZC4 (TFG25, a Tortosa) té uns consums de 46,57 kWh/m<sup>2</sup>/any, clarament inferiors a les mitjanes de les altres zones, però en línia amb els edificis menys energívors de la ZC1.
- La dispersió de consums entre edificis d'una mateixa zona és destacable (Fig. 24).

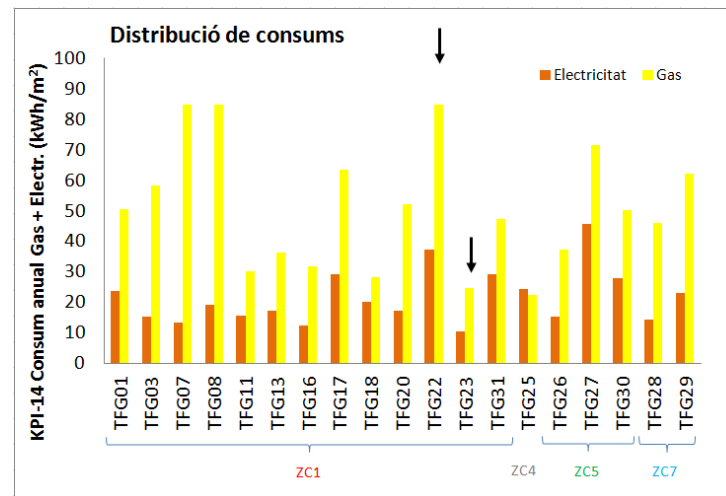


Fig. 23 Distribució de consums energètics dels edificis escolars objecte d'estudi

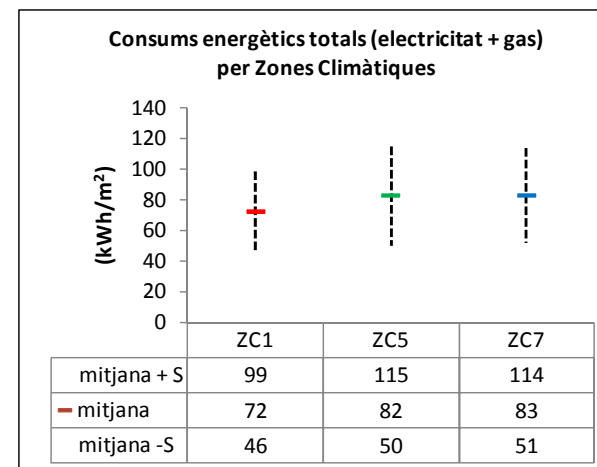


Fig. 24 Mitjanes de consums energètics dels edificis objecte d'estudi per zones climàtiques

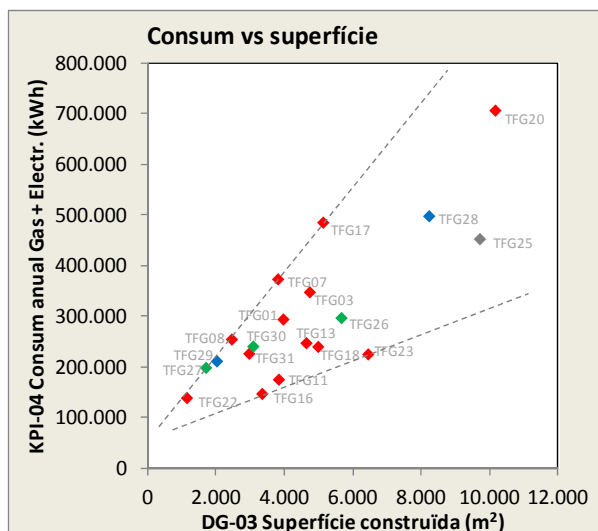


Fig. 25 Relació superfície construïda vs consum energètic en valor absolut

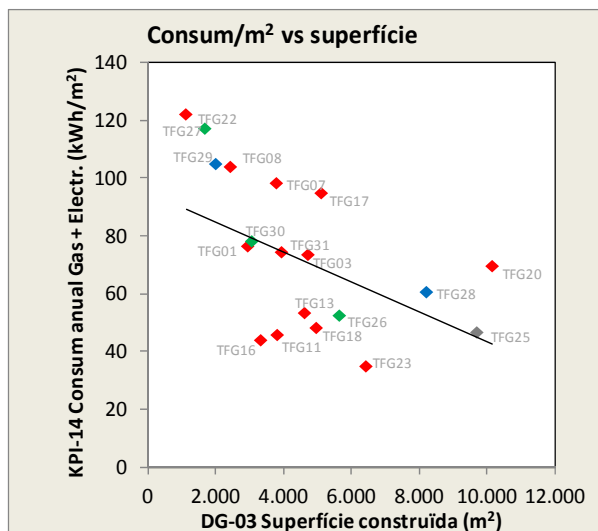


Fig. 26 Relació superfície construïda vs consum energètic per m²

- Si analitzem els consums en valors absoluts es pot comprovar que hi ha una certa tendència a com més gran és l'edifici major és el consum de recursos (Fig. 25).
- Si relacionem els consums absoluts amb les dimensions dels centres però, la tendència és la contrària, és a dir, com més gran és l'edifici mostra menys consum/m² (Fig. 26).
- Els edificis amb unes dimensions més habituals (de 4000 a 6000 m²) també varien des dels 40 kWh/m²/any als 100 kWh/m²/any.

Davant aquests resultats, en el nostre treball hem considerat que calia relacionar els consums amb altres dues variables, com són el nombre d'estudiants i les hores d'ús dels centres.

Alguns autors han relacionat fins i tot la quantitat d'energia invertida per estudiant amb el seu rendiment acadèmic (Olson, et al., 2003). Aquesta és una valoració difícil de fer, ja que la qualitat de l'ensenyament o el rendiment acadèmic de l'estudiantat es fa a partir d'altres indicadors més relacionats amb la qualitat de la docència o amb proves d'avaluació al final dels cicles formatius (l'accés a aquestes dades de totes maneres no és públic). Creiem però, que relacionar l'energia amb l'ocupació dels edificis escolars permet fer, d'alguna manera, lectures sociològiques, que tot i que escapen dels objectius d'aquesta tesi, s'han de tenir en compte si volem donar un enfocament mediambiental a la recerca.

A la vista dels resultats:

- Sembla certa la tendència que a més ocupació més consum, en relació a que com més estudiants acull el centre és previsible que també necessiti més superfície i, en conseqüència majors consums en valors absoluts (Fig. 27).
- En el gràfic, destaquen dos edificis (TFG18 i TFG23) amb consums baixos tot i tenir un nombre d'estudiants superior a 1000. En el cas del TFG18 és un edifici ubicat al centre de la ciutat de Barcelona, altament ocupat, i de gestió privada, mentre que el cas TFG23 és un edifici de Badalona que ha sigut objecte de reformes en clau energètica. Ambdós edificis donen ensenyament des de l'Educació Infantil fins al Batxillerat.
- Si analitzem els consums per usuari en relació al consum/m<sup>2</sup> dels centres (Fig. 28), tornem a comprovar que com més estudiants té l'edifici el seu consum/m<sup>2</sup> disminueix, la qual cosa sembla indicar que són més "eficients" energèticament els edificis grans.

Per una banda creiem que cal vincular els consums amb el nombre d'usuaris dels centres, ja que el "rendiment" de l'energia embeguda en un edifici s'hauria de poder relacionar amb els resultats d'ensenyament que signifiquen. És a dir, donar valor a la quantitat d'energia que "inverteix" un centre per a cada estudiant que forma. Si alguns autors italians quantifiquen aquesta despesa al voltant dels 558 kWh/estudiant/any (Desideri, et al., 2002), en el cas de la nostra mostra, el consum mitjà està en 523 kWh/estudiant/any, tot i que els valors màxims i mínims es troben en 1193 kWh/estudiant/any i 197 kWh/estudiant/any. Aquesta dispersió tan gran és un senyal preocupant.

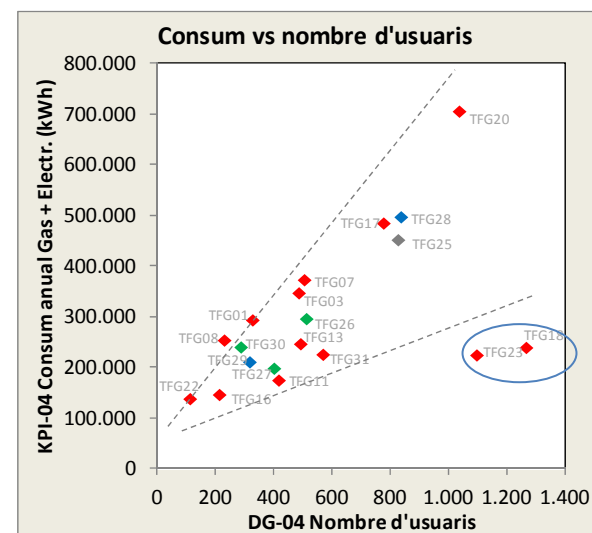


Fig. 27 Relació nombre d'usuaris vs consum energètic en valor absolut

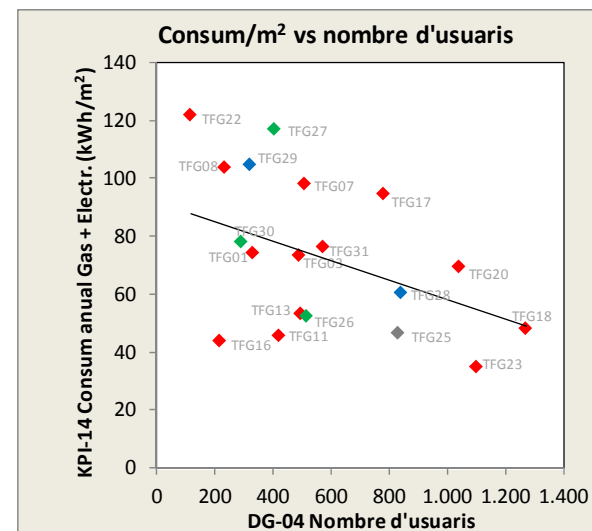


Fig. 28 Relació superfície construïda vs consum energètic per m<sup>2</sup>

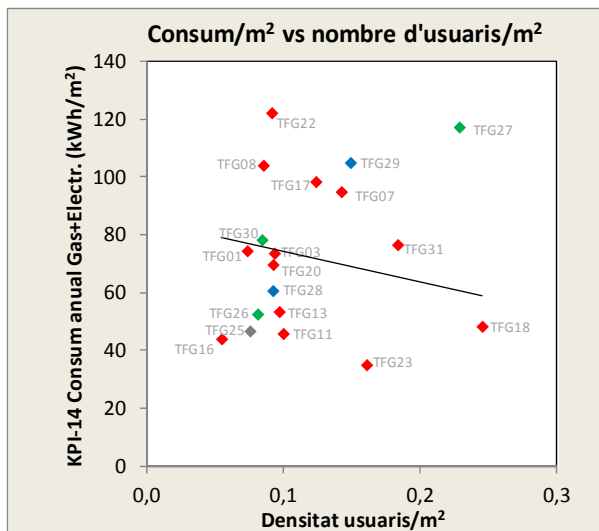


Fig. 29 Relació densitat d'ocupació vs consum energètic per m²

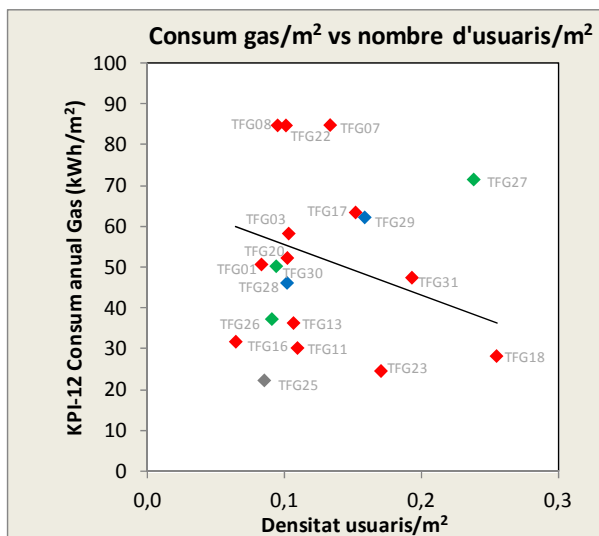


Fig. 30 Relació densitat d'ocupació vs consum de gas per m²

- Si contrastem en canvi, els consums/m² amb les densitats d'ocupació (Fig. 29), els resultats es mostren en un núvol de punts sense tendències evidents, tot i que és cert que l'edifici més densament ocupat té un consum/m² relativament baix.
- Amb una mateixa densitat d'ocupació al voltant de 0,1 usuaris/m² (la més habitual), es donen consums absolutament dispersos (de 120 a 40 kWh/m²/any) (Fig. 29).
- Donat que les necessitats de calefacció tenen relació amb la càrrega interna dels espais, i que en les escoles, sobretot en aules, aquesta càrrega interna és rellevant, hem relacionat les intensitats d'ús amb el consum energètic destinat a calefacció (gas), i hem comprovat que, efectivament, hi ha una relació més marcada entre les densitats d'ocupació i els consums en gas (Fig. 30).
- A la vista dels resultats, tot i que sembla que la càrrega interna hauria de ser rellevant en relació als consums energètics per a calefacció, segueix havent en ZC1, i a densitat 0,1 estudiant/m², consums dispersos que van dels 30 kWh/m²/any als 84 kWh/m²/any.
- La diferència de consums que s'observa entre el TFG18 i el TFG27 (Fig. 30), amb densitats d'ocupació similars (al voltant dels 2,5 estudiants/m²) pot estar relacionada amb les diferències de zona climàtica.

- Tot i que sembla que la densitat d'ocupació ha de tenir més relació amb els consums destinats a calefactar que en el consum elèctric, hem relacionat també aquests dos paràmetres.
- En aquest cas, la tendència és contrària, tot i que la dispersió de valors fan considerar aquest fet amb cautela (Fig. 31).
- Les raons per les quals el consum elèctric augmenta amb la densitat d'ocupació es pot relacionar amb les necessitats d'equips informàtics, despesa elèctrica en aparells de cuines i frigorífics o en l'existència d'altre maquinari.
- Dels 6 edificis amb consums elèctrics més elevats, 2 (TFG25 i TFG31) són Instituts d'Educació Secundària (IES), que tenen horaris de tarda/nit i, en conseqüència necessiten llum artificial durant més hores, al marge de tenir consums associats a laboratoris de pràctiques destinats a cicles formatius (cas del TFG25).
- A la vista dels resultats, podem considerar que els consums habituals en electricitat per als edificis escolars, haurien de moure's entre els 15 i els 20 kWh/m<sup>2</sup>/any. Si més no, entre aquests valors es mouen la meitat dels centres, amb densitats d'ocupació diverses.

Amb tot, ens sembla que si comparem aquests ratis de consums que ens donen els edificis escolars de Barcelona amb bibliografia consultada (Otero Prim, 2011), que consideren els consum per estudiant al voltants de 43 kWh/m<sup>2</sup>, en les nostres escoles tenim consums molt alts. Cal agafar aquesta referència amb cautela, ja que el document consultat no indica el context geogràfic ni la font de les dades, i si suposem que és la mitjana per a Espanya, hi ha zones que, per qüestions climàtiques, evidentment han de tenir consums inferiors.

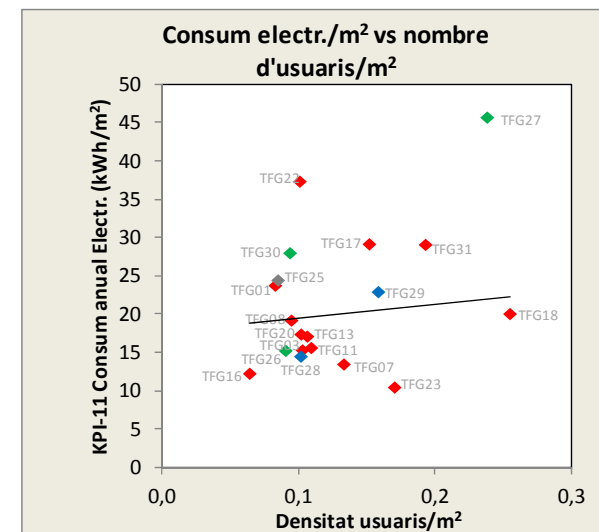


Fig. 31 Relació densitat d'ocupació vs consum elèctric per m2

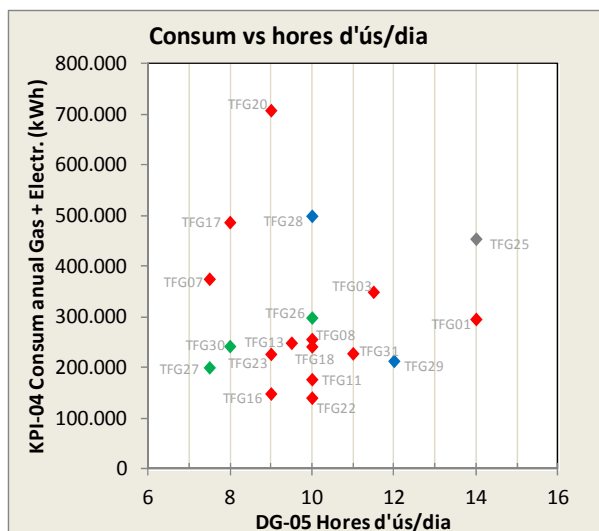


Fig. 32 Relació hores d'ús al dia vs consum energètic en valor absolut

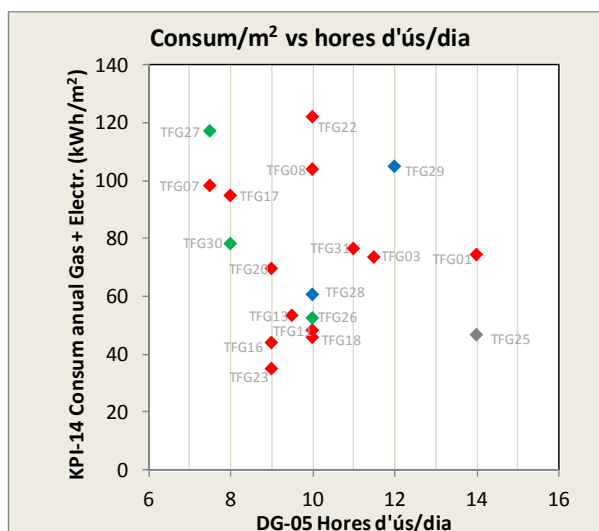


Fig. 33 Relació hores d'ús al dia vs consum energètic per m²

També hem considerat que calia vincular els consums energètics amb les hores d'ús dels edificis, ja que semblaria evident que si una escola roman oberta més hores, allargant el seu horari d'atenció a l'alumnat a primeres hores del matí i a les darreres del dia, (que són precisament quan la demanda energètica és major per qüestions de fred i de manca de llum natural), el seu consum hauria de ser major, o com a mínim aquest valor no hauria de penalitzar al centre.

A la vista dels resultats (Fig. 32):

- Es verifica que els edificis escolars amb un horari d'atenció més llarg tendeixen a tenir majors consums, tot i que torna a haver excepcions que distorsionen la lectura (casos TFG-07, TFG-17, TFG-20 i TFG-28).
- El consum/m<sup>2</sup> però, no sembla tan clarament relacionat amb les hores d'ús. Si més no, amb 10 hores d'atenció (el grup més nombrós), hi ha escoles amb consums de 120kWh/m<sup>2</sup>/any i també amb 40kWh/m<sup>2</sup>/any (Fig. 33).
- Els edificis amb més hores d'ús (14 hores) mostren consums mitjans cap a baixos, mentre que els edificis amb poques hores d'ús (7 hores) mostren consums molt elevats, la qual cosa permet aventurar males pràctiques dels sistemes o un mal ús de les instal·lacions (ús de la il·luminació artificial quan no hi ha necessitat, pautes d'encesa i apagada del sistema de calefacció no ajustades a les necessitats dels centres, o fins i tot temperatures de consigna elevades).

Si fem finalment una lectura comparada dels tres indicadors energètics mostrats a les gràfiques (Fig. 34, Fig. 35 i Fig. 36) sembla que el factor més rellevant és la superfície dels edificis, mentre que el nombre d'hores en que un edifici està en funcionament o donant servei sembla tenir menor influència a l'hora de comparar consums energètics/m<sup>2</sup>/any. Si més no, és on els resultats es mostren més dispersos i aleatòriament distribuïts.

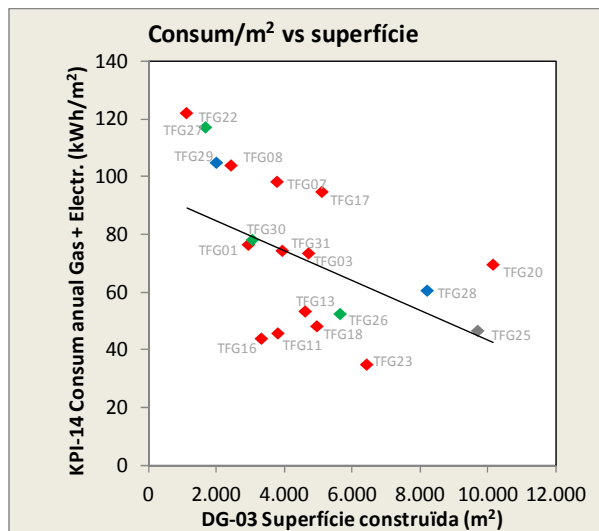


Fig. 34 Relació superfície construïda vs consum energètic/m<sup>2</sup>

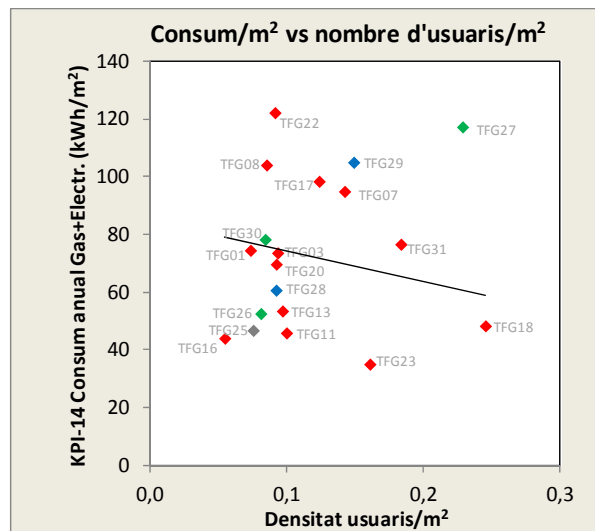


Fig. 36 Relació densitat d'ocupació vs consum energètic/m<sup>2</sup>

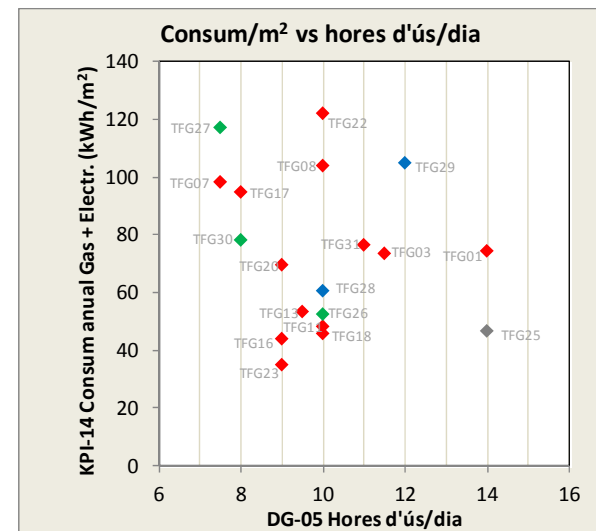


Fig. 35 Relació hores d'ús al dia vs consum energètic/m<sup>2</sup>



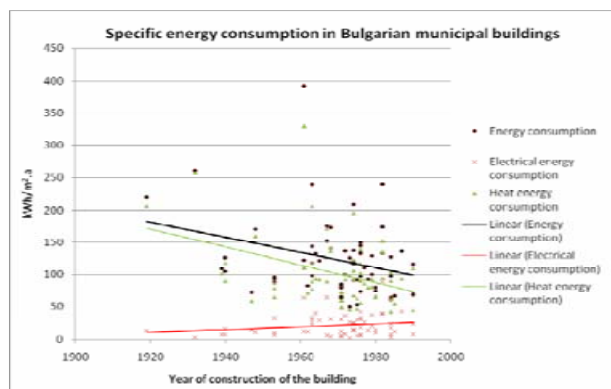


Fig. 37 Consum específic d'edificis municipals a Bulgària. Font DATAMINE.

### 6.2.3 L'edat dels edificis

Alguns dels autors consultats per a la realització d'aquesta tesi, (DATAMINE, 2006), (Taecheon Hong, 2012), vinculen els consums dels edificis escolars amb la seva antiguitat, considerant que els sistemes constructius són un paràmetre clau en relació als consums energètics associats (Fig. 37).

Com es pot comprovar en les gràfiques obtingudes dels valors recollits durant la nostra recerca no es pot assegurar que els edificis més antics tinguin majors consums energètics (Fig. 38 y Fig. 39).

Si diferenciem entre els consums elèctrics i els consums en climatització, sí es detecta menors consums en electricitat en els edificis més nous, però aquesta realitat pot estar relacionada amb qüestions arquitectòniques, ja que els edificis escolars realitzats a partir dels anys 50s s'ubiquen en barris perifèrics, es troben aïllats i en conseqüència tenen major aprofitament de la llum natural.

Amb tot es pot verificar que la tendència en els nostres edificis escolars és poc convergent amb els resultats dels estudis consultats.

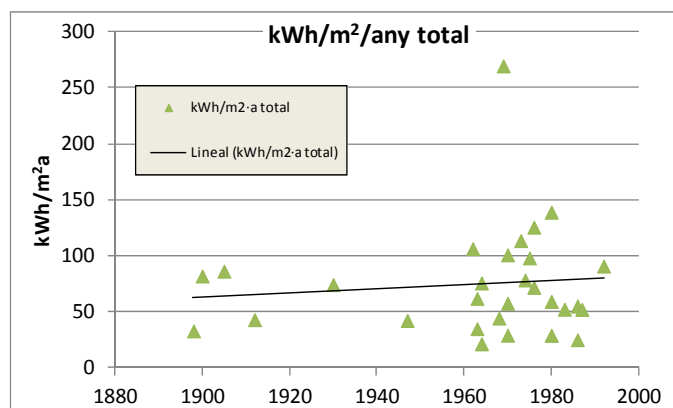


Fig. 39 Consums específics totals dels edificis escolars objecte d'estudi, segons any de construcció

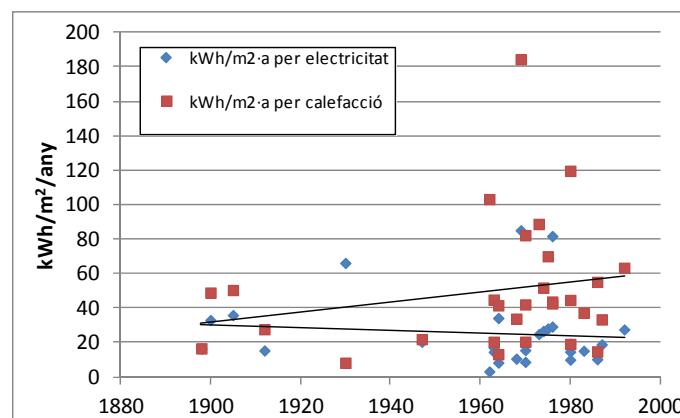


Fig. 38 Consums específics, diferenciant per recursos, dels edificis escolars objecte d'estudi, segons any de construcció

Si fem el zoom als nostres 19 edificis i ens cenyim als consums totals, veiem (Fig. 40):

- Dels 6 edificis més energívors, 4 estan en ZC1, 1 en ZC5 i un altre ZC7, tots ells construïts entre 1970 i 1980.
- Cal destacar que l'edifici que mostra menor consum/m<sup>2</sup> és el TFG23, de 1970 i ubicat a Badalona. Aquest cas contradiu clarament la consideració prèvia de que els edificis antics són menys eficients. Però es dona la circumstància que precisament aquest edifici va ser objecte d'una intervenció per a substituir les fusteries, que hores d'ara disposen d'una transmitància  $U_{obertures}$  de 2,92 W/m<sup>2</sup>°C, és a dir una de les més baixes de tots els edificis estudiats.
- Els altres tres edificis amb consums inferiors estan ubicats 2 en ZC1, (TFG11 i TFG16) i el TFG25, que és un institut ubicat a Tortosa (ZC4), amb un clima més benigne que el de Barcelona
- Hi ha un grup d'edificis força homogeni, amb consums entre 30 i 80kWh/m<sup>2</sup> independentment del seu any de construcció
- La dispersió de consums és elevada i el fet de tenir el gros dels edificis estudiats construïts en un període concentrat en els anys 70s i 80s no permet treure conclusions taxatives.
- És cert que l'edifici més recent de la ZC1 té consums molt baixos mentre que el més recent dels edificis escolars ubicats en ZC5 es manté en la zona mitja de consums.
- Segons les dades de que disposem, sembla que l'entrada en vigor de la *Norma básica de la edificación NBE CT-79 : condiciones térmicas en los edificios* sí significa una millora tèrmica dels edificis escolars, ja que a partir d'aquesta circumstància, ja no hi ha cap edifici amb consums elevats.
- L'entrada en vigor del CTE, segons les dades dels dos edificis escolars construïts després de 2006, també es mostra altament eficaç en el cas del TFG-16 (un Institut ubicat a Badalona).

