

## **TESIS DOCTORAL**

### **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

Fabian López Plazas  
Doctorando

Albert Cuchí Burgos  
Tutor y director

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Departament de Construccions Arquitectòniques I  
Programa Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura

Barcelona, febrero de 2006



# Índice tomo I

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
a. Objetivo .....	3
b. Motivación.....	4
c. Planteamiento del problema: definición de la hipótesis .....	6
d. Metodología .....	9
e. Contenido de la tesis.....	11

## 1. Capítulo **Ámbito de estudio**

1.1. Los flujos de energía en la edificación.....	15
1.2. Eficiencia energética .....	18
1.3. Demanda energética de los edificios .....	22
1.3.1. Definición de la demanda .....	22
1.3.2. Análisis de la demanda: tipos de análisis .....	22
1.3.2.1. Métodos de estimación global a partir de valores de referencia .....	23
1.3.2.2. Métodos basados en el balance energético del edificio	
1.3.2.2.1. Según el tipo de análisis.....	24
1.3.2.2.2. Según el régimen de transferencia de calor considerado .....	25
1.4. El Uso .....	31
1.5. La gestión .....	31
1.6. El impacto ambiental de los edificios.....	32
1.7. Marco normativo y estado del arte.....	33
1.7.1. La Directiva europea de eficiencia energética de los edificios .....	33
1.7.2. Los "Energy performance contracts" (EPC) .....	34

## 2. Capítulo **Definición de la muestra a estudiar**

2.1. Selección de la muestra .....	39
2.2. Trabajos preliminares de investigación .....	39
2.3. Edificios seleccionados .....	41
2.3.1. Edificios en campus universitario	
2.3.1.1. Características generales .....	42
2.3.1.2. Tipología arquitectónica y constructiva .....	43
2.3.1.3. Características de las instalaciones .....	44
2.3.2. Edificios autónomos	
2.3.2.1. Características generales .....	45

2.3.2.2.	Tipología arquitectónica y constructiva .....	47
2.3.2.3.	Características de las instalaciones .....	48

### **3. Capítulo Trabajo de campo: levantamiento de datos** **Pág.**

---

3.1.	Metodología .....	51
3.2.	Inventario de las características de los edificios: levantamiento de datos estáticos .....	52
3.3.	Seguimiento del consumo y la ocupación de los edificios: levantamiento de datos dinámicos .....	54
3.3.1.	Seguimiento detallado del consumo de recursos energéticos .....	54
3.3.2.	Seguimiento detallado de la ocupación de los edificios.....	56
3.3.3.	Seguimiento detallado de las condiciones climáticas .....	59
3.4.	Definición de índices de referencia .....	60
3.5.	Resultados del trabajo de campo : Índices obtenidos .....	62
3.6.	Análisis y comentarios de los índices obtenidos .....	65

### **4. Capítulo Desarrollo de la hipótesis**

---

4.1.	Evaluación de la demanda energética .....	69
4.1.1.	Herramientas y programas utilizados .....	69
4.1.2.	Resultados obtenidos para la muestra estudiada	
4.1.2.1.	Evaluación de la demanda en edificios autónomos .....	73
4.1.2.2.	Evaluación de la demanda en edificios en Campus .....	74
4.1.3.	Análisis de resultados obtenidos: valores de demanda energética a considerar .....	77
4.2.	Evaluación de rendimiento medio de los sistemas .....	80
4.2.1.	Evaluación del rendimiento a partir de valores de referencia .....	80
4.2.2.	Evaluación del rendimiento con herramientas informáticas .....	81
4.2.3.	Resultados obtenidos y valores de rendimiento a considerar.....	82
4.3.	Evaluación del factor de gestión	
4.3.1.	Metodología utilizada .....	84
4.3.2.	Resultados obtenidos: valores a considerar.....	88
4.3.3.	Análisis de resultados obtenidos .....	89

**5. Capítulo. Verificación y análisis de la hipótesis** **Pág.**

---

<b>5.1.</b>	<b>Resolución de la ecuación planteada .....</b>	<b>93</b>
<b>5.2.</b>	<b>Análisis de la demanda "Ajustada" .....</b>	<b>97</b>
<b>5.3.</b>	<b>Análisis del uso de los recursos energéticos .....</b>	<b>101</b>
<b>5.4.</b>	<b>Análisis de impacto ambiental asociado .....</b>	<b>103</b>
<b>5.5.</b>	<b>Escenarios de optimización .....</b>	<b>107</b>
<b>5.5.1.</b>	<b>Escenario 1. Optimizando la demanda .....</b>	<b>107</b>
<b>5.5.2.</b>	<b>Escenario 2. Optimizando el rendimiento de los sistemas .....</b>	<b>109</b>
<b>5.5.3.</b>	<b>Escenario 3. Optimizando factor de gestión .....</b>	<b>111</b>
<b>5.5.4.</b>	<b>Resumen de escenarios .....</b>	<b>113</b>
<b>5.5.5.</b>	<b>Alternativas de implementación de escenarios.....</b>	<b>116</b>

**6. Capítulo. Conclusiones**

---

<b>6.1.</b>	<b>Conclusiones generales .....</b>	<b>119</b>
<b>6.2.</b>	<b>Conclusiones por ámbitos específicos .....</b>	<b>120</b>
<b>6.3.</b>	<b>Discusión final .....</b>	<b>124</b>
<b>6.4.</b>	<b>Líneas de investigación abiertas .....</b>	<b>125</b>

**7. Bibliografía..... 129**

---

**8. Ponencias presentadas y artículos publicados..... 139**

---

# Índice tomo II

<b>Anexos</b>	<b>Pág.</b>
<hr/>	
<b>1. Anexo 1. Trabajo de campo: Levantamiento de datos.</b>	
1.1. Resumen de datos obtenidos por edificio.....	7
1.2. Resumen de datos dinámicos obtenidos por edificio .....	16
<b>2. Anexo 2. Evaluación de la demanda energética</b>	
2.1. Evaluación de la demanda por el método de los grados día .....	37
2.2. Evaluación de la demanda con la herramienta ARCHISUN .....	52
2.3. Evaluación de la demanda con la herramienta BALANÇ ENERGETIC .....	67
2.4. Evaluación de la demanda con la herramienta LIDER .....	84
<b>3. Anexo 3. Evaluación del rendimiento medio de los sistemas</b>	
3.1. Características de las instalaciones .....	115
3.2. Evaluación del rendimiento utilizando valores de referencia .....	130
3.3. Evaluación con la herramienta CALENER .....	135
<b>4. Anexo 4. Evaluación del factor de gestión</b>	
4.1. Parámetros del análisis .....	169
4.2. Resultados obtenidos por edificio .....	170



*A PAULITA*

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A Albert Cuchí por su impecable dirección y tutoría de este trabajo y por ser un permanente apoyo para llevar a cabo esta tesis.

A Arcadio de Bobes del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I en la ESTAV, a quien quiero agradecer su generosidad para facilitarme herramientas y conocimientos que han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo, además de su disposición para responder a mis dudas y consultas de forma paciente y desinteresada.

A Rafael Serra y Jaume Roset quienes dedicaron todo su interés y disponibilidad en muchos momentos para resolver las dudas que un aprendiz como yo tiene al aproximarse a temas tan complejos.

A Jordina Vidal quien revisó este documento de forma exhaustiva y aportó comentarios y sugerencias de mucha utilidad.

A mis compañeros de Societat Orgànica, Albert y Gerardo, por su permanente apoyo, por la paciencia de leerse y revisar esta tesis de arriba a abajo y por el placer de compartir con ellos el proyecto que nos une en Sò.

A mis compañeros y amigos del CITIES por toda la buena energía y el afecto que me han dado mientras he trabajado con ellos en la UPC, en especial a Didac Ferrer quien ha apoyado este trabajo con mucho interés a través de los proyectos del Laboratori Real y por permitirme ser parte de su equipo de trabajo.

Esta tesis no ha tenido apoyo económico desinteresado de ninguna institución pública o privada, ha sido realizada gracias al esfuerzo personal y familiar, pero hubiera sido imposible llevarla a cabo sin el apoyo y el soporte de muchos familiares y amigos a quienes no menciono de forma individual pero no quiero dejar de expresarles mi agradecimiento.



---

## Índice de Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.0</b> Consumo energético anual estándar y emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas, para una vivienda tipo de Barcelona.	<b>16</b>
<b>Tabla 2.0</b> Muestra de edificios a estudiar seleccionados	<b>41</b>
<b>Tabla 2.1</b> Resumen de características generales edificios en campus	<b>43</b>
<b>Tabla 2.2</b> Resumen características principales de instalaciones. Edificios en campus.	<b>44</b>
<b>Tabla 2.4</b> Resumen características principales de instalaciones. Edificios autónomos	<b>48</b>
<b>Tabla 4.1</b> Resumen comparativo de las herramientas de análisis de la demanda energética utilizadas	<b>72</b>
<b>Tabla 4.2</b> Demanda energética anual edificaciones autónomas	<b>73</b>
<b>Tabla 4.3</b> Demanda energética anual edificios en campus	<b>76</b>
<b>Tabla 4.4</b> Valores de demanda energética anual ( <b>D</b> ) a considerar	<b>79</b>
<b>Tabla 4.5</b> Valores de rendimiento global obtenidos	<b>82</b>
<b>Tabla 4.6</b> Valores de <b>Ge</b> obtenidos	<b>88</b>
<b>Tabla 5.1</b> Resolución de la ecuación planteada	<b>94</b>
<b>Tabla 5.2</b> Comparativa del consumo energético obtenido y el consumo real	<b>95</b>
<b>Tabla 5.3</b> Análisis del "ajuste" de variables realizado en la obtención de <b>Ge</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 5.4</b> Análisis de la demanda corregida	<b>98</b>
<b>Tabla 5.5</b> Comparativa Consumo real – Demanda ajustada	<b>101</b>
<b>Tabla 5.6</b> Impacto ambiental asociado a la climatización de los edificios estudiados	<b>103</b>
<b>Tabla 5.7</b> Impacto ambiental asociado a la energía "sacrificada"	<b>104</b>
<b>Tabla 5.8</b> Escenario 1: optimizando la demanda	<b>107</b>
<b>Tabla 5.9</b> Escenario 2: optimizando el rendimiento medio de los sistemas	<b>109</b>
<b>Tabla 5.10</b> Escenario 3: optimizando el factor de gestión	<b>111</b>
<b>Tabla 5.11</b> Análisis escenario resumen	<b>114</b>
<b>Tabla 6.1</b> Características mínimas para una herramienta de evaluación de la demanda energética	<b>122</b>

---

# Índice de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
<b>Fig. 0.1</b> Evolución histórica del precio del petróleo.	<b>4</b>
<b>Fig. 0.2</b> Consumo de energía en los edificios en Cataluña 2003.	<b>5</b>
<b>Fig. 0.3</b> Esquema general de metodología	<b>10</b>
<b>Fig. 1.1</b> Fases del ciclo de vida de una edificación	<b>15</b>
<b>Fig. 1.2</b> Energía consumida para fabricar los materiales de 1m <sup>2</sup> de superficie construida de obra nueva en Cataluña.	<b>16</b>
<b>Fig. 1.3</b> Esquemas de trayectoria energética.	<b>19</b>
<b>Fig. 1.4</b> Mapa del rendimiento normalizado de una bomba de calor aire-aire en la península Ibérica	<b>20</b>
<b>Fig. 1.5</b> Rendimiento medio de calderas de baja temperatura condensación y estándar a plena carga y carga parcial según Directiva Europea 92/44/CE	<b>20</b>
<b>Fig. 1.6</b> Diagrama de Sankey de una instalación tipo de calefacción.	<b>21</b>
<b>Fig. 1.7</b> Demanda energética para calefacción y refrigeración en viviendas	<b>22</b>
<b>Fig. 1.8</b> Método L.T (Baker & Steemers) curvas tipo	<b>23</b>
<b>Fig. 1.9</b> Análisis de la demanda	<b>24</b>
<b>Fig. 1.10</b> Esquema de flujos de calor de un cerramiento	<b>25</b>
<b>Fig. 1.11</b> Transmisión de calor a través de un cerramiento en régimen estacionario	<b>27</b>
<b>Fig. 1.12</b> Conducción y acumulación de calor en una rodaja finita de espesor $\Delta x$	<b>29</b>
<b>Fig. 1.13</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> de origen energético per cápita (2002)	<b>32</b>
<b>Fig. 1.14</b> Esquema de contratación tipo EPC	<b>35</b>
<b>Fig. 2.0</b> Campus Nord. Módulo C-3: Fachada sur y planta tipo	<b>42</b>
<b>Fig. 2.1</b> Campus Nord. Módulo D-4: Fachada norte y planta tipo	<b>42</b>

---

<b>Fig. 2.2</b> Campus Nord. Módulo A-6: Fachada sur y planta tipo	<b>42</b>
<b>Fig. 2.3</b> Usos Módulos C-3, D-4 y A-6.	<b>43</b>
<b>Fig. 2.4</b> Edificio EPSEB Barcelona, vista general y planta tipo	<b>45</b>
<b>Fig. 2.5</b> Edificio ETSAB Barcelona, fachada norte y planta tipo	<b>45</b>
<b>Fig. 2.6</b> Edificio ETSAV Sant Cugat del Vallès, Fachada sur y planta tipo	<b>46</b>
<b>Fig. 2.7</b> Usos módulos EPSEB, ETSAB y ETSAV	<b>46</b>
<b>Fig. 3.1</b> Metodología del trabajo de campo	<b>51</b>
<b>Fig. 3.2</b> Formato levantamiento datos generales	<b>53</b>
<b>Fig. 3.3</b> Formato levantamiento de datos por local	<b>53</b>
<b>Fig. 3.4</b> Seguimiento detallado ON-LINE del consumo eléctrico	<b>54</b>
<b>Fig. 3.5</b> Datos de consumo cada 30 min. con analizador de red portátil	<b>55</b>
<b>Fig. 3.6</b> Equipos portátiles de medición y esquema de conexión	<b>55</b>
<b>Fig. 3.7</b> Cronograma de seguimiento de consumos por cuatrimestre académico	<b>56</b>
<b>Fig. 3.8</b> Formatos de levantamiento de datos de usuarios	<b>57</b>
<b>Fig. 3.9</b> Seguimiento del uso de los edificios: esquema para una semana tipo.	<b>58</b>
<b>Fig. 3.10</b> Ejemplo reporte base de datos usuarios. Comparativa de perfiles ocupación	<b>58</b>
<b>Fig. 3.11</b> Servei Metereològic de Catalunya registros metereológicos	<b>59</b>
<b>Fig. 3.12</b> Estación metereológica ETSAV. <i>Software Energy</i>	<b>60</b>
<b>Fig. 3.13</b> Índices por edificio	<b>61</b>
<b>Fig. 3.14</b> Resumen de índices obtenidos. Edificios en campus	<b>62</b>
<b>Fig. 3.15</b> Resumen índices obtenidos. Edificios autónomos	<b>63</b>
<b>Fig. 3.16</b> Ficha resumen de datos estáticos y dinámicos por edificio	<b>64</b>
<b>Fig. 4.1</b> Comparativo de demanda obtenida edificaciones autónomas	<b>74</b>
<b>Fig. 4.2</b> Comparativo de demanda obtenida edificios en campus	<b>76</b>
<b>Fig. 4.3</b> Perfil de consumo energético en kWh para un día tipo	<b>84</b>
<b>Fig. 4.4</b> perfil de ocupación en Nº de personas/hora para un día tipo	<b>84</b>
<b>Fig. 4.5</b> análisis perfiles de consumo y ocupación	<b>85</b>
<b>Fig. 4.6</b> Análisis consumo de recursos/parámetros de confort	<b>86</b>
<b>Fig. 4.7</b> Análisis gráfico del factor de gestión <i>Ge</i>	<b>87</b>