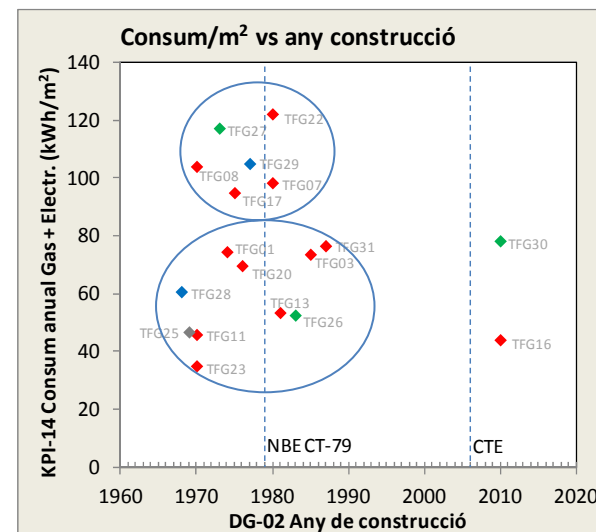


Fig. 40 Relació any de construcció vs consum energètic/m<sup>2</sup>

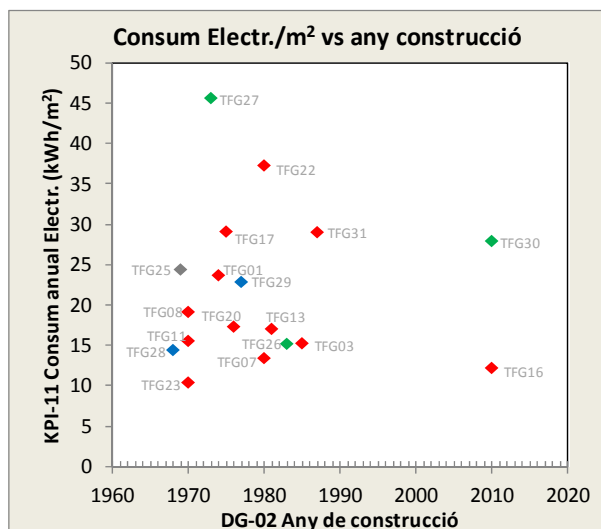


Fig. 41 Relació any de construcció vs consum elèctric/m<sup>2</sup>

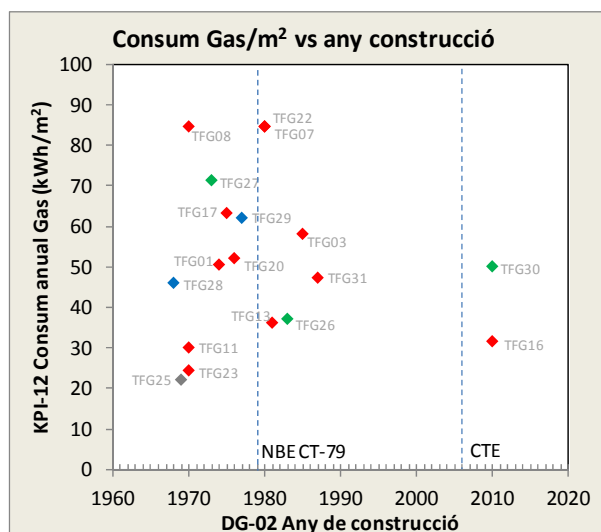


Fig. 42 Relació any de construcció vs consum de gas/m<sup>2</sup>

Si analitzem l'edat dels edificis amb els consums, distingint els recursos electricitat i gas per separat (Fig. 41), comprovem:

- Pel que fa al consum elèctric, torna a haver un conjunt força compacte d'edificis relativament antics (més de 30 anys) amb consums força homogenis (entre 15 i 25kWh/m<sup>2</sup>/any), independentment de la zona climàtica on es troben, el que té força sentit.
- Hi ha un centre escolar que duplica aquests valors (45kWh/m<sup>2</sup>/any), construït als anys 70.
- Destaca, per la banda dels consums inferiors, el TFG16, el de més recent construcció, i que pot indicar un alt rendiment dels sistemes i un bon aprofitament de la llum natural.
- Del conjunt de la nostra mostra no s'observa que els edificis més recents tinguin majors depeses elèctriques que els més antics.
- Pel que fa als consums relacionats amb el recurs destinat a calefaccionar els espais, es poden distingir dos grups d'edificis amb comportaments similars (Fig. 42): un primer grup amb consums baixos i amb més de 30 anys d'edat, i un grup de tres edificis amb consums superiors a 80kWh/m<sup>2</sup>/any, construïts abans de l'entrada en vigor de la NBE CT-79.
- Caldrà analitzar més detalladament els sistemes constructius d'aquests dos grups per tal de verificar si hi ha aspectes que els són comuns.
- A la vista dels resultats, hem considerat que calia relacionar els consums vinculats a la calefacció amb els paràmetres de confort, ja que és possible que els edificis més antics estiguin consumint poca energia al cost d'oferir nivells inferiors de confort més que no pas per qüestions d'eficiència energètica: en alguns casos s'han detectat edificis sense sistema de calefacció (cas del TFG19 que, per aquest motiu no s'ha considerat part de la mostra final).

Per a aquesta anàlisi, tot i tenir identificat l'indicador UG-01 (Confort ambiental), considerem que aquest simplifica en excés la variable, per la qual cosa ens hem basat amb les dades recollides amb els termohigròmetres en les diferents escoles, tal i com han fet altres estudis ([Theodosiou, et al., 2008](#)) i en els resultats de les enquestes realitzades als usuaris dels diferents centres. D'aquestes dades s'ha pogut extreure que en cap cas (excepte el de l'esmentat TFG19, fora de la mostra perquè no disposa de sistema de calefacció), es detecten situacions de desconfort degut a temperatures a l'hivern per sota dels 21°C. Més aviat els problemes que es registren es troben relacionats amb temperatures excessives que porten a obrir finestres en el període hivernal en algunes aules.

En altres casos, la ubicació dels edificis en barris consolidats limita la seva envolupant a només 2 façanes i coberta ja que són edificis que es troben entre mitgeres; en altres casos la càrrega interna deguda a altes ocupacions en espais més reduïts, hem comprovat que, a vegades, pot significar menors necessitats en calefacció.

Finalment, els diferents sistemes constructius emprats també comporten diferències en les necessitats tèrmiques, per la qual cosa hem analitzat aquests factors en l'apartat [6.2.4](#) relacionant els consums amb les transmitàncies dels diferents elements.

Una darrera reflexió ens hauria de permetre verificar si en els edificis antics, tot i no disposar d'aïllament en les parets, aquestes funcionen adequadament per inèrcia tèrmica, el que redueix les pèrdues d'escalfor nocturnes i en conseqüència les necessitats de calefacció durant les hores lectives.

### 6.2.4 Els paràmetres arquitectònics i constructius

Hem vist que l'edat dels edificis no sembla ser determinant en quant als consums energètics associats, per la qual cosa s'ha procedit a analitzar altres variables, com poden ser les relacionades amb la forma i els condicionants arquitectònics i constructius. S'ha fet l'anàlisi dels resultats obtinguts a partir dels següents indicadors:

CODI	CODI	NOM ESCOLA				
		Concepte	Fòrmula	Unitats	Criteri	
Indicadors Arquitectura	Transmitàncies	ATU-01	Transmitància U paraments opacs		W/m <sup>2</sup> °C	
		ATU-02	Transmitància U obertures		W/m <sup>2</sup> °C	
		ATU-03	Transmitància U Coberta		W/m <sup>2</sup> °C	
	Factor de forma	FF-01	Factor de forma sup construïda/volum	DG-03/DG-06		
		FF-02	Sup específica façanes. Sup. façanes/volum	DG-07/DG-06		
		FF-03	% de superfície d'obertures en façana			m2 sup obertures
		FF-04	Sup específica coberta. Sup.coberta/volum	DG-08/DG-06		
	IE	Aprofitament llum natural	ALN-01	% sup finestres en aula tipus		m2 sup finestres

Fig. 43 Indicadors arquitectura

- Els valors de les transmitàncies dels elements que conformen l'envolupant dels edificis: la transmitància  $U_{\text{paraments opacs}}$  (ATU-01); les transmitàncies  $U_{\text{obertures}}$  (ATU-02); les transmitàncies  $U_{\text{coberta}}$  (ATU-03). Donat que en alguns edificis s'han detectat diferents solucions de façana corresponents bàsicament a reformes o ampliacions dels edificis en diferents moments, s'ha considerat sempre prevalent la transmitància corresponent a la solució constructiva predominant i prioritzant els valors de la U de la solució corresponent a les façanes nord, que són les menys exposades a la incidència solar i, en conseqüència les més exigents. Aquests indicadors constructius s'han relacionat amb l'indicador energètic KPI-02 (consum vinculat a la calefacció).

- Els factors de forma, relacionant: la superfície construïda amb el volum dels edificis (FF-01); la superfície específica de façanes (superfície de façanes/volum de l'edifici FF-02); el percentatge de superfície d'obertures en façana nord (FF-03); i la superfície específica de coberta (superfície de coberta/volum FF-04). Alhora, hem relacionat aquests indicadors amb els consums d'energia destinada a calefacció (indicador KPI-02), ja que el factor envolupant hauria d'incidir de manera evident amb aquests.
- L'aprofitament de la llum natural, comprovant la superfície de finestres en una aula tipus de cadascun dels edificis escolars (indicador ALN-01) i relacionant-la amb el consum elèctric (indicador KPI-01) que, en els edificis escolars està estretament vinculat a la despesa en il·luminació.

Els paràmetres arquitectònics i constructius són claus a l'hora d'entendre el funcionament dels edificis i també en el moment d'estudiar les propostes d'intervenció. En aquest sentit, (Perez, et al., 2009) han avaluat, a partir de simulacions, les variables que relacionen arquitectura amb els consums energètics, i les han classificat en relació a la importància relativa que té cada variable, (Fig. 44), i en la que s'assenyala com la mesura de major impacte el control de la incidència de llum natural, seguit de les infiltracions, l'envidrament, la ventilació nocturna, les dimensions de les finestres (distingint l'orientació de les façanes), l'orientació del propi edifici, l'aïllament de coberta, l'ombregjat en finestres (diferenciant també l'orientació de les façanes), l'aïllament de les parets, l'exposició de la coberta, el color de les parets i finalment l'ombregjat d'aquestes.

L'estudi de les transmitàncies dels edificis existents és una eina ineludible si es vol entendre el comportament energètic des del punt de vista de la demanda. Alguns autors (Dascalaki, et al., 2010) quantifiquen fins al 70% dels edificis públics estudiats a Grècia amb problemes d'aïllament tèrmic, és a dir, que no compleixen amb les actuals exigències de les directives europees. Altres estudis (Butala, et al., 1999) centrats en les escoles d'Eslovènia també consideren que fins al 83% dels edificis necessiten d'una millora de l'aïllament de l'envolupant. Segons les nostres dades, el 90% dels edificis estudiats tenen problemes amb l'aïllament dels paraments opacs, i el mateix percentatge en l'aïllament de coberta, com es pot observar en els gràfics següents i en les que es troben indicades les transmitàncies límit que estableix el CTE (en vermell per a ZC C2 i en verd per a ZC D1) i lo molt lluny que es troben algunes de les solucions constructives emprades.

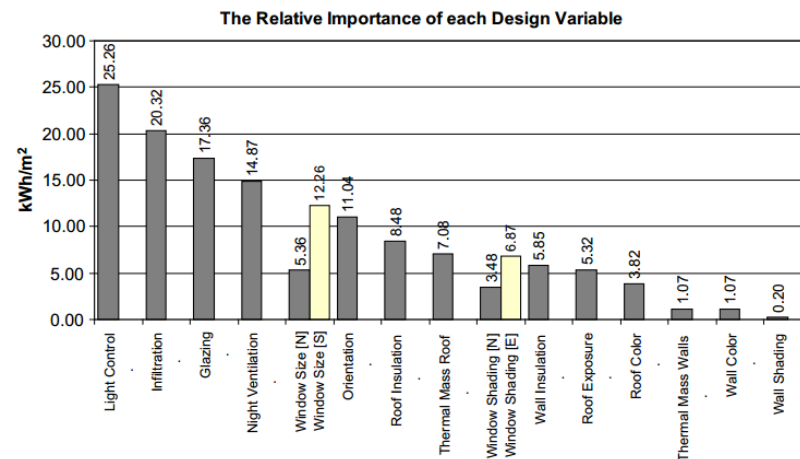


Fig. 44 Reducció d'energia consumida segons la variable en la que s'intervé, a partir de simulacions. (Perez, et al., 2009)

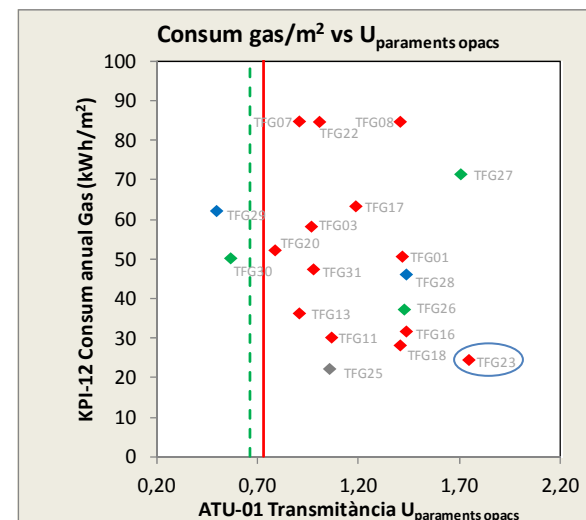


Fig. 45 Relació Transmitància U paraments opacs vs consum de gas per m2

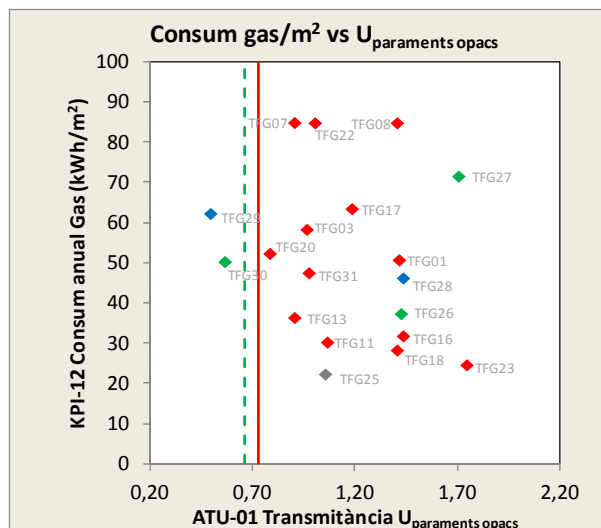


Fig. 46 Relació Transmissió U coberta vs consum de gas per m2

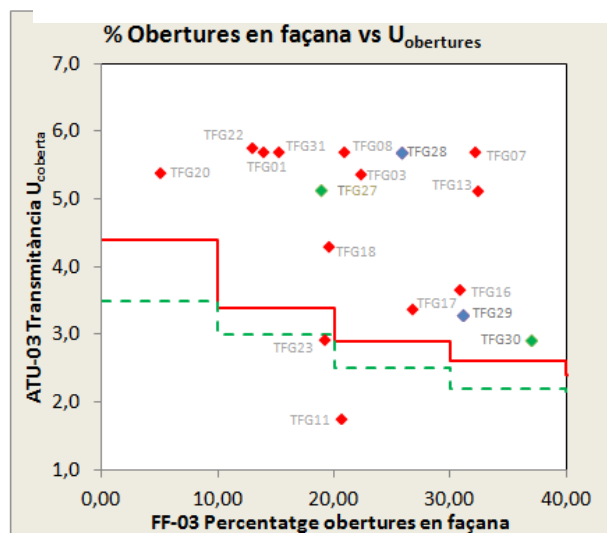


Fig. 47 Relació Transmissió U obertures vs consum de gas per m2

Alguns autors (Theodosiou, et al., 2008) fan menció de l'ús de les càmeres termogràfiques per identificar els problemes de manca d'aïllament i ponts tèrmics en les envoltants dels edificis. Durant l'estudi dels edificis escolars objecte d'aquesta tesi, també s'ha fet ús d'aquest maquinari, tot i que val a dir que aquesta eina de diagnosi és més útil per confirmar el que es prediagnosticava, o per a verificacions primerenques que per donar valor als conflictes.

A la vista dels gràfics que relacionen les transmissións U<sub>paraments opacs</sub> (Fig. 45), U<sub>coberta</sub> (Fig. 46) i U<sub>obertures</sub> (Fig. 47) amb els consums en gas/m<sup>2</sup> els resultats obtinguts mostren:

- Cap dels edificis de ZC1 té valors de transmissións que compleixin amb les actuals exigències del CTE.
- Només dos edificis ubicats a altres zones compleixen amb els requisits: el TFG30, construït l'any 2010 i el TFG29, de 1977, és a dir anterior a la directiva. El TFG16, tot i ser de 2010, té una transmissió de paraments opacs molt allunyada de la que hauria de tenir (Fig. 45).
- El TFG20, amb la transmissió més propera a l'exigida pel CTE, està ubicat a la zona mitja de la taula en quant a consums.
- La transmissió dels paraments opacs no sembla mostrar relació directa amb els consums i, de fet, l'edifici TFG23, amb pitjor transmissió U<sub>paraments opacs</sub> és el que té, de la ZC1, menor consum en gas.
- Aquest edifici TFG23 té, però, una bona transmissió U<sub>obertures</sub> (Fig. 47) el que ens aboca a analitzar les qüestions de les transmissións amb les relacions entre superfície paraments opacs/superfície obertures, i que analitzarem més endavant en aquest mateix capítol.
- La transmissió de les U<sub>obertures</sub> (Fig. 47) sembla ser la més rellevant en relació als consums, amb una línia de tendència clara de majors consums quan les transmissións també són majors.
- Tot i que la tendència a major transmissió d'obertures majors consums és prou evident en ZC1, en les ZC5 i ZC7, degut a que la mostra analitzada és petita, les dades no permeten extreure conclusions taxatives.

Hem vist per tant, que la qüestió de les transmissibilitats s'ha de contextualitzar amb les èpoques de construcció. Per aquest motiu s'han fet una sèrie de gràfics que ens permeten comprovar, si més no del conjunt d'edificis estudiats, que els edificis més antics no són, precisament, els que tenen les pitjors envoltants, i que els valors màxims de les transmissibilitats U es donen en diferents èpoques constructives sense un patró clar. El que sí es pot verificar és que a partir de l'entrada en vigor de la Norma Tèrmica (1979), i posteriorment del CTE (2006), els elements de tancaments opacs (façanes i cobertes) milloren substancialment a partir de la incorporació dels aïllaments, mentre que el comportament de les finestres mostra els valors més desfavorables, sorprenentment, en el període que va de l'any 1980 al 2000.

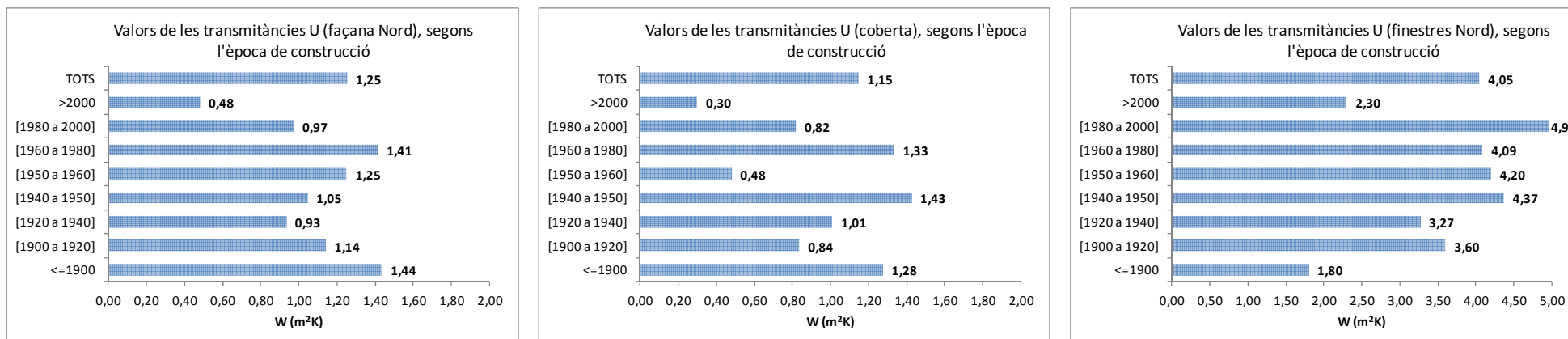


Fig. 48 Mitjana dels valors de les transmissibilitats segons l'època de construcció. Font pròpia.



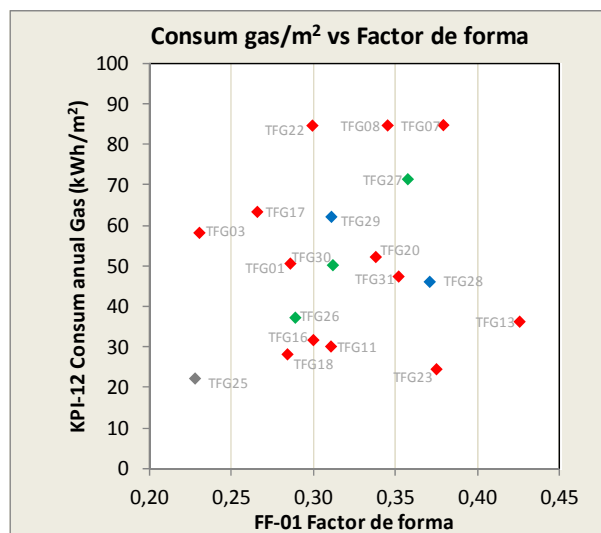


Fig. 49 Relació Factor de forma vs consum de gas per m<sup>2</sup>

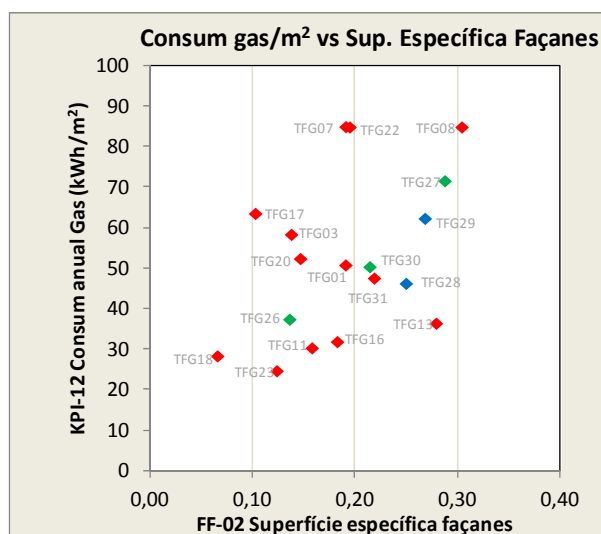


Fig. 50 Relació Superfície Específica de façanes vs consum de gas per m<sup>2</sup>

Anàlitzem per tant les relacions arquitectòniques de l'envolupant amb els volums edificats a partir del factor de forma, entès com el coeficient entre la superfície de pell i el seu volum ( $S/V$ ), que dona una idea del seu comportament tèrmic, tal i com s'explica en el següent paràgraf, extret de la pàgina web del COAC:

*A mesura que el volum augmenta, també ho fa la superfície exterior, però en menor proporció, de manera que el factor de forma disminueix. Igualment, a major compacitat menor superfície de pell i, en conseqüència, pèrdues energètiques menors. Per tant, per minimitzar l'intercanvi energètic entre l'edifici i el seu ambient exterior, la millor forma d'un edifici seria l'esfèrica.*

*Però no podem oblidar que cada clima requereix un disseny arquitectònic diferent. En climes extrems (freds o calorosos) són aconsellables formes compactes, és a dir, factors de forma baixos, mentre que en climes càlids-humits és preferible un factor de forma alt, amb l'objectiu de facilitar la ventilació de l'edifici. (COAC)*

- Efectivament sembla clar (Fig. 49) que entre els edificis de ZC1, temperada, el factor de forma no és rellevant
- En canvi, en la ZC5 (La Roca del Vallès, Pallejà, Sabadell), més rigorosa climàticament que la ZC1, sí es pot comprovar (tot i que amb certa cautela), que a factors de forma menors, consums en gas menors, el que es pot relacionar amb pèrdues energètiques menors.

Donat que el factor de forma no distingeix la superfície de façanes de la de coberta, s'han analitzat els edificis a partir d'aquestes dues variants mitjançant els indicadors FF-02 Superfície Específica Façanes (Fig. 50) i FF-04 Superfície Específica Coberta (Fig. 51):

- Dels resultats que mostren els edificis corresponents a la ZC1, no es pot concloure que hi hagi una relació directa entre la superfície específica de façanes i els consums energètics.
- Sembla que el factor façanes en canvi, sí té rellevància en els edificis de ZC5, com hem dit, més rigorosa climàticament, i com ja succeïa amb el Factor de Forma (Fig. 50).
- També es pot comprovar que en qualsevol de les zones climàtiques, el factor Superfície Específica de Coberta no és rellevant (Fig. 51). De fet, el cas TFG30, amb un factor

destacadament elevat en relació a la resta de punts (és un edifici industrial reformat per allotjar l'escola, amb molta superfície però poca altura), mostra uns consums intermedis.

- Si verifiquem aquest punt corresponent al TFG30 amb les transmitàncies  $U_{coberta}$ , comprovem que és l'edifici que té la transmitància més baixa de tots els edificis estudiats ( $0,23 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ).
- Aquesta dada ens porta a una reflexió relacionada amb l'eficàcia de fer intervencions de rehabilitació energètica de les pells dels edificis: una millora de la transmitància de la coberta pot comportar evidents millores tèrmiques en edificis baixos (d'una o dues plantes) ja que redueix la demanda en calefacció de les plantes sota coberta, és a dir, de la meitat o de la totalitat de la superfície construïda.

De l'estudi de les variables arquitectòniques es pot dir que, com ja apunten altres autors (Theodosiou, et al., 2008), no hi ha una correlació clara entre les característiques dels edificis i els seus consums en calefacció o electricitat. Si en els treballs d'aquests autors es detectava que l'edifici millor aïllat tèrmicament era, sorprenentment, un dels més energívors, en el cas dels nostres edificis, ja hem fet menció alguns paràgrafs enrere, que el millor aïllat tèrmicament es troba a la zona mitja de consums, mentre que el que té pitjor transmitància en paraments opacs és el que menys consumeix.

Analitzem les façanes amb deteniment ja que és la part de la pell més rellevant (com a mínim en superfície exposada al rigor climàtic):

- Com es pot observar (Fig. 52) sembla que per a la ZC1, de la que es disposa d'una mostra major, el percentatge d'obertures en façana no és rellevant, mentre que com hem vist en paràgrafs anteriors, la transmitància  $U_{obertures}$  d'aquestes sí mostra (Fig. 53) certa relació.
- Per a la ZC5, en disposar només de dades de tres edificis, es fa difícil treure conclusions clares, més quan hi ha un edifici especialment anòmal, com és el TFG26, amb un percentatge d'obertures en façana nord molt alt, que a més té unes transmitàncies  $U_{obertures}$  molt dolentes, i contràriament al que cabria esperar, és l'edifici amb un consum energètic per a calefacció més baix.
- Aquesta realitat confirma una de les premisses d'aquesta tesi: que els edificis s'han de llegir individualment, i que és el que s'ha fet en l'apartat 6.3 L'anàlisi multivariable d'aquest capítol.

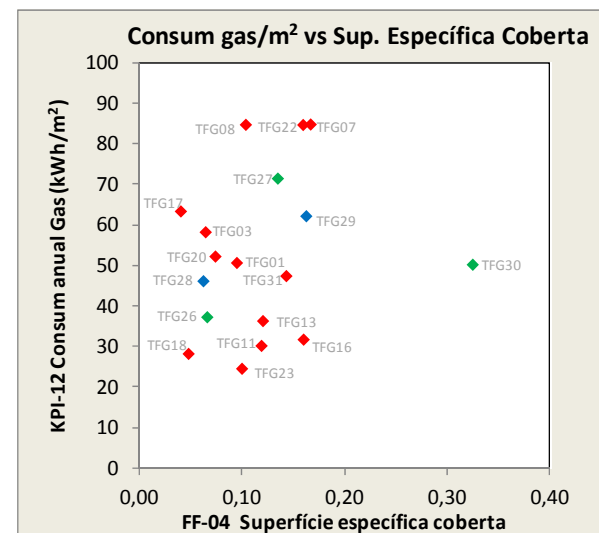


Fig. 51 Relació Superfície Específica de coberta vs consum de gas per m<sup>2</sup>

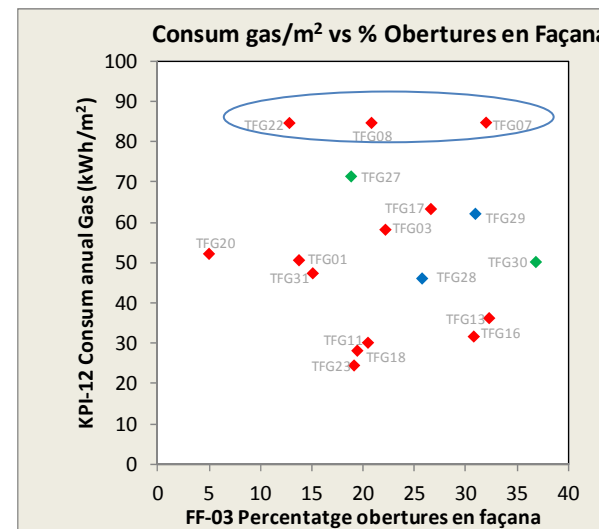


Fig. 52 Relació Percentatge d'obertures en façana vs consum de gas per m<sup>2</sup>

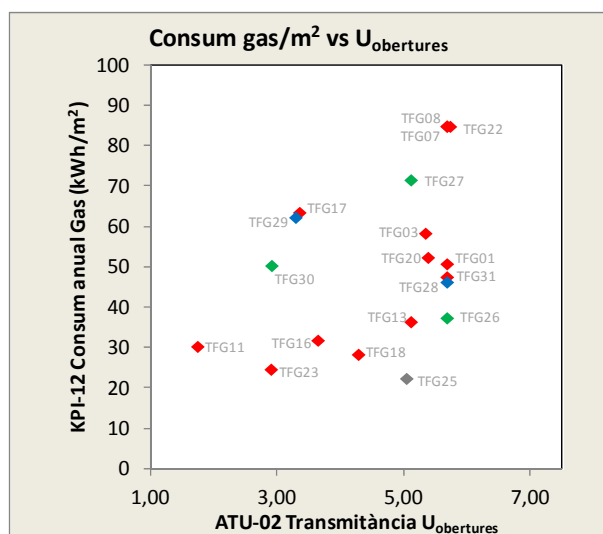


Fig. 53 Relació Transmissió U<sub>obertures</sub> vs consum de gas per m<sup>2</sup>

Abundant en la qüestió de les façanes, aquestes també haurien de tenir, teòricament, un paper rellevant en els consums elèctrics, ja que com més obertures tenen les façanes, més aportació de llum natural i, en conseqüència, menys necessitat de llum artificial i menor despesa. Per a l'anàlisi d'aquests paràmetres, hem utilitzat els indicadors FF-03 que proporciona el percentatge de forats en façana, i el ALN-01 que relaciona la superfície de finestres en una aula tipus amb la superfície de l'aula.

De totes maneres, no només el percentatge de forats en façana és clau, ja que la ubicació en el teixit urbà també afecta a l'accés de llum natural ([Theodosiou, et al., 2008](#)): els edificis encaixats en mig de la ciutat poden estar afectats per ombres dels edificis veïns, el que limita l'entrada de llum i, en conseqüència, major ús de la llum elèctrica.

Si analitzem els resultats dels indicadors sobre la mostra, observem (Fig. 54 i Fig. 55):

Si eliminem el cas del TFG26 per atípic, podem observar que hi ha una certa tendència a tenir menors consums elèctrics quan el percentatge d'obertures és major (Fig. 54).

- Aquesta tendència es dona en els edificis ubicats en les ZC1 i ZC5.
- En el cas dels edificis de ZC7 però, la tendència és contrària, la qual cosa si més no, indica que la relació no és sempre directa.
- L'edifici TFG20, que és el que disposa d'una relació més desfavorable, no és el que més consumeix, mentre que el més consumidor té una relació superfície de finestres/superfície aula mitja, 18%
- Les dades sobre l'indicador ALN-01 (Fig. 55), vinculat directament a l'estudi de la incidència de llum natural a les aules, permet fer una altra lectura: hi ha un conjunt d'edificis amb consums elèctrics baixos independentment de la relació superfície finestres/superfície aula.
- El cas TFG23, que és el que menys consumeix, disposa d'una relació superfície de finestres/superfície aula del 19%
- La comparació entre el cas TFG23 i el TFG27 i l'anàlisi de les dades permet afirmar que poca il·luminació natural en les aules no comporta majors consums en electricitat, o que els consums elèctrics elevats no venen donats mecànicament per les configuracions arquitectòniques. En conseqüència, s'han de comprovar altres variables relacionades amb els sistemes o bé amb l'ús i la gestió que es fa dels sistemes d'enllumenat, en el cas d'aquells edificis amb una alta aportació de llum natural.
- En l'apartat següent es relacionen els consums energètics amb el rendiment dels sistemes mitjançant l'indicador NI-05 *Valor d'Eficiència Energètica de la Instal·lació VEEI* en les aules tipus, i amb l'indicador NI-04, que hem donat per anomenar Indicador eficiència del sistema d'enllumenat NI-04 i que es detallarà més endavant.

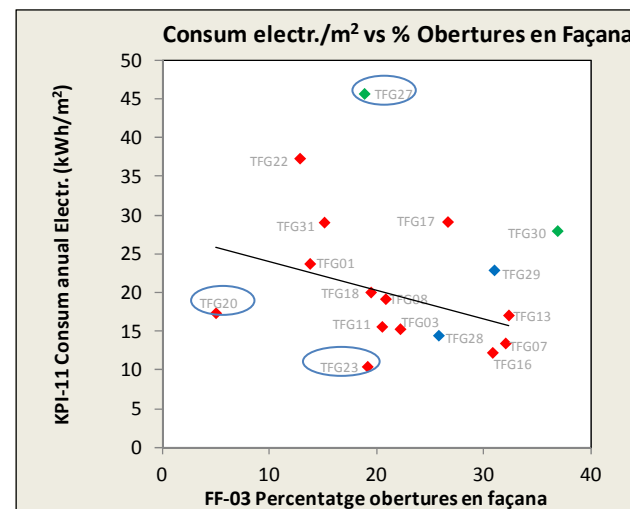


Fig. 54 Relació Percentatge d'obertures en façana vs consum elèctric per m<sup>2</sup>

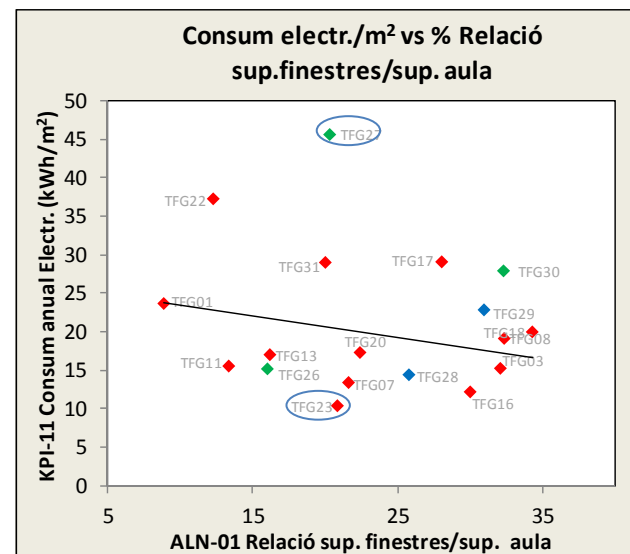


Fig. 55 Relació superfície de finestres en aula vs consum elèctric m<sup>2</sup>

### 6.2.5 El rendiment dels sistemes

Com bé sabem, els sistemes d'instal·lacions són els que proporcionen les condicions d'habitabilitat allà i quan l'edifici, per si sol, no pot proporcionar-les. Disposem de sistemes de calefacció per garantir les temperatures de confort en períodes estacionals freds i de sistemes d'il·luminació en horaris en que no disposem de llum natural. Tot i que els edificis escolars tenen un horari d'ús coincidents, majorment, amb l'horari diürn, durant els mesos d'hivern és necessari calefaccionar els espais i durant determinats períodes també cal fer ús intensiu de la il·luminació artificial. Els indicadors emprats per a l'avaluació dels rendiments dels sistemes dels edificis han estat:

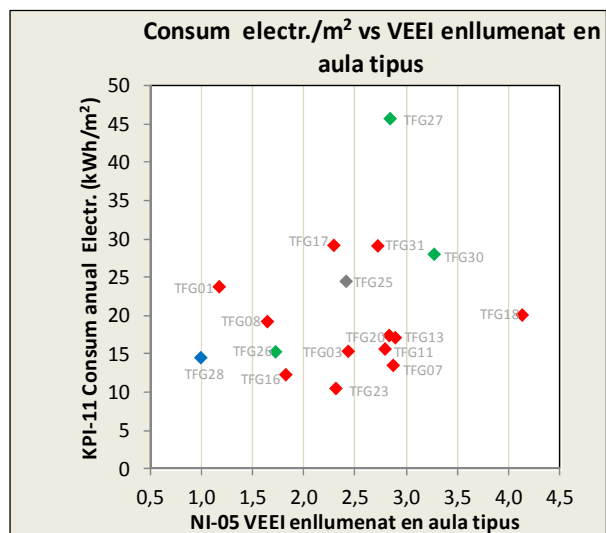
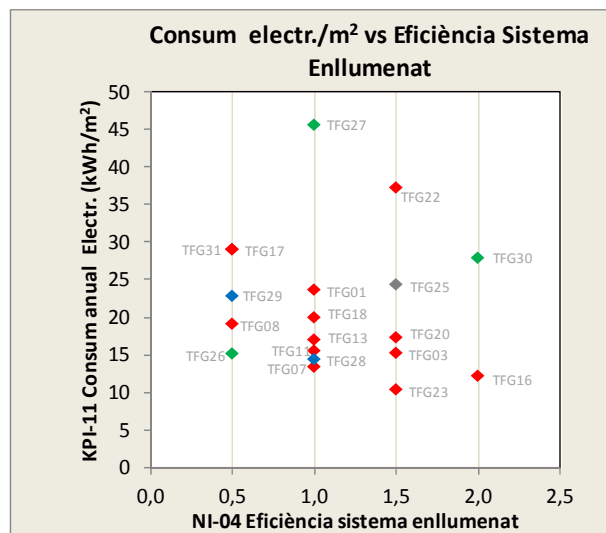
CODI	CODI	NOM ESCOLA				
		Concepte	Fòrmula	Unitats	Criteri	
Indicadors Sistemes	Enllumenat	NI-01	Nivell màxim enllumenat en aules		lux	entre 0 i 1
		NI-02	Tipus de làmpades majoritari en aules			entre 0 i 1
		NI-03	Detectors de presència o fotosensibles zones secundaries			entre 0 i 1
		NI-04	Indicador eficiència sistema enllumenat	NI-01+NI-02+NI-03		
		NI-05	Valor d'Eficiència Energètica de la instal·lació VEEI en aula tipus			
	Climatització	CL-01	Rendiment sistema climatització			entre 0 i 1
		CL-02	Antiguitat caldera			entre 0 i 1
		CL-03	Existència vàlvules			entre 0 i 1
		CL-04	Sectoritzacions			entre 0 i 1
		CL-05	Recurs energètic per a climatització			entre 0 i 1
		CL-06	Indicador eficiència sistema calefacció	CL-02+CL-03+CL-04+CL-05		
		CL-07	kWh/any/m2 en gas/CL-01	KPI-12/CL-01		
		CL-08	kWh/any/m2 en gas/CL-06	KPI-12/CL-06		

Fig. 56 Indicadors Sistemes Enllumenat i Climatització

Pel que fa als sistemes d'il·luminació, s'han utilitzat dos tipus d'indicadors:

- NI-05, corresponent al Valor d'Eficiència Energètica de la Instal·lació (VEEI) i que s'ha obtingut a partir de l'ús del programa Dialux. Donat que hi ha molts tipus d'estances en els edificis escolars (aules, menjador, biblioteca, zones de pas, zones d'ús administratiu, gimnàs, etc.) i tot i que s'han verificat els VEEIs de la majoria d'elles, l'indicador utilitzat fa referència als valors obtinguts en l'anàlisi de les aules tipus.
- NI-04 que és la suma dels indicadors NI-01, NI-02 i NI-03:
  - l'indicador NI-01, que dona valor als nivells d'enllumenat màxims comprovats amb luxòmetres (per a resultats de fins a 400 lux, considerats suficients per garantir el confort visual, s'ha donat un valor d'indicador d'1; per a nivells d'il·luminació entre 400 i 600 lux el valor és de 0,5 i per a nivells superior a 600 lux, clarament excessius, s'ha donat un valor a l'indicador de 0);
  - l'indicador NI-02 que avalua la idoneïtat de les làmpades (1 punt si aquestes són de baix consum, 0,5 si són majoritàriament fluorescents i 0 si són bombetes incandescentes);
  - l'indicador NI-03, indicador bimodal, que donar valor 1 a aquelles instal·lacions d'enllumenat que disposen de detectors de presència o fotosensibles i que per tant permeten economitzar en consum elèctric i 0 si no en disposen.

Val a dir que la qüestió de la il·luminació natural no s'hauria de considerar exclusivament des del punt de vista de l'eficiència energètica, ja que com han relatat diversos autors ([Olson, et al., 2003](#)), la llum natural millora el rendiment escolar i augmenta els paràmetres de confort.

Fig. 57 Relació VEEI vs consum elèctric per m<sup>2</sup>Fig. 58 Relació Eficiència del sistema d'enllumenat vs consum elèctric per m<sup>2</sup>

A partir de la relació d'aquests indicadors amb els consums elèctrics KPI-02 s'ha pogut observar el següent ( Fig. 57 i Fig. 58):

- Tots els edificis en els quals s'ha realitzat la verificació de la VEEI donen valors, excepte el TFG18, per sota de 4 W/m<sup>2</sup> cada 100 lux, que és el valor límit que marca el CTE.
- No hi ha relació directa entre el VEEI en aules i els consums elèctrics, el que indica que hi ha altres variables que incideixen. De fet, hem comprovat en les nostres visites als centres que hi ha espais sobre il·luminats mentre que altres donen uns nivells d'il·luminació per sota dels de confort.
- El consum elèctric en els edificis escolars està bàsicament vinculat a l'enllumenat, però no només. Existeixen equipaments diversos que han estat inventariats en els nostres estudis de detall però dels quals s'ha fet una valoració individualitzada cas per cas. (Podem destacar el cas de l'equipament complet de la cuina d'un centre escolar, amb neveres i congeladors funcionant 24 hores dia, i amb un ús molt puntual donat que només hi ha servei de menjador dos dies a la setmana i el menjar no es cuina al propi centre).
- El propi CTE identifica a més del VEEI, dos factors més per determinar el compliment d'una instal·lació d'il·luminació: l'existència de sistemes de regulació i control d'enllumenat per una banda, i l'existència d'un pla de manteniment. Per poder avaluar aquests paràmetres hem fet ús de l'indicador NI-04 que recull diferents qüestions relacionades amb les làmpades, els sistemes de control d'encesa i la comprovació in situ amb luxòmetres dels nivells d'il·luminació en aules (Fig. 58).
- Si com es pot observar, els 4 edificis més energívors en electricitat han donat VEEIs acceptables, es pot deduir que la despesa que tenen en electricitat pot estar relacionada amb altres factors: gran nombre d'equipaments electrònics, cuines elèctriques, sistemes de refrigeració, etc.
- Dels resultats de la resta d'edificis sí es pot observar certa tendència de menors consums com més punts assoleix l'indicador NI-04. Amb tot, com es pot observar, la majoria d'edificis estudiats (amb valors 0,5 i 1) tenen un marge de millora molt alt en quant a gestió dels sistemes d'enllumenat.
- Podem concloure, a la vista dels resultats, que no n'hi ha prou amb exigir uns valors d'eficiència en els sistemes d'enllumenat VEEI, ja que hi ha altres factors que incideixen en el consum.

Pel que fa a l'estudi dels sistemes de climatització, s'ha utilitzat l'eina CALENER, que proporciona les dades de demanda energètica de forma anual dels edificis. Com bé sabem, el programa certifica energèticament els edificis comparant l'edifici objecte d'estudi amb un edifici de referència. Aquesta certificació ens permet qualificar l'edifici, però creiem que la informació que proporciona el programa es pot destriar per tal d'obtenir més informació. Per tant, hem considerat:

- L'indicador CL-01 Rendiment dels sistema de climatització, a partir de l'entrada de les dades dels edificis estudiats en el programa CALENER. Hem comparat les demandes en calefacció que calcula el programa sobre els edificis objecte d'estudi amb els consums reals segons factures i de la relació entre aquests dos valors s'ha obtingut un rendiment del sistema de climatització. Aquest indicador es dona en %.
- El CL-06 no és més que la suma dels indicadors CL-02, CL-03, CL-04 i CL-05, i que permet tenir una valoració conceptual dels sistemes de climatització a partir de diferents variables que hem considerat més rellevants.

- CL-02, que dona valor a l'edat de la caldera, i que en aquest treball s'ha considerat amb valor 1 quan l'edat és <10 anys, valor 0,5 si l'edat de la caldera es troba entre 10 i 20 anys i valor 0 si té mes de 20 anys.
- CL-03, que és un indicador bimodal que contempla l'existència de vàlvules de regulació i control en els radiadors. Si existeixen vàlvules que permeten ajustar el funcionament dels radiadors a les necessitats específiques dels diferents espais el valor és 1 mentre que si no hi ha possibilitat de tancar els radiadors quan s'assoleixen temperatures de confort el valor és 0.
- CL-04, també bimodal, que dóna valor 1 als sistemes que han estat dissenyats sectoritzant la xarxa, és a dir, diferenciant zones nord i sud, per exemple, o zones d'alta ocupació amb zones que s'utilitzen puntualment, i amb valor 0 si no es donen aquestes circumstàncies.

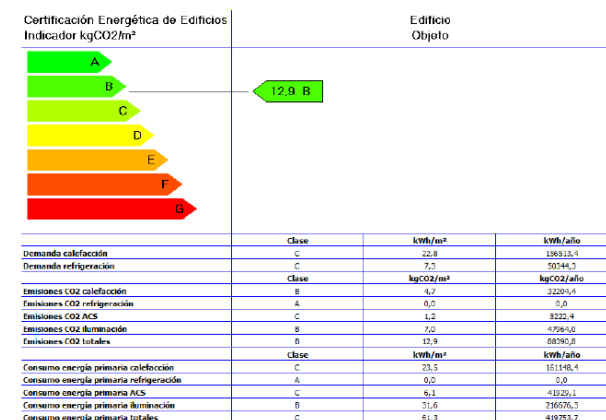


Figura 17. Resultats CALENER. Font: CALENER.

Fig. 59 Resultats de la Certificació Energètica segons programa CALENER



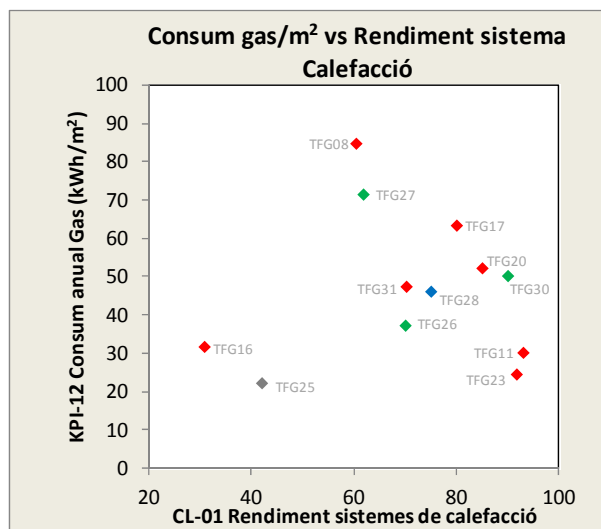


Fig. 60 Relació rendiment del sistema de calefacció vs consum de gas per m<sup>2</sup>

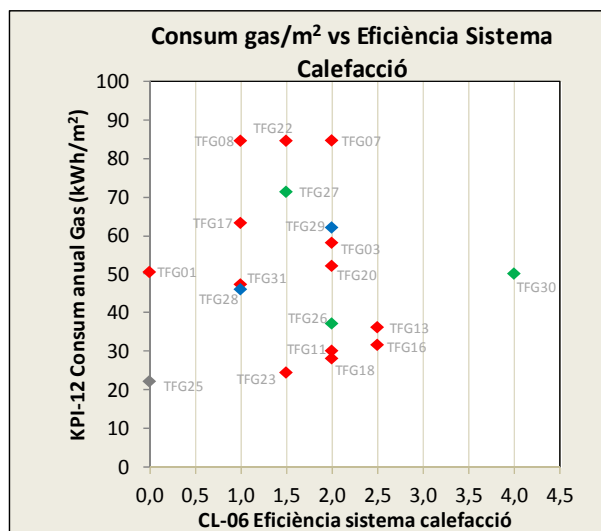


Fig. 61 Relació eficiència del sistema de calefacció vs consum de gas per m<sup>2</sup>

- CL-05, que considera quin és el recurs que s'utilitza per a climatització. En aquest cas, 1 seria el valor per a aquells edificis que climatitzen a partir de recursos energètics eficients com el gas natural o el propà, 0 per a aquells edificis que climatitzen mitjançant recursos amb efecte Joule (electricitat), i un hipotètic 2 per a aquells centres que utilitzen energies renovables (biomassa, geotèrmia, fotovoltaica). De totes maneres, aquest indicador s'ha mostrat poc representatiu donat que en tots els edificis estudiats el recurs energètic per a climatització s'ha qualificat amb 1 (gas natural, gasoil o gas propà).

Aquesta sèrie d'indicadors s'han relacionat, finalment, amb el consum de recursos per a climatització, amb l'objectiu de comprovar si es corresponen (Fig. 60).

- Es pot comprovar que, com a mínim, els edificis que mostren més alt rendiment dels sistemes de climatització són els que mostren menors consums en gas.
- Hi ha dos edificis, el TFG16 i el TFG25 que mostren uns rendiments molt desfavorables a la vegada que uns consums també molt baixos, el que ens fa posar en qüestió la bondat d'aquestes dades.
- Si relacionem els consums en gas amb l'indicador CL-06 (Fig. 61) que avalua diferents factors relacionats amb l'eficiència dels sistemes (sectoritzacions, existència de vàlvules en radiadors, edat de les calderes, etc.), comprovem que els edificis que assoleixen millors puntuacions són edificis amb consums ajustats, en el cas de ZC1 fins i tot baixos.
- Amb un valor 2 de l'indicador CL-06, que assoleixen 7 edificis, es pot observar que la variació de consums és molt àmplia, per la qual cosa sembla que, com a poc, aquest indicador no ofereix resultats evidents o que cal millorar la recollida de dades.
- Amb tot, sembla clar que si volem analitzar el consum en recursos per a climatització més enllà de les qüestions arquitectòniques i de rendiment dels sistemes, cal relacionar-lo també amb l'ús i la gestió de l'edifici. Aquesta anàlisi dels resultats s'explica en el següent apartat 6.2.6 L'ús i gestió dels edificis.
- En aquest cas, també es detecta un ampli marge de millora en quant a l'eficiència del sistema de calefacció vinculat a les variables de gestió i millora dels circuits més que amb el rendiment de les calderes.

### 6.2.6 L'ús i gestió dels edificis

Finalment, s'han analitzat els resultats obtinguts dels estudis de detall des de la perspectiva de l'ús i la gestió dels centres. Creiem que aquesta és una part especialment innovadora d'enfocar la qüestió de l'eficiència energètica en els edificis, sobretot els d'ús públic, ja que com ja han estudiat altres autors (López, 2006) (Ruiz Martorell, 2009), es pot simplificar el concepte dient que no són els edificis els que consumeixen si no els usuaris.

Per a la nostra recerca hem definit una sèrie d'indicadors que permeten avaluar la manera en que es fa ús dels edificis escolars i incloure també qüestions relacionades amb el compromís dels gestors i usuaris del centre en qüestions mediambientals. Així, hem acordat l'indicador UG-10, que és la suma de diferents indicadors:

CODI	CODI	NOM ESCOLA				
		Concepte	Fòrmula	Unitats	Criteri	
	Ús	UG-01	Confort ambiental			Entre 0 i 1
		UG-02	Hores encesa calefacció			Entre 0 i 1
		UG-03	Plaques solars ACS			Entre 0 i 1
		UG-04	Indicador eficiència gestió	UG-01+UG-02+UG-03		
		UG-05	Consum fantasma			*
	Gestió	UG-06	Manteniment			Entre 0 i 1
		UG-07	Agenda 21 o altres accions			Entre 0 i 1
		UG-08	Signant del Compromís Ciutadà per la Sostenibilitat			Entre 0 i 1
		UG-09	Públic/privat/concertat			Públic 1, Concertat 0,5, Privat 0
		UG-10	Indicador gestió	UG-06+UG-07+UG-08+UG-09		
* No disposem de dades. Podria ser fins a 5% consum punta 1 de 5 a 10% consum punta 0,5/ més de 10% consum punta 0						

Fig. 62 Indicadors d'ús i gestió

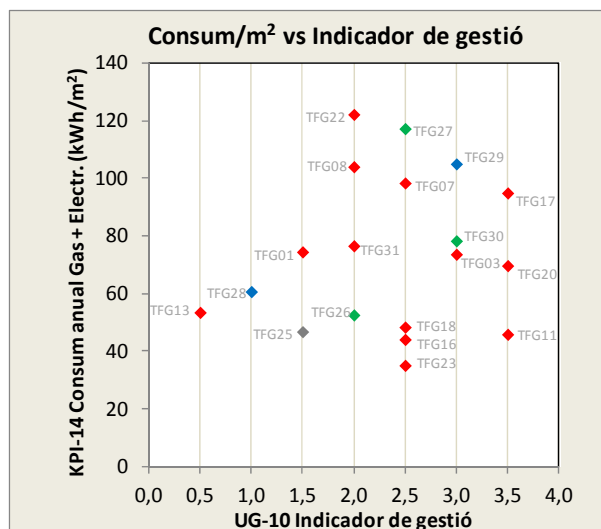


Fig. 63 Relació de l'Indicador de gestió vs consum energètic per m<sup>2</sup>

- UG-01 (confort ambiental als espais), que dona valor 1 si la T<sup>a</sup> mitjana a l'interior dels espais, a l'hivern està dins els paràmetres considerats de confort (entre 19-23 °C) i valor 0 si la T<sup>a</sup> mitjana a l'interior dels espais, a l'hivern, és superior a 23°C.
- UG-02 (hores de funcionament del sistema de climatització), que ja hem introduït en paràgrafs anteriors i que té valor 1 per a menys de 8 hores de funcionament del sistema de calefacció, 0,5 si està entre 8 i 10 hores i 0 quan depassa d'aquest horari. Hem pogut observar, a partir dels estudis detallats dels edificis, que els horaris d'encesa i apagat dels sistemes de calefacció varien des de les 5 hores fins a les 10 hores de funcionament. Aquesta dada és rellevant, ja que en principi, en estar tots els edificis estudiats dins una mateixa zona climàtica, haurien de tenir necessitats de climatització similars
- UG-03 que dona valor a l'existència de plaques solars per a l'Aigua Calenta Sanitària (ACS) i que estan en funcionament (valor 1), l'existència de plaques però que no estan en funcionament (valor 0,5) o la no existència (valor 0).
- UG-06 per donar valor al manteniment de les instal·lacions i, que com hem dit abans pot ser fet per agents externs (valor 0), per personal propi sense formació específica (valor 0,5) o per personal propi amb formació tècnica (valor 1). Hem comprovat que el manteniment dels sistemes es fa, o bé de manera centralitzada pels gestors dels centres (El Consorci Educatiu, l'Ajuntament o la Generalitat en alguns casos), o bé per personal del propi centre, que en alguns casos és un tècnic amb formació suficient per a gestionar el sistema, però que en altres casos és personal sense formació que fa un ús de les instal·lacions bàsic. Cal detenir-se en aquesta circumstància perquè hem observat que, en els darrers anys sembla imposar-se la idea de que la gestió externa a partir d'empreses especialitzades suposa estalvis en el consum dels recursos. Per la nostra experiència, podem dir que, com a poc, tenim alguns dubtes de que això sigui així.
- UG-07, que és un indicador que està clarament relacionat amb el compromís mediambiental del centre, i que es considera amb valor 1 si el centre és signant del "Compromís ciutadà per a la sostenibilitat" (promogut per l'Ajuntament de Barcelona), o si està vinculat a l'Agenda 21 escolar, o a qualsevol altra iniciativa similar, i 0 si no es troba aplicant cap mesura de contenció de la despesa energètica. Durant la nostra col·laboració amb el Departament d'Infraestructures de la Generalitat de Catalunya, que gestiona la majoria d'Instituts del país i que ha fet diverses campanyes per millorar l'eficiència energètica del parc edificat, hem pogut detectar que el seguiment que es fa de les instal·lacions per part de les empreses no és

prou eficaç: les visites als centres es demoren perquè sovint els tècnics que fan el manteniment atenen les necessitats de diversos centres; hi ha una certa rotació de tècnics de manteniment que impedeix consolidar el coneixement del propi centre i en conseqüència el seguiment; i/o les consignes d'encesa i d'apagada dels sistemes es fan a distància, amb criteris generals per a tot el parc edificat, la qual cosa impedeix fer una gestió acurada a les veritables necessitats dels centres.

- Com es pot observar en la [Fig. 63](#), els valors dels consums energètics dels centres no semblen tenir una relació directa amb el grau d'assoliment de l'indicador de gestió. Aquests resultats tot i que no contradueixen taxativament les premisses en les que basàvem bona part de la recerca, si ens fan reflexionar sobre dues qüestions: la gestió és important, però cal tenir edificis en bones condicions i amb possibilitats de ser gestionats adequadament; i que és possible millorar diferents aspectes de la gestió si es coneixen les possibilitats i es treballa conjuntament entre els gestors, els tècnics i la comunitat.
- Per altra banda hem verificat, a partir de la nostra col·laboració amb Infraestructures de la Generalitat, i detectat també en diferents estudis ([Hernández, et al., 2008](#)) ([Masoso, et al., 2010](#)), el que anomenem “consums fantasma”. Aquest consum es detecta mitjançant sistemes de monitorització de dades de consum, com el que utilitza Infraestructures de la Generalitat en la majoria dels edificis que gestionen, i està quantificat entre el 5% i el 8 %.
- Com ja han expressat diferents autors ([Mata, et al., 2009](#)), la conscienciació dels usuaris és una eina clau per a reduir la despesa energètica en edificis d'ús públic. Tot i que és cert que les escoles catalanes estan implicades, la majoria d'elles, en diferents programes per fer les escoles més sostenibles ([Ajuntament de Barcelona](#)) ([Euronet 50/50](#)), creiem que cal seguir apostant per eines que vinculin als usuaris, que facilitin l'autogestió dels edificis, i que els mateixos gestors (Ajuntaments, Administració en general, etc) estableixin línies prioritàries d'actuació en aquest sentit.
- També insisteixen en la necessitat de millorar l'ús dels edificis ([Filippin, 2000](#)) a partir d'una experiència a Argentina, assenyalant la necessitat del manteniment periòdic de les calderes, la col·locació estratègica de termòstats, monitoritzar, però també encoratjar als gestors, usuaris i estudiantat a fer un ús eficient dels recursos i fer-los entendre que els estalvis energètics suposen beneficis econòmics i mediambientals.
- La sensibilització de l'estudiantat en l'anàlisi dels edificis escolars també ha de ser una línia de treball prioritària, tal i com defensen diferents institucions i corroboren diversos estudis

(Desideri, et al., 2002). L'estudiantat es pot involucrar a partir d'una metodologia de treball definida en els plans curriculars, en la recollida de dades, en l'anàlisi de les característiques del centre, dels consums energètics, i fins i tot en la diagnosi energètica, la gestió dels recursos i en la proposta de possibles actuacions. Aquesta estratègia permet que siguin les pròpies escoles les que proposin les diferents iniciatives energètiques que es poden anar implementant (Euronet 50/50).

### 6.3 L'anàlisi multivariable

Hem analitzat fins aquest punt els edificis a partir de la comparació d'indicadors per comprovar quines eren les variables que mostraven tendències clares de relació entre el consum energètic i els múltiples condicionants que fan que els edificis consumeixin recursos.

Però, com apunten alguns autors italians (Desideri, et al., 2002) i els estudis realitzats sobre el parc escolar edificat de Regne Unit (Tian, et al., 2012), la diversitat d'edificis (tot i treballar en una mateixa tipologia ben ajustada, en tant que són tots centres escolars, ubicats en una mateixa zona climàtica), obliga a analitzar-los individualment. En aquest apartat doncs fem una anàlisi dels resultats obtinguts a partir de l'estudi individualitzat i multivariable dels edificis. A partir de les dades recollides durant la realització dels TFGs i del registre metodològic identificant els indicadors exposats en l'apartat anterior, es van identificar aquells que s'havia comprovat que eren els més adients per a l'anàlisi sistemàtic de les diferents variables. Així, finalment s'han escollit els 15 valors clau que es mostren a la Fig. 63 Relació de l'Indicador de gestió vs consum energètic per m<sup>2</sup>Fig. 63.

Donat que els valors d'aquests indicadors estaven en diferents unitats i a escala variable (en %, en valors absoluts de consums energètics entre 140 kWh/m<sup>2</sup> i 30 kWh/m<sup>2</sup>, en valors de transmissió entre U=0,79 i U=5,35, etc.), ha calgut tractar-los per tal de poder fer-ne un ús "amable". Metodològicament, s'han escalat doncs els valors dels indicadors, un a un, del 0 al 10, essent 0 el valor mínim de la sèrie i 10 el valor màxim. Aquest tractament dels valors ens permet plasmar mitjançant un gràfic radial, els diferents indicadors, i en conseqüència fer una lectura individualitzada dels 19 edificis objecte de la mostra, de manera clara i eficaç.

Els eixos del diagrama radial, s'han endreçat per conceptes: Indicadors de consums, Indicadors de construcció, indicadors d'arquitectura, indicadors del sistema de calefacció, indicadors del sistema d'enllumenat, i indicadors de gestió (Fig. 64).

Nº indicador	Identificador	Definició	Definició abreujada
1	FF-04	Sup específica coberta. Sup.coberta/volum	m2 Coberta/V
2	CL-06	Indicador eficiència sistema calefacció	Ind. Eficiència Calefacció
3	CL-01	Rendiment sistema climatització	Rendiment Caldera
4	ALN-01	% sup finestres en aula tipus	Finestres/Sup. aula
5	NI-04	Indicador eficiència sistema enllumenat	Ind.Eficiència Il·luminació
6	NI-05	Valor d'Eficiència Energètica de la instal·lació VEEI en aula tipus	VEEI
7	UG-10	Indicador gestió	Ind. Gestió
8	KPI-11	kWh/any/m2 en Electricitat	Consum Electricitat
9	KPI-12	kWh/any/m2 en Gas	Consum Climatització
10	ATU-01	Transmissió U paraments opacs	U Paraments opacs
11	ATU-02	Transmissió U obertures	U Finestres
12	ATU-03	Transmissió U Coberta	U Coberta
13	FF-01	Factor de forma	Factor de forma
14	FF-02	Sup específica façanes. Sup. façanes/volum	m2 Façana/V
15	FF-03	% de superfície d'obertures en façana	% finestres

Fig. 63 Taula d'indicadors clau.

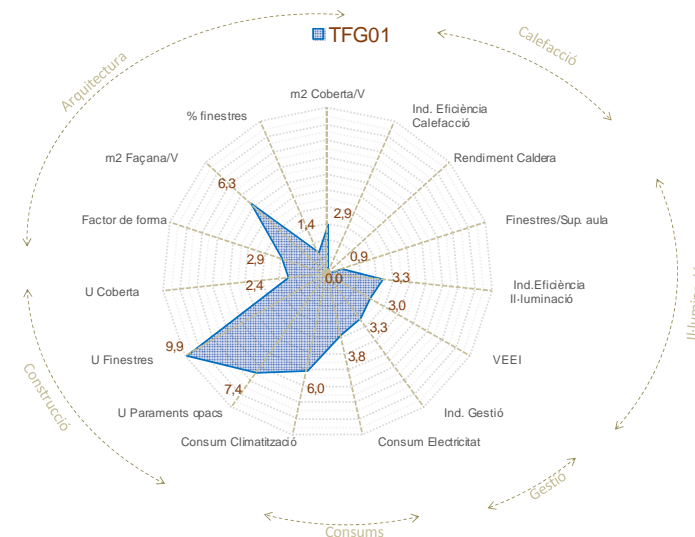


Fig. 64 Diagrama radial amb els indicadors escalats.