---

<b>Fig. 5.4</b> Análisis de la demanda ajustada <b><i>Da</i></b> respecto a la Demanda energética <b><i>D</i></b> en calefacción	<b>99</b>
<b>Fig. 5.5</b> Análisis demanda ajustada <b><i>Da</i></b> respecto a la Demanda energética <b><i>D</i></b> en refrigeración	<b>99</b>
<b>Fig. 5.6</b> Análisis de cada variable respecto al consumo real de energía <b><i>Cr</i></b> . período calefacción	<b>100</b>
<b>Fig. 5.7</b> Análisis demanda ajustada respecto al nivel "óptimo"	<b>102</b>
<b>Fig. 5.8</b> Impacto ambiental asociado al consumo de recursos energéticos	<b>104</b>
<b>Fig. 5.9</b> Análisis emisiones anuales asociadas a la ineficiencia	<b>105</b>
<b>Fig. 5.10</b> Comparación de emisiones innecesarias respecto al consumo total	<b>106</b>
<b>Fig. 5.11</b> Análisis escenario 1 período calefacción	<b>108</b>
<b>Fig. 5.12</b> Análisis escenario 2, período calefacción	<b>110</b>
<b>Fig. 5.13</b> Análisis escenario 3, período calefacción	<b>112</b>
<b>Fig. 5.14</b> Resumen de escenarios, calefacción	<b>113</b>
<b>Fig. 5.15</b> Potencial de ahorro energético escenario "Ideal". Calefacción	<b>115</b>
<b>Fig. 6.1</b> Dependencia funcional del consumo energético	<b>119</b>

---

## **1. Capítulo Ámbito de estudio**

---

- 1.1. Los flujos de energía en la edificación**
- 1.2. Eficiencia energética**
- 1.3. Demanda energética de los edificios**
  - 1.3.1. Definición de la demanda**
  - 1.3.2. Análisis de la demanda: tipos de análisis**
    - 1.3.2.1. Métodos de estimación global a partir de valores de referencia**
    - 1.3.2.2. Métodos basados en el balance energético del edificio**
      - 1.3.2.2.1. Según el tipo de análisis**
      - 1.3.2.2.2. Según el régimen de transferencia de calor considerado**
- 1.4. El Uso**
- 1.5. La Gestión**
- 1.6. El impacto ambiental de los edificios**

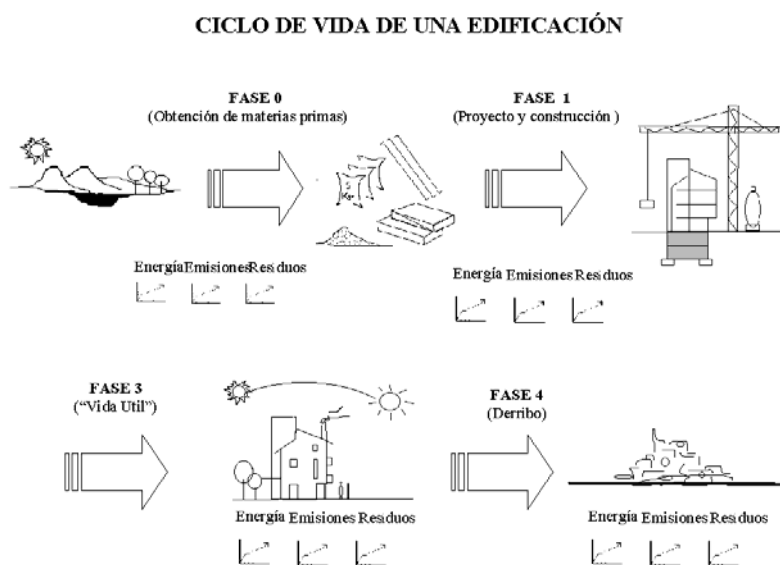


## Capítulo 1 Ámbito de estudio

A continuación, se define el marco conceptual sobre el que se plantea la tesis y su desarrollo, a partir de la definición de algunos conceptos que se consideran fundamentales para situar el alcance del planteamiento y los objetivos de la tesis:

### 1.1. Los flujos de energía en la edificación

El ciclo de vida de un edificio (**Fig. 1.1**) tiene asociada una importante cantidad de energía consumida en cada una de sus fases (proyecto, construcción, uso, deconstrucción) se trata de un proceso dinámico en que las decisiones tomadas en una fase condicionan la incidencia en las otras y en el impacto global.



**Fig. 1.1** Fases del ciclo de vida de una edificación.

Si se intentara clasificar los flujos energéticos presentes a lo largo del ciclo de vida de una edificación, podríamos hablar en primer lugar de los flujos asociados a fabricación, transporte, puesta en obra de los materiales de construcción - e incluso su deconstrucción o derribo-, que se consideran estáticos, ya que no sufren variación una vez están dispuestos en el edificio y forman parte de él, y que constituyen la mayor parte de ellos la "inversión" patrimonial.

De otro lado estarían los flujos energéticos "dinámicos" asociados directamente con el uso y explotación del edificio, que dependerán de su duración en el tiempo y de la gestión como factor fundamental. Se trata de flujos energéticos asociados a procesos que pueden parametrizarse pero que dependen de otras variables también dinámicas para su cuantificación y evaluación: como el tiempo de duración del proceso, la gestión de los recursos energéticos y en algunos casos las variaciones de factores externos como el clima.

Los estudios realizados que se han interesado en medir el peso relativo de cada una de las fases del ciclo de vida de un edificio, establecen como referencia que entre el 20 y el 33% del total de la energía que se consume está asociada a los denominados flujos estáticos y entre el 66 y 80% restante está asociado a la fase de uso y explotación del edificio.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Los datos provienen de un estudio realizado por el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela de Arquitectura del Vallès de l'UPC para el ICAEN (Institut Català d'Energia).

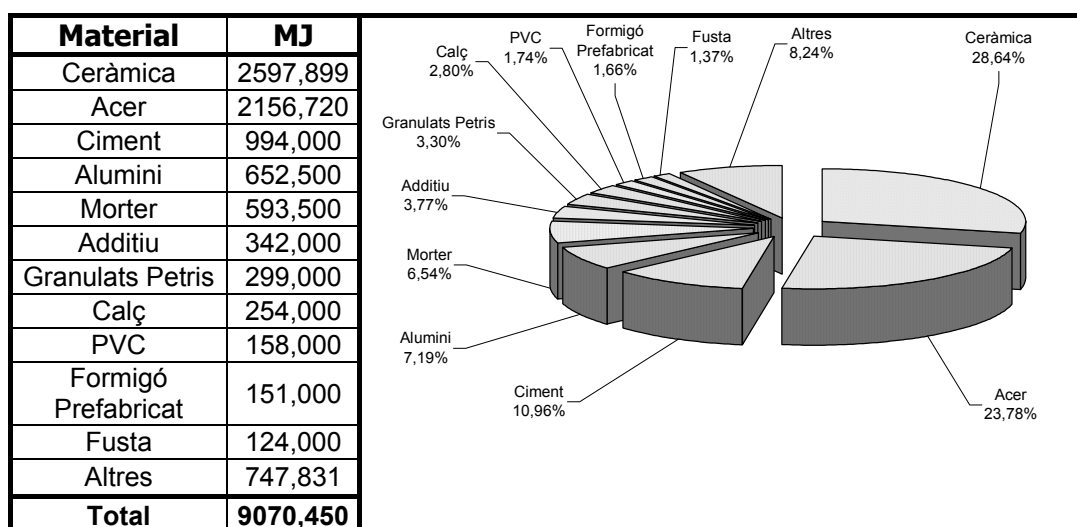


Fig. 1.2 Energía consumida para fabricar los materiales de 1m<sup>2</sup> de superficie construida de obra nueva en Cataluña. Fuente: CIES (COAC, CAATB, UPC, ITEC y INSTITUT CERDÀ) 2.002

De todas las fases mencionadas, es la del uso y explotación del edificio la de mayor incidencia en el cómputo global por ser la de mayor duración y por utilizar de forma dinámica los recursos energéticos.

El flujo de energía durante la vida útil de un edificio estará relacionado directamente con los usos energéticos que posea (alumbrado, fuerza, climatización, etc.). De todos estos usos energéticos los que están directamente relacionados con la habitabilidad de los espacios son en orden respectivo y de acuerdo al tipo de edificio, la iluminación artificial (entre el 10-20% aprox.) y la climatización con la mayor incidencia de todos los usos energéticos (entre el 40-60% según el tipo de edificio).

Uso energético	Consumo kWh/vivienda	Emisiones Kg CO <sub>2</sub> /vivienda
Calefacción	4.940,0 kWh/viv	992,9 Kg CO <sub>2</sub> /viv
ACS	3150,0 kWh/viv	633,1 Kg CO <sub>2</sub> /viv
Cocina y horno	1.050,0 kWh/viv	211,0 Kg CO <sub>2</sub> /viv
Aparatos domésticos	2.079,9 kWh/viv	942,5 Kg CO <sub>2</sub> /viv
Iluminación	616,8 kWh/viv	279,5 Kg CO <sub>2</sub> /viv
<b>TOTAL</b>	<b>11.836,7 kWh/viv</b>	<b>3.059,0 Kg CO<sub>2</sub>/viv</b>

**Tabla. 1.0** Consumo energético anual estándar y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas, para una vivienda tipo de Barcelona. Fuente:(ITEC 2.003) a partir de datos del ICAEN.

Durante la vida útil del edificio y en la medida que la arquitectura actúa como elemento de relación entre el interior y el exterior, se puede hablar de que éste no es un proceso lineal en el que la cantidad de energía que se invierte en generar condiciones de habitabilidad es exponencial e infinita sino que se trata en realidad de un balance energético, entre la energía consumida y la energía que el propio edificio gracias al diseño previsto – entre otros aspectos-, puede aprovechar del entorno y las condiciones naturales del medio.

Cuando la arquitectura y el arquitecto como proyectista renuncian a aprovechar las posibilidades de interacción entre el edificio y su entorno, el control del balance energético



---

desde la arquitectura desaparece y en consecuencia, las condiciones de habitabilidad están tan sólo sujetas a procesos externos, generalmente asociados a máquinas y sistemas, que consumen cantidades significativamente mayores de energía. Dicho en otras palabras “ las condiciones de habitabilidad se hacen independientes del entorno inmediato de edificio para hacerse dependientes de entornos lejanos en el espacio y en el tiempo”.<sup>2</sup>

Ante la “renuncia” del arquitecto o del proyecto arquitectónico por ofrecer condiciones de habitabilidad, sucede lo que cada día desafortunadamente se observa, cuando las máquinas y los sistemas convierten en habitables espacios concebidos y construidos sin ninguna consideración de habitabilidad. En este sentido la habitabilidad se convierte en un problema de máquinas, y el confort y la calidad de vida terminan siendo un problema de rendimiento de las mismas, resultando la arquitectura despojada de su función social básica cual es proveer la habitabilidad.

---

<sup>2</sup> Sobre l'ambientalització de l'ensenyament de la tecnologia arquitectònica. Albert Cuchí,. Setembre de 2003

## 1.2. Eficiencia energética

La actual crisis de recursos energéticos y el panorama que se advierte en el futuro con una clara tendencia a aumentar la dependencia de las fuentes energéticas de origen no renovable, (una aproximación resumida de esta situación en un contexto cercano, se puede verificar en el *Pla d'Energia de Catalunya 2006-20010 de la Generalitat de Catalunya*) obliga a replantear el modelo de gestión de los mismos, con el objetivo de reducir la creciente dependencia de combustibles de origen fósil o nuclear, y garantizar un uso adecuado de los recursos empleados. Conceptos como el ahorro, la reducción del consumo o la eficiencia energética se utilizan habitualmente, no siempre con el adecuado conocimiento por parte de quienes los difunden.

Si se habla de eficiencia energética por ejemplo, es necesario definir que en relación a un determinado sistema o proceso, el concepto de eficiencia tiene asociado el consumo de una determinada cantidad de recursos. A menudo tiende a confundirse eficiencia con eficacia, sin tener en cuenta que se puede ser eficaz consiguiendo un determinado objetivo y totalmente ineficiente si se utiliza una cantidad innecesaria de recursos para lograrlo.

Si se planteara un análisis detallado de los costes marginales que supone la eficacia podríamos averiguar el coste de algunas prácticas habituales. Podríamos averiguar cuánto cuesta, por ejemplo, mantener las condiciones de habitabilidad en un edificio un 5, 10 o 20% por encima de lo realmente necesario, y no solamente en términos económicos, que pareciera ser el único lenguaje que despierta conciencia, sino en términos energéticos y en térmicos del impacto ambiental asociado que esto supone.

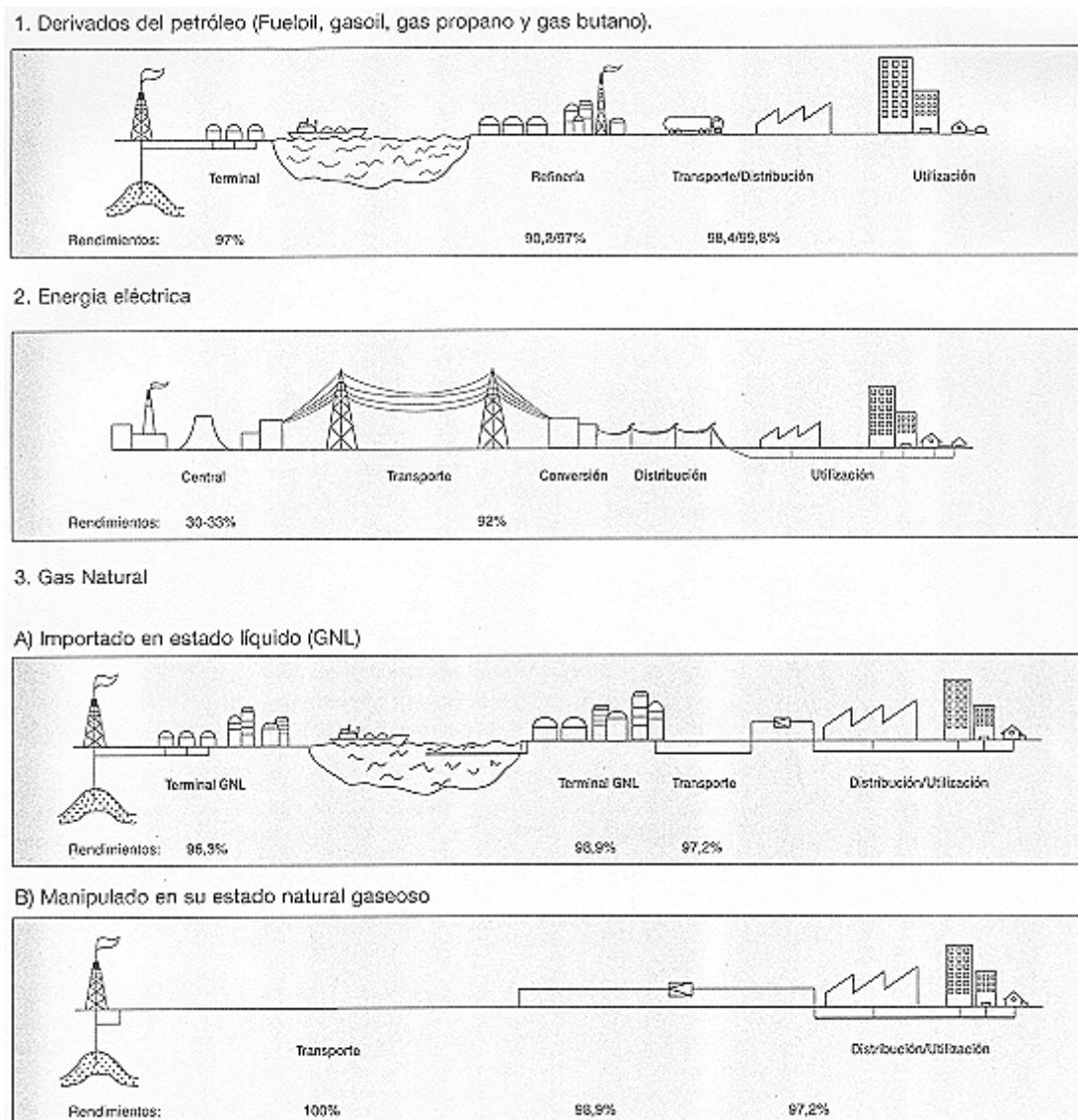
Se puede afirmar que con relación a la habitabilidad de los espacios, se puede ser eficaz generando las condiciones de confort requeridas, pero no necesariamente ser eficiente con relación a los recursos que se utilizan para lograr el objetivo. Para ser eficiente hay que ser también eficaz pero no necesariamente al revés. Se podría hablar de máxima eficiencia cuando un sistema cubre una necesidad específica invirtiendo la mínima cantidad de recursos para ello.