# Resultats

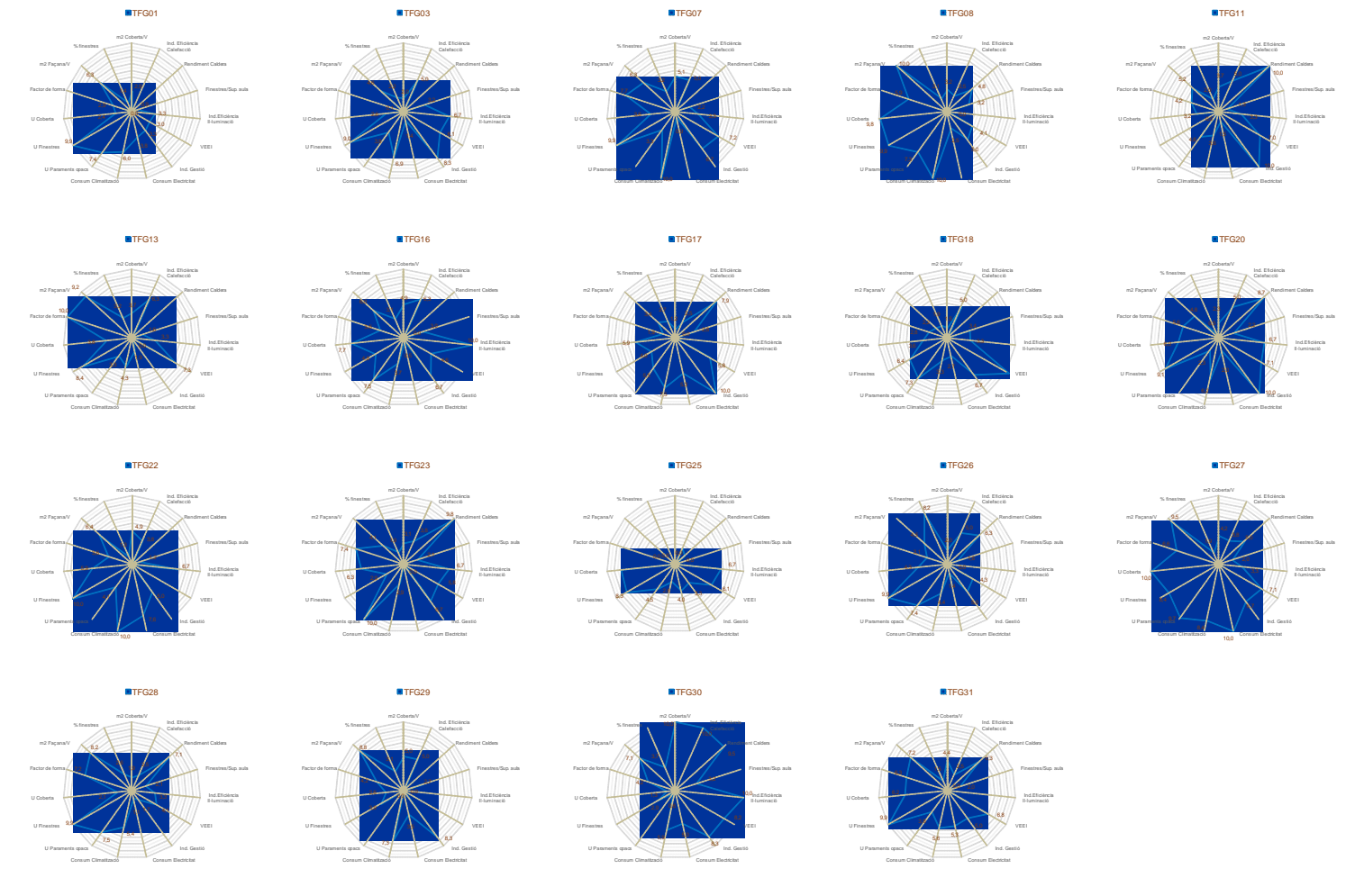


Fig. 65 Gràfics radials dels 19 edificis escolars objecte d'estudi detallat.

Una primera lectura que es pot fer a la vista del mapa de resultats (Fig. 65), és que els indicadors així representats mostren una diversitat de resultats molt destacable, i les “estrelles” que defineixen als edificis són molt diverses.

En principi, hi ha alguns indicadors que són fàcilment avaluable, és a dir, és evident que els consums elèctrics alts són “dolents”, així com les transmitàncies, mentre que els valors de l’indicador UG-10, Indicador de gestió, com més alt és, millor. Hi ha altres indicadors que no tenen una resposta tan immediata: per exemple el % de superfície de finestres en façana nord, que permet entrada de llum natural però que, si la transmitància de les finestres és molt alta, pot comportar pèrdues energètiques. Així doncs, un gràfic radial desitjable seria aquell amb una àrea predominantment cap a la dreta, mentre que una gràfica amb molta àrea a l’esquerra i a baix, indica edificis poc eficients i amb problemes de pell.

A partir d’aquest moment, s’ha procedit a la interpretació dels resultats per a cada un dels edificis de manera individualitzada.

Gràfica “desitjable” d’indicadors

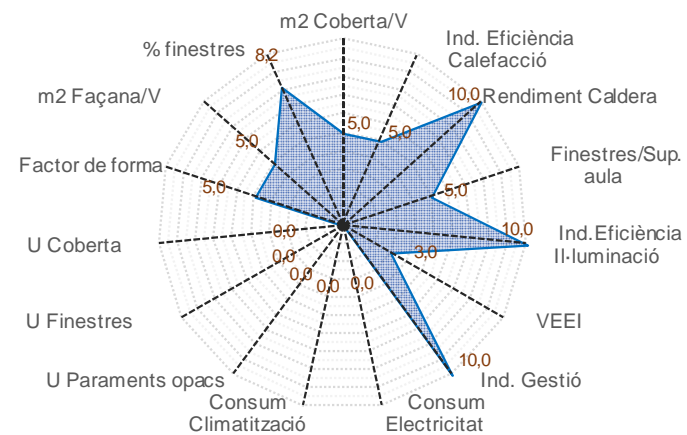


Fig. 66 Diagrama radial amb els indicadors escalats.



**CEIP al Baix Llobregat**  
Any de construcció 1974



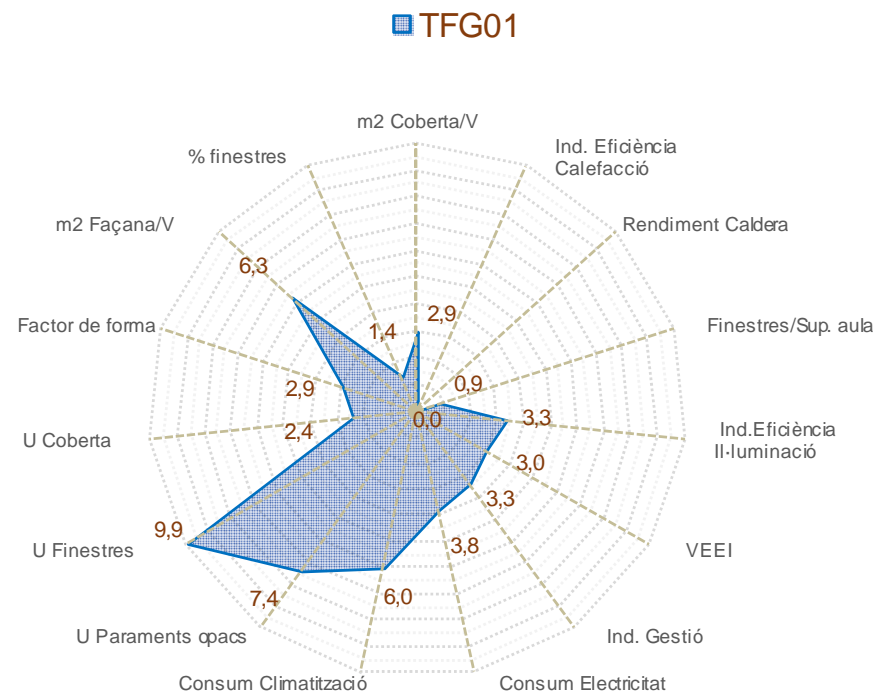
Aquest edifici té un consum elèctric baix (3,8/10) tot i que els indicadors relacionats amb aquest consum mostren valors desfavorables: la relació sup. finestres/aula és de les menors de la mostra, i els indicadors d'eficiència en il·luminació també estan per sota de la mitjana.

En canvi té un consum en climatització per sobre de la mitjana, que no s'ha pogut relacionar ni amb el rendiment de la caldera ni amb l'índex d'eficiència en calefacció per manca de dades.

Sí es pot observar que la U de les finestres és molt elevada, així com la dels paraments opacs, però no la de coberta, que té una menor incidència tal i com mostra l'indicador m2 coberta/V. En aquest sentit, cal tenir en compte que l'edifici es va construir l'any 1974, quan encara no era preceptiu l'aïllament en les envolupants.

L'indicador de gestió també és baix, la qual cosa vol dir que hi ha marge de millora en aquesta línia d'actuació per tal de reduir els consums energètics.

**TFG 01**



**CEIP al Baix Llobregat**  
Any de construcció 1985

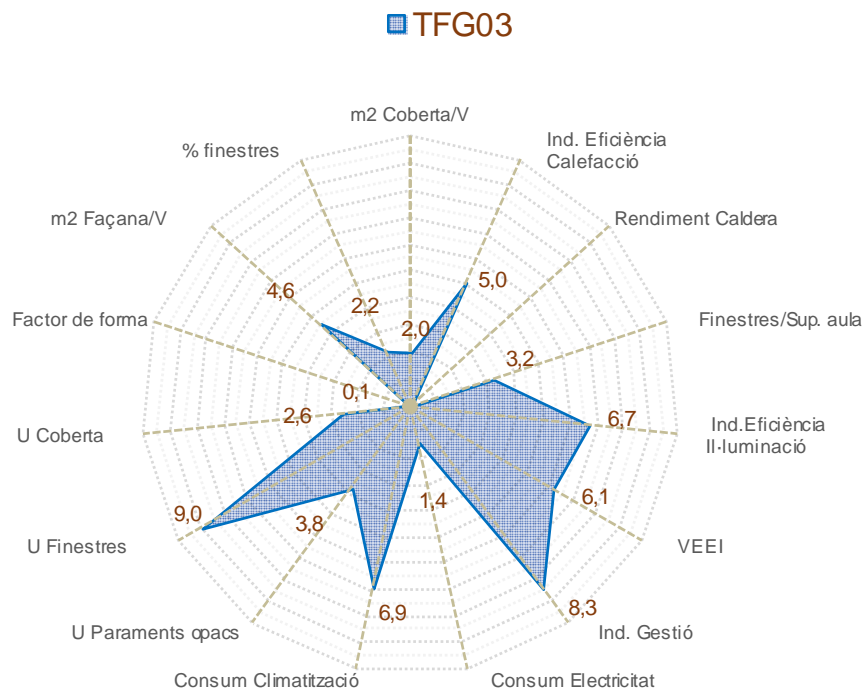


Aquest CEIP mostra diferents característiques molt interessants: Per una banda té un consum associat a l'enllumenat molt baix, que es podria explicar pel fet de tenir VEEI i l'Indicador d'Eficiència en Il·luminació alts, a més d'un indicador en gestió dels majors de la mostra i tot i disposar d'unes relacions de superfície de finestres baixes (3,2/10) o molt baixes (2,2/10).

En canvi té un consum per a climatització elevat, tot i tenir unes transmissibilitats de paraments opacs i coberta baixes com caldria esperar d'un edifici construït després de l'entrada en vigor de la NBE CT-79. La transmissibilitat U finestres és de les més elevades de la mostra tot i el fet de tenir un % de finestres en façana nord molt baix, el que ens indica que potser la substitució de finestres seria una bona línia d'actuació per tal de reduir consums.

Tot i no disposar de dades de rendiment de la caldera, sembla que el circuit i la gestió del sistema es fa de manera prou correcta.

**TFG 03**



**CEIP a Barcelona (Sant Andreu)**  
Any de construcció 1980

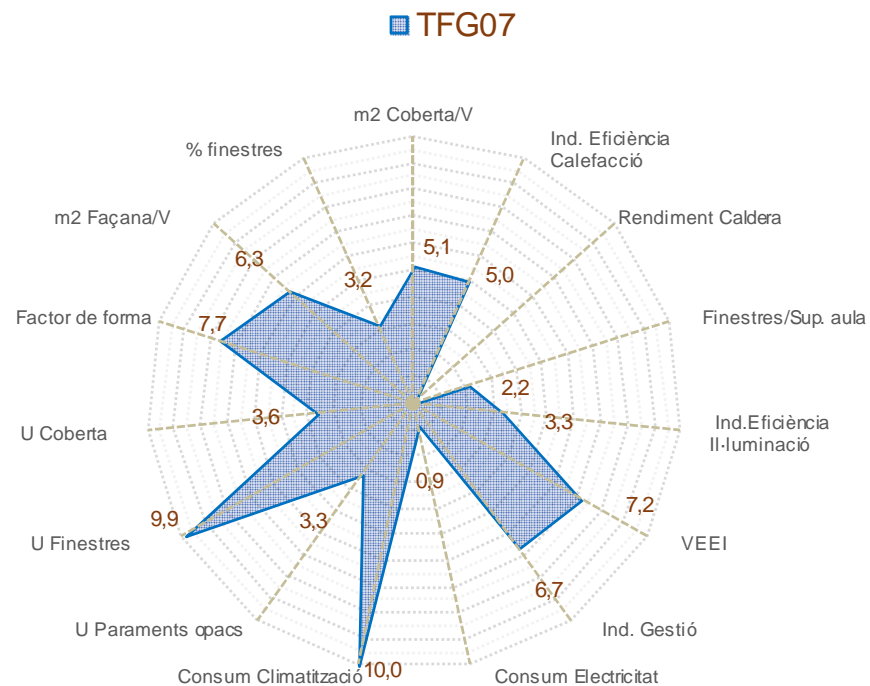


Aquest CEIP és paradigmàtic: amb el consum per a climatització més elevat, tot i tenir unes bones transmissibilitats de paraments opacs i coberta, però una transmissibilitat en finestres també de les més elevades. En relació a aquest consum, s'ha de senyalar que no es disposa de dades del rendiment de la caldera, mentre que l'indicador de l'eficiència dels sistema de calefacció està amb valors mitjans.

En canvi l'edifici mostra l'indicador de consum elèctric dels més baixos, tot i tenir un % de finestres en façana baix, una relació de finestres/sup. aula també baixa i un Índex d'Eficiència del sistema d'Il·luminació baix.

Sembla doncs que els diferents indicadors contradiuen la realitat dels consums. Donat que el consum elèctric és una dada força positiva. Cal treballar en aquest edifici en clau de limitació de la demanda i millora del sistema de calefacció.

**TFG 07**



**CEIP a Barcelona (Sant Martí)**  
Any de construcció 1970

**TFG 08**



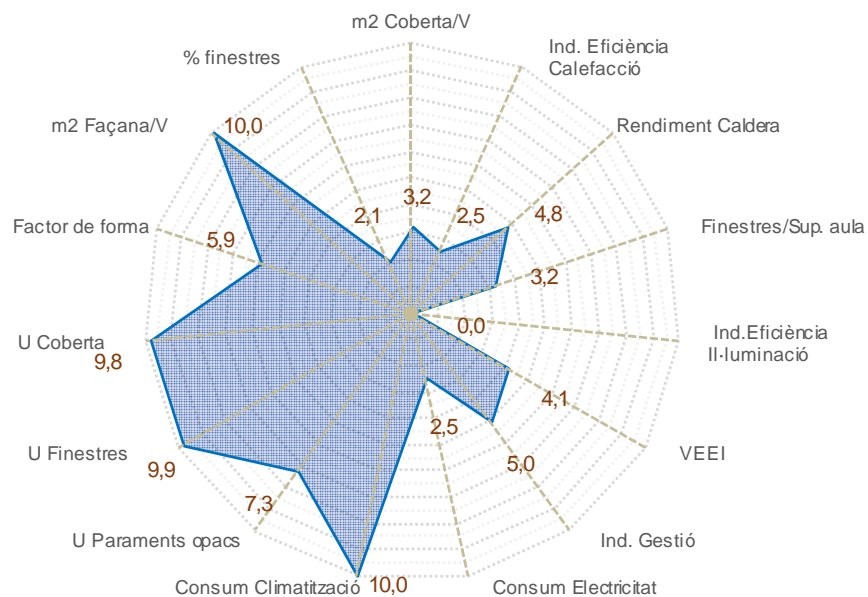
Aquest Centre també mostra uns consums associats a la climatització elevats, la qual cosa s'explica fàcilment a partir de la verificació de les altes transmitàncies tèrmiques de coberta, finestres i paraments opacs de façana.

El centre, construït l'any 1970, abans de l'entrada en vigor de la normativa tèrmica, ubicat a un barri perifèric de la ciutat, amb un factor de forma elevat, i una relació m<sup>2</sup> de façana/volum també per sobre de la mitjana, sembla confirmar totes les presumpcions: edificis construïts en un moment de creixement de la demanda del parc escolar a edificar en un moment en que el disseny de l'edifici no es feia en clau energètica.

Per la seva banda, el consum elèctric és dels més baixos, amb poca superfície de finestres per aula, amb un VEEI baix el que indica que la distribució de llumeneres és prou ajustada a les necessitats del centre, però en canvi amb un Indicador de l'Eficiència en Il·luminació de 0, és a dir que no es gestiona prou adequadament.

És doncs un edifici amb un marge de millora elevat.

TFG08



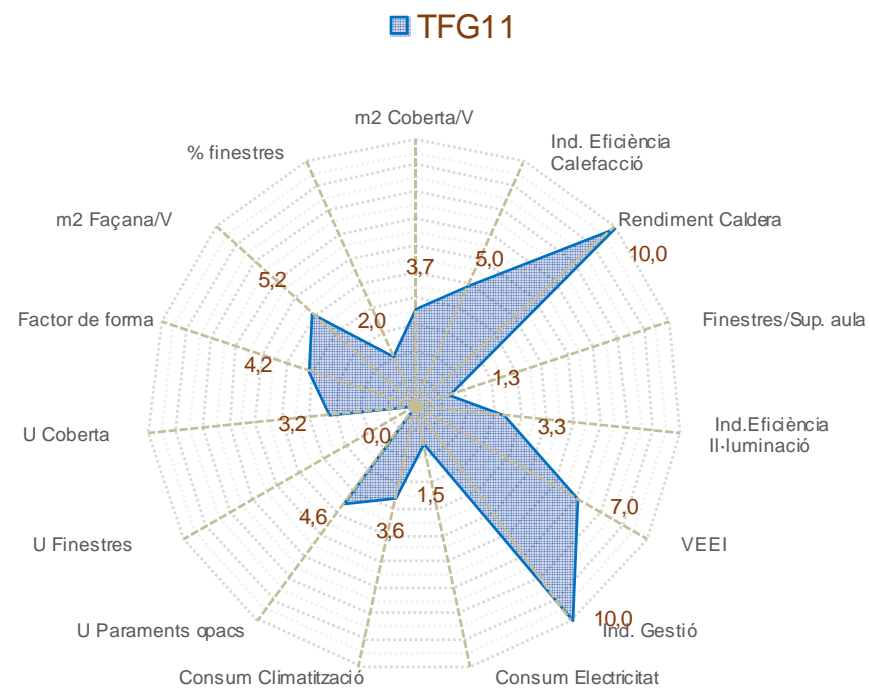
**CEIP a Barcelona (Horta- Guinardó)**  
Any de construcció 1970



Aquest CEIP, construït també l'any 1970, mostra uns consums dels més baixos de la mostra, tant en gas com en electricitat. Hi ha diferents factors que poden explicar aquesta realitat: transmissibilitats de l'envolupant molt baixes (de fet és el que té el valor mínim de transmissibilitats de fusteries, amb un percentatge petit de finestres en façana), un molt bon rendiment de la caldera i l'Indicador de Gestió de recursos amb valor 10, és a dir el millor de la mostra.

Efectivament aquest centre ha dut a terme una actuació de substitució de les fusteries, ha canviat també la caldera i fa un ús dels recursos acurats, el que explica el seu bon ús i funcionament.

**TFG 11**



**CEIP a Barcelona (Sant Andreu)**  
**Any de construcció 1981**



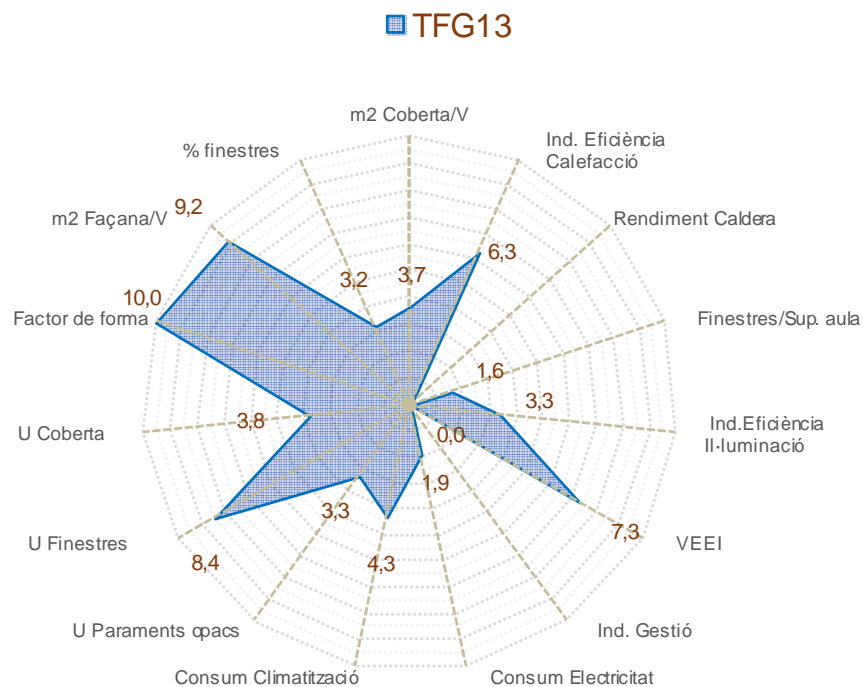
Aquest CEIP, tot i tenir un Factor de Forma de valor 10, disposa d'unes transmittàncies en paraments opacs prou bones, el que es reflecteix en un consum per a climatització baix.

També disposa d'un consum elèctric prou baix, tot i tenir poca superfície de finestres en relació a la superfície de les aules, uns indicadors de la gestió dels sistemes d'enllumenat també amb valor baix i un Indicador de la Gestió amb valor 0.

Es desconeix el rendiment de la caldera, però l'Indicador de l'eficiència del sistema de calefacció és alt, la qual cosa pot explicar aquest consum reduït de gas.

El conjunt de resultats, llegit dins la dispersió de valors de tota la mostra d'edificis estudiats, permet pensar que els factors que afecten als consums són molt diversos i que, com hem indicat en diferents apartats de l'estudi, cal fer un anàlisi individualitzat dels edificis, a partir, això sí, d'una metodologia preestablerta i analitzant una sèrie d'indicadors clau.

**TFG 13**



**IES al Maresme**  
Any de construcció 2010



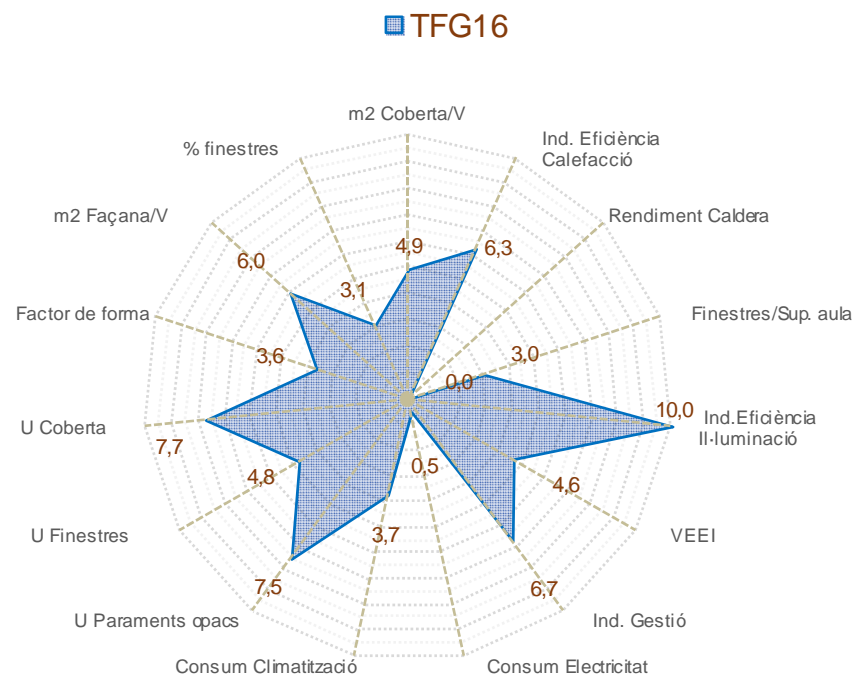
Aquest és un Institut construït ja en posterioritat a l'entrada en vigor del CTE i, en conseqüència hauria de mostrar valors d'eficiència energètica prou positius.

Tot i ser un edifici de 2010, disposa d'unes transmissàncies de paraments opacs (façanes i coberta) altes, encara que les finestres estan amb valors U per sota de la mitjana.

Cal senyalar que el valor de Rendiment de la caldera (0 segons l'escalat però valor real 30% segons el programa CALENER) indica, en aquest cas, que la instal·lació està sobredimensionada. La gestió que es fa d'aquest sistema el porta a terme una empresa externa, i en concret el responsable d'aquest centre, a qui s'han fet diverses consultes durant la realització d'aquest treball, ha confirmat que a més d'estar el sistema sobredimensionat, no s'aprofiten totes les prestacions del sistema en quant a la seva gestió.

Durant les diverses visites al centre s'han detectat problemes de desconfort a l'hivern per excés de temperatura.

**TFG 16**



**Escola concertada al Baix Llobregat**  
Any de construcció 1975

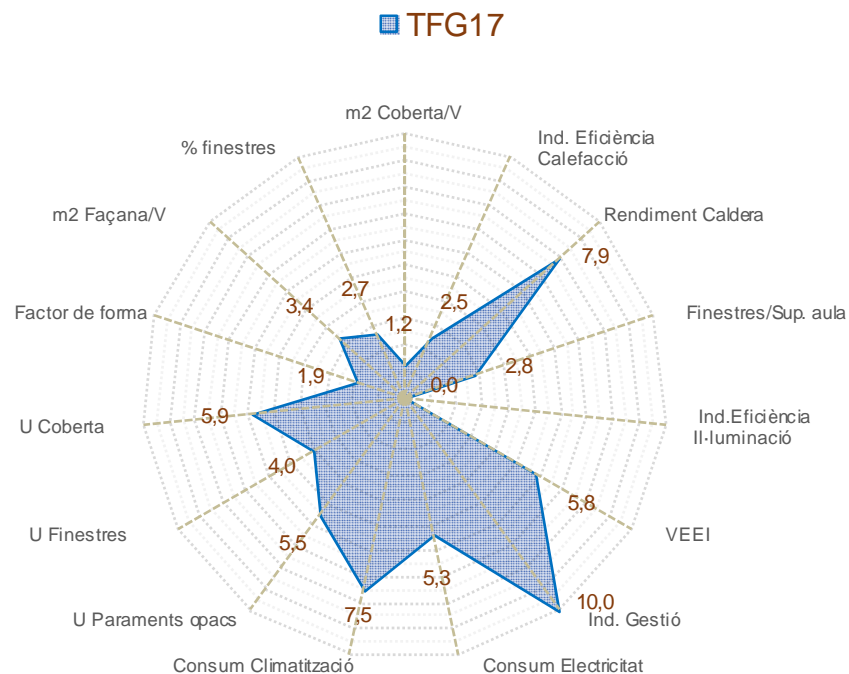
**TFG 17**



Aquesta escola concertada que dona docència en tots els nivells educatius, destaca per la bondat dels seus tancaments tot i estar construda abans de l'entrada en vigor de les normes tèrmiques. Val a dir que l'edifici respon a un projecte de l'arquitecte Bonet, dins el conjunt d'edificis escolars de titularitat privada pensats per a una docència amb projecte educatiu propi.

També destaca d'aquest edifici l'alta implicació dels usuaris i gestors del centre, que consideren l'estalvi en el consum de recursos energètics com a línia econòmica que garanteixi la viabilitat del centre i la disponibilitat de fons per a altres despeses vinculades als objectius docents.

De l'estudi detallat del centre, s'han detectat marges de millora en la línia d'estalvi del consum elèctric vinculat al sistema d'enllumenat en aules, i problemes de desconfort tèrmic deguts a la incidència solar. En aquest sentit, a partir de l'estudi realitzat, s'han començat a incorporar mesures com la col·locació de proteccions solars, la retirada d'elements d'enllumenat i la progressiva substitució d'elements. Durant els nostres treballs hem comprovat que les escoles privades i concertades incorporen de manera més ràpida les millores que se'ls proposen.





## Escola concertada a Barcelona (Eixample) Any de construcció 1875

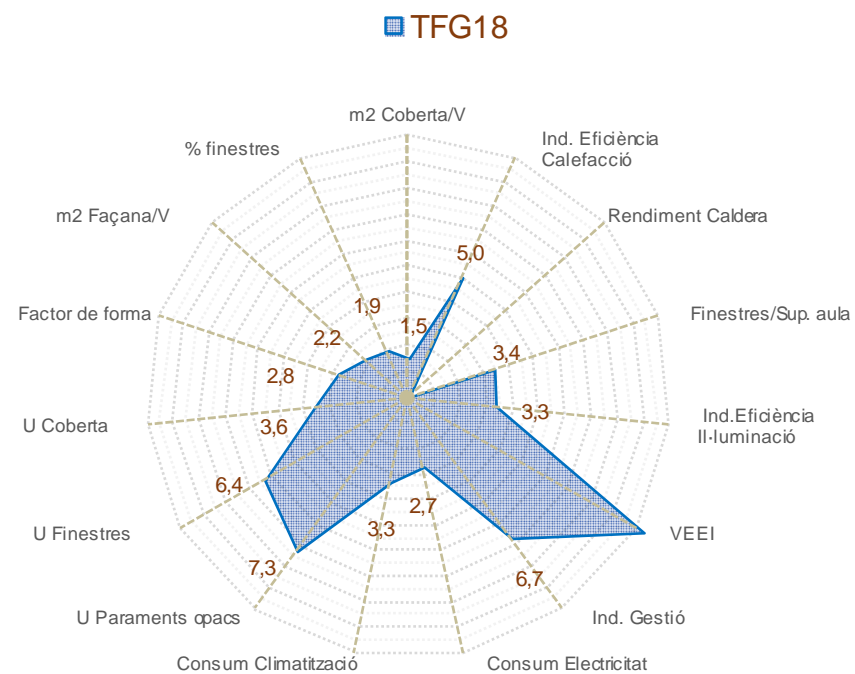


Aquest centre escolar també és de titularitat privada amb cursos d'Educació Primària i Secundària concertats. L'edifici, de 1875, ha estat objecte de diferents reformes per adaptar-se a les necessitats docents i ha anat incorporant els edificis adjacents.