### • El rendimiento de los sistemas

Con relación al consumo de recursos energéticos, la eficiencia tiene asociado el concepto de rendimiento (se define el rendimiento como el cociente entre la energía consumida y la energía realmente utilizada) ya que los recursos se consumen por medio de sistemas (máquinas) que según sus características y sus condiciones de funcionamiento pueden tener un determinado rendimiento. (ATECYR 1999)

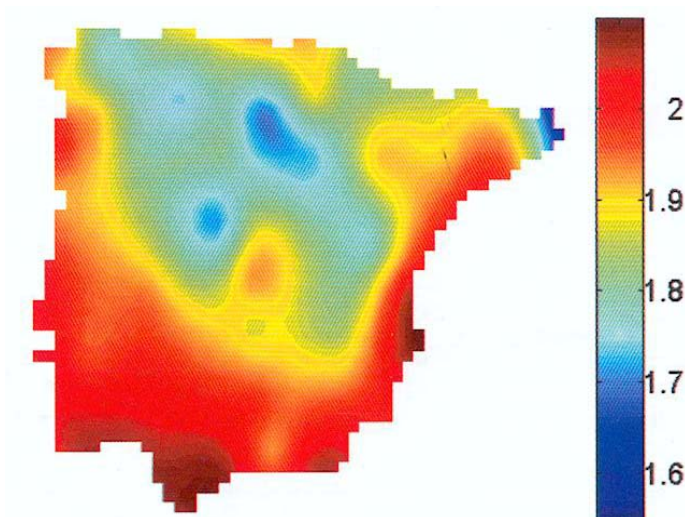
En climatización por ejemplo, es posible disponer hoy día de sistemas de elevado rendimiento teórico como determinadas calderas (cercanos al 100%) o bombas de calor (superiores al 300% en algunos casos). Estos elevados rendimientos en un momento dado ayudarían a "compensar" el hecho de utilizar fuentes energéticas como la electricidad que en la mayoría de los casos procede de centrales térmicas de un 30% aprox. de rendimiento (**Fig. 1.3**) o en el mejor de los casos de ciclo combinado con una eficiencia alrededor del 50%.

En este sentido es fundamental promover que exista una correspondencia entre el recurso energético que se emplea y el uso que se le da en la edificación con el objetivo de no incrementar la ineficiencia que el propio recurso ya trae incorporada (LEVERMORE 1992).



**Fig. 1.3** Esquemas de trayectoria energética. Fuente: La enseñanza de la arquitectura y el medio ambiente. (PROGRAMA LIFE 1996)

Pero si consideramos que el rendimiento de una máquina (una bomba de calor eléctrica p. ejemplo) está relacionando la cantidad de energía que está aportando en un local, ya sea en forma de frío o de calor, respecto a la cantidad de energía que ha consumido para funcionar en unas condiciones teóricas, será necesario considerar si dichas condiciones se están dando a la hora de operar o si por el contrario el nivel de rendimiento es menor al teórico previsto, lo que supondría una disminución considerable de la eficiencia.



**Fig. 1.4** Mapa del rendimiento normalizado de una bomba de calor aire-aire en la península Ibérica  
Fuente IDAE. Fundamentos de la calificación energética de viviendas.

Es importante conocer entonces, más que el rendimiento teórico de la máquina, el rendimiento medio que estará relacionado con las condiciones de carga en las que realmente trabaja la máquina.

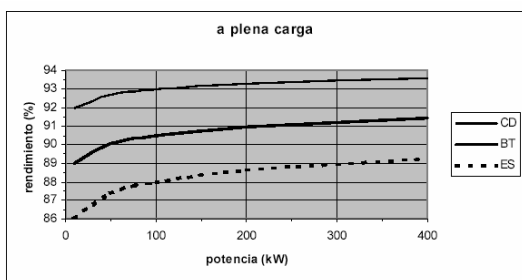


Fig. 03.17- Rendimiento a plena carga

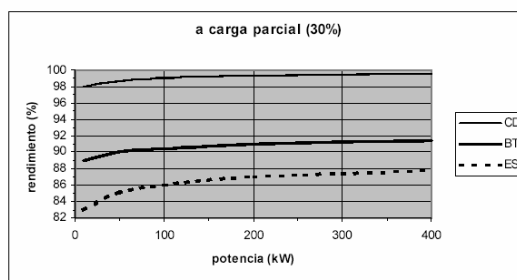
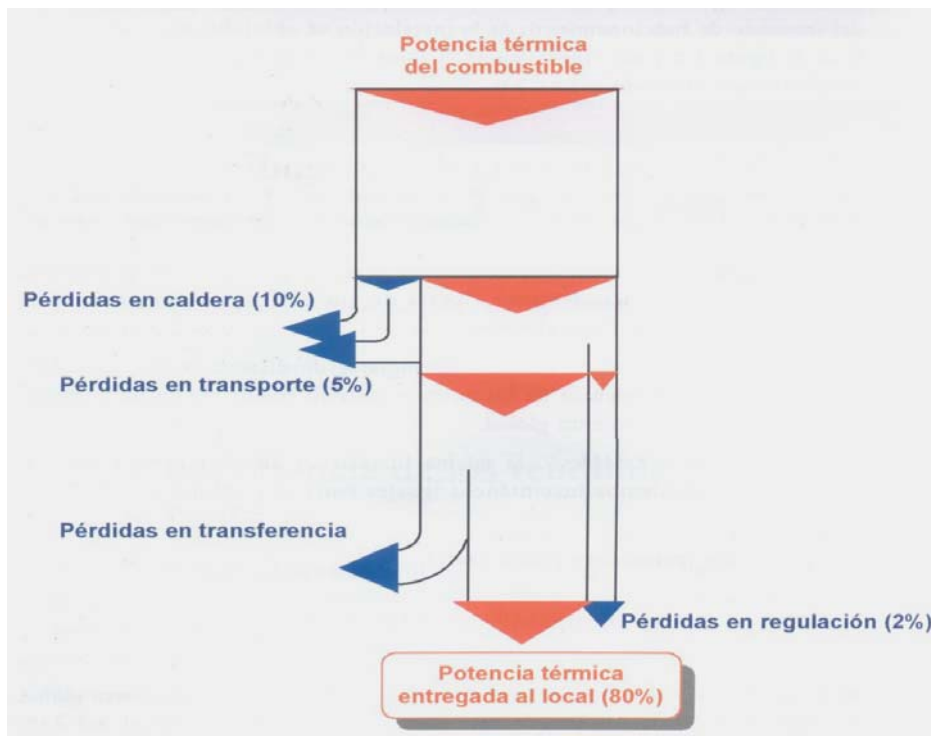


Fig. 03.18- Rendimiento a carga parcial

**Fig. 1.5** Rendimiento medio de calderas de baja temperatura condensación y estándar a plena carga y a carga parcial según Directiva Europea 92/44/CE: Fuente IDAE Libro de comentarios al RITE

Pero en muchos casos no solamente utilizando máquinas con un elevado rendimiento se garantiza un sistema realmente eficiente. En esquemas colectivos centralizados por ejemplo, el sistema además de la máquina que genera el frío o el calor, se compone de una red de distribución y de unos elementos de control que tienen un papel muy importante en el rendimiento del sistema. En estos casos su rendimiento está asociado al rendimiento global que incluye a todos los componentes del mismo (generación, distribución, regulación, etc.)

El buen rendimiento teórico que pueda tener una determinada máquina puede perderse si los rendimientos de los restantes elementos del sistema son bajos (**Fig. 1.6**). Un sistema cuyo esquema de distribución no sea lo suficientemente sectorizado, por ejemplo, difícilmente podrá tener una regulación adecuada por más de que disponga de termostatos y sondas de temperatura en cada local, lo que supondría además que la máquina de frío/calor disminuya su rendimiento.



**Fig. 1.6** Diagrama de Sankey de una instalación tipo de calefacción.

Fuente (IDAE 1999)

### 1.3. Demanda energética de los edificios

#### 1.3.1. Definición de la demanda

Suele confundirse por parte de muchos técnicos el cálculo de la demanda energética para garantizar el clima interior de un edificio, con el cálculo de cargas térmicas de un determinado local o edificio. Si bien son términos que están relacionados, se trata de conceptos diferentes. Se ha comentado que el flujo de energía de una edificación durante su vida útil responde a un balance de pérdidas y ganancias energéticas según sus características y el intercambio energético interior – exterior. El resultado de ese balance, tanto si es positivo como negativo, será la carga térmica a atender para el período de estudio considerado, ya sea aportando calor o frío, según la época del año que corresponda. La demanda energética anual de un edificio no será otra que la suma de las diferentes cargas positivas o negativas del edificio.

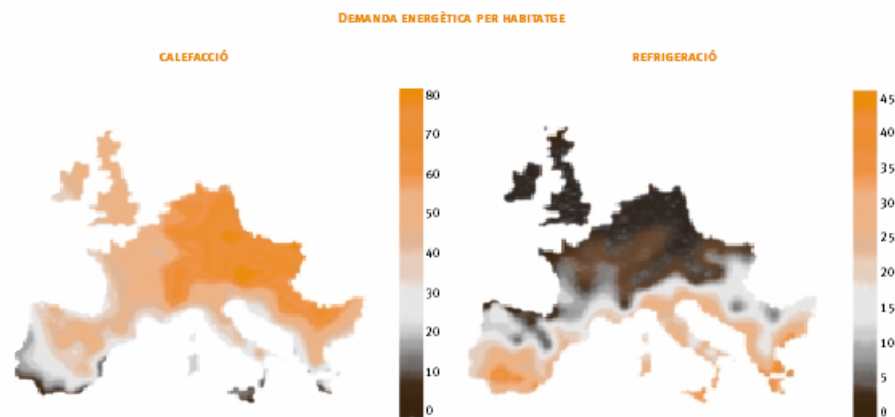
Es común encontrar en el predimensionamiento de sistemas de climatización un análisis de cargas que suele estar referido en el caso de la calefacción a la peor situación de invierno (máxima diferencia de temperatura interior - exterior) y en la refrigeración a la peor situación de verano, en la que puede operar el sistema. Este análisis de cargas permite suponer cuál es la capacidad máxima del sistema que va a aportar el frío/calor en el edificio, pero solamente servirá para determinar la potencia del equipo de climatización a instalar y nada tiene que ver con la energía que el edificio consumirá a lo largo de un determinado período.

La demanda energética estará referida no sólo a los momentos “punta” sino a un determinado período de tiempo (que usualmente es de un año), en el que necesitamos saber cuanta energía es necesario aportar en el edificio de acuerdo al balance energético mencionado. (ASHRAE 1997)

#### 1.3.2. Análisis de la demanda: tipos de análisis

Según el tipo de uso de cada edificación, necesitará una determinada cantidad de energía para funcionar. Esta energía estará dividida como ya se mencionó en diferentes usos energéticos, en algunos de los cuales (electrodomésticos, equipos de oficina, motores, etc.) es relativamente fácil estimar su demanda energética ya que depende directamente de la cantidad de aparatos instalados en el edificio, su rendimiento y el régimen de uso que vayan a tener.

En usos energéticos como la iluminación artificial, y especialmente la climatización, intervienen una serie de factores adicionales, relacionados con el tipo de edificio, las características arquitectónicas y constructivas, el clima del lugar en que se encuentre ubicado, las condiciones del emplazamiento y el perfil de uso. Algunos de estos factores son dinámicos por su variabilidad en el tiempo y el análisis de su incidencia necesita de herramientas y métodos adecuados.



**Fig. 1.7** Demanda energética para calefacción y refrigeración en viviendas en kWh/m2

Servando Alvarez: Pla de Millora Energètica de Barcelona

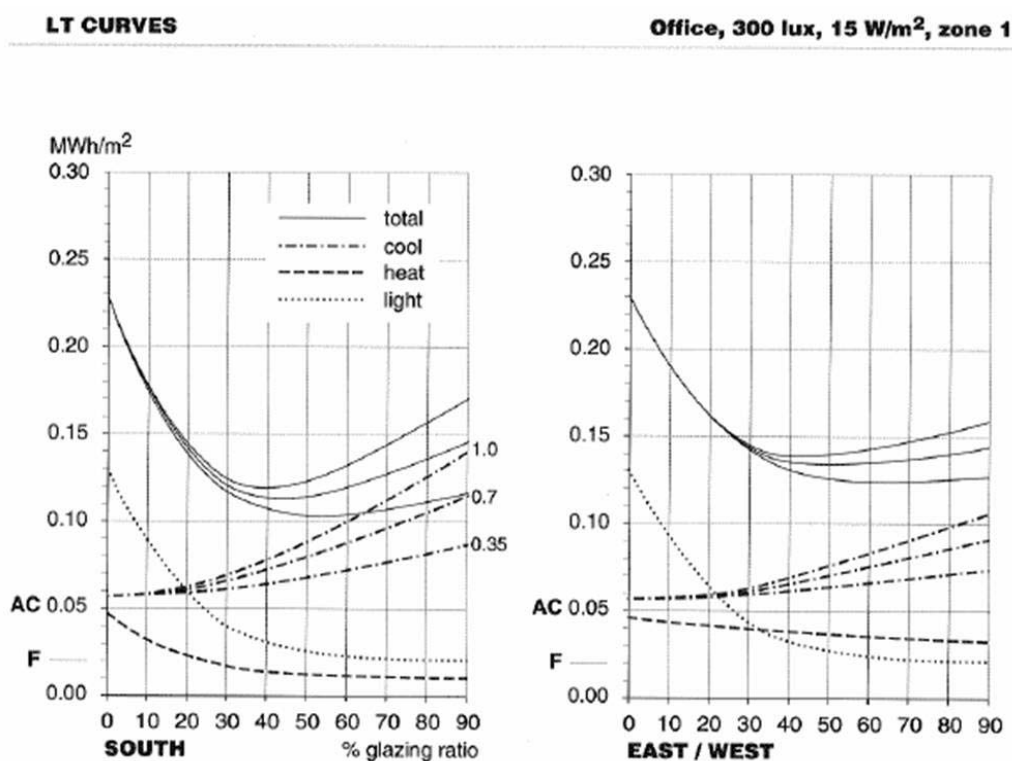
La evaluación de la demanda energética de una edificación puede realizarse de diferentes maneras en función de la información disponible de todos los factores que la condicionan y de los objetivos del análisis que se pretenda realizar. Pueden realizarse desde rápidos análisis de estimación de la demanda a partir de valores de referencia, o análisis detallados que generalmente realizan un balance energético de la edificación para un período determinado y que, dependiendo del nivel de detalle y rigor del análisis, servirán para aproximarse más seriamente a lo que puede ser el desempeño energético del edificio.

### 1.3.2.1. Métodos de estimación global a partir de valores de referencia

Se trata de herramientas que permiten estimar una demanda global del edificio, a partir de valores de referencia de algunas variables tipificadas: el tipo de edificación, el clima, perfil de uso y los aportes internos.

Este tipo de herramientas sirven para definir tendencias de consumo global, pero difícilmente servirán para estimar valores reales de referencia para períodos específicos o con un nivel de información detallado a partir del cual valorar las necesidades energéticas del edificio.

Un ejemplo de este tipo de análisis puede ser el método LT<sup>3</sup>, una sencilla herramienta que permite a partir de unos datos básicos de las características del edificio y la definición de zonas "pasivas y no pasivas", establecer valores estimados de demanda global del edificio segregada para los principales usos energéticos; calefacción, refrigeración e iluminación artificial, sobre unas curvas de referencia para cada orientación del edificio como las que se presentan en la **Fig. 1.8**, sobre las cuales a partir de la proporción de superficie acristalada que se representa en el eje de abscisas en porcentaje y considerando el grado de protección solar de las ventanas se puede obtener la demanda de calefacción y refrigeración estimada en el eje de ordenadas para cada orientación.



**Fig. 1.8** Método L.T (Baker & Steemers) curvas tipo

<sup>3</sup> N. Baker and K. Steemers, *The LT Method Version 2.0: An Energy Design Tool for Non-Domestic Buildings*, Cambridge Architectural Research Ltd., 1994.