Tot i que les transmissió dels paraments opacs de façana i de les fusteries no són gaire bones, aquest edifici mostra uns consums en climatització molt ajustats, degut a diversos factors: paraments amb una alta inèrcia tèrmica (parets massisses de ceràmica); és un edifici compacte encaixat entre mitgeres, amb la qual cosa les pèrdues de calor són menors que en edificis exempts; una bona gestió dels sistemes, feta en clau d'estalvi energètic; i aules petites amb una alta densitat d'ocupació.

També s'ha observat que en aquest centre, les condicions de confort d'hivern són bones, mentre que té problemes de calor excessiu a l'estiu que es pal·lien amb instal·lacions de refrigeració puntuals, ja que en estar l'edifici entre dos carrers amb nivells de soroll molt elevats, és impossible impartir classes amb les finestres obertes. Aquesta problemàtica del soroll, que pot semblar tangencial al consum de recursos energètics, s'ha de considerar si l'enfocament dels estudis es fa amb una visió ambiental àmplia, és a dir, si el confort acústic i la qualitat de l'aire interior s'incorporen com a indicadors clau.

## TFG 18



**Escola concertada a Barcelona**  
 (Sant Andreu)  
 Any de construcció 1976



Aquest centre, també escola concertada, es podria comparar al TFG17, construït l'any 1975.

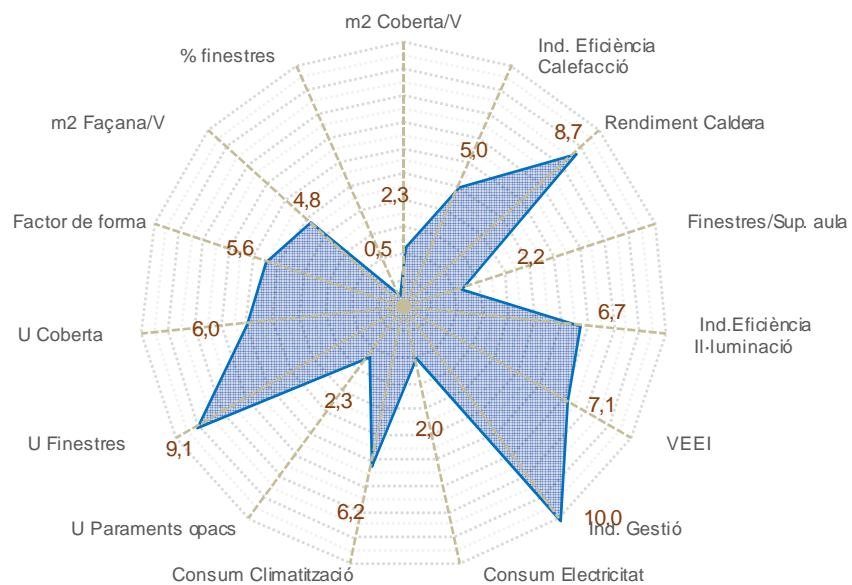
L'edifici mostra unes transmissibilitats altes de finestres i coberta però en canvi uns consums ajustats en climatització. Aquesta realitat es pot explicar pel fet que l'edifici té uns indicadors arquitectònics amb una relació de façana/volum baixa, i un % de finestres en façana nord dels més baixos (valor 0,5). El fet de tenir per tant molta façana opaca, i que aquesta disposi d'una bona transmissibilitat, tenint en compte a més l'any de construcció, indica que una bona línia d'actuació seria la substitució de finestres per altres de millors prestacions

També es destaca una bona gestió dels sistemes de climatització (Indicador de la gestió amb valor 10), amb un alt rendiment de la caldera i uns índex d'eficiència de les instal·lacions de calefacció i enlluminat per sobre de la mitjana.

El reduït consum elèctric, tot i ser un edifici amb una superfície de finestres en relació a la superfície d'aula molt baixa, també es pot explicar a partir d'una bona gestió dels sistemes, que ja hem vist que és habitual en edificis que s'autogestionen.

**TFG 20**

TFG20



## CEIP al Barcelonès (Badalona)

Any de construcció 1980



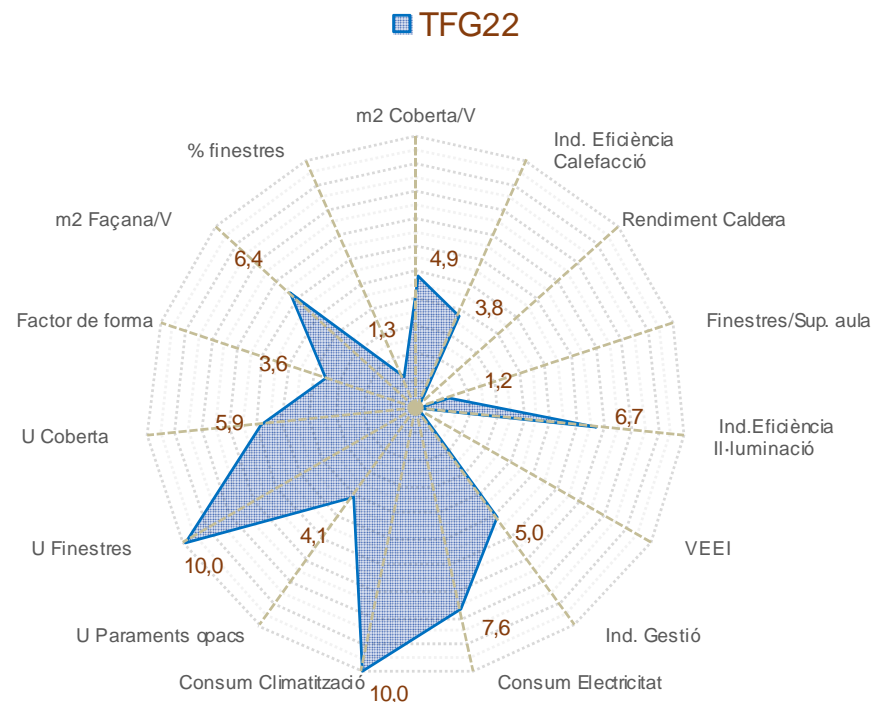
Aquest és un dels edificis més “energívors” dels estudiats, amb el consum destinat a calefacció més elevat, i un dels consums elèctrics també més alts, i que mostra una sèrie de deficiències: la més destacable, el mal comportament de les fusteries, que no explica per si sol el consum donat que la superfície d'aquestes, en relació a la superfície de façana, és de les més baixes.

La poca superfície de finestres sí podria explicar el consum elevat en electricitat, tot i que l'Indicador d'Eficiència dels sistemes d'il·luminació es mostra per sobre de la mitjana.

També es dona una gestió en la mitjana dels centres, per la qual cosa, i a manca d'alguns valors que no s'han pogut registrar, es pot considerar aquest edifici com un exemple clar de la necessitat de fer un estudi detallat per detectar quins són els problemes que generen aquests elevats consums.

En aquest cas, s'han detectat: problemes en les pautes d'encesa i apagat del sistema de calefacció, una caldera amb més de 30 anys, espais calefactats sense ús, impossibilitat de gestionar la temperatura en aules i en conseqüència finestres obertes a l'hivern, excés en els nivells d'enllumenat, i espais de pas sempre amb els llums encesos.

## TFG 22



**Escola concertada al Barcelonès  
(Badalona)  
Any de construcció 1970**



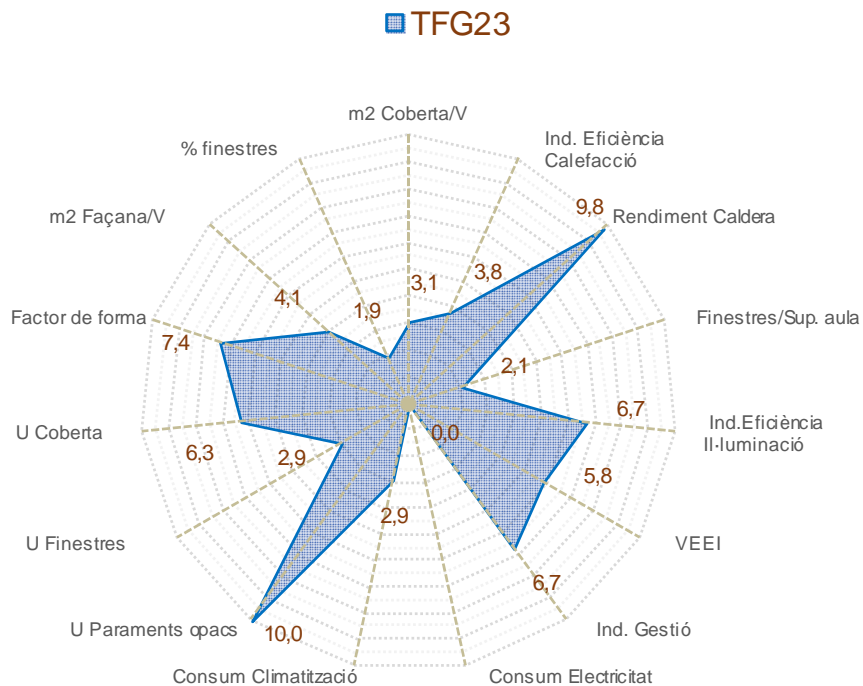
Aquest és un centre que mereix destacar-se per ser un exemple del que signifiquen els marges de millora en edificació existent.

L'edifici, de 1970, i per tant amb solucions constructives prèvies a la incorporació d'aïllaments, disposa de transmittàncies en els paraments opacs elevades. En canvi la transmittància de les fusteries és de les més baixes, ja que aquestes s'han substituït darrerament. Aquesta intervenció repercuteix directament en el consum per a climatització, que és dels més baixos de la mostra estudiada. El rendiment de la caldera també és dels més elevats, ja que aquesta és nova.

Pel que fa al consum elèctric, aquest és el més baix del conjunt d'edificis estudiats, el que es pot explicar a partir de l'Indicador d'Eficiència del sistema d'il·luminació, i l'Indicador de la gestió alt, ja que la superfície de finestres en façana és petita i la relació de superfície de finestres per aula també és baixa.

En resum, a partir de dues intervencions clau, certament les més costoses, amb una bona gestió dels sistemes i una alta implicació dels usuaris i els gestors, l'edifici, tot i ser de 1970 i amb unes solucions de tancaments de baixes prestacions, és un edifici amb consums energètics exemplars.

**TFG 23**



**CEIP al Vallès Occidental (Sabadell)**  
Any de construcció 1983

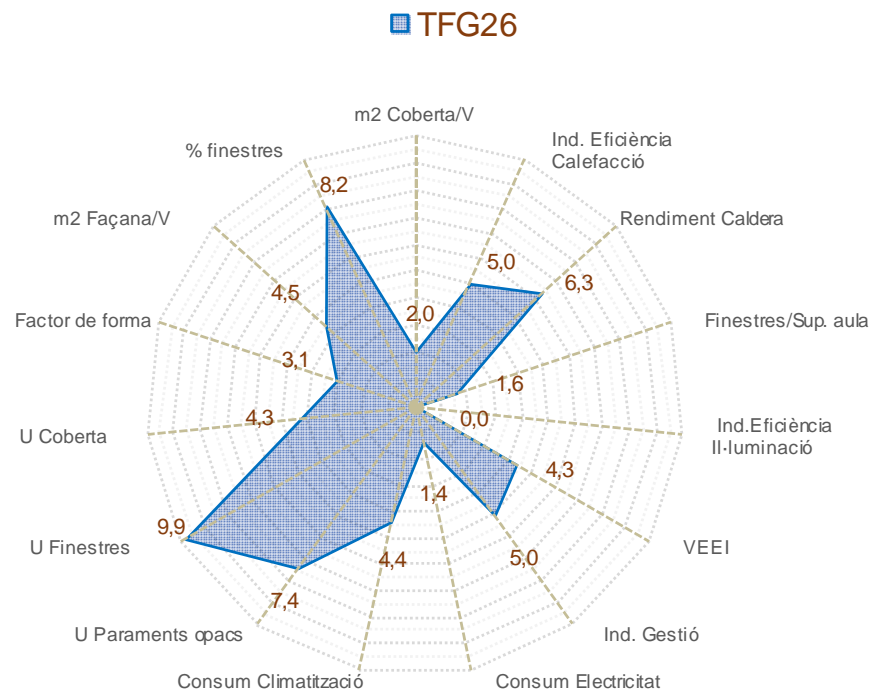


El cas d'aquest CEIP és singular. L'edifici escolar de 1983 ha aprofitat un edifici industrial anterior de finals del S. XIX, amb parets de façana de maó massís i de gruixos importants. L'estudi de detall del centre, a més, es va fer a sol·licitud de l'AMPA de l'escola, que buscava assessorament per millorar les condicions de confort a l'edifici.

A partir de l'anàlisi multivariable, hem comprovat que els consums, tant en climatització com en electricitat són baixos, mentre que la pell de l'edifici té unes transmissibilitats altes. A més, el percentatge de finestres en façana nord és dels més elevats, i aquestes tenen unes transmissibilitats també molt elevades, la qual cosa hauria de significar problemes de fred a l'hivern o un consum en gas elevat. La realitat és més aviat al contrari, ja que l'estudiantat es queixa sobretot d'excés de calor en els mesos de primavera.

Hem comprovat que en aquest cas específic, en ser un edifici de només dues plantes, el problema de confort està relacionat amb la transmissibilitat de coberta que tot i no ser de les pitjors, sí és insuficient per garantir el confort. Aquest tipus de problemes, que no s'acostumen a contemplar en els estudis del parc edificat perquè no comporten consums elevats, si poden significar un detriment del rendiment escolar, per la qual cosa, si no en clau energètica, si s'haurien de prendre mesures en clau ambiental.

**TFG 26**



**Escola al Baix Llobregat (Pallejà)**  
Any de construcció 1973

**TFG 27**



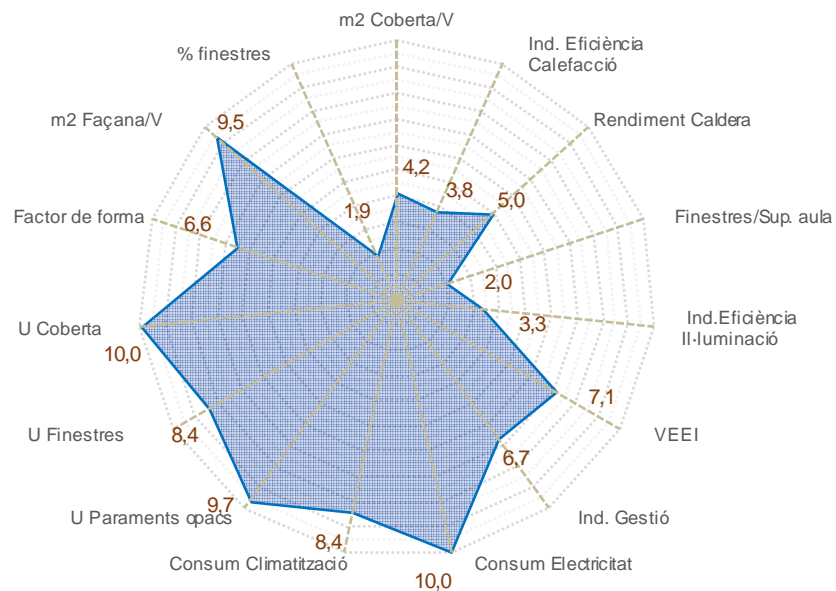
Aquesta escola, ubicada en un entorn privilegiat, en mig de la natura, construïda l'any 1973 ha estat objecte de diverses reformes i ampliacions fins a la seva constitució actual.

L'edifici mostra una gràfica modèlica del que podríem considerar un edifici amb molts problemes: consums molt elevats deguts, bàsicament, a solucions de l'envolupant amb transmissibilitats molt elevades.

Hem analitzat aquest edifici a partir de diferents eines de certificació: amb l'eina CE3X (d'aplicació a Espanya) i amb el programa Diag-DPE (d'aplicació a França) per comprovar les diferències en els sistemes de certificació.

A partir de la diagnosi, hem considerat una sèrie d'actuacions que s'han classificat segons el cost econòmic i els períodes d'amortització, i que van, des de diferents actuacions sobre els elements calefactors i la millor gestió dels sistemes d'enllumenat, a l'actualització dels sistema de calefacció o la substitució de les fusteries. De totes maneres, en trobar-se l'escola en un entorn rural, es podria considerar la instal·lació d'una caldera de biomassa, que milloraria la seva qualificació.

■ TFG27



**Escola concertada al Bages  
(Manresa)  
Any de construcció 1968**



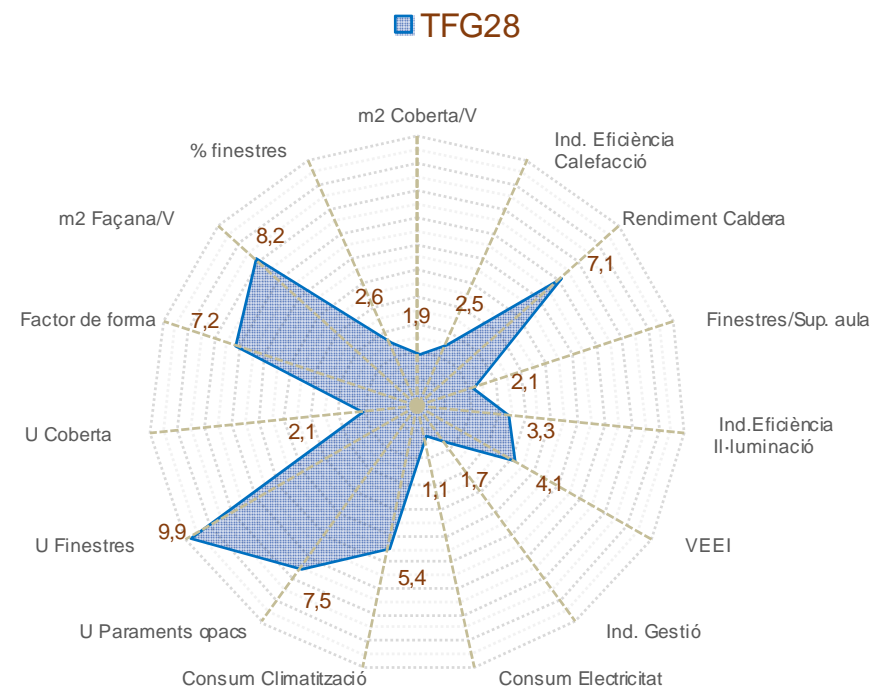
Aquesta torna a ser una escola concertada, amb docència a tots els nivells educatius, i junt amb el TFG25, dels més grans, amb diferència, de la mostra analitzada. A més es troba en la zona climàtica Z7, la de major rigor a l'hivern.

Les transmitàncies de façanes, tant paraments opacs com finestres són especialment dolentes, i donat que es troba a Manresa, el consum energètic per a climatització ha de ser elevat, tot i que no és dels pitjors.

El consum elèctric, per contra, és dels més baixos de la mostra analitzada, el que es pot relacionar només que amb una gestió dels sistemes acurada, ja que la superfície de finestres en relació a la superfície de l'aula és molt petita, així com el percentatge de finestres en façana nord.

Amb tot, els indicadors de gestió dels sistemes no mostren una especial cura en aquest sentit, la qual cosa fa pensar que, tot i no ser conscients de les mesures de contenció de la despesa, aquesta es fa d'alguna manera: segons les enquestes realitzades a l'estudiantat del centre, a les aules es passa fred. Cal doncs assegurar el confort sense augmentar la despesa energètica.

**TFG 28**



**CEIP al Vallès Oriental (La Roca del Vallès)**  
Any de construcció 2010



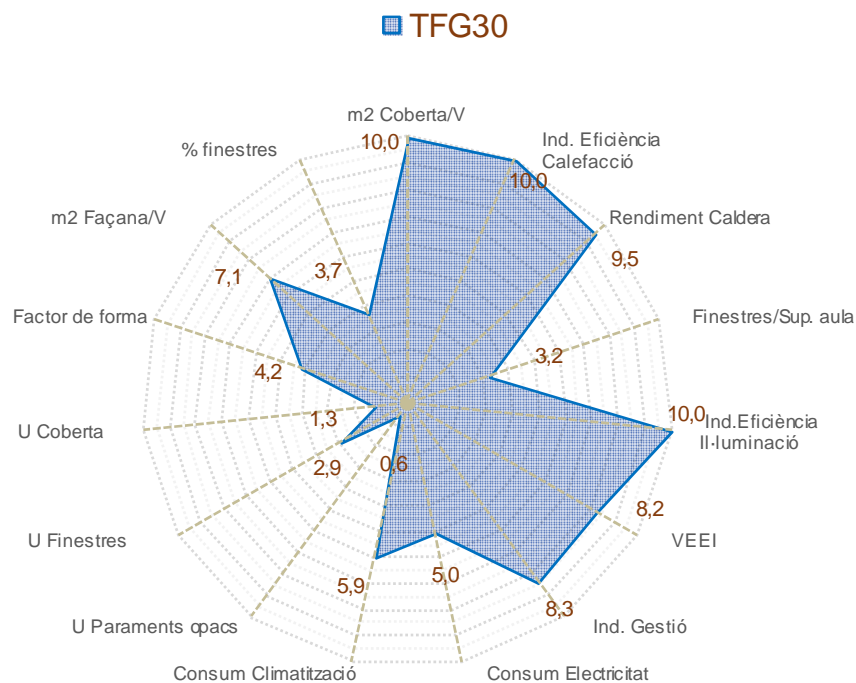
Aquest és l'edifici exemple del que haurien de donar les gràfiques radials d'anàlisi dels edificis escolars: molta àrea a la dreta (relacionada amb l'eficiència dels sistemes) i poca àrea a l'esquerra i a baix (relacionada amb altes transmissàncies i consums elevats).

És encoratjador comprovar com aquest cas d'estudi correspon a l'edifici construït més recentment i, com seria desitjable, aquest ha incorporat en el seu disseny tots els paràmetres adequats en clau d'eficiència energètica.

Malauradament, l'edifici, cinc anys després d'haver estat inaugurat mostra altres problemàtiques: infiltracions d'aigua en períodes de pluja, lames de les proteccions solars trencades, i problemes d'estanquitat de les fusteries.

L'estudi de detall es va fer per encàrrec també de l'AMPA, que era conscient de les deficientes condicions de confort que es donen a l'edifici en el període primavera/estiu, amb temperatures a l'interior de les aules per sobre dels 25°C. Cal doncs, com ja s'ha senyalat en altres casos, no comprometre el confort per ajustar els consums energètics, i cal repensar la qüestió dels "abrics" excessius als edificis, ja que a partir de les simulacions hem comprovat que si bé limiten la demanda energètica per a calefacció augmenten la demanda en refrigeració.

**TFG 30**





## IES al Barcelonès (Badalona)

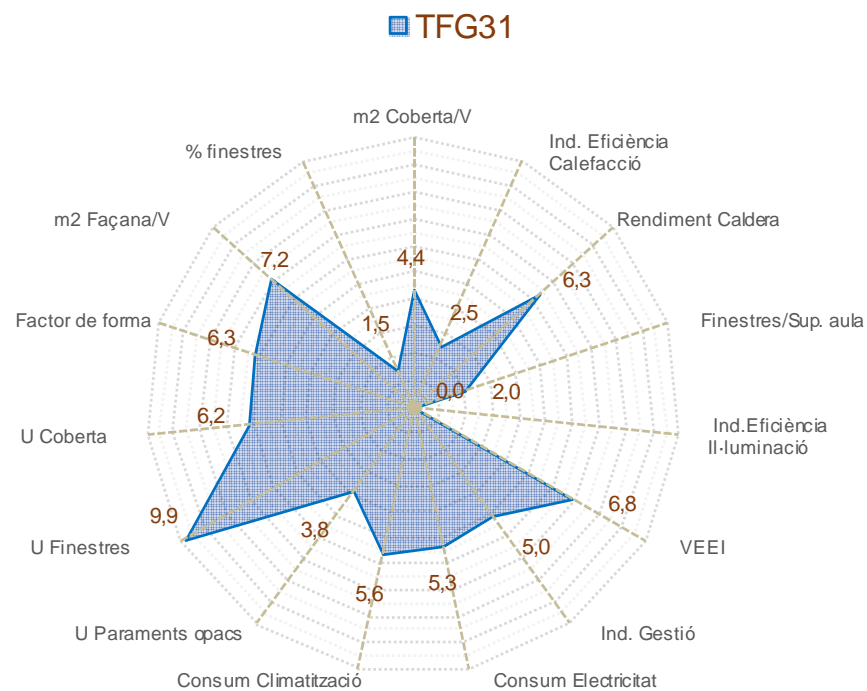
Any de construcció 1987



Aquest Institut de Badalona, construït l'any 1987, es pot considerar com l'edifici estàndard. Disposa de transmitàncies de paraments opacs (façanes i coberta) mitjanes, i amb unes transmitàncies de finestres molt elevades. Els seus consums estan també en la mitjana dels valors enregistrats, el factor de forma i la relació façanes/volum estan en uns valors intermedis, amb uns valors % de finestres en façana nord proporcionalment baixos.

Donat que no és factible augmentar la superfície de finestres en relació a la superfície d'aula, en aquest cas, i en tots aquells que siguin similars, la línia d'actuació hauria d'anar encaminada a millorar l'eficiència dels sistemes d'enllumenat, a partir de detectors de presència, un dimensionat de les llumeneres ajustat a les veritables necessitats lumíniques, treballar les pautes d'ús dels sistemes i implementar el manteniment i la gestió de les instal·lacions en clau energètica.

## TFG 31



#### 6.4 L'anàlisi dels resultats a partir de la regressió múltiple

Com hem observat a partir de l'anàlisi multivariable de cada cas, els diferents edificis escolars estudiats mostren uns gràfics de valors diferenciats que a simple vista no permeten extreure conclusions clares respecte a alguns dels indicadors emprats. És a dir, de la lectura de les gràfiques radials, no s'extreu una conclusió definitiva de si els factors de forma, per exemple, es poden relacionar, directament, amb els consums energètics.

(Dascalaki, et al., 2010) (Theodosiou, et al., 2008) i (Butala, et al., 1999) apliquen diferents fórmules multivariables per avaluar les pèrdues de calor dels edificis a través de l'envolupant relacionant el factor de forma com a valor, i arriben a conclusions diverses: que els consums excessius es troben relacionats amb els problemes derivats d'una sobrecapacitat dels sistemes de climatització dimensionats per donar resposta a un disseny deficient dels edificis, als sistemes constructius del passat i a la manca de coneixement i d'experiència dels gestors.

Gaitani (Gaitani, et al., 2010), per la seva banda desenvolupen una metodologia per avaluar el consum energètic en calefacció en 1100 escoles gregues, recullen dades (superfície a escalfar; edat de l'edifici, aïllament de l'edifici; número de classes; número d'estudiants; hores operatives de l'escola; i edat del sistema de calefacció), i apliquen un algoritme per normalitzar les dades recollides. A partir dels resultats determinen una escola "patró" per poder comparar i mesurar els potencials marges d'estalvi, calculen l'energia consumida per escalfar els edificis escolars a Grècia, l'energia que es podria estalviar si s'incorporessin mesures d'eficiència energètica i finalment proporcionen unes línies generals d'intervenció que poder servir per prendre decisions als gestors dels edificis o a la pròpia administració.

En el nostre cas hem volgut utilitzar un model de regressió múltiple per tal d'avaluar la possible relació entre diferents variables predictorres (o explicatives) i variables dependents (resposta). Tot i que seria necessari un major nombre de mostres per obtenir un model predictiu, els models obtinguts són interessants per observar el comportament de les variables en el seu conjunt, ja que ens informen de la presència de relacions i com aquestes es comporten qualitativament respecte de la variable resposta, que és una confirmació dels resultats obtinguts en el nostre estudi.

El procediment de la tria de variables s'ha fet de la següent manera:

## Resultats

	m2 Cobert	Ind. Efi	Rendimen	Finest	Ind.Eficièr	VEEI	Ind. Gestic	Consum El	Consum Clin	U Paraments	U Finestres	U Coberta	Factor de for	m2 Façana/V	% finestres
TFG11	3,67	5,00	10,00	1,33	3,33	7,00	10,00	1,46	3,55	4,56	7,64	3,24	4,19	5,21	2,05
TFG13	3,71	6,25	7,02	1,62	3,33	7,25	6,48	1,88	4,28	3,28	8,45	3,79	10,00	9,18	3,23
TFG16	4,93	6,25	7,02	3,00	10,00	4,58	6,67	0,51	3,74	7,52	4,76	7,69	3,65	6,02	3,08
TFG18	1,48	5,00	7,02	3,43	3,33	10,35	6,67	2,72	3,32	7,28	6,37	3,63	2,85	2,19	1,95
TFG23	3,08	3,75	9,79	2,08	6,67	5,80	6,67	3,35	2,89	10,00	2,91	6,32	7,44	4,08	1,91
TFG26	2,04	5,00	6,30	1,60	5,48	4,33	5,00	1,36	4,39	7,44	9,87	4,29	3,09	4,50	8,15
TFG28	1,93	2,50	7,11	2,10	3,33	4,10	1,67	1,14	5,44	7,52	9,87	2,14	7,23	8,22	2,58
TFG01	2,93	4,51	7,02	0,88	3,33	2,95	3,33	3,77	5,97	7,36	9,87	2,42	2,94	6,28	1,38
TFG03	1,99	5,00	7,02	3,21	6,67	6,10	8,33	1,38	6,86	3,76	9,02	2,58	0,14	4,55	2,22
TFG07	5,14	5,00	7,02	2,16	3,33	7,20	6,67	0,86	10,00	3,28	9,87	3,63	7,65	6,29	3,20
TFG08	3,20	2,50	4,76	3,23	5,48	4,13	5,00	2,48	9,99	7,28	9,87	9,84	5,93	10,00	2,08
TFG17	1,25	2,50	7,91	2,80	5,48	5,75	10,00	5,31	7,47	5,52	4,04	5,88	1,92	3,40	2,66
TFG20	2,29	5,00	8,71	2,24	6,67	7,10	10,00	1,96	6,16	2,32	9,12	6,04	5,57	4,84	0,50
TFG22	4,92	3,75	7,02	1,23	6,67	6,17	5,00	7,63	9,99	4,08	10,00	5,88	3,62	6,42	1,28
TFG31	4,41	2,50	6,33	2,00	5,48	6,83	5,00	5,28	5,59	3,84	9,87	6,21	6,27	7,20	1,51
TFG25	3,67	2,50	1,80	2,27	6,67	6,05	3,33	3,97	2,62	4,48	8,27	8,02	5,13	6,32	2,58
TFG27	4,15	3,75	4,98	2,03	3,33	7,13	6,67	10,00	8,43	9,68	8,45	10,00	6,56	9,46	1,88
TFG30	10,00	10,00	9,52	3,23	10,00	8,20	8,33	4,97	5,92	0,56	2,93	1,26	4,25	7,06	3,69
TFG29	5,01	5,00	7,02	2,74	5,48	6,17	8,33	3,53	7,33	5,54	3,88	2,64	4,20	8,82	3,10
	3,88	4,76	12,13	2,40	7,43	6,89	6,84	3,53	6,00	5,85	8,06	5,03	5,15	6,67	2,72

\*Els valors en vermell són valors promig allà on no es disposava de dades

I les relacions lineals resultants han estat:

$$CC = 2,67 + 0,622 M2CV - 0,620 IEC + 0,288 UF + 0,034 UC - 1,84 IG1 + 1,91 IG2$$

Essent:

Variable dependent:	CC:	Consum en calefacció
Variables predictòries:	M2CV:	m <sup>2</sup> de coberta respecte del volum
	IEC:	Índex Eficiència Sistema Calefacció
	UF:	Transmitància de finestres
	UC:	Transmitància de coberta
Variables binàries categòriques (dummy variables) per analitzar la gestió segons les categories següents:	IG1 i IG2:	Variables Gestió
	(1,0)	Gestió bona
	(0,0)	Gestió normal
	(0,1)	Gestió deficient

La relació lineal ens indica que, pel que fa al consum energètic per a calefacció: el factor arquitectònic més rellevant és la relació m<sup>2</sup> de coberta respecte el volum (variable M2CV), i a continuació la Transmitància de les fusteries i finestres, seguida de la Transmitància de la coberta. Com més grans són les transmitàncies major consum associat. És perfectament congruent que, en edificis escolars, que no són, en general, de més de dues o tres plantes, el paper de la coberta sigui determinant i també ho sigui el comportament de les fusteries, tenint en compte que la superfície de finestres és, habitualment, força gran per afavorir l'accés de llum natural.