### 1.3.2.2. Métodos de evaluación de la demanda a partir del balance de energía del edificio

Se trata de métodos basados en el análisis del balance de flujos energéticos (pérdidas y ganancias) de una edificación para un período determinado, referido a los siguientes aspectos:

- Pérdidas y ganancias a través de los cerramientos.
- Pérdidas y ganancias por la infiltración / renovación de aire.
- Aportes internos:
  - Ocupantes
  - Equipos
  - Iluminación

Según el autor que se cite, este tipo de métodos de análisis se pueden clasificar de diversas maneras. En este documento se propone agruparlos teniendo en cuenta 2 características fundamentales:

- El tipo de análisis que desarrollan.
  - Análisis mono-zona
  - Análisis multi-zona
- El régimen de transferencia de calor que consideran.
  - Análisis en régimen estacionario
  - Análisis en régimen estacionario variable
  - Análisis en régimen transitorio

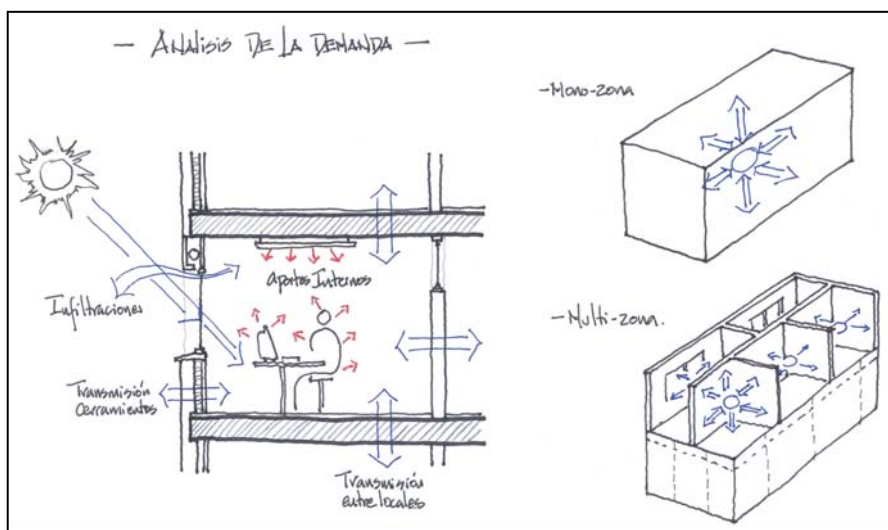


Fig. 1.9 Análisis de la demanda.

#### 1.3.2.2.1. Según el tipo de análisis que consideren

Si el balance energético del edificio se realiza considerándolo como un volumen único, con un único uso y una piel separadora del ambiente exterior, o como la sumatoria de espacios con perfiles de ocupación diferentes, con elementos constructivos separadores que efectos sobre la acumulación y el balance térmico, el resultado del análisis puede variar considerablemente

##### • Análisis mono-zona:

Consiste en el análisis de la demanda energética considerando el edificio como un volumen único que intercambia calor con el medio exterior, con el terreno y los volúmenes que le rodean.



Estas herramientas suelen ofrecer cálculos relativamente rápidos y sencillos ideales para evaluar locales individuales, edificios de un solo volumen (naves industriales, p. ejemplo) o para establecer tendencias de consumo y valoraciones iniciales de cualquier tipo de edificio.

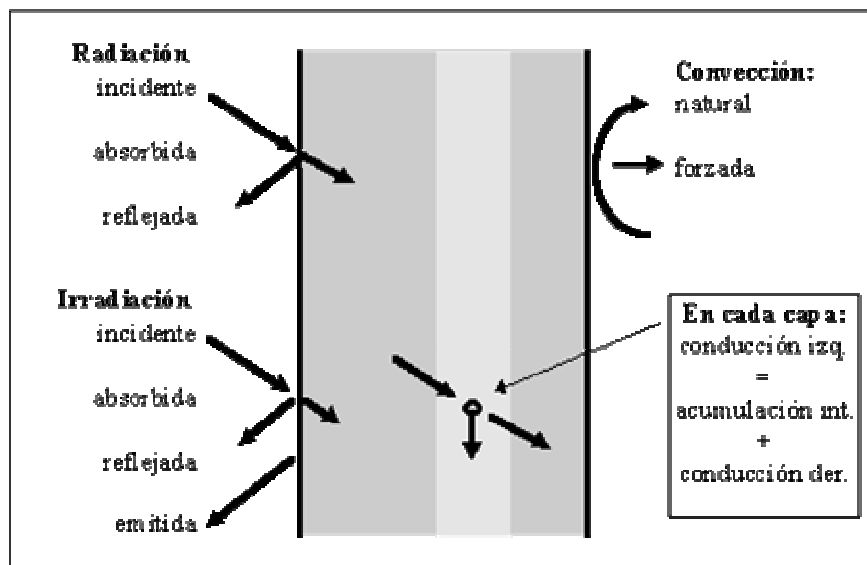
- **Análisis multi-zona**

Se analiza la demanda energética considerando una varias zonas del edificio, que pueden ser todos y cada uno de los locales y plantas que intercambian calor, no sólo con el exterior y el terreno, sino entre sí y que suponen un balance energético más complejo y más cercano a la realidad en el caso de edificios con cierto nivel de compartimentación (bloques de vivienda, edificios de oficinas, etc.).

Por lo general se trata de programas informáticos que utilizan ecuaciones y algoritmos que simplifican el cálculo, que requieren una entrada de datos más detallada y rigurosa, que desafortunadamente tienden a convertirse en herramientas de cierta complejidad para operar.

### 1.3.2.2. Según el régimen de transferencia de calor que consideren

Los flujos de calor que intervienen en el balance energético de un edificio están asociados a los siguientes mecanismos de transmisión: *Conducción, Convección y Radiación*.



**Fig. 1.10** Esquema de flujos de calor de un cerramiento.

Fuente: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente> Departamento de Construcción. Escuela de Arquitectura. Universidad Las Palmas de Gran Canaria

Sintetizando podemos decir que la transmisión por conducción se realiza a través de las partes macizas o cerramientos opacos y semitransparentes (vidrios).<sup>4</sup>

La convección se realiza entre el aire exterior y la superficie exterior de los cerramientos; entre la superficie interior de éstos y el aire interior; también en el interior de las cámaras de aire de los cerramientos, si existen.

En cuanto a la radiación, se distinguen dos partes en los intercambios radiantes. Los correspondientes a la radiación de longitud de onda corta (solar) y los de radiación de longitud de onda larga (infrarroja). Los primeros afectan fundamentalmente a la absorción de radiación solar que tiene lugar en el interior del edificio, pero también a los procesos que modifican la

<sup>4</sup> AICIA - Grupo de Termotecnia E.S. Ingenieros Industriales Universidad de Sevilla. Manual de fundamentos técnicos. Herramienta del cálculo de la demanda energética. Código Técnico de la Edificación. Sevilla Oct 2001

radiación solar incidente sobre las superficies exteriores. Los segundos aparecen tanto en los intercambios radiantes entre las superficies exteriores como entre las interiores.

También es necesario considerar los flujos de calor que inciden directamente sobre el aire interior del edificio que están relacionados con las infiltraciones de aire exterior, la ventilación, y el aporte energético del equipo acondicionador (si hubiera), además de las fracciones convectivas de las fuentes internas.

Cada uno de estos mecanismos de transmisión tiene unas posibilidades de modelización en función de la metodología que se emplee y las consideraciones de cálculo que se hagan desde el punto de vista matemático.

### **Análisis y modelización de la transmisión por convección**

En este caso las diferentes herramientas de análisis determinan habitualmente el coeficiente de transferencia por convección utilizando correlaciones empíricas en función de la dirección de flujo de calor, en algunos casos con valores diferentes para cada superficie (se utiliza en superficies horizontales, techos y suelos) o en otros casos se utiliza un valor único para todas ellas.

Existen algunas normas de referencia que fijan los valores recomendados para estos coeficientes de transferencia como es el caso de la norma UNE 92051.

### **Análisis y modelización de la transmisión por radiación**

Se consideran dos tipos de intercambios, los intercambios radiantes correspondientes a la radiación de longitud de onda corta (solar) y los de radiación de longitud de onda larga (infrarroja).

En el caso de la radiación de longitud de onda corta afecta principalmente a la absorción de radiación solar en el interior del edificio, y también a los procesos que modifican la radiación solar incidente sobre las superficies exteriores.

En el interior del edificio se deben tener en cuenta las múltiples reflexiones de la radiación solar incidente, que es variable con el tiempo. Es necesario considerar el cálculo de la mancha solar, los factores de forma y las propiedades radiantes de las superficies.

Habitualmente las herramientas consideran la distribución de la radiación solar a partir de una posición solar fija para todo el día o se considera que una parte de la radiación solar que alcanza el interior es directamente una ganancia convectiva, y el resto se divide entre las superficies según un criterio fijado en cada caso, con posibilidades de que el usuario del programa pueda elegir la forma en que la radiación se distribuye entre las superficies.

En el exterior, la absorción de radiación solar se describe mediante un coeficiente de absorción de las paredes exteriores, que multiplica a la radiación solar incidente.

En el caso de la radiación de longitud de onda larga se analiza su incidencia tanto en el interior como en el exterior.

En el interior se considera el intercambio radiante entre las diferentes superficies de un local, cuantificando la resolución de ecuaciones de radiosidad y flujos netos radiantes, para lo cual se requiere el conocimiento de la geometría del edificio y del cálculo de los factores de forma que se suelen aproximar por las relaciones entre las áreas. También se usa la temperatura radiante media, y en algunos casos la resolución de las ecuaciones mencionadas se sustituye por un intercambio convectivo entre cada superficie y una temperatura calculada como promedio de las temperaturas del resto de las superficies ponderadas por las áreas y las emisividades. La temperatura radiante se suele sustituir por la temperatura del aire del espacio.

En el exterior se considera un recinto mucho más simple, formado por la superficie a analizar, el cielo y los alrededores. En algunos casos se consideran los alrededores como negros, la temperatura del cielo se define como la temperatura de una superficie negra que proporciona el mismo intercambio radiante neto que un cielo de temperatura uniforme. En otros casos el intercambio radiante se describe mediante un coeficiente de transferencia equivalente y un coeficiente de pérdidas netas

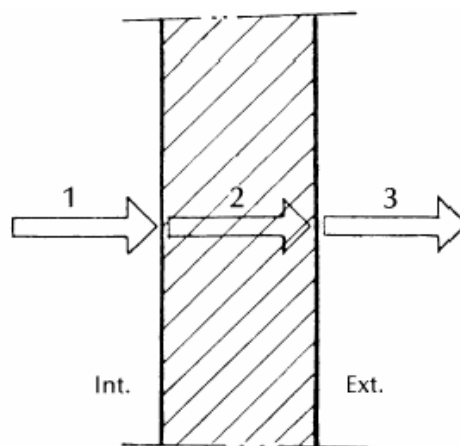
### **Análisis y modelización de la transmisión por conducción**

En el caso del análisis de la transferencia de calor por conducción es necesario tener en cuenta no sólo la variación de las condiciones de los sistemas que intercambian energía, sino también del tiempo como variable fundamental que condiciona el fenómeno. (HUNN 1996)

A partir de esta condición es necesario distinguir entre el análisis de la transferencia de calor por conducción en régimen estacionario o permanente y en régimen transitorio o variable.

#### • **Conducción en régimen estacionario o permanente**

Este tipo de análisis, suele ser utilizado por muchas de las herramientas y programas de evaluación de las necesidades energéticas de los edificios. Parte de la consideración de los flujos de energía para un período determinado como si las variaciones de las condiciones fueran mínimas, o lo que es lo mismo como si existiese una transferencia de calor directa e instantánea entre el interior y el exterior.



**Fig. 1.11** Transmisión de calor a través de un cerramiento en régimen estacionario

Fuente: Norma Básica de La Edificación NBE-CT-79

Cuando una pared opaca y homogénea se coloca entre dos ambientes a diferente temperatura, se produce una transferencia de calor de la cara caliente a la cara fría. Dicha transmisión como se expresa en la **Fig. 1.11** se produce en varias fases:

1. Del aire interior (ambiente más caliente) a la cara interna de la pared.
2. A través de la pared.
3. De la cara externa de la pared al aire exterior (ambiente más frío).

La transmisión a través de la fase 2 se produce por conducción y en las fases 1 y 3, por convección y radiación.

En el régimen estacionario la metodología de cálculo considera un flujo unidireccional de calor en elementos de caras paralelas que se supone se encuentran en equilibrio termodinámico; es decir sin variar su temperatura en el tiempo. (MARTIN 1996)

El calor transmitido por conducción por unidad de tiempo, con relación a la superficie, es decir, el flujo de calor  $Q$ , es proporcional a la diferencia de temperatura  $dT/dx$ , donde  $x$  es la dirección del flujo de energía. El coeficiente de proporcionalidad del flujo de calor es una propiedad física del medio, denominada *conductividad térmica*  $\lambda$ , de manera que

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

Esta ecuación expresa la *Ley de conducción de Fourier*, en la que el signo negativo de la  $\lambda$  indica que para existir un flujo de calor de dirección positiva se necesita una diferencia de temperatura negativa en dicha dirección, es decir, que la temperatura disminuye en dicha dirección<sup>5</sup>.

La característica fundamental de este tipo de análisis es que considera que no hay almacenamiento de energía en los elementos (cerramientos) durante el período de tiempo considerado y utiliza como referencia para el cálculo diferencias de temperatura instantáneas o promedio entre el espacio interior y el medio exterior.

El modelo asume que todas las propiedades y variables son constantes y calcula la demanda energética para cada período (un mes o una estación) y para hacer la extrapolación de la demanda anual utiliza coeficientes y correlaciones. Ejemplos de este tipo de herramientas son los tradicionales métodos de *Grados día* o los métodos *bin*. (HUNN 1996)

- **Conducción en régimen estacionario variable.**

Se trata de métodos que asumen un período de cálculo pequeño (usualmente 1 hora) en el que el edificio y los sistemas permanecen en temperatura promedio. Adicionalmente puede considerarse que cada uno de los componentes puede tener una temperatura diferente en el mismo período, pero para el siguiente período (siguiente hora) una nueva temperatura promedio es calculada.

Este tipo de método es capaz de evaluar mejor el efecto dinámico de algunas variables (clima, ocupación, uso de equipos, etc.) y realizan también una consideración de la capacidad de almacenaje y cesión de la energía. Son métodos de análisis de la demanda hora a hora lo que supone una gran diferencia con los transitorios simples que realizan estimaciones mensuales y anuales.

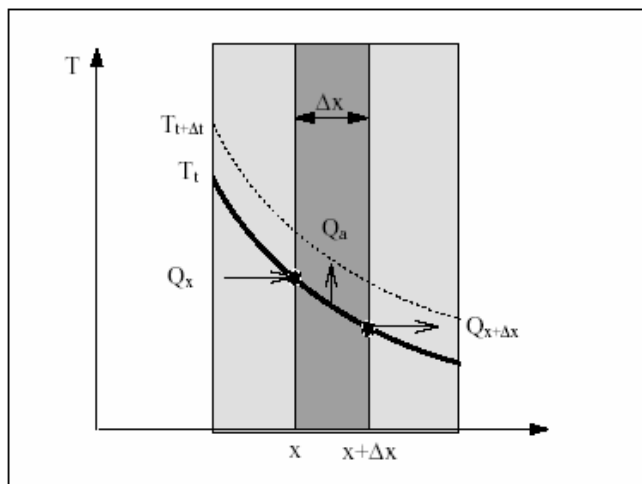
Si se establece un símil, se podría decir que el método estacionario "simple" calcula la demanda a partir de la extrapolación de una foto instantánea, mientras que el método estacionario variable nos ofrecería un análisis a partir de una secuencia de fotos.

- **Conducción en régimen transitorio**

Cuando el análisis parte de la base de que no existe el equilibrio termodinámico supuesto en el análisis estacionario, ya sea porque las condiciones del entorno varían en el tiempo o porque los elementos de cerramiento no llegan a estabilizar su temperatura en el tiempo, el proceso se denomina *transmisión en régimen transitorio*, el cual se caracteriza por considerar que la temperatura en cada punto del cerramiento varía en el tiempo (**Fig. 1.12**).

<sup>5</sup> UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA. Departamento de construcción. Apuntes de transmisión de calor. <http://editorial.cda.ulpgc.es>

Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del cerramiento es la *acumulación del calor*, debido a la propiedad de los materiales de absorber o disipar energía cuando varía su temperatura, propiedad denominada *calor específico*.



**Fig. 1.12** Conducción y acumulación de calor en una rodaja finita de espesor  $\Delta x$

Fuente: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente> Departamento de Construcción. Escuela de Arquitectura. Universidad Las Palmas de Gran Canaria

El análisis en régimen transitorio tendrá en cuenta el fenómeno de acumulación de calor, considerando la ecuación general de la conducción de calor, aunque en muchas herramientas es común encontrar simplificaciones como la consideración de las propiedades de los materiales constantes y la conducción unidimensional para paredes normales **(5)** que mediante algoritmos, transformadas y algunas otras operaciones matemáticas ayudan a simplificar la complejidad de los cálculos, realiza el "balance energético" hora a hora, para analizar todas y cada una de las zonas del edificio.

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (5)$$

Ejemplos de programas informáticos que realizan este tipo de análisis, son las herramientas desarrolladas con el patrocinio del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), basados en las consideraciones de las normas ASHRAE, entre los que vale la pena destacar los programas BLAST y DOE-2 como herramientas genéricas que a su vez han servido de base para el desarrollo de otras herramientas como: *energy-plus*, *e-Quest*, *ENERGY-10*, entre otros, que incorporan modificaciones y facilidades en cuanto al motor de cálculo, la interfaz gráfica, consideraciones climáticas, entre otras. Algunos de estos programas son gratuitos, con diferentes niveles de complejidad en la introducción de datos y con la dificultad del sistema de unidades que utilizan y las bases de datos de meteorología y materiales locales.

En el ámbito europeo destaca la herramienta *Trnsys* con un potente motor de cálculo y amplias posibilidades de simulación de componentes y sistemas del edificio, pero con un importante nivel de complejidad en la introducción de datos, por no tener posibilidades de representación gráfica del edificio y con la dificultad adicional de no ser de libre acceso ni de bajo coste, además la dependencia que suponen las actualizaciones periódicas, los contratos de mantenimiento, etc.

La mayoría de herramientas han sido desarrolladas por grupos de investigación de reconocida trayectoria que se someten a test de validación internacional que permiten contrastar sus prestaciones y posibilidades. La metodología de mayor reconocimiento internacional es el BESTEST, desarrollado por la International Energy Agency Building Energy Simulation Test,

De las herramientas que tienen un nivel de análisis contrastado y validado destaca el software ECOTECT basado en el *Método de las Admitancias* desarrollado por el Chartered Institute of Building Service Engineers (CIBSE), por ser la única herramienta de este nivel desarrollado enteramente por arquitectos y de amplia difusión como herramienta de diseño y validación de estrategias bioclimáticas en la edificación.

La introducción de códigos de construcción de tipo prestacional en diferentes países y específicamente en el ámbito europeo, que se interesan por lo que se denomina "Limitación de la demanda energética" supone que no sólo existirá la alternativa tradicional de limitar dicha demanda a través de medidas prescriptivas (valores límite) sino que permitirán la opción -en algunos casos incluso será obligatorio- de realizar un análisis de la demanda completo que permita evaluar la prestación del edificio con respecto a una referencia definida por la propia herramienta de análisis.

Desde este enfoque, en el ámbito español se viene trabajando en la transposición de la directiva europea 2002/91/CE de Eficiencia Energética de los Edificios a través del Código Técnico de la Edificación (CTE 2005) que, en el documento básico HE-1 dedicado al ahorro de energía, define las condiciones de limitación de la demanda y propone como herramienta "oficial" de evaluación el programa LIDER, desarrollado por el Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.

En palabras de sus autores "se trata de un programa de simulación en base horaria, régimen transitorio de conducción, capaz de tratar elementos multidimensionales y con carácter multizona."<sup>6</sup>

Al ser una herramienta asociada al cumplimiento de la normativa centra el análisis en las características de la envolvente del edificio (cerramientos verticales, cubiertas, soleras, etc.). Los parámetros de confort para las diferentes épocas del año son prefijados por el programa, así como las características del uso del edificio (aportes internos por ocupación y aparatos).

---

<sup>6</sup> LOS PROGRAMAS INFORMÁTICOS DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN: LIDER Y CALENER. José L. Molina, Servando Álvarez, Ramón Velásquez, Grupo de Termotecnia. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla

#### **1.4. El uso**

Es necesario definir que el uso de un edificio está referido no sólo al conjunto de actividades que se desarrollan en él (ocupación de espacios), sino también a la utilización de los sistemas y aparatos que consumen los recursos energéticos que emplea para realizar dichas actividades y lo que es más importante, satisfacer las necesidades de confort de los usuarios.

Desde este punto de vista el uso de un edificio incide en diferentes niveles y de diferente forma en el cálculo de la demanda y en el consumo final de energía.

Para el cálculo de la demanda por ejemplo, se considera habitualmente un uso tipificado que define el perfil de ocupación del edificio y el aporte en términos de carga latente y sensible de los diferentes locales del edificio.

En la estimación del rendimiento de las máquinas y sistemas del edificio también se considera un determinado perfil de uso que estará referido a la intermitencia con que se utilicen los sistemas y a unos determinados "hábitos de uso de los usuarios". Pero además, en el análisis del uso será necesario considerar otros factores asociados, como las singularidades y hábitos de los propios usuarios (horas no previstas de uso, volumen inesperado de usuarios, etc.) y no sólo para la ocupación de los espacios del edificio, sino también a los sistemas que emplea el edificio para atender la demanda energética y que finalmente son los que consumen los recursos energéticos, ya que en el diseño de estos sistemas se presupone un uso determinado que no siempre es el que termina por darse y puede llegar a diferir bastante de lo previsto.

Al tener en cuenta estos factores adicionales asociados al uso se están considerando aspectos relacionados con la administración tanto del uso como de los recursos energéticos, y en este sentido se estaría hablando más que del uso, de la gestión del edificio.

#### **1.5. La gestión**

Suele ser habitual que la estimación de la demanda energética difiera considerablemente del consumo final de energía, no obstante haber supuesto las pérdidas asociadas al funcionamiento de los sistemas y el rendimiento global. Esta diferencia, que en algunos casos puede ser muy importante, estará relacionada directamente con los factores que influyen en el consumo y que son susceptibles de mayor variación, como puede ser el caso del uso y la gestión del edificio (que como se ha mencionado está relacionada con la administración del propio uso referido a la ocupación de espacios) y los recursos energéticos que se consumen.

También se ha hecho mención de que gran parte de la energía que se emplea en el edificio, tiene como objetivo asegurar el confort adecuado para realizar las actividades (habitabilidad), por lo que un análisis de la gestión buscaría conocer si los recursos energéticos que se consumen realmente están atendiendo estas necesidades de confort de los usuarios, o si por el contrario, se está aportando energía, en el caso de la climatización por ejemplo, en forma de frío o de calor en los momentos o en las cantidades que no se necesitan, lo que se traduciría en una ineficiencia o "derroche" del sistema.

En el caso del proyecto de un nuevo edificio será fundamental que el análisis de la demanda energética haya considerado todas y cada una de las singularidades del uso y la gestión para definir un perfil de uso y gestión que se adapte a la realidad del edificio. Si este perfil teórico considerado se ajusta a la realidad del edificio será cuestión de emplear una herramienta de cálculo que permita conocer cual es la variación de las condiciones interiores en cada momento del día en el edificio, funcionando en condiciones normales y aportando el calor o el frío que se ha calculado que se necesita, para saber si el edificio, en esas condiciones se mantiene dentro de unos parámetros de confort previamente definidos. Es decir; cuando se analizan las necesidades energéticas de un edificio con una determinada herramienta, no bastará que nos informe que es necesario aportar una determinada cantidad de kWh de calefacción o refrigeración al año, sino que será necesario que nos informe "cómo" o "cuando" y "dónde" se

ha de aportar ese calor o frío a lo largo de año, del mes, de las semanas, y sobretodo del día. Esto supondría que es necesario definir no sólo la cantidad de recursos a utilizar, sino la forma en que se deben gestionar.

Todas las actuaciones encaminadas a optimizar el uso y la gestión de un edificio pueden tener una gran incidencia en el consumo energético final, con un atractivo adicional que es la mínima inversión que requiere (o nula en algunos casos de simple cambios de hábitos o rutinas de utilización de aparatos y sistemas), respecto a actuaciones relacionadas con los sistemas que atienden la demanda del edificio, o con intervenciones sobre la arquitectura del edificio, que desafortunadamente en el caso de nuevos edificios tienden a asociarse a inversiones elevadas de lenta amortización.

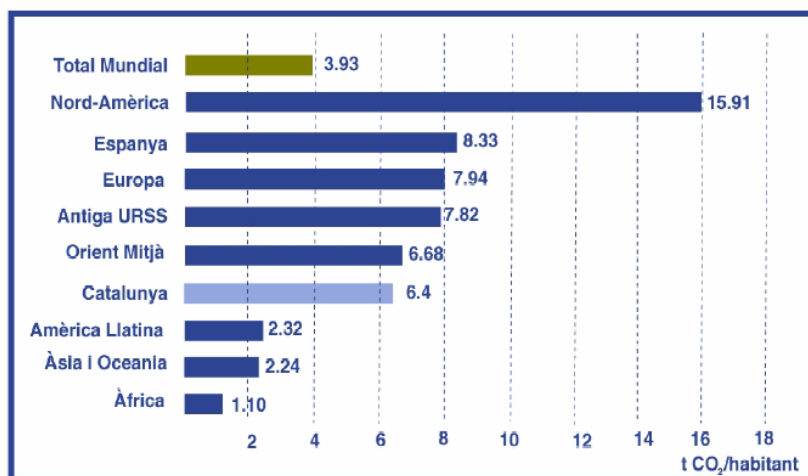
## 1.6. El impacto ambiental de los edificios

Se ha mencionado que a lo largo del ciclo de vida de una edificación intervienen diversos flujos energéticos en cada una de las fases que lo componen, por lo que la evaluación del impacto ambiental deberá necesariamente estar referida al ciclo completo.

Existen diferentes posibilidades de abordar la reducción del impacto ambiental de acuerdo a la fase en que se pretenda intervenir, pero es necesario que exista una estrategia global, que garantice desde la concepción misma del edificio, que todos los esfuerzos van en la misma dirección y se complementan.

Se han mencionado algunas de las posibilidades de actuar en la fase de mayor consumo energético e impacto asociado durante la "vida útil" del edificio y se ha mencionado también que es en esta fase en la que los flujos "dinámicos" intervienen y necesitan de un adecuado control y gestión. Resumiendo, se podría decir que el consumo de energía (y su impacto asociado) se puede reducir siempre que haya un esfuerzo importante por reducir la demanda inicial del edificio, facilitando la mejor interacción posible del edificio con su entorno natural para depender lo menos posible de sistemas activos que consuman energía. A partir de aquí, el reto es seleccionar unos sistemas que aporten la energía que se necesite, adecuados a las características del edificio, optimizarlos para obtener su máximo rendimiento y sobretodo, garantizar una gestión adecuada de los recursos a emplear.

Todo el esfuerzo importante que implica producir un Watt. hora (Wh) de energía, que en nuestra economía actual supone en la mayoría de los casos el empleo de fuentes energéticas no renovables, merecería que se estudiara con atención como se va a emplear esta energía y estudiar con atención la correspondencia entre el tipo de energía que se utiliza (según la fuente que la origina) y el uso que se le va a dar en la edificación. No es lógico, por ejemplo, producir calor con fuentes energéticas de reducido poder calorífico.



**Fig. 1.13** Emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético per cápita (2002). Fuente: Energy information Administration. Institut Català d'Energia.



Es importante no olvidar que se trata de valorar la eficiencia, que tiene asociada la cantidad de recursos que se empleen. De la misma manera que para esculpir una pequeña figura no es necesario utilizar un inmenso bloque de mármol, en términos de eficiencia energética, es fundamental utilizar solamente la energía que realmente se necesita, y reducir desde el diseño y la puesta en obra, las pérdidas innecesarias.

En el uso de energía para climatizar edificios hemos visto que es posible analizar cuanta energía estamos recibiendo en un local (calorías/frigorías) con relación a que estamos pagando a la compañía suministradora. Este análisis permite establecer cuanta energía se sacrifica en aras de la ineficiencia de las máquinas y sistemas y cuanta energía se despilfarra por la ineficiencia en la gestión. (Royal Institution of Chartered Surveyors 1993)

Si es posible valorar estos "sacrificios" y hay una conciencia real del esfuerzo energético que supone disponer de la energía para su utilización final en un edificio, es posible comprender cuánto esfuerzo y cuánto trabajo estamos desperdiciando, con el agravante de aumentar el imparable deterioro del patrimonio común.

### **1.7. Marco normativo y estado del arte**

El análisis de la demanda energética, el rendimiento de las instalaciones de los edificios o el consumo de recursos energéticos son temas que se han venido investigando desde diferentes ópticas y planteamientos desde hace bastante tiempo, en muchos casos a partir de iniciativas académicas o científicas, pero también (y en la mayoría de los casos desafortunadamente) como respuesta a la crisis de disponibilidad de los recursos energéticos. (WAKERHAGEL, REES 1996).

En el ámbito de la edificación, en la medida en que la satisfacción de las necesidades de confort de los usuarios depende cada vez menos de la respuesta arquitectónica, aumenta la dependencia de sistemas e instalaciones que consumen energía en gran medida obtenida a partir del uso de recursos no renovables. Este hecho como se ha mencionado motiva indirectamente el desarrollo de conceptos como la eficiencia energética, la optimización de procesos, la gestión eficiente de recursos, entre otros.

A nivel normativo la crisis de recursos energéticos ha obligado a establecer compromisos a escala global como el *Protocolo de Kyoto* que pretenden abordar de manera conjunta un problema que amenaza sin duda el concepto de desarrollo sostenible (COMISION MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO 1988).

En el contexto europeo se viene trabajando desde las instituciones comunitarias en el desarrollo de legislaciones y normativas que regulen las actuaciones en diferentes ámbitos, que en el caso de la edificación se concretan en la *Directiva Europea de Eficiencia Energética en los Edificios*, que obliga a los estados miembros a implementar una serie de acciones para garantizar su transposición, cuyo plazo finalizó el 4 de enero de 2006 y su aplicación definitiva deberá darse a más tardar el 4 de Enero de 2009.

A continuación se presenta un breve resumen del alcance de las disposiciones de la directiva, así como un ejemplo del tipo de la incidencia que va generando su aplicación sobre las empresas del sector de la energía y la eficiencia energética de los edificios

#### **1.7.1. La directiva europea de eficiencia energética de los edificios**

El 16 de diciembre de 2002 fue aprobada la Directiva europea 2002/91/CE sobre Eficiencia Energética de los Edificios que obliga a los estados miembros a poner en vigor las disposiciones

legales, reglamentarias y administrativas necesarias, para dar cumplimiento a los siguientes requisitos<sup>7</sup>:

- a) Aplicación de requisitos mínimos de *Eficiencia energética* para edificios nuevos y grandes edificios existentes, que sean objeto de reformas importantes
- b) *Certificación energética* de edificios
- c) Inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado.

En cuanto al apartado a) en el marco de los trabajos de redacción y próxima aprobación del Código Técnico de la Edificación se han incorporado las exigencias de requisitos mínimos de *Eficiencia energética* y las herramientas de evaluación asociadas para su implementación (Programa LIDER) en las tipologías de edificios que se definen.

En cuanto al apartado b) es necesario explicar que la *Certificación energética* de un edificio es un proceso administrativo que verifica la *Calificación energética* obtenida por el edificio respecto al proyecto y a la obra realmente ejecutada.

La *Calificación energética* del edificio es el resultado de comparar el consumo energético real del edificio, o el que se estime necesario para satisfacer las necesidades asociadas a un uso estándar del mismo, reflejado en indicadores cuantitativos calculados de acuerdo con una metodología de cálculo, con el de un edificio de referencia.