També és determinant l'Índex d'Eficiència del Sistema de Calefacció, que com ja s'ha explicat anteriorment, és un indicador que proporciona informació relacionada amb tres paràmetres: edat de la caldera, existència de vàlvules de regulació i control als radiadors i si la xarxa està o no sectoritzada per zones i necessitats. Com millor és l'Índex d'Eficiència, menor és el consum.

Finalment les variables de gestió es mostren, validant les nostres prediccions, com les més significatives pel model. Una bona gestió (1,0) redueix de manera determinant el consum. De fet és el valor més rellevant. La constant ajusta la relació lineal entre variables al consum final, que es troba condicionat per altres indicadors.

Pel que fa al consum elèctric, la relació lineal obtinguda és:

$$\mathbf{CE = 4,65 + 1,166 M2CV + 0,330 FSA - 0,186 IEI - 0,659 PFI - 0,179 M2FV - 3,54 IG1 + 2,93 IG2}$$

Essent:		
Variable dependent:	CE:	Consum elèctric
Variables predictòries	M2CV:	m <sup>2</sup> de coberta respecte del volum
	FSA:	Sup. finestres respecte Sup. aula
	IEI:	Índex Eficiència Sistema Enllumenat
	PFI:	Percentatge de Finestres en façana
	M2FV:	m <sup>2</sup> de façana respecte del volum
Variables binàries categòriques (dummy variables) per analitzar la gestió segons les categories següents:	IG1 i IG2:	Variables Gestió
	(1,0)	Gestió bona
	(0,0)	Gestió normal
	(0,1)	Gestió deficient

En aquest cas, intervenen 4 variables arquitectòniques: els m<sup>2</sup> de coberta respecte al volum i la relació superfície de finestres respecte a la superfície d'aula amb valors positius; i el percentatge de superfície de finestres en façana i els m<sup>2</sup> de façana respecte el volum, en negatiu

També és una variable predictòria l'Índex d'Eficiència del sistema d'Enllumenat, que inclou diverses qüestions relacionades amb els propis sistemes però també amb el control i la gestió. Finalment, es tornen a mostrar com a molt determinants les variables binàries relacionades amb la gestió.

Aquests models de regressió lineal obtinguts no són validables a efectes predictius, però sí poden servir de pauta a seguir quan es disposi d'un conjunt més gran de dades. A partir d'aquests resultats es presenten noves línies de recerca en eficiència energètica en el sentit de fer una recollida i gestió de dades més ajustada als indicadors més rellevants.

## Taula de figures

Fig. 1 Relació superfície vs consums energètics a escala logarítmica	202
Fig. 2 Relació superfície vs consums energètics a escala normal	202
Fig. 3 Relació superfície vs consums energètics a escala logarítmica, indicant edificis anòmals	203
Fig. 4 Relació superfície vs consums energètics a escala normal, indicant edificis anòmals	203
Fig. 6 Conjunt dels edificis analitzats amb la mitjana de consums segons tipologies (CEIPs, EBMs i IESs)	204
Fig. 5 Mitjana de consums dels edificis escolars analitzats, i la seva desviació estàndard	204
Fig. 7 Relació de consums de gas en relació als consums energètics totals	205
Fig. 8 Distribució de recursos per a edificis escolars segons el Diagrama de Sankey. Font: Otero, Villarrubia	205
Fig. 9 Histogrames del comportament energètic (consum elèctric) dels CEIPs	206
Fig. 10 Histogrames del comportament energètic (consum de gas) dels CEIPs	207
Fig. 11 Histogrames del comportament energètic (consum elèctric) de les EBMs	209
Fig. 12 Histogrames del comportament energètic (consum de gas) de les EBMs	210
Fig. 13 Relació de consums electricitat i gas dels edificis escolars segons tipologia	211
Fig. 14 Relació de consums electricitat i gas dels edificis escolars segons tipologia, mitjanes i desviacions	211
Fig. 15 Mapa de la ciutat de París amb els consums en calefacció . APUR, 2007	212
Fig. 16 Mapa de Barcelona amb les mitjanes de consums de calefacció per districtes	212
Fig. 17 Llista de Municipis amb centres escolars objecte d'estudi i la seva classificació climàtica segons Monogràfic 14. ICAEN	214
Fig. 18 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per àmbit territorial	215
Fig. 19 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per districtes	215
Fig. 20 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per zona climàtica	215
Fig. 21 Classificació dels edificis escolars objecte d'estudi per tipologia de centre	215
Fig. 22 Indicadors energètics	216
Fig. 23 Distribució de consums energètics dels edificis escolars objecte d'estudi	217
Fig. 24 Mitjanes de consums energètics dels edificis objecte d'estudi per zones climàtiques	217
Fig. 25 Relació superfície construïda vs consum energètic en valor absolut	218
Fig. 26 Relació superfície construïda vs consum energètic per m <sup>2</sup>	218
Fig. 27 Relació nombre d'usuaris vs consum energètic en valor absolut	219
Fig. 28 Relació superfície construïda vs consum energètic per m <sup>2</sup>	219

## Resultats

---

Fig. 29 Relació densitat d'ocupació vs consum energètic per m <sup>2</sup>	220
Fig. 30 Relació densitat d'ocupació vs consum de gas per m <sup>2</sup>	220
Fig. 31 Relació densitat d'ocupació vs consum elèctric per m <sup>2</sup>	221
Fig. 32 Relació hores d'ús al dia vs consum energètic en valor absolut	222
Fig. 33 Relació hores d'ús al dia vs consum energètic per m <sup>2</sup>	222
Fig. 34 Relació superfície construïda vs consum energètic/m <sup>2</sup>	223
Fig. 35 Relació hores d'ús al dia vs consum energètic/m <sup>2</sup>	223
Fig. 36 Relació densitat d'ocupació vs consum energètic/m <sup>2</sup>	223
Fig. 37 Consum específic d'edificis municipals a Bulgària. Font DATAMINE.	224
Fig. 38 Consums específics totals dels edificis escolars objecte d'estudi, segons any de construcció	224
Fig. 39 Consums específics, diferenciant per recursos, dels edificis escolars objecte d'estudi, segons any de construcció	224
Fig. 40 Relació any de construcció vs consum energètic/m <sup>2</sup>	225
Fig. 41 Relació any de construcció vs consum elèctric/m <sup>2</sup>	226
Fig. 42 Relació any de construcció vs consum de gas/m <sup>2</sup>	226
Fig. 43 Indicadors arquitectura	228
Fig. 44 Reducció d'energia consumida segons la variable en la que s'intervé, a partir de simulacions. (Perez, et al., 2009)	229
Fig. 45 Relació Transmissió $U_{\text{paraments opacs}}$ vs consum de gas per m <sup>2</sup>	229
Fig. 46 Relació Transmissió $U_{\text{coberta}}$ vs consum de gas per m <sup>2</sup>	230
Fig. 47 Relació Transmissió $U_{\text{obertures}}$ vs consum de gas per m <sup>2</sup>	230
Fig. 48 Mitjana dels valors de les transmissió segons l'època de construcció. Font propia.	231
Fig. 49 Relació Factor de forma vs consum de gas per m <sup>2</sup>	232
Fig. 50 Relació Superfície Específica de façanes vs consum de gas per m <sup>2</sup>	232
Fig. 51 Relació Superfície Específica de coberta vs consum de gas per m <sup>2</sup>	233
Fig. 52 Relació Percentatge d'obertures en façana vs consum de gas per m <sup>2</sup>	233
Fig. 53 Relació Transmissió $U_{\text{obertures}}$ vs consum de gas per m <sup>2</sup>	234
Fig. 54 Relació Percentatge d'obertures en façana vs consum elèctric per m <sup>2</sup>	235
Fig. 55 Relació superfície de finestres en aula vs consum elèctric m <sup>2</sup>	235
Fig. 56 Indicadors Sistemes Enllumenat i Climatització	236
Fig. 57 Relació VEEI vs consum elèctric per m <sup>2</sup>	238
Fig. 58 Relació Eficiència del sistema d'enllumenat vs consum elèctric per m <sup>2</sup>	238
Fig. 59 Resultats de la Certificació Energètica segons programa CALENER	239

Fig. 60 Relació rendiment del sistema de calefacció vs consum de gas per m <sup>2</sup>	240
Fig. 61 Relació eficiència del sistema de calefacció vs consum de gas per m <sup>2</sup>	240
Fig. 62 Indicadors d'ús i gestió	241
Fig. 63 Relació de l'Indicador de gestió vs consum energètic per m <sup>2</sup>	242
Fig. 64 Diagrama radial amb els indicadors escalats.	245
Fig. 65 Gràfics radials dels 19 edificis escolars objecte d'estudi detallat.	246
Fig. 66 Diagrama radial amb els indicadors escalats.	247





## Bibliografia

**Ajuntament de Barcelona** Agenda 21 Escolar [En línia]. - 15 / març / 2013. - <http://www.bcn.cat/agenda21/a21escolar/>.

**APUR. Atelier Parisien d'Urbanisme** Consomptions d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes [En línia]. - Desembre / 2007. - 24 / març / 2014. - <http://www.apur.org/sites/default/files/documents/246.pdf>.

**Butala Vincenc i Novak Peter** Energy consumption and potential energy savings in old school buildings [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 1999. - 29. - p. 241-246.

**Casanovas X.** Consum energètic dels edificis [Revista] // L'Informatiu. - Barcelona : CAATEEB, març / 2013. - 335. - p. 10-15.

**COAC** Control energético mediante el diseño de la arquitectura [En línia]. - 14 / gener / 2015. - <http://www.coac.net/mediambient/Life/13/13220.htm>.

**Dascalaki Elena G. [et al.]** Data collection and analysis of the building stock and the energy performance- An exemple for Hellenic buildings [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - 42. - p. 1231-1237.

**DATAMINE** Collecting DATA from Energy Certification to Monitor Performance Indicators for New and Existing buildings [En línia]. - 2006. - 24 / juny / 2011. - [www.meteo.noa.gr/datamine](http://www.meteo.noa.gr/datamine).

**Desideri U i Proietti S.** Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2002. - 34. - p. 1003-1016.

**Desideri U i Proietti S.** Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2002. - 34. - p. 1003-1016.

**Diputació de Barcelona** Pacte d'alcaldes i alcaldesses [En línia]. - Diputació de Barcelona, 2014. - 1 / abril / 2015. - <http://www.diba.cat/web/mediambient/pactealcaldes>.

**Euronet 50/50** [En línia] // Euronet 50/50. - Diputació de Barcelona. - 27 / març / 2011. - <http://www.euronet50-50.eu/>.

**Filippin C.** Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Pergamon, 2000. - 35. - p. 407-414.

**Gaitani N. [et al.]** Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - 87. - p. 2079-2086.

**Hernández Patxi, Burke Kevin i Lewis J. Owen** Development of energy performance benchmarks and building energy ratings non-domestic buildings: An example for Irish primary schools [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - 40. - p. 249-254.

**Hong TaeHoon, Kim JiMin i Koo ChoongWan** LCC and LCCO2 analysis of green roofs in elementary schools with energy saving measures [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 45. - p. 229-239.

**ICAEN. Monogràfic 14** Institut Català d'Energia [En línia] // Diagnòstic energètic al centre escolar. - 24 / març / 2014. -

[http://www2.gencat.cat/docs/dmah/Home/Ambits%20dactuacio/Educacio%20i%20sostenibilitat/Educacio%20per%20a%20la%20sostenibilitat/Suport%20educatiu/Recursos%20educatius/Energia/Diagnostic/Diagn%C3%B2stic%20energ%C3%A8tic%20al%20centre%20escolar\\_ICAEN.pdf](http://www2.gencat.cat/docs/dmah/Home/Ambits%20dactuacio/Educacio%20i%20sostenibilitat/Educacio%20per%20a%20la%20sostenibilitat/Suport%20educatiu/Recursos%20educatius/Energia/Diagnostic/Diagn%C3%B2stic%20energ%C3%A8tic%20al%20centre%20escolar_ICAEN.pdf).

**López Fabian** Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación.. - Barcelona : [s.n.], mar / 2006. - Tesis Doctoral, UPC.

**Masoso O.T. i Grobler L.J.** The dark side of occupants' behaviour on building energy use [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - Vol. 42. - p. 173-177.

**Mata É., López F. i Cuchí A.** Optimization of the management of building stocks: An example of the application of managing heating systems in university buildings in Spain [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2009. - 41. - p. 1334-1346.

**Olson Stephen L. i Kellum Shana** The impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools [Informe]. - [s.l.] : Leonardo Academy Inc, 2003.

**Otero Prim D., Villarrubia López, M.** Metodología para auditorías energéticas en el sector terciario: centros hoteleros, docentes, hospitalarios y comerciales. - Barcelona : UP-UPC, 2011. - Projecte Final de Màster.

**Perez Yael Valerie i Capeluto Isaac Guedi** Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2009. - 86. - p. 340-348.

**Ruiz Martorell Galdric** Bases per a la recerca en reducció d'emissions de CO2 en edificació des de la perspectiva dels "edificis vius". - Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2009. - Master thesis. - <http://hdl.handle.net/2099.1/9951>.

**Taehoon Hong Choongwan Koo, Kwangbok Jeong** A decision support model for reducing electric energy consumption in elementary school facilities [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2012.

**Theodosiou T.G. i Ordoumpozanis K.T.** Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - 40. - p. 2207-2214.

**Tian Wei i Choudhary R.** A probabilistic energy model for non-domestic buildings sector applied to analysis of school buildings in greater London [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 54. - p. 1-11.

**Tian Wei i Choudhary R.** A probabilistic energy model for non-domestic buildings sector applied to analysis of school buildings in greater London [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2012. - 54. - p. 1-11.



## Conclusions de la Recerca | 7



## Índex

7	Conclusions de la Recerca.....	283
7.1	Compliment dels Objectius generals .....	284
7.2	Compliments dels Objectius específics .....	287
7.3	Validació de la Hipòtesi.....	294
7.4	Validació de la metodologia .....	295
7.5	Conclusions sobre com actuar en els edificis escolars existents.....	297
7.5.1	Començar per millorar l'ús i la gestió dels centres .....	298
7.5.2	Establir un Pla Director per a la rehabilitació de les envolupants dels edificis.....	301
7.5.3	Establir un Pla d'Actuacions per a la renovació i millora de l'eficiència dels sistemes ....	305
7.5.4	Proposar Plans d'inversions i considerar els retorns econòmics, socials i ambientals.....	307
	Taula de figures .....	309
	Bibliografia.....	311





“En un semàfor intel·ligent,  
el menys llest de tots és el semàfor”

Josep Bunyesc, Dr. Arquitecte



## 7 Conclusions de la Recerca

Si haguéssim de resumir els resultats de la recerca en 5 frases, diríem que:

“Assumim que és imprescindible i inevitable complir amb les directives europees de reducció de consums”.

“Hi ha una realitat i és que el parc escolar edificat està molt lluny, en qüestió de consum de recursos, dels paràmetres desitjables

“Hem verificat com les diferències de consums entre edificis que es troben en la mateixa zona climàtica i amb usos molt similars, són molt grans i que a més estan lluny dels bons estàndards”

“A la vista de la disparitat de consums, hem demostrat que hi ha múltiples factors que afecten al funcionament dels edificis, i que cal fer estudis individualitzats dels edificis per millorar l'eficiència energètica i detectar les oportunitats de millora”.

“Donem per vàlid que les estratègies Bottom to Up (com la proposada en aquesta tesi) permeten extreure conclusions que s'han de traslladar cap als gestors del parc edificat en un exercici de transferència del coneixement de la Universitat cap a la societat”.

## Conclusions de la Recerca

Etapa educativa	Públics (Dept. Ensenyament)	Privats (inclou centres concertats)	Altres	Total
Escola Bressol (0-3)	42	588	928*	1558
Educació infantil i primària (3-12)	1694	154	17	1865
Educació secundària- instituts (12-18)	545	134	14	693
Institut-escola (primària i secundària al mateix centre) (3-18)	18	489	0	507
Educació especial	24	64	16	104
<b>TOTAL</b>	<b>2323</b>	<b>1429</b>	<b>975</b>	<b>4727</b>

Fig. 1 Nombre de Centres Educatius a Catalunya any 2013. Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. De (Ferrer, et al., 2015)

CENTRES PÚBLICS			
Escoles bressol i llars			100
Escoles			165
Instituts escola			3
Instituts			71
Educació especial			8
Ensenyaments artístics i de música			13
Escoles oficials d'idiomes			6
Formació de persones adultes			27
Altres			9
<b>Total</b>			<b>402</b>
CENTRES PRIVATS			
	CONCERTATS	NO CONCERTATS	
Exclusius d'educació infantil	10	182	
Educació infantil i primària	26	2	
Exclusius d'educació primària	2		
Educació infantil, primària i secundària	128	6	
Educació primària i secundària	3		
Exclusius d'educació secundària	28	33	
Educació especial	26	1	
Ensenyaments artístics i de música		60	
Ensenyaments esportius		1	
Formació de persones adultes		12	
Pla d'estudis estranger		9	
Altres	2	1	
<b>Total</b>	<b>225</b>	<b>307</b>	
<b>Total de centres sostinguts amb fons públics</b>			<b>627</b>
<b>Total de centres</b>			<b>934</b>

Fig. 2 Nombre de centres, segons tipologia, a Barcelona. Font (Consorci d'Educació de Barcelona, 2014)

Per arribar a aquestes conclusions, hem verificat el grau de compliment dels objectius definits a l'inici de la recerca i que permeten extreure conclusions més concretes.

### 7.1 Compliment dels Objectius generals

#### (OG1) Establir una metodologia d'anàlisi del parc escolar edificat

El primer objectiu general d'aquesta tesi era establir la metodologia d'anàlisi del parc escolar edificat a Barcelona. Aquest objectiu s'ha complert plenament.

De les preguntes plantejades:

- Quin és el volum del parc escolar edificat?
- Qui gestiona els edificis escolars?
- Com es pot fer el cens d'edificis escolars?
- Quins paràmetres cal conèixer?
- Com els endrecem?

S'ha identificat el volum del parc escolar i qui són els gestors d'aquests edificis, específicament els de titularitat pública.

S'han identificat (després de realitzar més de 50 avaluacions energètiques), els paràmetres que cal conèixer com a punt de partida i que s'han presentat en el capítol 5. **Metodologia** i validat en el capítol 6 **Resultats**.

**(OG2) Conèixer les eines per a la presa de decisions en clau energètica**

Les administracions gestores del parc edificat tenen definits diferents plans i estratègies per a la reducció de consums, tal i com s’ha explicat en el capítol **3 Antecedents**. Són les administracions (en el nostre cas el Consorci Educatiu de Barcelona i la Generalitat de Catalunya, però també les Diputacions Provincials) les que proposen els plans estratègics i els implementen per donar compliment a les Directives Europees. La nostra percepció és que tot i que existeix una forta voluntat, aquests plans no estan ni coordinats ni segueixen una metodologia clara prèviament establerta. Les decisions es prenen Up to Bottom, i creiem que tot i que la majoria són encertades, no es realitza un seguiment que permeti retroalimentar el sistema de presa de decisions ni l’anàlisi de viabilitat.

De fet, consultades les diverses fonts de l’administració, els ratis de consums, sense anar més lluny, no estan unificats: El Pacte d’Alcaldes i Alcaldesses ([Diputació de Barcelona, 2014](#)) ofereix unes dades de mitjanes de consum segons factures de **85 kWh/m<sup>2</sup>/any** al litoral i de **99 kWh/m<sup>2</sup>/any** per a la zona climàtica central de la província de Barcelona, però estableix uns ratis de referència individualitzats (dades de consum d’anys anteriors) quan es realitzen els Plans d’Acció per a l’Energia Sostenible dels diferents municipis.

El Consorci Educatiu de Barcelona no proporciona dades de consums dels centres per qüestions de privacitat de dades (sic), tot i que en les seves Memòries anuals ([Consorci d’Educació de Barcelona, 2014](#)), sí informa del consum de recursos energètics total del parc gestionat: 47.009.091 kWh/any que dividits pels 680.352 m<sup>2</sup> dels 316 centres (el document no indica si estan inclosos els m<sup>2</sup> de patis i espais no calefactats, però deduïm pels valors que sí), ofereix uns ratis de consums de **69 kWh/m<sup>2</sup>/any**.

Per la seva banda, la mitjana de consums a partir de les dades proporcionades en el seu dia per l’ICAEN són **94 kWh/m<sup>2</sup>/any** per als CEIPs de Barcelona (dades ICAEN 2006), **122 kWh/m<sup>2</sup>/any** per a les EBMs i **88 kWh/m<sup>2</sup>/any** per als Instituts. Finalment, de les dades obtingudes a partir dels estudis de detall que donen contingut a aquesta tesi, la mitjana de consums és de **72 kWh/m<sup>2</sup>/any** de per als edificis estudiats de Zona Climàtica 1 (Barcelona i Comarca). ([Fig. 3](#))

Font	Criteri	Consum d’energia final (de factures) kWh/m <sup>2</sup> /any		
Diputació de Barcelona	Litoral (província de Barcelona)	85		
Diputació de Barcelona	Central (província de Barcelona)	99		
Consorci Educatiu de Barcelona	Centres gestionats	69*	*inclosos patis?	
Dades ICAEN	CEIPs	94		
Dades ICAEN	EBMs	122		
Dades ICAEN	IESs	88		
Estudis de detall	Barcelona ZC1	72		
Estudis de detall	Totes les zones	73		

Fig. 3 Taula resum de ratis de consum segons diverses fonts

**(OG3) Proposar una metodologia d'intervenció en clau energètica i validar-la**

L'objectiu de definir una metodologia d'intervenció en clau energètica per als edificis escolars, serveix per mesurar la seves oportunitats d'estalvi, i fer les propostes d'intervenció tenint en compte el màxim de condicionants. Per al cas d'estudi de Barcelona aquest objectiu s'ha assolit àmpliament, i considerem que és perfectament extrapolable a altres ciutats de la conca nord de la mediterrània.

S'ha realitzat la investigació recollida en el capítol **4 Estat de l'Art** de:

- Quins són els paràmetres d'anàlisi d'edificis escolars que poden ser comuns a altres ciutats mediterrànies?
- Quines ciutats s'han plantejat aquest anàlisi del parc edificat en clau energètica?
- De quines eines han fet ús?
- I quins han estat els resultats?

En l'anàlisi que fan (Fiaschi, et al., 2011) dels edificis educatius públics de Certaldo (escoles, llars d'infants o universitats), es verifica que s'han construït de manera prou semblant en diversos països europeus i aquesta experiència ens ha permès comprovar com les millores que es proposen en altres entorns són fàcilment exportables a altres espais geogràfics amb condicions similars.

Pel que fa al nostre entorn més proper, totes les Administracions han desenvolupat les seves eines d'avaluació energètica dels edificis públics, i existeixen també múltiples institucions i grups de treball que han definit metodologies pròpies amb diferents objectius, des de la *ISO 50001 Certificación del Sistema de Gestión Energética* (AENOR, 2011), a la metodologia 50/50 (Diputació de Barcelona).

La nostra metodologia, basada en els estudis de cas, permet a les Administracions elaborar un pla mestre per tal de conèixer el parc edificat, definir uns objectius, avaluar uns potencials de millora i prioritzar les actuacions. A partir d'aquest Pla, es poden triar els edificis que han de ser objecte d'actuació i implementar les millores que, més tard, s'hauran de publicar per tal de fer-ne difusió i promoure noves actuacions.

## 7.2 Compliments dels Objectius específics

Del conjunt d'objectius específics de la Tesi, que han permès avançar de manera metòdica en la recerca i endreçar el coneixement adquirit per tal de verificar (o no) la hipòtesi de treball, es pot concloure:

### (OE1) Identificar i definir els indicadors d'eficiència energètica

S'han identificat els indicadors d'eficiència energètica que utilitzen diversos grups de recerca en el capítol 4 **Estat de l'Art** i al capítol 5 **Metodologia** s'han definit els propis que, com s'ha vist en el capítol 6. **Resultats**, proporcionen informació amb utilitats diferents. Hem comprovat que no hi ha prou en analitzar les taxes de consum absolut en el temps, per exemple, perquè aquestes poden variar segons la climatologia, l'ús dels edificis, la superfície utilitzada, el número d'usuaris o fins i tot l'eficiència dels sistemes.

Com hem vist, els edificis escolars estan caracteritzats per un ús peculiar: el calendari escolar, les hores d'ocupació diàries i setmanals, els diferents usos al llarg del dia dels diversos espais (aules, lavabos, laboratoris o gimnasos). Tractar de fer un ús racional de l'energia està directament relacionat amb uns plans de gestió adequats i amb un manteniment qualificat. Aquests dos factors són molt importants, però n'hi ha d'altres: l'orientació del propi edifici, el disseny arquitectònic, el sistema d'enllumenat, els sistemes de calefacció, i els usos que se'n fa, la densitat d'ús de l'escola, etc.

Hem verificat que a partir de 15 indicadors (Fig. 4) que proporcionen informació sobre diverses característiques es pot fins i tot crear un model a partir del qual es poden seleccionar les variables que poden influir, de manera més rellevant, en la resposta, i descartar aquelles que no aportin una informació molt significativa.

El model obtingut, sobre una mostra de 19 casos, efectivament pot servir de pauta a un futur procediment a seguir quan es disposi de conjunts de dades més amplis, per exemple el conjunt d'edificis gestionats per les diferents Administracions.

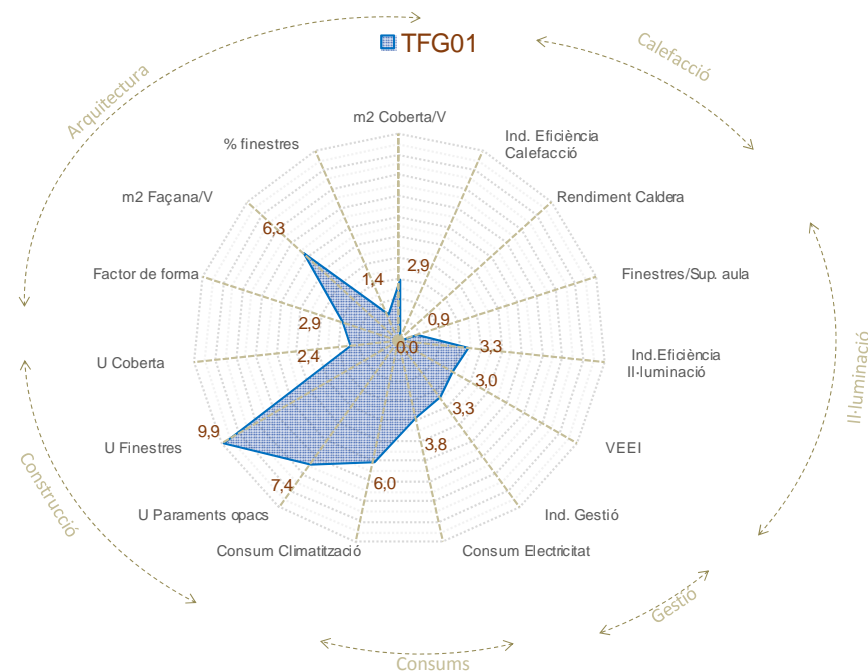


Fig. 4 Gràfic radial amb els indicadors definits.



**(OE2) Caracteritzar el parc escolar edificat i albirar les oportunitats de millora**

Els edificis escolars tenen uns comportaments energètics i unes característiques constructives que, en principi, semblava que haurien de ser bastant similars. Aquesta premissa ens permetia caracteritzar les necessitats dels edificis d'una manera genèrica tot i que ja ens constava que podia no servir en alguns edificis concrets. En conseqüència era objectiu d'aquesta tesi analitzar:

- OE2.1 Quina és l'antiguitat del parc escolar edificat?
- OE2.2 Quins són els consums energètics del parc escolar edificat?
- OE2.3 Quins són els valors de referència?
- OE2.4 Quines són les oportunitats d'estalvi?

No s'ha pogut recollir les dades d'antiguitat del parc escolar perquè cap de les Administracions consultades disposava d'aquesta informació de manera automàtica. En canvi s'ha donat àmplia resposta als altres tres objectius específics: es coneixen els consums energètics dels edificis escolars a partir de diferents fonts i a diferents nivells de precisió (dades ICAEN, dades Consorci Educatiu de Barcelona, Avaluacions Energètiques i dades de facturació). Es coneixen els valors de referència, i el que és més important els valors que s'haurien d'assolir per disposar d'un parc escolar edificat més sostenible a partir d'intervencions ajustades a les necessitats particulars de cada centre. En la Fig. 5 es mostren els marges de millora que es podrien assolir: els edificis més *energívors* arribar a la mitjana, i intentar que la resta tinguin consums propers a la mitjana dels 6 edificis millors.

A Itàlia, hi ha autors que, mitjançant programes de simulació, han situat els marges d'estalvi en edificis escolars entre el 38% i el 46% (Corgnati, et al., 2008) a partir de la normalització del consum i l'anàlisi estadística. En el nostre cas, es podrien establir com a consums patró els del quartil més eficient del grup d'edificis estudiats (recordem que la mitjana dels 6 millors edificis en quant a consums energètics està en 49 kWh/m<sup>2</sup>/any) i considerar-los com el referent al qual es pot arribar. En aquesta línia de treball, podríem considerar que els 4 edificis més *energívors* podrien arribar a reduir els seus consums als volts del 50% (51%, 53% i 58% segons dades).

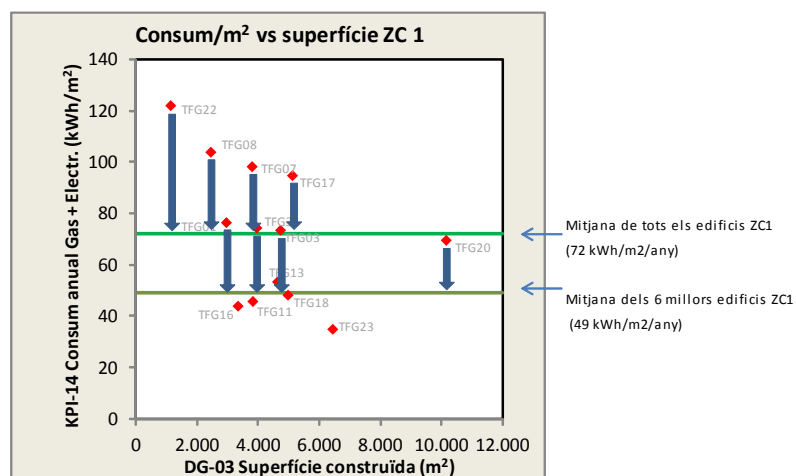


Fig. 5 Marges de millora dels edificis escolars amb majors consums energètics.

**(OE3) Considerar la rehabilitació energètica com a prioritat**

Com apuntàvem a la presentació de la recerca, rehabilitar els edificis és una activitat que protegeix el medi ambient des de diferents perspectives, hauria de ser una prioritat en quant a la conservació del parc edificat en bones condicions i hauria de significar la revalorització del patrimoni arquitectònic edificat. La rehabilitació energètica ja és també una necessitat a l'hora d'intervenir en l'edificació existent, i per tant, ens interessava donar resposta a les següents qüestions:

- OE3.1 Per què és prioritari rehabilitar?
- OE3.2 Què és la rehabilitació energètica?
- OE3.3 Quines experiències tenim?

Creiem que hem donat resposta diverses vegades al llarg de tot aquest document a la primera i a la segona pregunta. Rehabilitar és ja una prioritat en un país com el nostre, que disposa d'un parc edificat superior a les necessitats. La rehabilitació hauria de ser el motor principal del sector de la construcció, si més no, durant els propers anys immediats, i així ho han entès les Administracions, que han impulsat diferents línies de desenvolupament d'estratègies, i que han incorporat l'adjectiu energètic a bona part de les seves directives. La Inspecció Energètica d'Edificis (IEE) és un procediment clau que permetrà una recollida d'informació relacionada específicament amb el comportament energètic dels edificis, i l'obligatorietat, des de l'1 de juny de 2013 de disposar del certificat energètic per als edificis d'habitatges i d'ús terciari nous, a més de per a edificis públics de més de 500 m<sup>2</sup>, també va en la línia de conèixer l'estat del parc edificat per identificar les actuacions de rehabilitació en clau energètica.

Pel que fa a les experiències, també s'han identificat aquelles que han resultat més exitoses en països del nostre entorn, però val a dir que no s'han obtingut dades de seguiment de rehabilitacions energètiques en el nostre parc escolar edificat.

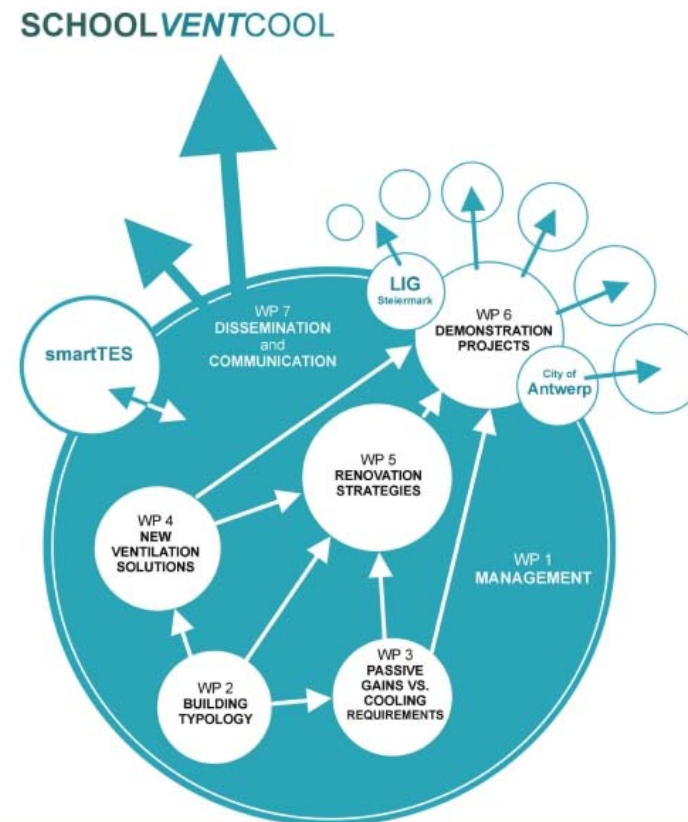


Fig. 6 Mapa del Projecte "School VentCool" amb els diferents paquets de treball WP i exemples de projectes (WP6). Font: (School Ventcool, 2010).

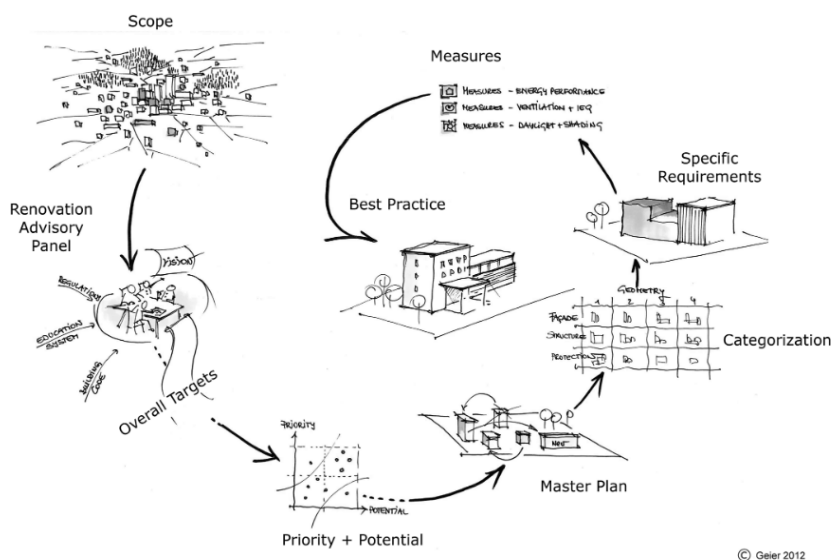


Fig. 7 Metodologia per elaborar un Pla Mestre i realitzar la selecció d'un cas d'èxit. Font (School Ventcool, 2010)

### (OE4) Avaluar els edificis escolars en clau energètica

Entenem que l'auditoria energètica és un procés fonamentalment de diagnosi que ha de permetre orientar els esforços econòmics, tècnics i logístics, de manera eficient, per tal de corregir les deficiències identificades en qualsevol edifici. Considerem que aquesta és l'eina d'anàlisi més adequada quan es disposa de temps i recursos per a dur-la a terme. Però tal i com es recull en el document de les sessions de Seguiment del PECAC, celebrades l'any 2012 (ICAEN, 2012), les principals dificultats per dur a terme una gestió energètica integral en els ajuntaments, són (entre altres) l'escassetat de recursos (de personal i de temps).

Per aquest motiu, vam considerar des del principi d'aquesta tesi aprofitar la metodologia pròpia d'avaluació energètica d'edificis per diagnosticar l'estat del parc escolar edificat i identificar les propostes d'actuació que, més endavant, es poden traduir en projectes específics d'acord amb les prioritats dels responsables de la seva gestió. Aquesta metodologia, abastament assajada es mostra més senzilla que un procés d'auditoria, a més d'incorporar diferents aspectes relacionats amb els factors humans.

La metodologia pròpia, s'ha anat complementant amb l'estudi d'altres eines d'avaluació desenvolupades per altres grups de treball, per exemple les que es mostren en les (Fig. 7 i Fig. 8), i que estan documentades i referenciades al capítol 4 **Estat de l'Art**.

Amb tot, considerem que si es vol actuar sobre un conjunt d'edifici tan nombrós com és el cas dels edificis escolars de Barcelona, cal una metodologia simplificada que a partir de pocs indicadors permeti detectar els edificis més *energívors*, les seves mancances i, en conseqüència detectar les línies d'actuació que es mostren prioritàries per tal de reduir els seus consums energètics.

9 passos cap a l'estalvi econòmic i energètic

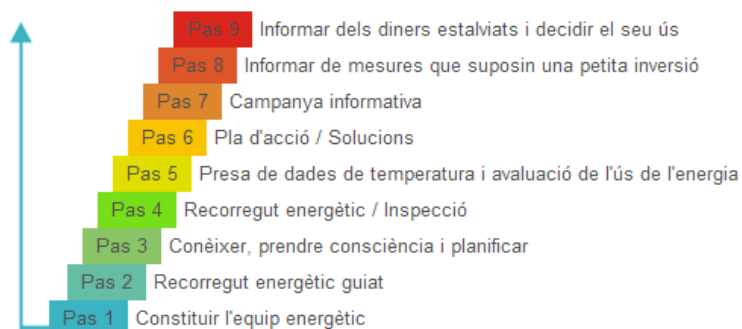


Fig. 8 Metodologia 50/50 en 9 passes que involucra als usuaris d'edificis en el procés de gestió energètica. Font: (Diputació de Barcelona)

### (OE5) Les línies estratègiques d'actuació

A partir de la diagnosi del parc escolar edificat s'han pogut identificar, com dèiem en l'apartat anterior, les mancances dels edificis i, per tant, s'han pogut plantejar les accions específiques per tal de solucionar-les. S'han agrupat les diferents propostes en el que hem acordat anomenar línies d'actuació (LA), que venen determinades per la metodologia emprada durant l'aixecament de dades i l'avaluació i s'han definit per tant les línies estratègiques d'actuació, quines es poden aplicar, quan i com en els edificis escolars.

No és objectiu d'aquesta tesi fer una llista de possibles actuacions ni "llibres de receptes" (coincidint amb el que diuen altres autors (Claridge, et al., 1994)), però al final d'aquest capítol, es troben algunes de les propostes d'intervenció que s'han assajat o avaluat mitjançant simulacions, i els diferents estalvis energètics que poden arribar a significar.

Hem vist al llarg de la nostra experiència molts exemples de com una gestió en clau energètica dels edificis, amb un cost econòmic de 0 € o quasi, és una mesura amb estalvis que poden arribar al 20% de la despesa. També hem comprovat que la consciència ciutadana és una forma d'actuar sobre els edificis eficaç i instructiva, que a més, comporta l'extensió de bones pràctiques a altres entorns de treball o de convivència<sup>1</sup>. En el cas que ens ocupa, involucrar a l'estudiantat i per extensió a tots els usuaris dels centres escolars és determinant.

Cal distingir però entre el que són actuacions destinades a reduir els consums i les que són únicament per reduir la despesa econòmica en recursos. En aquest segon àmbit es troba el que s'ha donat en anomenar "comptabilitat energètica", que ja duen a terme els gestors de grans parcs edificats com Infraestructures de la Generalitat i altres Administracions. Aquestes estratègies se centren en la monitorització dels edificis per conèixer en detall la distribució dels consums, al llarg de diferents períodes, i en renegociar els contractes amb les companyies elèctriques per tal de millorar-ne les condicions, ja sigui corregint els factors de potència, els moment pic de consums, o les tarifes que s'apliquen, i ajustant els usos dels sistemes als horaris més convenients (Oldewurtel, et al., 2011).

<sup>1</sup> "Qualsevol estratègia de canvi cap a la sostenibilitat en temes d'arquitectura (com en qualsevol altre) serà molt més difícil de dur a terme si es basa només en recursos -sobretot si són de caràcter estrictament tècnic o regulatiu- i no busca les complicitats socials. Sense la gent no avançarem" (Subirats, 2009 a 34 Kg de CO<sub>2</sub>, pp 60-61).



Fig. 9 Cartell del concurs U4Energy. La pàgina web disposa de diferents pràctiques educatives per a involucrar a l'estudiantat dels centres en l'eficiència energètica. Font: (Energy Europe programme, 2012)

### **(OE6) L'objectiu de la reducció dels consums**

L'objectiu clau d'aquesta tesi havia de ser proporcionar eines adequades als gestors del parc escolar edificat per aconseguir que els edificis públics d'ús docent existents reduïssin el seu consum energètic, a poder ser un 20% per l'any 2020, el que exigeix la Directiva Europea 2012 ([European Commission, 2012](#)), o com a poc un 14,4 %, que es marca com a objectiu la Generalitat de Catalunya ([Agència de l'Habitatge de Catalunya, 2014](#)), ja que l'objectiu d'aconseguir edificis d'energia quasi nul·la és inassolible per a la gran majoria d'edificis ja existents.

Considerem que reduir els consums energètics és una tasca que ha d'involucrar a tots els actors. Com ja hem dit en altres ocasions ([Rosell, et al., 2014](#)), la transferència de resultats de la recerca<sup>2</sup> (TRR) és un objectiu estratègic dels organismes públics d'investigació i, en conseqüència, la universitat pública està consubstancialment obligada a transmetre coneixement a la societat a partir de fórmules diverses relacionades amb major o menor mesura, amb la recerca. Podríem dir que aquesta transmissió de coneixement, (de la qual també en forma part la TRR), és l'essència de la universitat.

A nosaltres ens agrada entendre la TRR com el procés mitjançant el qual, els sectors públic i privat demanden i obtenen l'accés als avenços tecnològics o d'altres tipus desenvolupats per les universitats i/o els centres de recerca, o com el trasllat d'aquests desenvolupaments a les organitzacions socials i productives, que els concreten en béns i serveis per al progrés sostenible de la societat.

Esperem doncs que la recerca que presentem en aquesta tesi sigui, efectivament, una eina per aconseguir la reducció de consums energètics del parc edificat i, en conseqüència, siguem part activa d'un desenvolupament més sostenible.

---

<sup>2</sup> Segons els estatuts de la UPC, la TRR és la “prestació d'assessorament i serveis en matèria científica, tècnica, artística o humanística, per al desenvolupament dels resultats de la recerca i per al foment de la innovació en els productes i en els processos”. [Estatuts de la Universitat Politècnica de Catalunya 2012](#). [Consulta: 28-05-2014]

### **(OE7) Avaluació de les oportunitats de millora**

És cert que en els darrers anys les administracions han establert estratègies en clau d'eficiència energètica en els seus parcs edificats, i era intenció d'aquesta tesi avaluar, enregistrar, documentar, publicar i difondre els resultats per tal que es poguessin utilitzar les experiències més exitoses com a exemple.

S'han identificat, en el capítol **3 Antecedents**, en el capítol **4 Estat de l'Art** i en el capítol **6 Resultats** algunes de les millores ja incorporades a edificis sobre els que s'ha actuat, i s'han avaluat des de diferents perspectives; amb retorns econòmics (tot i que algunes de les mesures que s'han pres amb aquest objectiu no han comportat la millora de les condicions dels edificis); energètiques, introduint sistemes energètics a partir de recursos sostenibles (que s'han de mantenir i verificar per a que siguin realment eficients) o millorant l'eficiència dels sistemes (reduint els consums però sense disminuir els paràmetres de confort, ans el contrari, millorant-lo); mediambientals, considerant aquest concepte àmpliament, és a dir avaluant la qualitat de l'aire interior dels edificis escolars, la millora de les condicions acústiques, la qualitat dels espais d'esbarjo, etc; i socials, ja que el que sí s'ha demostrat abastament és que implicar als usuaris dels edificis en un millor ús i gestió dels sistemes significa estalvi energètic i, el que és més important, compromís a llarg termini.

En conseqüència, s'ha pogut identificar les mesures que ja s'han introduït en el parc edificat; quins resultats s'ha obtingut de la implementació d'aquestes mesures; i quines s'han mostrat més eficaces.

### 7.3 Validació de la Hipòtesi

#### **La hipòtesi d'aquesta Tesi era:**

*“Demostrar que, a partir d’una metodologia específica d’anàlisi del parc edificat, aplicada a un conjunt d’edificis de característiques similars, es poden detectar aquells que mostren un potencial d’estalvi més elevat (sigui perquè són els més ineficients, els que presenten més mancances, o fins i tot els que es mostren menys confortables) i establir les línies d’actuació més adequades per a la seva rehabilitació energètica.*

*La metodologia, es dissenyarà especialment apropiada per a edificis d’escoles i centres educatius, donat que són equipaments idonis com a laboratori de pràctiques sostenibilistes i mediambientals, i poden servir de patró formatiu per a les generacions futures .*

*Si la metodologia es mostra adequada, l’experiència podrà ser exportada a diferents tipologies edificatòries i a altres entorns mediterranis de característiques similars.”*

Efectivament, amb la metodologia específica proposada es poden caracteritzar grans parcs edificats de característiques similars, detectar aquells edificis que mostren potencials d’estalvi més elevats, i identificar quines línies d’actuació són les més adequades per a cada cas.

La metodologia és especialment adequada per a edificis escolars i, adaptada, pot ser exportada a altres tipologies edificatòries (dins uns mateixos paràmetres d’anàlisi), fins i tot en altres entorns geogràfics similars (conca mediterrània).

Posem aquesta Tesi Doctoral a disposició de les Administracions per tal de contribuir als objectius d’eficiència energètica de la societat. Si es volen reduir els consums energètics de l’edificació existent un 20% per l’any 2020, i complir amb la Directiva Europea 2011 que exigeix actuar sobre el 3% dels edificis públics cada any, aquesta metodologia pot ajudar en la presa estratègica de decisions.

## 7.4 Validació de la metodologia

En el marc del projecte “Energy Efficiency Watch” (Energy Efficiency Watch, 2013) es va realitzar una enquesta sobre la implantació de les polítiques d’eficiència energètica en tota la Unió Europea, en la qual van participar més de 700 experts dels 27 Estats membres. L’objectiu consistia en mostrar el progrés de la implantació de les polítiques d’eficiència energètica en cada un dels Estats membres de la UE.

De l’informe sobre Espanya, es conclou entre altres que:

- el Sector Públic ha de descriure directrius vinculants per a la contractació pública
- el Sector de l’Edificació ha de facilitar l’accés a l’assessorament energètic i a les auditories energètiques per part dels propietaris.
- les administracions locals només estan prenent algunes mesures, bàsicament en enllumenat públic i en subministrament d’aigua.
- I el 90% dels experts consultats, consideren que no s’estan fent progressos en eficiència energètica en la contractació pública.

En l’Informe General, (Fig. 10) se senyala que en diferents països, els experts han detectat que l’agent determinant en eficiència energètica, es troba en els nivells regionals i locals, en part perquè els beneficis de l’eficiència energètica són més fàcils de comunicar des de les polítiques locals. A tot Europa hi ha un nombre creixent d’administracions locals i regionals que estan considerant l’eficiència energètica com a prioritat.

I creiem que és destacable, de l’Informe sobre Suècia, els següent paràgraf:

- Una de les fortaleses del sector públic suec és el rol jugat pels Ajuntaments. Una estratègia fonamental és l’establiment d’objectius propis per part dels Municipis, la majoria dels quals tenen consultors en energia i clima que proporcionen assessorament i suport als ciutadans.



Fig. 10 Portada de la publicació de l’Informe Final de l’Observatori d’Eficiència Energètica. Font (Energy Efficiency Watch, 2013)



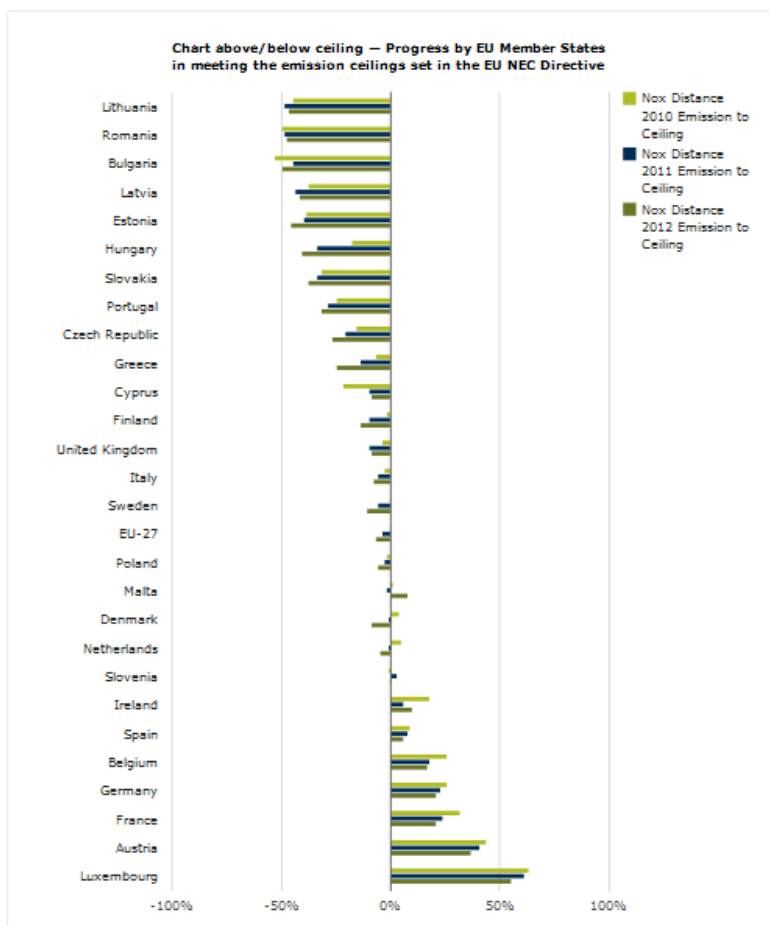


Fig. 11 Grau de compliment dels països membres de la UE en quant a emissió de gasos efecte hivernacle. Font: (European Environment Agency, 2014)

Per altra banda, segons l'Agència Europea del Medi ambient (European Environment Agency, 2014), Espanya, l'any 2012, encara estava entre els 11 països de la UE que emetia més gasos efecte hivernacle dels que pertocaria (Fig. 11).

A partir d'aquests dos documents ja es pot extreure la conclusió de que Espanya, i Catalunya, han de implementar més polítiques en eficiència energètica, i que des de les administracions locals, sembla que és més fàcil fer-ho.

En aquest context, creiem que la recerca presentada en aquesta tesi encaixa adequadament en els objectius mediambientals propis del Doctorat en Sostenibilitat.

Malauradament, coincidim amb (Theodosiou, et al., 2008) en que es detecten tants problemes en l'estat del parc edificat, que fa que pensar en que ningú està tenint en compte aquesta circumstància ni es treballa, des de les Administracions en el cas dels edificis públics, per donar solució a aquesta greu situació. Efectivament, com també succeeix amb les escoles de Perugia (Desideri, et al., 2002) i d'altres ciutats europees, les de Barcelona i l'entorn disposen de tipologies variades: l'edat, l'aïllament de les parets, sostres i finestres que poden ser certament diferents i, en conseqüència, els consums poden diferir substancialment. I de fet, el problema més gran que hem tingut per dur a terme la nostra recerca ha estat la dificultat d'obtenir les dades dels edificis escolars de Barcelona de manera sistematitzada per part dels gestors del parc edificat.

## 7.5 Conclusions sobre com actuar en els edificis escolars existents

Primer de tot cal plantejar quin és l'objectiu de reducció de consums que es vol assolir: per exemple el que marca la Directiva Europea 2006/32/EC (European Parliament and of the Council, 2006), d'un 9% de reducció del consum a partir de l'eficiència energètica, per a l'any 2020.

La definició d'un indicador d'eficiència com els que proposen (Rodríguez González, 2011)

$EEI = \frac{SEC}{SEC_{Ref}} = \frac{C (kWh)}{C_{Ref} (kWh)}$  és crucial, i sobretot en quant a l'elecció del valor de referència, que es pot obtenir de sèries històriques, del nivell d'eficiència assolit a partir de la implementació de bones pràctiques, o bé a partir dels edificis considerats modèlics.

En aquest sentit, i tenint en compte que estem a l'any 2015, el marge d'actuació és ja molt reduït, per la qual cosa caldria començar a intervenir en clau energètica en els edificis escolars d'immediat, començant, efectivament per aquells edificis escolars que estan més allunyats dels paràmetres del millor quartil de centres estudiats (48 kWh/m<sup>2</sup>/any mitjana dels 8 millors edificis escolars en quant a consums energètics).

També es pot acabar determinant una escola "patró" amb la que comparar els edificis i acabar donant valor als possibles marges d'estalvi, com hem vist fer a Grècia (Gaitani, et al., 2010), a partir de l'avaluació de 1100 escoles.

### 7.5.1 Començar per millorar l'ús i la gestió dels centres

Com hem demostrat en el capítol l'apartat **6.4 L'anàlisi dels resultats a partir de la regressió múltiple**, la gestió dels edificis és la variable més determinant tant en el consum elèctric com en calefacció. A més, és la mesura que implica menys inversió, retorns més immediats, i implica als usuaris de manera que assumeixen la seva responsabilitat envers els recursos. Cal potenciar aquesta línia d'actuació i la manera de motivar a l'estudiantat, al professorat i a la resta de personal que treballa en els edificis escolars, de manera adequada, a partir de l'anàlisi de l'edifici, amb transparència i amb el reconeixement de la feina ben feta.

Coincidim plenament amb (Claridge, et al., 1994) en que la gestió i el manteniment dels edificis millora el rendiment dels sistemes i que és una línia de treball amb un potencial d'estalvi molt elevat a un cost de les inversions relativament baix. Quan parlem d'ús i gestió, el factor clau és el dels usuaris que treballen i viuen durant els horaris lectius en els centres escolars, i que són els que fan ús de l'energia. Cal diferenciar doncs entre les necessitats degudes al clima i altres condicions externes i les que estan relacionades amb l'ús que es fa dels sistemes. Com hem dit abastament, els edificis, per si sols, no són ni molt ni poc consumidors (tret dels casos d'edificis que, sense ocupació, segueixen consumint per raons diverses).

Les actuacions en aquesta línia tenen, a més, retorns immediats i a cost 0. En habitatges, per exemple, s'ha comprovat que es pot reduir el consum un 15% amb un ús més racional de l'energia. Per tant cal incorporar la corresponsabilitat i també la conscienciació: des d'usar roba adequada a les estacions de l'any, apagar llums, fer un ús mínim de l'enllumenat en horari no lectiu (tot i que volem desdemonitzar als serveis de neteja, als que sovint es responsabilitza del consum fantasma), apagar impressores i perifèrics, reduir o ajustar temperatures de consigna, concentrar activitats escolars, millorar la gestió d'espais, fins i tot involucrar als pares, (Nicklas, et al., 1996) i, molt important, disseminar els projectes exitosos (Engelund, et al., 2009).

També és transcendental involucrar als caps de manteniment, amb activitats específiques destinades a aquests actors, com les que organitza la Diputació de Barcelona dins el PAES i en el marc del projecte Euronet 50/50) (Fig. 12). Hem comprovat que un adequat manteniment de les calderes pot significar entre el 10% i el 12% de reducció de consum, i aquestes tasques seria interessant que poguessin fer-les els propis conserges.

Pacte d'alcaldes i alcaldesses

### Els conserges són protagonistes de l'estalvi energètic a l'Euronet 50/50 max



Els i les conserges són les persones que posen en funcionament l'escola, regulen la temperatura de la calefacció, s'asseguren que els llums dels passadissos estiguin apagats si no fan falta i substitueixen els fluorescents espatllats. En definitiva, són els gestors energètics del dia a dia de l'escola.

A més a més, són persones respectades per l'alumnat i els interlocutors entre les necessitats de direcció i dels mestres. Per tant, els conserges són una peça clau de l'èxit del projecte Euronet 50/50 max.

Durant els dies 8, 9 i 10 d'abril s'han fet sis sessions de formació sobre l'Euronet 50/50 max destinades exclusivament als conserges. Aquestes sessions s'han celebrat a 5 escoles del projecte: l'Escola Garcia Fossas d'Igualada, l'Escola Can Besora de Mollet del Vallès (on s'han fet dues sessions), l'Escola Montbaig de Sant Boi de Llobregat, l'Escola Matagalls de Santa Maria Palautordera i l'Escola Argentona, d'Argentona.



Les sessions, on hi han participat més de 70 conserges, s'han centrat en aquells passos on ells són especialment importants, com el recorregut energètic o la definició del Pla d'Acció i en la posada en comú de Bones pràctiques de gestió energètica i d'estalvi, aquest darrer aspecte ha estat el més enriquidor de les sessions.

Per més informació podeu consultar el **Document de la sessió formativa**.

Fig. 12 Exemple d'acció del projecte Euronet 50/50 per motivar als conserges dels centres en l'eficiència energètica. Font: (Diputació de Barcelona, 2014)

La monitorització dels sistemes és una altra eina que s'ha mostrat eficaç a l'hora de plantejar estratègies d'eficiència energètica en edificis existents, perquè aporta coneixement a la gestió dels recursos, i en alguns casos s'ha anat més enllà i s'ha utilitzat la monitorització per fer un plantejament relacionant els consums amb els sistemes tarifaris de facturació (Oldewurtel, et al., 2011). És doncs una proposta que s'hauria d'intentar incorporar però un cop ja s'han pres altres mesures d'eficiència energètica més relacionades amb l'estalvi dels propis recursos energètics, ja que d'altra manera, pot ser contraproductiu. Aquesta estratègia de totes maneres no és de fàcil aplicació i de fet, segons ens ha confirmat el Consorci Educatiu de Barcelona, hores d'ara tot just s'ha començat a treballar en aquesta direcció. El que sí han iniciat és una negociació amb les companyies subministradores per tal d'unificar les factures en un únic abonat, aconseguint beneficis econòmics (que no reducció de consums). Evidentment aquesta mesura és molt interessant, sempre i quan els centres educatius segueixin rebent la informació individualitzada dels seus consums.

De les múltiples propostes d'estalvi relacionades amb la gestió, també n'hi ha d'anecdòtiques (Madeira City Schools. Planning Commission, 2009), algunes que en el nostre entorn ens poden resultar sorprenents, com per exemple passar a la setmana escolar de 4 dies allargant la jornada dels dies lectius, la qual cosa reduiria la despesa energètica. Efectivament és una mesura molt eficaç (en el cas de la UPC es tanquen edificis en períodes no lectius amb estalvis energètics considerables), però de difícil implantació per qüestions relacionades amb la conciliació familiar. En altres casos, s'ha optat per carregar el consum energètic de les màquines de "vending" als industrials que les gestionen, ja que són ells els que obtenen els beneficis mentre que són les escoles les que paguen les factures de tenir les màquines enceses també durant els períodes no lectius.

La gestió energètica externalitzada també s'està aplicant amb èxit en molts països. Un contracte de serveis energètics consisteix en un acord entre un ajuntament i una empresa privada mitjançant el qual el primer es compromet a pagar una quantitat mensual fixa a canvi d'externalitzar la gestió energètica municipal en favor de l'empresa, la qual assumeix el cost de les inversions necessàries per a millorar l'estat i l'eficiència de les instal·lacions, així com també del manteniment, el subministrament i l'optimització dels contractes amb les companyies energètiques. L'eficàcia dels contractes de serveis energètics i el seu potencial a l'hora de reduir el consum d'energia, tant en l'àmbit municipal com a

l'industrial, ha fet que s'hagi redactat una directiva europea per impulsar-lo. L'objectiu principal és fomentar una oferta de serveis energètics i millorar les mesures d'eficiència per al consumidor final.

De totes maneres, per la nostra experiència, insistim en que és molt millor formar als caps de manteniment propis dels centres, que poden fer una gestió més ajustada a les veritables individualitats dels edificis i usuaris.

### 7.5.2 Establir un Pla Director per a la rehabilitació de les envoltants dels edificis

Segons la darrera Memòria del Consorci Educatiu de Barcelona, les inversions realitzades durant els anys 2012 i 2013 i descrites en l'apartat *Noves construccions, reformes, ampliacions i Millores*, han estat: “les actuacions prioritàries en matèria d’inversions s’han realitzat en obres de millora (rehabilitació i obres en instal·lacions elèctriques, climatització, ofimàtica, etc.) dels equipaments ja existents amb la finalitat de garantir les condicions adients per a la realització de les activitats escolars” (Fig. 13).