La metodología de cálculo que se utilizará para obtener la calificación energética del edificio deberá cumplir con los requisitos definidos en la directiva.

En el caso Español la implementación de la directiva coincide con los trabajos que el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE venía desarrollando en el marco de la directiva anterior (SAVE 76/93) y que desarrolla el Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla.

En el marco de estas acciones se venía desarrollando el proyecto CEV (Calificación energética de viviendas) que se ha actualizado con el desarrollo de la herramienta CALENER que amplía el ámbito al resto de tipología de usos y coincide con los trabajos de actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE.

CALENER es una de las herramientas utilizadas y analizadas en esta tesis (ver Anexo 3.3) que esta llamada a ser la herramienta "oficial" de calificación energética y fundamental en el proceso de certificación ya que sigue la metodología y las disposiciones análogas a las indicada por la Directiva, valorando la contribución a las emisiones totales de los diferentes sistemas que aparecen en los edificios: iluminación, agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración. Para cada uno de ellos se calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes

### 1.7.2. Los "Energy performance contracts" (EPC)

Las directivas de eficiencia energética y de control de emisiones de CO<sub>2</sub> están llamadas a generar un cambio en la perspectiva de gestión y control de los recursos energéticos que se consumen en los edificios. Esta nueva perspectiva supone también, ampliar el ámbito de actuación y generar nuevas oportunidades de negocio para las empresas que se dedican a la gestión de instalaciones, e incluso para las empresas suministradoras de recursos energéticos

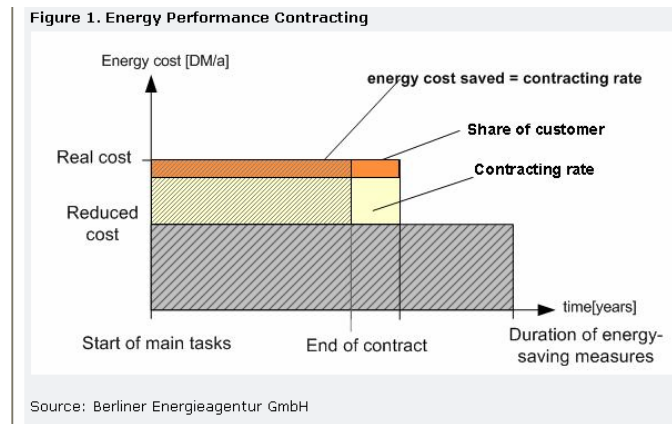
En este contexto surgen a finales de la década de los 90 los "Energy performance contracts" **EPC** como herramientas en forma de contratos o acuerdos legales entre el propietario de un edificio o grupo de edificios y las denominadas Compañías de Servicios Energéticos **ESCO** que

---

<sup>7</sup> Pedro A. Prieto González. Certificación energética. Ponencia presentada en el seminario S-16 sobre la eficiencia energética en la edificación, organizado por el Instituto Eduardo Torroja. 06-2004

se encargan de analizar el “desempeño” energético de los edificios e identificar el potencial de mejora y las inversiones necesarias para optimizarlo.

La ESCO se encarga de planificar, financiar e implementar las medidas de eficiencia en el edificio, cuyo resultado se traduce en un ahorro de costes de energía para el cliente (y su reducción de impacto asociado) que remunera a la ESCO con un porcentaje del ahorro conseguido y pactado en el contrato **EPC**.



**Fig. 1.14** Esquema de contratación tipo EPC  
Fuente: Berliner Energieagentur GmbH

Lo interesante de esta modalidad de contratación es que, para la empresa ESCO, el proyecto se basa en su eficacia y su compensación está ligada al ahorro de energía obtenido, siendo la ESCO la que asume el riesgo de la operación.

El desarrollo de este trabajo, permitirá identificar la forma en que este tipo de iniciativas y otras que propongan objetivos similares, se conviertan en verdaderas alternativas de optimización del panorama actual del uso de los recursos energéticos en la edificación.



---

## **2. Capítulo Definición de la muestra a estudiar**

---

- 2.1. Selección de la muestra**
- 2.2. Trabajos preliminares de investigación**
- 2.3. Edificios seleccionados**
  - 2.3.1. Edificios en campus universitario**
    - 2.3.1.1. Características generales**
    - 2.3.1.2. Tipología arquitectónica y constructiva**
    - 2.3.1.3. Características de las instalaciones**
  - 2.3.2. Edificios autónomos**
    - 2.3.2.1. Características generales**
    - 2.3.2.2. Tipología arquitectónica y constructiva**
    - 2.3.2.3. Características de las instalaciones**



## 2. Capítulo. Definición de la muestra a estudiar

El análisis de la hipótesis planteada se lleva a cabo mediante el estudio de las características y el seguimiento del consumo energético, de algunos edificios con diferencias y similitudes en cuanto a los factores que a priori se considera que determinan dicho consumo. Se pretende recopilar los datos que permitan determinar la importancia cuantitativa de cada uno de estos factores:

- El lugar: Las condiciones climáticas del entorno en que se encuentre ubicado el edificio, el emplazamiento de cada edificación, etc.
- Las características del edificio: La tipología edificatoria, las características arquitectónicas (forma, volumen, compacidad, esbeltez, etc.), constructivas (materiales, soluciones constructivas, etc.), instalaciones y sistemas.
- El uso: Tipología, cantidad, intensidad, etc.

### 2.1. Selección de la muestra

Para seleccionar la muestra adecuada que permitiera realizar el estudio propuesto se plantearon algunas condiciones necesarias a cumplir:

- El período de estudio debía cubrir todas las fases (estaciones) del año con el fin de poder analizar la variación de los diferentes factores a lo largo del período.
- La disponibilidad y el acceso a la información se consideró un factor muy importante ya que para un período de estudio de al menos un año y trabajando sobre más de un edificio a la vez, el trabajo de campo debía poder coordinarse de acuerdo a los medios y recursos disponibles.
- Disponer de edificaciones con diferentes tipologías de uso y en entornos climáticos distintos.
- Seleccionar edificios en donde las posibilidades de gestión del uso y los recursos energéticos sean grandes.

Teniendo en cuenta estas condiciones, un Campus Universitario se podría considerar como un una muestra "ideal" para realizar el estudio planteado, ya que permitía disponer de diversas edificaciones con las características y condiciones requeridas, con una disponibilidad de acceso a la información más o menos centralizada y con la posibilidad de realizar una buena coordinación logística del trabajo de campo a realizar.

A partir de estas consideraciones se propuso estudiar algunas edificaciones de la UPC para lo cual se realizaron diferentes estudios preliminares con el fin de acotar el ámbito del trabajo y escoger los edificios que mejor respondieran a los criterios definidos.

### 2.2. Trabajos preliminares de investigación

En el desarrollo de los créditos de investigación del programa de doctorado, y anticipándonos a lo que sería el planteamiento de esta tesis, se realizaron diferentes trabajos de análisis sobre los edificios de la UPC, que sirvieron de aproximación a lo que sería la muestra de edificios a estudiar en la tesis. Estos trabajos se plantearon desde el ámbito general de la UPC para ir acotando de acuerdo a las diferentes tipologías edificatorias, hasta seleccionar algunos edificios a estudiar en forma detallada.

Los trabajos preliminares mencionados son:

- Análisis de Impacto ambiental de la UPC (Julio de 2002)

Consignado en un informe presentado en julio del 2000. Se trata de un trabajo de medición del impacto ambiental asociado al consumo de las construcciones de la Universidad a diferentes niveles y en diferentes fases con el fin de establecer cómo es la relación entre la actividad que desarrolla la UPC y su consumo energético.

- *Nivel 1: Inventario general*

Se levantaron datos generales que permitieron establecer un primer nivel de relaciones, datos de población, superficie, créditos impartidos, consumos a nivel general, entre otros.

- *Nivel 2: Análisis por Campus.*

Se levantaron datos específicos de los diferentes campus que posee la UPC y se definieron indicadores que permitieron establecer relaciones entre actividad y consumo que se compararon con los valores obtenidos en el nivel anterior.

- *Nivel 3: Análisis según características de los edificios:*

A este nivel se compararon edificaciones que tuvieran similitudes, ya sea en su arquitectura, en el uso, etc.

- *Nivel 4: Análisis detallado de una edificación y su uso.*

Retomando los datos obtenidos hasta ahora se propuso realizar un análisis específico de una determinada tipología de edificación levantando información detallada de: características arquitectónicas, cantidad de actividad, volumen de personas, instalaciones etc. y se complementó con un trabajo de campo donde se realizaron mediciones de consumo en diferentes lugares del edificio y a diferentes horas lo que nos permitió tener una primera aproximación de como es la relación entre el consumo energético de una edificación y la actividad que soporta.

- Análisis del consumo energético de las Bibliotecas de la UPC: base de la propuesta ambiental del proceso ACA2.

A partir de lo propuesto en el nivel 4 se realizó un ejercicio sobre un uso específico (bibliotecas) trabajando inicialmente en el edificio de la Biblioteca Rector Gabriel Ferrater del Campus Nord (BRGF) que coincidió con el interés de la Universidad por establecer unos criterios ambientales para incorporarlos al cuadro de exigencias de los proyectistas de algunas edificaciones del nuevo campus de la UPC en Castelldefels (FERRER D.; GRANADO N.; DIAZ A. 2003).

Inicialmente la UPC solicitó establecer los criterios para el desarrollo de la nueva Biblioteca con lo que el trabajo realizado para el edificio de la BRGF se sumó al análisis de otras 2 bibliotecas de la UPC, la de la escuela de Arquitectura del Vallès y la de la Escuela de Terrassa y nos permitió establecer un análisis de una misma actividad (bibliotecas) en 3 contextos diferentes y que será el punto de partida de los trabajos a desarrollar a continuación.

- Laboratorio real

En enero de 2002 como uno de los proyectos **Laboratori REAL** (Laboratori de Recerca per a l'Excel·lència Ambiental del Campus de Castelldefels) que coordina el Centro Interdisciplinario de Tecnología, Innovación y Educación para la Sostenibilidad ,CITIES (en ese momento Pla de medi ambient de la UPC) , se propuso realizar el trabajo de investigación denominado "*Determinación de los consumos de los edificios universitarios para establecer un modelo general de referencia*" que consistió en el análisis de las características y el seguimiento del consumo energético y las condiciones ocupacionales y funcionales en algunas edificaciones de la UPC.

En este documento se propuso la metodología del "trabajo de campo" y se obtuvo la información necesaria sobre la cual trabajar y verificar la hipótesis propuesta en esta tesis.



Los resultados de este trabajo se resumen en el informe "*Indicadores de consumo energético edificaciones UPC*" de Mayo de 2003 y han sido presentados en diferentes congresos y jornadas hasta la fecha (ver capítulo 8).

- Laboratorio real 2.

Retomando la experiencia de los trabajos antes mencionados, actualmente se trabaja en el desarrollo de una proyecto de investigación en el marco del **Laboratorio Real 2**, que pretende analizar la aplicación de criterios ambientales y las políticas de ahorro y eficiencia energética en los edificios de la UPC, en donde además se propone aplicar el planteamiento de esta tesis y el desarrollo de la misma.

### 2.3. Edificios seleccionados

Se seleccionaron 6 edificaciones de las diferentes tipologías de edificios de la UPC, que presentaran diferencias y similitudes según las características de cada una para cada factor mencionado: ubicación, características del edificio y uso.

Con el fin de ordenar la información y plantear el análisis comparativo en términos adecuados, se dividieron en 2 grupos los edificios a estudiar (UPC 2002): el primero de ellos referido a edificios ubicados dentro de un campus, que comparten con otros edificios servicios (bibliotecas, bares, copisterías, etc.), y el segundo grupo de edificios "autónomos" que incluyen en su programa todos los servicios que les permiten funcionar de forma independiente

Los edificios seleccionados son los siguientes (**Tabla 2.0**):

- Edificios pertenecientes a campus: 3 módulos del campus nord de Barcelona con usos similares en 2 de ellos (módulos C-3 y D-4) y un edificio de uso especializado (aulario A-6)
- Edificios autónomos: 3 Escuelas Universitarias (EPSEB, ETSAB, ETSABV) que incluyen todos los servicios (usos) que le permiten funcionar de forma autónoma. En esta categoría se analiza un edificio ubicado en otro emplazamiento con condiciones climatológicas diferentes (ESTAV en Sant Cugat)

CATEGORIA	TIPOLOGIA	USOS	UBICACIÓN
Edificios autónomos	Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB)	Mixtos: Despachos, aulas, laboratorios, biblioteca, bar, copistería, tienda, etc.	Barcelona
	Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB)	Mixtos: Despachos, aulas, laboratorios, biblioteca, bar, copistería, tienda, etc.	Barcelona
	Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV)	Mixtos: Despachos, aulas, laboratorios, biblioteca, bar, copistería, tienda, etc.	Sant Cugat del Vallès
Edificios en campus	Módulo C-3	Mixtos: Despachos, aulas, laboratorios.	Barcelona Campus Nord
	Módulo D-4	Mixtos: Despachos, aulas, laboratorios.	Barcelona Campus Nord
	Módulo A-6	Especializado: Aulario	Barcelona Campus Nord

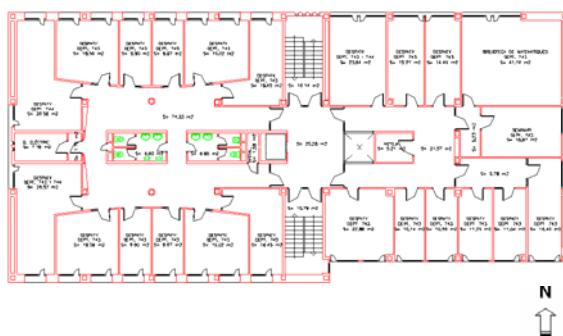
**Tabla 2.0** Muestra de edificios a estudiar seleccionados.

## Descripción de los edificios:

### 2.3.1. Edificios en campus universitario

#### 2.3.1.1. Características generales:

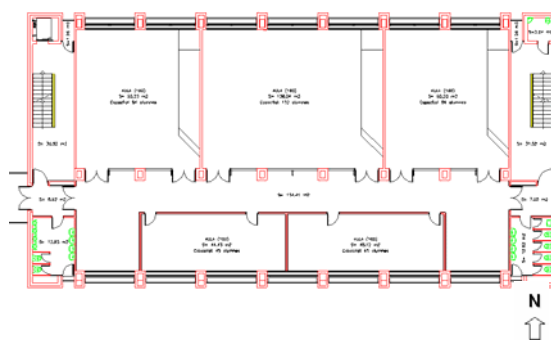
Se han seleccionado tres edificios del Campus Nord de la UPC en Barcelona, construidos en los años 80 con usos similares en dos de ellos (C-3 y D-4) que combinan zonas de despachos, laboratorios, algunas aulas y con uso especializado en el módulo A-6 dedicado a aulario.



**Fig. 2.0** Campus Nord. Módulo C-3: Fachada sur y planta tipo



**Fig. 2.1** Campus Nord. Módulo D-4: Fachada norte y planta tipo

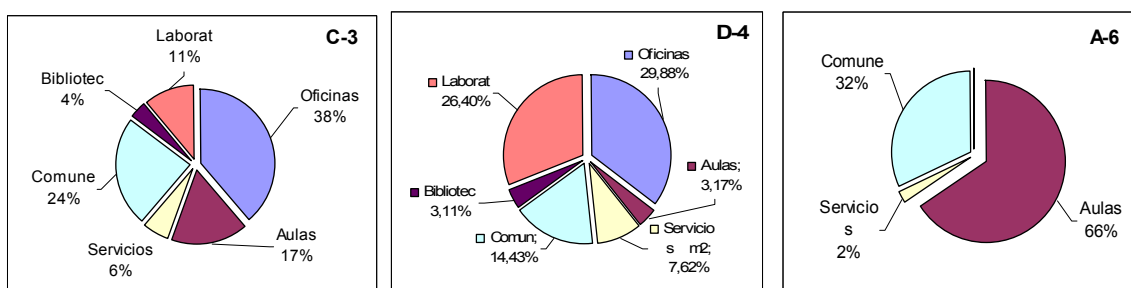


**Fig. 2.2** Campus Nord. Módulo A-6: Fachada sur y planta tipo

Datos generales edificios en campus *			
Edificio	C-3	D-4	A-6
Estudiantes	173	86	705
Profesores	78	762	128
Capacidad lectiva / Créditos	1.310 Cr	1.665 Cr	5.852 Cr
Personal de Administración y Servicios	7	13	2
Superficie útil	3.123 m <sup>2</sup>	2.642 m <sup>2</sup>	2.244 m <sup>2</sup>
Horas de servicio / año	3.360 h	3.402 h	2.280 h
Horas de usuario día	2.269 h	1.583 h	5.916 h

\* Datos para el período 2002 – 2003

**Tabla 2.1** Resumen de características generales edificios en Campus



**Fig. 2.3** Usos Módulos C-3, D-4 y A-6.

### 2.3.1.2. Tipología arquitectónica y constructiva.

Se trata de tres módulos de geometría rectangular muy similar en el volumen sobre rasante. El módulo C-3 tiene un sótano de geometría singular que le supone una superficie total mayor a los demás módulos (un 17%). En el caso del módulo A-6 si bien tiene espacios en semi-sótano, que a efectos de este estudio no se consideran ya que tienen una gestión energética independiente y están claramente diferenciados del resto del edificio.