Aquesta és una bona notícia, des del nostre punt de vista, tot i que ens agradaria que hi hagués partides específiques per a la rehabilitació energètica dels edificis.

Com hem conegut d’experiències ja comptabilitzades a Grècia (Balaras CA, 2007), es poden assolir reduccions de consums en calefacció que van del 33% al 60% si s’actua incorporant aïllament en les envoltants dels edificis; del 16% al 21% amb els canvis de fusteries, i del 14% al 20% amb la col·locació de dobles vidres en finestres. A Dinamarca, (Engelund, et al., 2009) les reduccions de consums en calefacció també han arribat fins a un 60% quan s’ha actuat en tancaments, cobertes i terres en contacte amb el terreny.

Tot i que estem d’acord en que millorar les transmissibilitats dels paraments opacs és una bona estratègia d’actuació sobre el parc edificat, volem fer alguna consideració. Si l’aïllament es col·loca per l’exterior (sistema SATE), que és tèrmicament la millor solució, cal instal·lar bastides i en aquests moments el cost d’aquestes intervencions es troba entre els 35/45 €/m<sup>2</sup> de façana, el que implica períodes de retorn a llarg termini (entre 15/20 anys). Si l’edifici està en bones condicions o és relativament nou, es fa difícil convèncer als gestors de la idoneïtat d’aquesta intervenció, i si és un edifici catalogat i/o amb interès patrimonial, evidentment no es pot aïllar per l’exterior.

Per altra banda, les parets molt ben aïllades són una solució idònia per a zones climàtiques fredes, sense estius calorosos, però en el cas de Barcelona, i per extensió la conca de la Mediterrània, si “emboliquem” els edificis amb un bon abríc per protegir-lo del fred de l’hivern, se’ns fa molt difícil treure l’abríc quan arriba la calor, amb la qual cosa, i és un efecte que hem observat a partir de les simulacions energètiques, els edificis redueixen la seva demanda en calefacció però augmenten la

LA DESPESA REALITZADA DURANT ELS ANYS 2012 I 2013, ÉS LA SEGÜENT:

	2012		2013	
	Reforma, ampliació i millora	Noves construccions i grans reformes	Reforma, ampliació i millora	Noves construccions i grans reformes
Ajuntament Barcelona	8.852.672 €	44.338.801 €	9.329.927 €	2.640.718 €
Departament Ensenyament	1.736.336 €	8.678.487 €	1.500.000 €	1.500.000 €
<b>Total</b>	<b>10.589.008 €</b>	<b>53.017.288 €</b>	<b>10.829.927 €</b>	<b>4.140.718 €</b>

Fig. 13 Quadre resum de la despesa realitzada durant els anys 2012 i 2013 en els centres escolars gestionats pel Consorci d'Educació de Barcelona. Font (Consorci d'Educació de Barcelona, 2014)

demanda en refrigeració. Aquesta és una qüestió que cal tenir molt en compte, ja que hores d'ara els edificis escolars no disposen, en general, de sistemes de refrigeració (tret d'instal·lacions puntuals). Si les condicions de confort a l'estiu empitjoren, es corre el perill de que comencin a instal·lar-se aparells d'aire condicionat, que a més, es podran justificar a partir de la premissa que s'ha reduït el consum energètic, amb el perillós "efecte rebot". Cal recordar que Espanya mostra els seus pics de consum energètic precisament a l'estiu degut a les necessitats de refrigeració (o als altíssims estàndards de confort que volem, a temperatures de consigna absurdes o, senzillament, al malbaratament de l'energia).

Darrerament, des del Laboratori de Materials, hem estat treballant en solucions per a millorar la transmitància dels tancaments de façana des de l'interior. En concret, s'estan analitzant les prestacions tèrmiques d'unes cortines translúcides que incorporen un material aïllant a l'interior i que tenen l'avantatge que es poden retirar quan no són necessàries.

Les intervencions de millora de l'envolupant dels edificis poden incorporar altres valors mediambientals, i n'és un exemple la proposta de convertir les cobertes dels edificis, en el nostre entorn generalment planes, en cobertes enjardinades. Les avantatges mediambientals de les cobertes verdes són moltes, però també és cert que incorporar-les en edificació existent comporta algunes dificultats.

Creiem que aquesta línia de treball de les cobertes enjardinades podria tenir-se en consideració en aquells edificis que es troben ubicats en zones amb poca zona verda, i en aquells edificis que tinguin més problemes de manca d'aïllament en coberta o amb una superfície específica d'aquesta major. Seria el cas del TFG07, un CEIP, amb els consums més elevats per m<sup>2</sup> de la mostra, amb una relació coberta/volum alta, i ubicat al barri de Sant Andreu. Aquest tipus d'intervenció a més involucra a l'estudiantat, que es pot fer càrrec tant de la presa de decisions en quant al tipus de vegetació que s'ha de plantar com amb la cura posterior de la zona enjardinada. I no oblidar la possibilitat d'incorporar elements vegetals verticals que proporcionin ombres a les parets més exposades.

En quant a les finestres dels edificis, hi ha un cert consens en que és eficient fer-ne la substitució quan les transmitàncies són elevades o les infiltracions d'aire són excessives, però aquesta mesura cal prendre-la també amb cautela. Coincidim amb (Perez, et al., 2009), en que en climes càlids i humits com el de Barcelona, hi ha moltes variables que cal contemplar: l'aïllament i la permeabilitat a l'aire

estan relacionades també amb les infiltracions i amb les possibilitats de ventilacions nocturnes; la dimensió de les fusteries és rellevant; les proteccions solars són imprescindibles per protegir de l'excés d'insolació tot i que siguin mesures que no es llegeixin en clau energètica però sí en relació a garantir el confort interior; les possibilitats dels diferents tipus d'envidrament; la col·locació de safates reflectants o el color de les fusteries, etc.

També considerem que cal anar més enllà en l'estudi de les finestres i fusteries, com assenyalen (Nicklas, et al., 1996): a més de tenir en compte l'optimització de la reflectància de la llum a partir del color de les parets i sostres, es poden incorporar elements blancs en els brancals de les finestres (el que permet reduir-ne la superfície fins a un 10%) o col·locar safates lumíniques.

La llista d'estratègies per millorar el comportament de les parets i els possibles estalvis s'ha anat complimentant a mida que avançava la recerca i la lectura de diferents experiències i, tot i no voler fer-ne un catàleg, podem identificar algunes de les següent propostes passives:

- Pel que fa als tancaments verticals: incorporar façanes ventilades o dobles façanes; o parets amb acumulació de calor latent
- Pel que fa a les fusteries: substituir els tipus de finestres per altres de majors prestacions: fusteries d'aerogels, fusteries amb càmera d'aire, fusteries amb vidres reflectants, filmines de partícules suspeses, elements hologràfics, millora dels marcs, etc.
- En relació a les cobertes: cobertes lleugeres; cobertes ventilades o microventilades; voltes i cúpules; cobertes reflectants o fredes; cobertes enjardinades (que segons alguns autors poden significar estalvis de 70-90% en climatització a l'estiu i 10-30% a l'hivern); cobertes fotovoltaiques; o cobertes refredades per evaporació.
- En general, en quant a l'aïllament tèrmic: estratègies en el sentit d'augmentar la massa, incorporació de materials amb canvi de fase (Phase Change Materials, PCM's); millor selecció dels aïllaments; treballar des de la inèrcia tèrmica, etc.
- Estratègies relacionades amb les infiltracions d'aire i la ventilació; factors que afecten a les infiltracions; verificació de les infiltracions de pol·lució.
- Fer diagnòstics de les envolupants a partir d'assaigs i maquinari: termografies; diagnosi de les fusteries; de les infiltracions i pèrdues; dels ponts tèrmics.
- Potenciar i realitzar el manteniment de l'envolupant.
- Treballar des dels programes de simulació per avaluar les limitacions de les demandes.



Abans de dur a terme qualsevol actuació creiem que és imprescindible fer ús dels programes de simulació, que permeten avaluar energèticament les demandes dels edificis abans i després de la intervenció i, en conseqüència calcular els potencials d'estalvi. Però cal tenir en compte que els programes són aplicables en casos concrets i per a aquells edificis dels quals es disposa de suficient informació com per fer una avaluació fiable. En el cas dels centres escolars públics de Barcelona (que són l'objecte d'aquesta recerca) hem comprovat que, efectivament es pot treballar de manera individualitzada en edificis als quals es pot accedir, dels que es disposa de dades fiables i amb una certa predisposició i actitud col·laborativa per part dels gestors dels centres. Tot i així, les Certificacions energètiques que hem realitzat durant els treballs de recerca d'aquesta tesi amb l'ajut dels programes CALENER o Ce3X, en alguns casos proporcionen resultats que, com a poc, resulten sorprenents, i que ens obliguen a fer una lectura acurada i qüestionar tant els programes com les dificultats per obtenir les dades imprescindibles.

Per altra banda, també podem concloure que els programes de simulació són una magnífica eina per projectar i definir els edificis en la seva fase de disseny, però que quan es pretén treballar en edificació existent, les dades reals de consum haurien de prevaler per sobre de les demandes teòriques que els programes calculen. Com ja han detectat alguns autors, els resultats dels programes mostren, a vegades, demandes energètiques superiors als consums que efectivament es produeixen, el que es pot relacionar amb problemes de manca de confort (si l'edifici necessita més energia que la que realment consumeix és possible que sigui perquè no hi ha sistemes de climatització, per exemple) o bé que en els programes s'han d'introduir les excepcionalitats de funcionament específiques dels centres escolars (els períodes no lectius que coincideixen amb els mesos més calorosos, els períodes de vacances, o la coincidència dels horaris lectius amb els de llum diürna, per exemple).

Contrastar les simulacions amb les realitats també permet detectar altres disfuncions. Per exemple, si la simulació d'un edifici ens proporciona unes dades de demanda energètica que són menors que els consums que efectivament s'estan produint, es pot deduir que potser hi ha problemes de gestió dels sistemes. És a dir, i posant un exemple extrem, si una escola té la temperatura de consigna del sistema de calefacció a 28°C perquè la persona que gestiona el termòstat està en un espai mal calefaccionat, pot comportar que en altres espais es tinguin, contràriament, les finestres obertes (i que és una realitat que hem observat).

### 7.5.3 Establir un Pla d'Actuacions per a la renovació i millora de l'eficiència dels sistemes

Hem trobat alguns casos entre la mostra d'edificis escolars analitzada durant el transcurs de la nostra recerca en que la línia de treball de la substitució dels equips obsolets o de millora de la instal·lació a partir d'estratègies diverses com la sectorització dels espais, la regulació individualitzada dels radiadors, la incorporació de termòstats que permetin regular i diferenciar temperatures segons els usos de les aules, la millora de l'aïllament dels conductes de distribució, o fins i tot la substitució de les calderes tradicionals que funcionen a partir d'energies d'origen fòssil per noves calderes de biomassa (que no estalvien energia però la font energètica és renovable), per exemple proporcionen estalvis suficientment significatius com per considerar aquesta línia d'actuació.

Les simulacions efectuades per (Russell, 2007) han arribat a quantificar els marges d'eficiència energètica fins al 64% dels consums a partir del canvi d'equips de climatització obsolets i al voltant del 31% en millores de l'eficiència dels sistemes d'enllumenat acompanyat d'altres mesures relacionades amb el bon ús i gestió dels sistemes, o fins a un 80% si s'incorporen innovacions tecnològiques com la substitució dels balasts electromagnètics per balasts electrònics o la incorporació de detectors de presència i/o els sensor de llum, amb retorns econòmics al voltant dels 10 anys.

Durant les visites als centres, hem detectat que hi ha un nombre substancial d'edificis escolars amb instal·lació de plaques solars per a l'ACS, que es van generalitzar a partir de l'entrada en vigor de l'Ordenança Solar de Barcelona. Val a dir que, si no totes, la majoria d'aquestes instal·lacions no estan en ús per diferents motius:

- perquè la seva integració arquitectònica s'ha fet de manera poc acurada i el manteniment de la instal·lació és difícil si no impossible (sense accés a les cobertes on es troben ubicades, per exemple)
- perquè mai s'han posat en funcionament
- perquè no hi ha un servei de manteniment ni del propi centre ni de l'administració
- perquè la demanda d'ACS és tan petita que, en paraules dels mantenidors de les escoles, “no surt a compte”

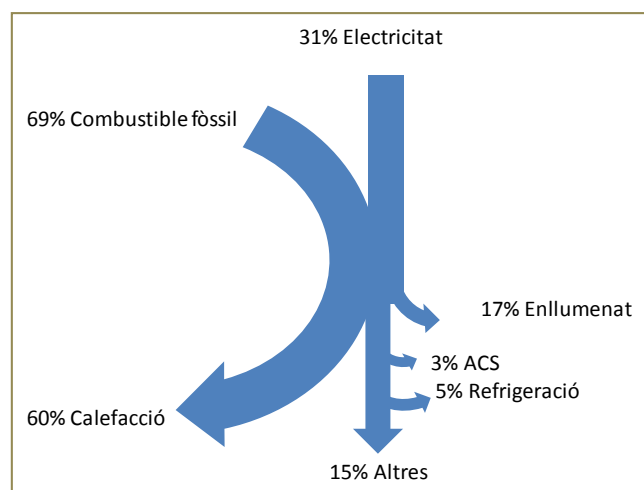


Fig. 14 Distribució de recursos per a edificis escolars segons el Diagrama de Sankey. Font: (Otero Prim, 2011)

- perquè les instal·lacions no funcionen adequadament i generen problemes de salubritat.

Considerem que aquesta realitat és, si més no, preocupant. Cal establir un pla de recuperació del funcionament d'aquests sistemes, ja instal·lats, i que amb poca inversió poden proporcionar estalvis substancials, com indiquen (Balaras CA, 2007) que quantifica els estalvis en un 80% del consum associat a la producció d'ACS, o (Engelund, et al., 2009) que també quantifiquen els estalvis entre el 50% i el 80%, a més de la posta en valor de les inversions fetes.

Al marge del consum elèctric destinat a enllumenat, cal considerar també la problemàtica dels equips que funcionen amb subministrament elèctric i que signifiquen, segons el diagrama de Sankey per a centres docents (Otero Prim, 2011) (Fig. 14), el 15% del consum. Hem detectat una escola que disposa de neveres i congeladors industrials en funcionament 24 hores/dia 7 dies a la setmana, que només s'utilitzen dos dies durant dues hores per conservar el menjar que arriba dels serveis de Càtering.

Les inversions necessàries per millorar el rendiment dels sistemes també són, a vegades, costoses, per la qual cosa s'han de buscar experiències imaginatives que les facin viables. A Alemanya, l'estratègia d'involucrar a inversors externs s'ha traduït en una experiència dins el marc de referència d'un programa solar promogut pel Ministeri d'Economia, amb un doble objectiu: reduir el consum en enllumenat 50W/estudiant involucrant als usuaris i incorporant mesures d'estalvi en els sistemes; i generar altres 50 W/estudiant a partir de la implantació de plaques solars fotovoltaïques a les cobertes.

#### 7.5.4 Proposar Plans d'inversions i considerar els retorns econòmics, socials i ambientals

Pel que fa a la rendibilitat de les inversions que es poden fer per millorar l'eficiència energètica dels edificis escolars, la majoria d'autors les avaluen, lògicament, a partir dels retorns econòmics de les inversions, calculats en base a l'energia que es deixa de consumir, i gran part de les millores importants tenen retorns de la inversió de com a mínim 15 anys, (Balaras CA, 2007).

Evidentment, per decidir quines actuacions es voldran dur a terme per millorar l'eficiència energètica dels edificis caldrà doncs avaluar el cost de les intervencions, per exemple la substitució de finestres amb costos al voltant dels 300 €/m<sup>2</sup> de finestres o la incorporació d'aïllament en les parts opaques de 50-60€/m<sup>2</sup>, el que significa períodes de retorn al voltant dels 20-25 anys i que evidentment són poc encoratjadors si les actuacions no van incorporades a un projecte de rehabilitació global de l'edifici.

El càlcul del retorn econòmic es fa habitualment a partir de la simulació de la reducció de la demanda tèrmica dels edificis i incorporant els factors de previsió d'augment del cost de l'energia, però en cas dels estudiats s'ha incorporat el cost de la repercussió econòmica que suposa per a un país com Espanya (el segon país que més paga després del Japó!!!), el pagament dels drets d'emissions associades de CO<sub>2</sub>.

Coincidim a més amb altres autors, (Lingane A, 2004) (Mandel, 2010) (Williams J, 2009) en que els retorns no només s'han d'avaluar en clau econòmica, i ens sembla molt interessant, per exemple, la incorporació d'un indicador social (Social Return Of Investment SROI) que avalua els beneficis de la millora de la qualitat de l'aire interior amb la millora de l'aprenentatge, i fins i tot amb la millora de la salut dels usuaris que també s'avalua en clau econòmica. Per tant, les propostes d'intervenció han d'anar lògicament en la línia de la reducció de consums, però sense oblidar que, com apunten la majoria dels autors consultats, han de garantir si no millorar el confort dels espais interiors. Aquesta premissa és fonamental ja que les condicions ambientals estan estretament lligades a la qualitat educativa, com han senyalat diversos autors (Schneider, 2002), (Graça, et al., 2007) (Graça, et al., 2004) (Graça, et al., 2007), (American Speech-Language-Hearing Association (ASHA), 2003) (Metha, et al., 1999), (Olson, et al., 2003) (Kolokotroni, et al., 2001).

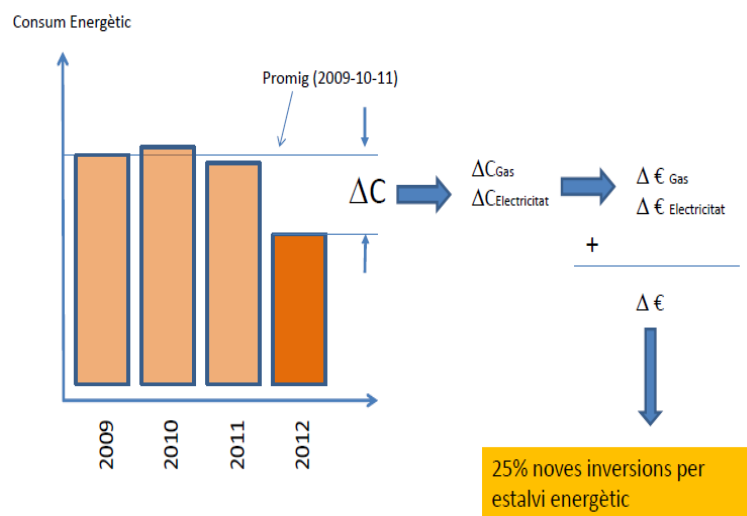


Fig. 15 Esquema del Pla d'inversions a partir de l'estalvi energètic assolit per als edificis de la UPC. Font (CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya)

Creiem fermament que els estalvis energètics que s'aconsegueixin, convertits en estalvis econòmics, s'han de reinvertir en noves mesures d'eficiència energètica (com fa la UPC a partir dels POEs) (Fig. 15) però també en una major disponibilitat econòmica per a altres necessitats: material socialitzat, borses de finançament per a activitats extraescolars, beques menjador, etc. Hi ha també el "retorn" en prestigi, amb el reconeixement com a escola sostenible i la ciutat com a institució beneficiària, el que permet fer inversions en nous equipaments, major confort i satisfacció dels usuaris, i un aprenentatge participatiu en clau energètica.

Com hem vist abastament, el ventall d'actuacions és ampli i cal trobar l'equilibri entre els guanys o beneficis energètics i ambientals que es poden aconseguir amb la despesa econòmica de les intervencions. En aquest sentit hem vist períodes de retorn força ràpids (20 mesos, 2 o 3 anys); estratègies que impliquen l'entrada d'inversors externs que exploten les instal·lacions fotovoltaïques instal·lades a les escoles; la participació de les administracions i dels propis usuaris per tal d'actuar tots a una en els edificis escolars; grans intervencions en edificis històrics que precisaven d'una rehabilitació integral i que, encertadament, s'ha fet també en clau energètica; solucions de "microcirurgia" en mòduls prefabricats, petites escoles rurals o llars d'infants amb necessitats específiques; i en resposta als condicionants territorials on es troben ubicats els edificis la incorporació d'energies renovables.

## Taula de figures

Fig. 1 Nombre de Centres Educatius a Catalunya any 2013. Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. De (Ferrer, et al., 2015) .....	284
Fig. 2 Nombre de centres, segons tipologia, a Barcelona. Font (Consorci d'Educació de Barcelona, 2014) .....	284
Fig. 3 Taula resum de ratis de consum segons diverses fonts.....	285
Fig. 4 Gràfic radial amb els indicadors definits. ....	287
Fig. 5 Marges de millora dels edificis escolars amb majors consums energètics.....	288
Fig. 6 Mapa del Projecte "School VentCool" amb els diferents paquets de treball WP i exemples de projectes (WP6). Font: (School Ventcool, 2010). ....	289
Fig. 7 Metodologia per elaborar un Pla Mestre i realitzar la selecció d'un cas d'èxit. Font (School Ventcool, 2010) .....	290
Fig. 8 Metodologia 50/50 en 9 passes que involucra als usuaris d'edificis en el procés de gestió energètica. Font: (Diputació de Barcelona).....	290
Fig. 9 Cartell del concurs U4Energy. La pàgina web disposa de diferents pràctiques educatives per a involucrar a l'estudiantat dels centres en l'eficiència energètica. Font: (Energy Europe programme, 2012) .....	291
Fig. 10 Portada de la publicació de l'Informe Final de l'Observatori d'Eficiència Energètica. Font (Energy Efficiency Watch, 2013) .....	295
Fig. 11 Grau de compliment dels països membres de la UE en quant a emissió de gasos efecte hivernacle. Font: (European Environment Agency, 2014).....	296
Fig. 12 Exemple d'acció del projecte Euronet 50/50 per motivar als conserges dels centres en l'eficiència energètica. Font: (Diputació de Barcelona, 2014).....	298
Fig. 13 Quadre resum de la despesa realitzada durant els anys 2012 i 2013 en els centres escolars gestionats pel Consorci d'Educació de Barcelona. Font (Consorci d'Educació de Barcelona, 2014).....	301
Fig. 14 Distribució de recursos per a edificis escolars segons el Diagrama de Sankey. Font: (Otero Prim, 2011).....	306
Fig. 15 Esquema del Pla d'inversions a partir de l'estalvi energètic assolit per als edificis de la UPC. Font (CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya) .....	308



## Bibliografia

**AENOR** Certificación del Sistema de Gestión Energética ISO 50001 [En línia]. - AENOR, novembre / 2011. - 6 / abril / 2015. -

[http://www.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/mab\\_gestion\\_energetica.asp#.VSEdyCx5H-u](http://www.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/mab_gestion_energetica.asp#.VSEdyCx5H-u).

**Agencia de l'Habitatge de Catalunya** Acord de Govern sobre l'Estratègia catalana per a la renovació energètica d'edificis [En línia]. - 2014. - 29 / març / 2015. -

[http://www.agenciahabitatge.cat/wps/wcm/connect/d0cf9500434354aba318ebe4abf159ca/Acord+Govern\\_RENOVACI%C3%93+ENERG%C3%88TICA+EDIFICIS%2BESTRAT%C3%88GIA.pdf?MOD=AJPERES](http://www.agenciahabitatge.cat/wps/wcm/connect/d0cf9500434354aba318ebe4abf159ca/Acord+Govern_RENOVACI%C3%93+ENERG%C3%88TICA+EDIFICIS%2BESTRAT%C3%88GIA.pdf?MOD=AJPERES).

**American Speech-Language-Hearing Association (ASHA)** Guidelines for addressing acoustics in educational settings [Informe]. - Rockville : ASHA, 2003.

**Balaras CA Gaglia AG, Georgopoulos E, Misasgedis S, Sarafidis Y, Lalas DP** European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - Vol. 42. - p. 1298-1314.

**CENTRE per la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya** Sirena [En línia]. - 17 / febrer / 2013. - <http://www.upc.edu/sirena/>.

**Claridge David E. [et al.]** Can you achieve 150% of predicted retrofit savings? Is it time for recommissioning? [Revista]. - Texas : [s.n.], 1994.

**Claridge David E. [et al.]** Can you achieve 150% of predicted retrofit savings? Is it time for recommissioning? [Revista]. - Texas : [s.n.], 1994.



**Consorci d'Educació de Barcelona** Memòria d'Activitats 2013-2014 [En línia]. - Consorci d'Educació de Barcelona, 2014. - 4 / abril / 2015. - [http://www.edubcn.cat/rcs\\_gene/extra/01\\_documents\\_de\\_referencia/935\\_Memoria\\_2013\\_2014.pdf](http://www.edubcn.cat/rcs_gene/extra/01_documents_de_referencia/935_Memoria_2013_2014.pdf).

**Corgnati S.P., Corrado V. i Filippi M.** A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - Vol. 40. - p. 801-809.

**Desideri U i Proietti S.** Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2002. - 34. - p. 1003-1016.

**Diputació de Barcelona** e-ambient [En línia]. - 2014. - 4 / abril / 2015. -

[http://www.diba.cat/web/mediambient/llistabutlletins/-/butlletidigital/detallIndex/EAMBIENT/58/32476?controlPanelCategory=portlet\\_BoletinPrensa\\_WAR\\_BoletinPrensaportlet](http://www.diba.cat/web/mediambient/llistabutlletins/-/butlletidigital/detallIndex/EAMBIENT/58/32476?controlPanelCategory=portlet_BoletinPrensa_WAR_BoletinPrensaportlet).

**Diputació de Barcelona** Euronet 50/50 [En línia]. - 27 / març / 2011. - <http://www.euronet50-50.eu/>.

**Diputació de Barcelona** Pacte d'alcaldes i alcaldesses [En línia]. - Diputació de Barcelona, 2014. - 1 / abril / 2015. - <http://www.diba.cat/web/mediambient/pactecalcales>.

**Energy Efficiency Watch** [En línia]. - 2013. - 4 / abril / 2015. - <http://energy-efficiency-watch.org/index.php?id=158>.

**Energy Europe programme** U4Energy [En línia]. - U4Energy, 2012. - 5 / abril / 2015. - <http://www.u4energy.eu/web/guest/upcoming-competition>.

**Engelund Kirsten, Mork Ove i Buvik Karin** Innovative retrofit to improve energy efficiency in public buildings [Conferència] // ECEEE 2009 Summer Study. Act! Innovate! Deliver! Reducing Energy Demand. - 2009. - p. 907-918. - ISBN: 978-91-633-4454-1.

**European Commission** Directiva 2012/27/EU del Parlament Europeu i el Consell [En línia]. - 2012. - 19 / maig / 2013. -

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:EN:PDF>.

**European Environment Agency** European Environment Agency [En línia]. - 2014. - 4 / abril / 2015. -

[http://www.eea.europa.eu/highlights/eleven-countries-exceed-air-pollutant?&utm\\_campaign=newsletter.2014-06-12.9029262235&utm\\_medium=email&utm\\_source=EEASubscriptions](http://www.eea.europa.eu/highlights/eleven-countries-exceed-air-pollutant?&utm_campaign=newsletter.2014-06-12.9029262235&utm_medium=email&utm_source=EEASubscriptions).

**European Parliament and of the Council** Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC. [Revista] // Official Journal of the European Communities. - 2006. - Vol. 27. - p. 64-85.

**Ferrer Clara i Bertomeu Joan** Camins per a transformar les escoles mediterrànies en NZEB. - Barcelona : UB-UPC, 2015. - Treball Final de Màster Interuniversitari UB-UPC d'Enginyeria en Energia.

**Fiaschi Daniele, Bandinelli Romeo i Conti Silvia** A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2011. - 97. - p. 101-114.

**Gaitani N. [et al.]** Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2010. - 87. - p. 2079-2086.

**Graça VACD, Kowaltowski DCK i Petreche JRD** An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil [Revista] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - 42. - p. 984-999.

**Graça Valéria Azzi Collet da i Kowaltowski Doris Catharine Cornélie Knatz** Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério [Revista]. - Porto Alegre : Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004. - 3 : Vol. 4. - p. 19-35.

**ICAEN** Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 [En línia]. - Generalitat de Catalunya, 2012. - 5 / abril / 2015. - [http://icaen.gencat.cat/web/.content/08\\_institut/documents/arxiu/pecac\\_informe\\_resum\\_sessions.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/08_institut/documents/arxiu/pecac_informe_resum_sessions.pdf).

**Kolokotroni M. [et al.]** An investigation of passive ventilation cooling and control strategies for an educational building [Revista] // Applied Thermal Engineering. - [s.l.] : Pergamon, 2001. - 21. - p. 183-199.

**Lingane A Olsen S** Guidelines for social return on investment [Informe]. - [s.l.] : Calif Manage Rev., 2004.

**Madeira City Schools. Planning Commission** Energy Efficiency for Cost Savings [Informe]. - Madeira (Portugal) : [s.n.], 2009.

**Mandel** Towards a re-environmental economics approach to cost-benefit analysis [Informe]. - [s.l.] : Int J Green Econ, 2010.

**Metha M., Johnson J. i Rosafort J.** Architectural acoustics: principles and design [Llibre]. - [s.l.] : Englewood Cliffs, 1999.

**Nicklas Michael i Atre Umesh** Comparison of daylight strategies for schools [Informe]. - Raleigh : Innovative Design, Inc., 1996.

**Nicklas Michael i Atre Umesh** Comparison of daylight strategies for schools [Informe]. - Raleigh : Innovative Design, Inc., 1996.

**Oldewurtel F. [et al.]** Building Control Storage Management with Dynamic Tariffs for Shaping Demand Response [Conferència]. - [s.l.] : Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, 2011.

**Olson Stephen L. i Kellum Shana** The impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools [Informe]. - [s.l.] : Leonardo Academy Inc, 2003.

**Otero Prim D., Villarrubia López, M.** Metodología para auditorías energéticas en el sector terciario: centros hoteleros, docentes, hospitalarios y comerciales. - Barcelona : UP-UPC, 2011. - Projecte Final de Màster.

**Perez Yael Valerie i Capeluto Isaac Guedi** Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption [Revista] // Applied Energy. - [s.l.] : Elsevier, 2009. - 86. - p. 340-348.

**Rodríguez González A.** Towards a universal energy efficiency index for buildings [Revista] // Energy and Buildings. - 2011. - 4 : Vol. 43. - p. 980-987.

**Rosell J.R. i Bosch M.** En els 25 anys d'UpiC [Apartat llibre] / autor llibre UpiC. - Barcelona : Associació UpiC, 2014.

**Russell Layberry, Hinnells, Mark** Transforming UK non-residential buildings: achieving a 60% cut in CO2 emissions by 2050 [Conferència] // ECEEE 2007 Summer Study. Saving Energy - Just do it!. - 2007. - p. 1001-1104. - ISBN: 978-91-633-0899-4.

**Schneider Mark** Do School Facilities Affect Academic Outcomes? [Informe]. - Washington : Education Resources Information Center, ERIC, 2002. - ED470979.

**School Ventcool** School Ventcool [En línia]. - Passiefhuis-Platform vzw, 2010. - 5 / abril / 2015. - <http://schoolventcool.eu/node/6>.

**Theodosiou T.G. i Ordoumpozanis K.T.** Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece [Revista] // Energy and Buildings. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - 40. - p. 2207-2214.

**Williams J Wilkinson K, Castillo ME, Espinoza M, Leslie C, Nudell H, Mora C, Vaislic M** Four steps to sustainability [Informe]. - [s.l.] : Sustain, 2009.