Constructivamente en todos los casos son edificios de estructura de hormigón, las fachadas se resuelven con ladrillo visto como acabado exterior, aislamiento de 3-4cm, cámara de aire de espesor variable y tabiques interiores. Las cubiertas son del tipo invertido no-transitable con aislamiento rígido de espesor variable. Hay en general gran cantidad de puentes térmicos en las superficies alrededor de las ventanas, frentes de forjado y pilares a fachada.

La carpintería exterior es metálica sin rotura del puente térmico con acristalamiento sencillo de 6 y 8mm en la mayoría de los casos y persianas exteriores metálicas. En algunas zonas aparecen acabados con muros de bloques de pavés.

Las divisiones interiores, salvo en los muros que dividen Aulas que tienen un espesor de 30 cm. con aislamiento acústico incluido, son en la mayoría de los casos de tabique cerámico de 5 cm. de espesor o de tabiques de madera.

### 2.3.1.3. Características de las instalaciones

A continuación se resumen las principales características de las instalaciones de los edificios que se detallarán posteriormente en el trabajo de campo y se registran en el **anexo 3.1**, son datos obtenidos a partir de los planos existentes, las inspecciones y entrevistas realizadas con el personal que gestiona los edificios

Instalación	Edificio C3	Edificio C-4	Edificio A-6
<b>• Iluminación</b>			
Luminarias	Fluorescente Estándar (36-58W)	Fluorescente Estándar (36-58W)	Fluorescente Estándar (36-58W)
Control	Individual usuario Sin sensores/temporiz	Individual usuario Sin sensores/temporiz	Zonificado/por aula Sin sensores/temporiz
<b>• Calefacción</b>			
Generación	Centralizada 2 Calderas gas natural	Centralizada 2 Calderas gas natural	Centralizada 1 Caldera gas natural
Distribución	Sistema agua-aire 2 tubos	Sistema por agua 2 tubos	Sistema por agua 2 tubos
Regulación	Control de Tº de impulsión/retorno, 1 sonda interior por fachada + 1 exterior	Control de Tº de impulsión/retorno, 1 sonda interior por fachada + 1 exterior	Control de Tº de impulsión/retorno, 1 sonda interior por fachada + 1 exterior.
Emisores	Fan-coils	Radiadores	Radiadores
% espacios atendidos *	100%	100%	100%
<b>• Refrigeración</b>			
Generación	Centralizada, enfriadoras eléctricas en cubierta	Individual Splits / Bombas de calor eléctricas	-
Distribución	La misma infraestructura de calefacción	-	-
Regulación	Control de Tº de impulsión/retorno , 1 sonda por fachada.	Control individual con termostato de ambiente	-
Emisores	Fan-coils	Split – Bomba de calor	-
% espacios atendidos *	96.24%	73.70%	0%
<b>• Equipos especiales</b>	Ascensores Centro de cálculo Equipos laboratorios	Ascensores Centro de cálculo Equipos laboratorios	Ascensores

\* El porcentaje de espacios atendidos se refiere al porcentaje de espacios que según las políticas de la UPC<sup>8</sup> requieren disponer de sistema de calefacción o refrigeración por el tipo de uso que tienen.

**Tabla 2.2** Resumen de características principales de instalaciones. Edificios en campus.

<sup>8</sup> Plan Plurianual de Inversiones en edificios existentes PPIEE 2004-2006, Comisión de aire acondicionado. Vicerrectoría adjunta de edificaciones UPC.

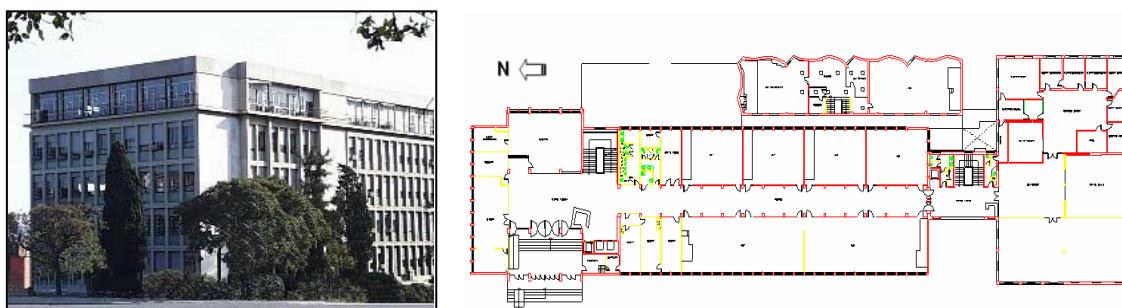
## 2.3.2. Edificios autónomos:

### 2.3.2.1. Características generales

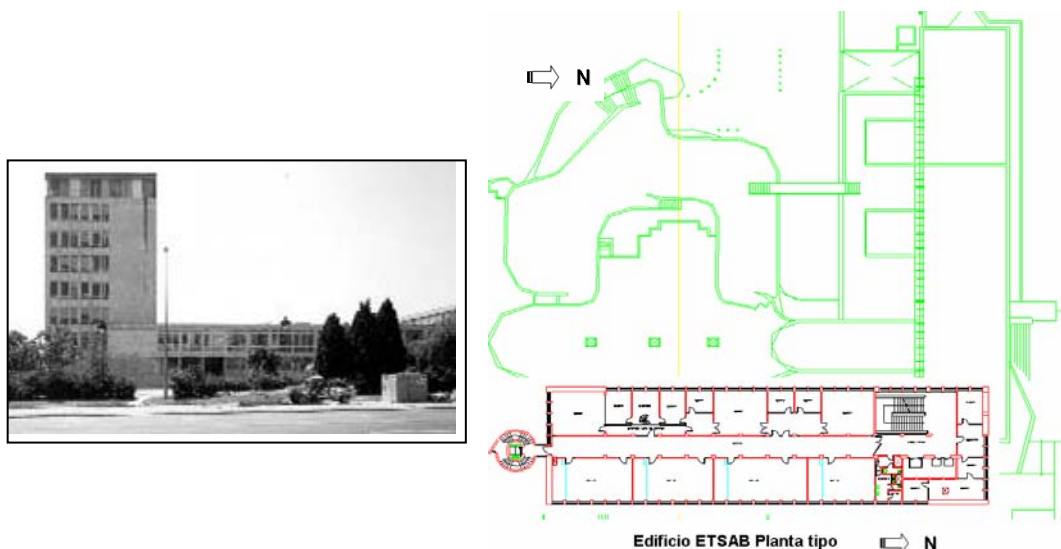
Se han seleccionado 3 edificios que, como se ha mencionado, tienen una combinación de usos (despachos, aulas, bibliotecas, copisterías, bar, etc.) que les permiten funcionar de forma autónoma independiente del campus en que se encuentren.

Del Campus Sud de la UPC en Barcelona se estudian la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB) y la Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB).

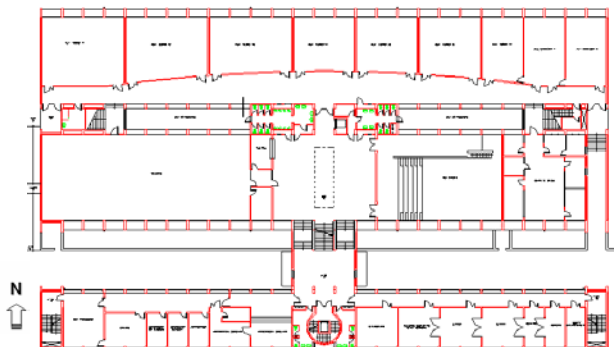
Con el fin de comparar estas edificaciones con una de uso similar en condiciones climáticas diferentes se estudia también la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV) ubicada en Sant Cugat del Vallès a 20 Km. de Barcelona.



**Fig. 2.4** Edificio EPSEB Barcelona, vista general y planta tipo.



**Fig. 2.5** Edificio ETSAB Barcelona, fachada norte y planta tipo.

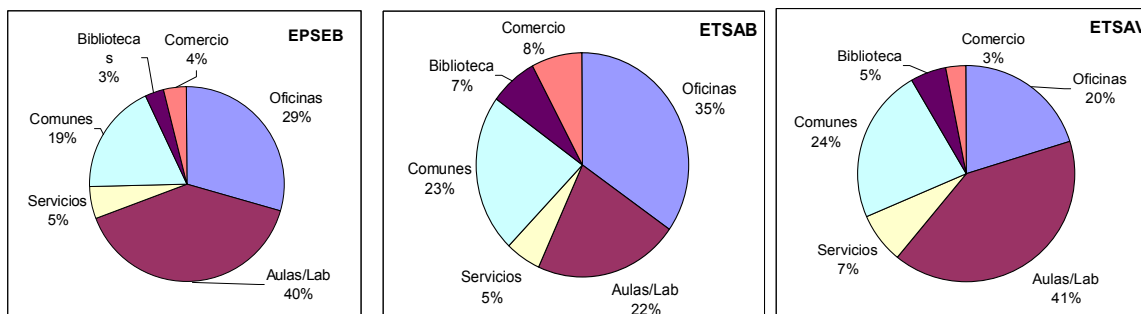


**Fig. 2.6** Edificio ETSAB Sant Cugat del Vallès, Fachada sur y planta tipo.

Datos generales Edificios Autónomos *			
Edificio	EPSEB	ETSAB	ETSAV
Estudiantes	2.369	1.425	1.135
Profesores	152	204	108
Créditos matriculados totales	126.997 Cr	70.519 Cr	54.489 Cr
Personal de Administración y Servicios	36	44	27
Superficie útil	13.683 m <sup>2</sup>	10.301 m <sup>2</sup>	7.767 m <sup>2</sup>
Horas de servicio / año	3.360 h	3.402 h	3.623 h
Horas de usuario día	13.621 h	8.713 h	7.241 h

\* Datos para el período 2002 – 2003

**Tabla 2.6** Resumen de características generales edificios autónomos



**Fig. 2.7** Usos módulos EPSEB, ETSAB y ETSAB

### 2.3.2.2. Tipología arquitectónica y constructiva.

#### Edificios EPSEB y ETSAB:

Los edificios del Campus Sud (EPSEB y ETSAB) tienen una tipología arquitectónica y constructiva similar, son construcciones de los años 60 con un "basamento" que corresponde a las plantas baja y semisótano (y primera en la ETSAB) de geometría singular diferente a la del resto del edificio que se desarrolla en altura.

En el caso de la ETSAB teniendo en cuenta la independencia en la gestión de los recursos energéticos no se incluye en este estudio el edificio CODERCH y se centra solo en lo que se denomina "**edificio SEGARRA**" cuyas plantas inferiores se desarrollan en "L" y al igual que la EPSEB el resto del edificio crece en altura sobre una planta rectangular orientada este-oeste. En la EPSEB este volumen es de 3 plantas y en la ETSAB son 6 plantas.

Constructivamente se trata de edificios de estructura de hormigón con forjados cerámicos, en relación a los cerramientos exteriores, por la fecha de su construcción, se trata de edificios sin aislamiento térmico con revestimientos exteriores de piedra natural sobre muros de 15 cm de espesor con cámaras de aire de espesor variable y tabiques interiores revestidos con yeso. Los pilares que dan a fachada que en el caso de la ETSAB están revestidos de piedra constituyen una gran cantidad de metros de puentes térmicos no resueltos.

Los puentes térmicos se repiten alrededor de ventanas y frentes de forjados y en la EPSEB hay una gran cantidad de superficie que hacia el exterior posee un acabado con plafones metálicos sin aislamiento que aumentan la debilidad de la envolvente.

Las carpinterías en general están en mal estado con acristalamiento de aluminio de vidrio sencillo de 6 mm en gran parte de las fachadas y , en el caso de la EPSEB con marcos de acero en buena parte de sus fachadas, con importantes infiltraciones a considerar en los cálculos de demanda energética a realizar. En este edificio la zona sur está resuelta con un cerramiento exterior de muro cortina de estructura de aluminio y acristalamiento sencillo de color opaco con grandes problemas de aislamiento e infiltración.

Hay una importante superficie de muros enterrados y semienterrados en las plantas bajas, que según la documentación y las consultas realizadas no posee aislamiento lo que supone una transmisión térmica importante con el terreno a considerar, al igual que en el caso de soleras y forjados.

En cuanto a las divisiones interiores y los elementos no estructurales, predominan los tabiques cerámicos de 5-10cm revestidos, así como los plafones de madera y algunas divisiones de cristal. En general son edificios que, juntamente con el mobiliario, tienen una inercia térmica importante.

#### Edificio ETSAB:

Se trata de un edificio construido en 1990-91 orientado Norte-Sur formado por 2 cuerpos paralelos: el primero de ellos (edificio docente: aulas y biblioteca) con mayor superficie y con 2 plantas de altura importante (>4m). Tiene una zona en sótano con espacios para las instalaciones generales (cuartos de calderas y mantenimiento) y el área de sala de actos de mayor altura.

El otro cuerpo es de 4 plantas (edificio de despachos) y está conectado al anterior por un cuerpo central que da acceso a los edificios y por 2 puentes laterales que unen los edificios en la primera planta.

La estructura portante es de pórticos de hormigón armado en sentido perpendicular a las fachadas largas y forjados de losa de hormigón. Los cerramientos verticales exteriores son en general de ladrillo hueco de 14cm de espesor, con aislamiento y cámaras de aire de espesor

variable y tabiques interiores cerámicos sin revestimiento. Hay gran cantidad de puentes térmicos no solucionados en frentes de forjado, pilares, y superficies alrededor de las ventanas.

Las carpinterías son de aluminio sin rotura de puente térmico, de vidrio sencillo de 6mm en la mayoría de los casos. En la cubierta del módulo de aulas hay una serie de lucernarios realizados en fábrica cerámica con láminas de policarbonato curvado.

### 2.3.2.3. Características de las instalaciones

A continuación se resumen las principales características de las instalaciones de los edificios que se detallarán posteriormente en el trabajo de campo y se registran en el **anexo 3.1**, son datos obtenidos a partir de los planos existentes, las inspecciones y entrevistas realizadas con el personal que gestiona los edificios.

Instalación	Edificio EPSEB	Edificio ETSAB	Edificio ETSAV <sup>9</sup>
<b>• Iluminación</b>			
Luminarias	Fluorescente estándar	Fluorescente estándar	Fluorescente estándar
Control	Individual usuario Sin sensores/temporiz	Individual usuario Sin sensores/temporiz	Zonificado/por aula Sin sensores/temporiz
<b>• Calefacción</b>			
Generación	Centralizada 2 Calderas gas natural	Centralizada 2 Calderas gas natural	Centralizada 2 Calderas gas natural
Distribución	Sistema por agua 2 tubos 6 circuitos (1 por fachada)	2 Sistemas: agua (4 circuitos de 2 tubos) y aire (3 turbinas y conductos verticales)	Sistema por agua 9 circuitos. bitubular y monotubular
Regulación	Control de Tº de impulsión/retorno, 1 sonda por fachada.	Control de Tº de impulsión/retorno, 1 sonda por fachada.	Control de Tº de impulsión/retorno, 1 sonda por fachada.
Emisores	Radiadores de fundición.	Radiadores (ala norte) y rejillas de impulsión de aire en locales (torre1-7ª planta)	Paneles radiantes en techo y antepechos
% espacios atendidos	100%	100%	100%
<b>• Refrigeración</b>			
Generación	Individual Splits - ventana / Bombas de calor eléctricos	Individual Splits - ventana / Bombas de calor eléctricos	Individual Splits / Bombas de calor eléctricos
Distribución	-	-	-
Regulación	Control individual con termostato de ambiente.	Control individual con termostato de ambiente.	Control individual con termostato de ambiente.
Emisores	Máquinas de ventana y bombas de calor	Máquinas de ventana y bombas de calor	Splits – Bombas de calor
% espacios atendidos	48,77%	22,58%	13,23%
<b>• Equipos especiales</b>	Ascensores Centro de cálculo Equipos laboratorios/talleres	Ascensores Centro de cálculo Equipos talleres	Ascensores Centro de cálculo Equipos talleres

**Tabla 2.4** Resumen de características principales de instalaciones. Edificios autónomos

<sup>9</sup> En este caso los datos tomados a partir de la memoria de instalaciones del edificio. Lluís Nadal Oller, Arquitecte. Març de 1.989. y verificada “in situ”.



---

### **3. Capitulo Trabajo de campo: levantamiento de datos**

---

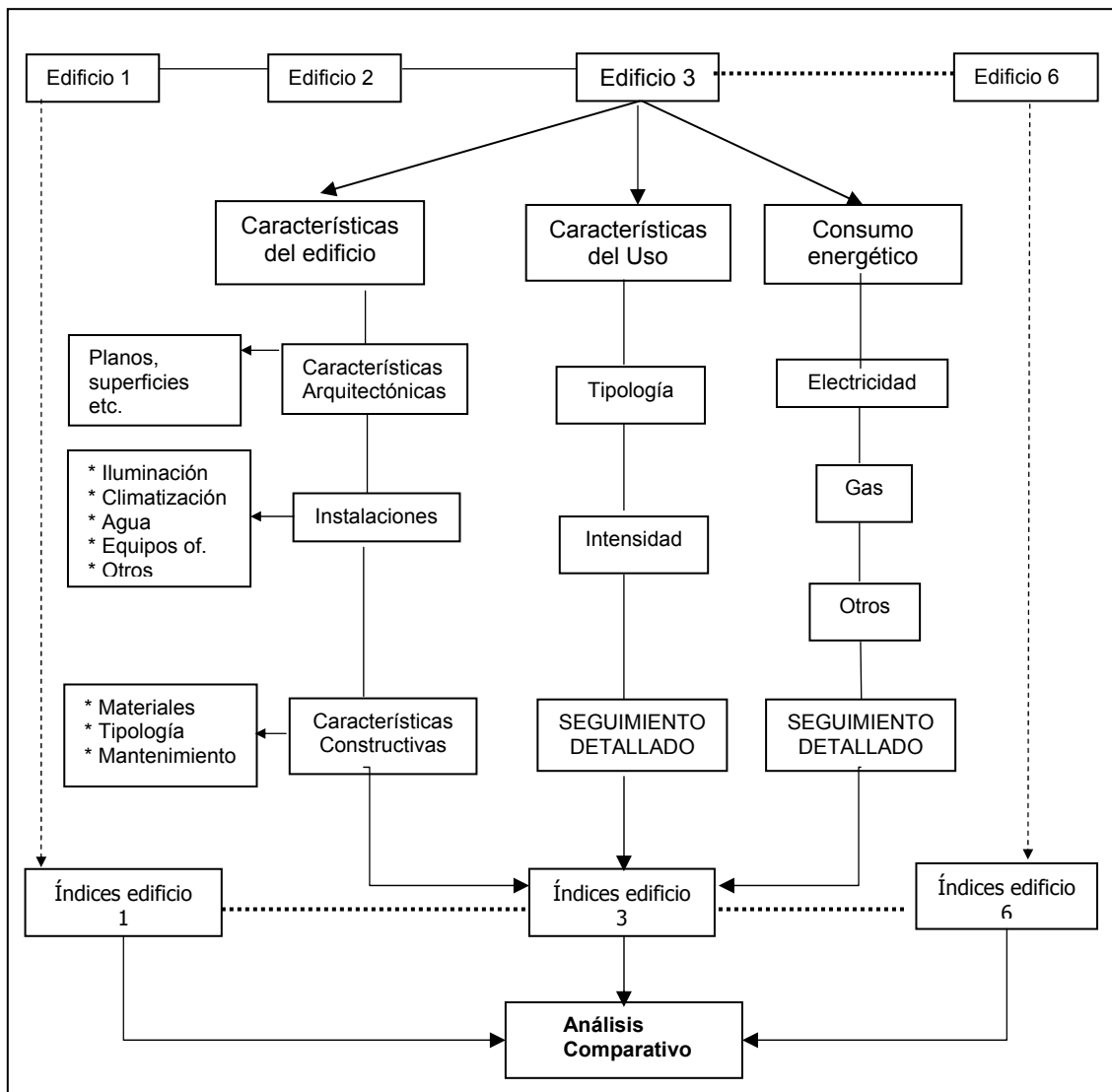
- 3.1. Metodología**
- 3.2. Inventario de las características de los edificios: levantamiento de datos estáticos**
- 3.3. Seguimiento del consumo y la ocupación de los edificios: levantamiento de datos dinámicos**
  - 3.3.1. Seguimiento detallado del consumo de recursos energéticos**
  - 3.3.2. Seguimiento detallado de la ocupación de los edificios**
  - 3.3.3. Seguimiento detallado de las condiciones climáticas**
- 3.4. Definición de índices de referencia**
- 3.5. Resultados del trabajo de campo : Índices obtenidos**
- 3.6. Análisis y comentarios de los índices obtenidos**



### 3. Capítulo Trabajo de campo: levantamiento de datos

#### 3.1. Metodología

El estudio se realizó durante el año 2002 coincidiendo con el calendario académico 2002-2003 de la UPC; se desarrolló de acuerdo a la metodología de "Auditoria energética" tomando como referencia el modelo propuesto por el Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona en el libro: Manuals 2: Auditoria energètica II; Instal·lacions i Edificis. Levantando información relacionada con las características de cada edificio, el uso que tiene y el consumo de energía para cada uno de los usos energéticos que posee. (Fig 3)



**Fig. 3.1** Metodología del trabajo de campo

Este trabajo permite obtener 2 tipos de datos claramente diferenciados. De un lado el levantamiento de las características de los edificios y los sistemas que poseen, está referido a la obtención de datos de carácter "Estático", por no variar en el tiempo o tener una variación lenta y controlable (reformas en el edificio o las instalaciones). De otro lado, el trabajo de monitorización del consumo y la ocupación del edificio que permite obtener datos de tipo "Dinámico" con una importante variabilidad en el tiempo y que como se vera mas adelante merece una consideración importante.

### 3.2. Inventario de las características de los edificios: levantamiento de datos estáticos

El objetivo es obtener toda la información que permita caracterizar los edificios y poder establecer el escenario de partida sobre la cual realizar un primer de análisis de los edificios y definir unos índices que permitan comparar los datos obtenidos.

Se trabajó en tres ámbitos diferentes relacionados con: Las características de la edificación, del uso y de los sistemas que posee. Los aspectos analizados en cada ámbito son los siguientes:

- Características de la edificación:
  - Información general
    - Planos: Recopilación y levantamiento cuando fue necesario.
    - Superficies y usos: Identificación detallada de usos de cada espacio y su superficie correspondiente.
  - Características arquitectónicas y constructivas:
    - Tipología arquitectónica
    - Características de la envolvente
      - Proporción de lleno / vacío
      - Aislamiento
      - Aportes internos
      - Captación solar
      - Inercia térmica
- Características del perfil teórico de uso y gestión del edificio:
  - Tipología de uso: Datos generales del tipo y la cantidad de uso de acuerdo a las unidades de referencia establecidas para la UPC (Créditos, Estudiantes Equivalentes a Tiempo Completo EETC, horas de uso, etc.)
  - Intensidad: Proyección de la intensidad de uso de acuerdo a lo programado para cada edificación. Registros históricos de usuarios.
- Características de los sistemas
  - Iluminación:
    - Sistemas empleados
    - Condiciones de utilización.
  - Fuerza
    - Características de los aparatos
    - Régimen de funcionamiento
  - Acondicionamiento climático
    - Condiciones ambientales y de confort
    - Sistemas de acondicionamiento
      - Generadores de calor / frío
      - Bombas y ventiladores
      - Conductos de distribución
      - Emisores
    - Características de los locales
    - Condiciones de utilización

El trabajo se llevó a cabo utilizando formatos o fichas de inventario **Fig. 3.2 y 3.3** que permitían recoger la información de cada uno de los locales del edificio y obtener el resumen por usos energéticos y globales del edificio:

**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS EDIFICACIONES**

EDIFICIO:

DATOS GENERALES

Ubicación:       Superficie total:       Volumen:

INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA

Plano	Completos	Incompletos	Observaciones
Alzados			
Plantas			
Secciones			
Instalaciones			

CARACTERÍSTICAS DEL USO

Uso	% del total
Usos principales	0.00%
Usuarios potenciales	0.00%

ARQUITECTURA

Envoltura					
	Orientación	% Vaco	Sup. Total	Coef.U	Materiales
Fachada 1					
Fachada 2					
Fachada 3					
Fachada 4					
Cubierta					
Solas					

Estructura e interiores			
	Superficie	Orientación	Materiales/Características
Forjados			
Paredes divisorias			
Tabiques			
Otros elementos			

RECURSOS ENERGÉTICOS

Electricidad					
Contador	Tipo Individual/Conjunto	Potencia Contratada	Nº Pólizas	Consumo anual Activa	Consumo anual Reactiva/2002

Gas				
Contador	Tipo Individual/Conjunto	Tipo de gas	Nº Pólizas	Consumo anual 2002

Otros combustibles					
Contador	Tipo Individual/Conjunto	Tipo de combustible	Tipo de suministro	Nº Pólizas	Consumo anual 2002

Agua				
Contador	Tipo Individual/Conjunto	Uso	Nº Pólizas	Consumo anual 2002

ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO

Calefacción				
	Central	Tipo	Individual	Tipo

Refrigeración				
	Central	Tipo	Individual	Tipo

Fig. 3.2 Formato levantamiento datos generales.

**Formato de inventario de instalaciones y equipamiento**

EDIFICIO:       Fecha visita:  dd/m/aa

Espacio:       Uso del espacio:

Código N°:       Nº de Usuarios habituales:

CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

1. ILUMINACION			
Elemento	Cantidad	Potencia (W)	Tipo/Modelo
a. Fluorescente			
b. Incandescente			
c. Halógenos			
d.			
e.			
f.			
Potencia total:		0.00Kw	

2. FUERZA			
Elemento	Cantidad	Potencia (W)	Tipo/Modelo
a. Ordenadores			
b. Impresoras/scanner			
c. Calentadores			
d.			
e.			
f.			
Potencia total:		0.00Kw	

3. ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO - Generación de Calor			
Elemento	Cantidad	Potencia (W)	Tipo/Modelo
a. Radiadores			
b. Bomba de calor			
c. Fan Coil			
d. Rejilla equipo centralizado			
e. Equipo autónomo			
f.			
Potencia total:		0.00Kw	

3. ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO - Generación de Frío			
Elemento	Cantidad	Potencia (W)	Tipo/Modelo
a. Bomba de calor/frío			
b. Split			
c. Fan Coil			
d. Rejilla equipo centralizado			
e. Equipo autónomo			
f.			
Potencia total:		0.00Kw	

Fig. 3.3 Formato levantamiento de datos por local.

### 3.3. Seguimiento del consumo y la ocupación de los edificios: Levantamiento de datos dinámicos

#### 3.3.1. Seguimiento detallado del consumo de recursos energéticos

De forma simultánea al trabajo de “Inventario” de las características de los edificios que permitió conocer los datos “estáticos” que influyen en el consumo de energía, era necesario saber cómo se consume la energía durante el período de estudio propuesto, lo que supondría conocer los datos variables o “dinámicos”.

Este trabajo se realizó en 2 niveles; el primero a partir de la información de lectura de contadores, tanto de electricidad como de gas, que permitió definir el consumo de recursos para cada mes del año y separar, hasta donde permitía el tipo de información, las tendencias de consumo de los diferentes usos energéticos del edificio. Como era necesario conocer en detalle cómo se consumían estos recursos a lo largo del mes y, a ser posible, del día, se planteó realizar un segundo nivel de seguimiento detallado del consumo instalando aparatos de medición en los contadores de energía de cada edificio en períodos específicos. Este seguimiento detallado, sólo fue posible realizarlo (de acuerdo a los contadores y sistemas de medición disponibles) para el caso de la electricidad con analizadores de red ya sea portátiles o permanentes en los edificios, que permiten obtener registros cada hora, 30 minutos, etc. del consumo de energía.

En el caso de los edificios del Campus Nord (C-3, D-4 y A-6) se disponía de analizadores de red instalados en los cuadros eléctricos generales de los edificios que envían datos de consumo permanentemente a un software instalado en la oficina de mantenimiento del campus que permitieron realizar un seguimiento ON-LINE del consumo con una gran fiabilidad en la información.

Se trata de analizadores de la marca CIRCUTOR del modelo CVM – 144 instalados en panel, que registran el consumo instantáneo de energía activa y reactiva para cada fase y en períodos de 30 minutos que se acumulan en datos históricos diarios, mensuales y anuales, gestionados con el software Power Studio vía Web.

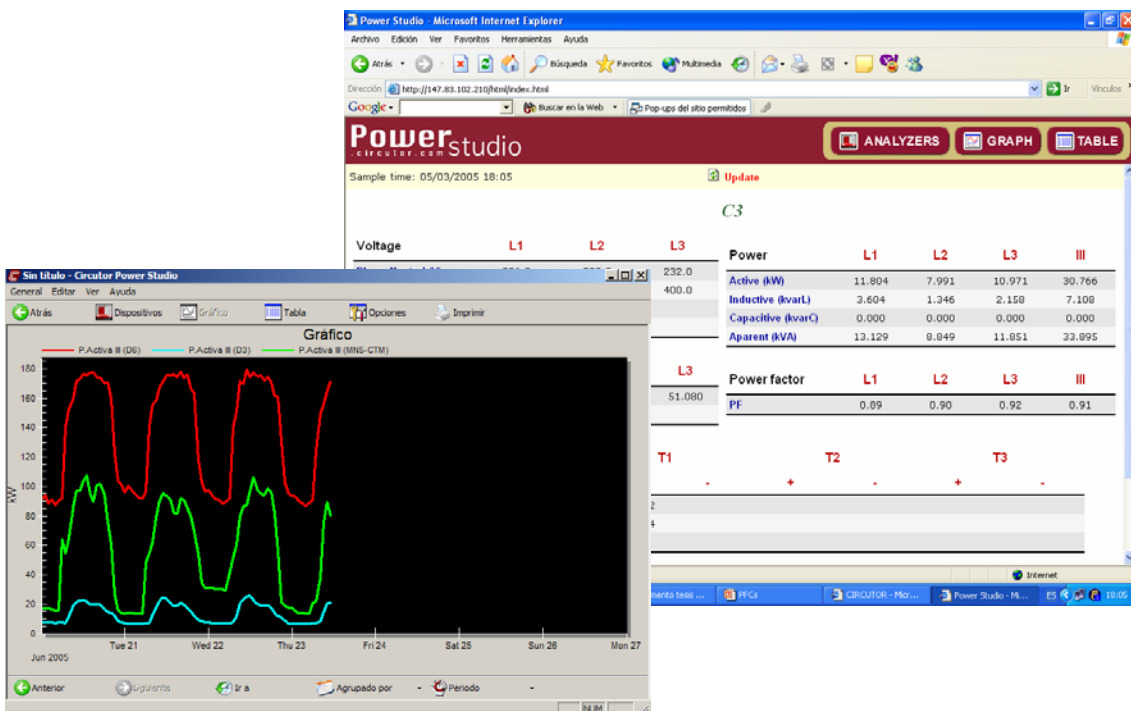
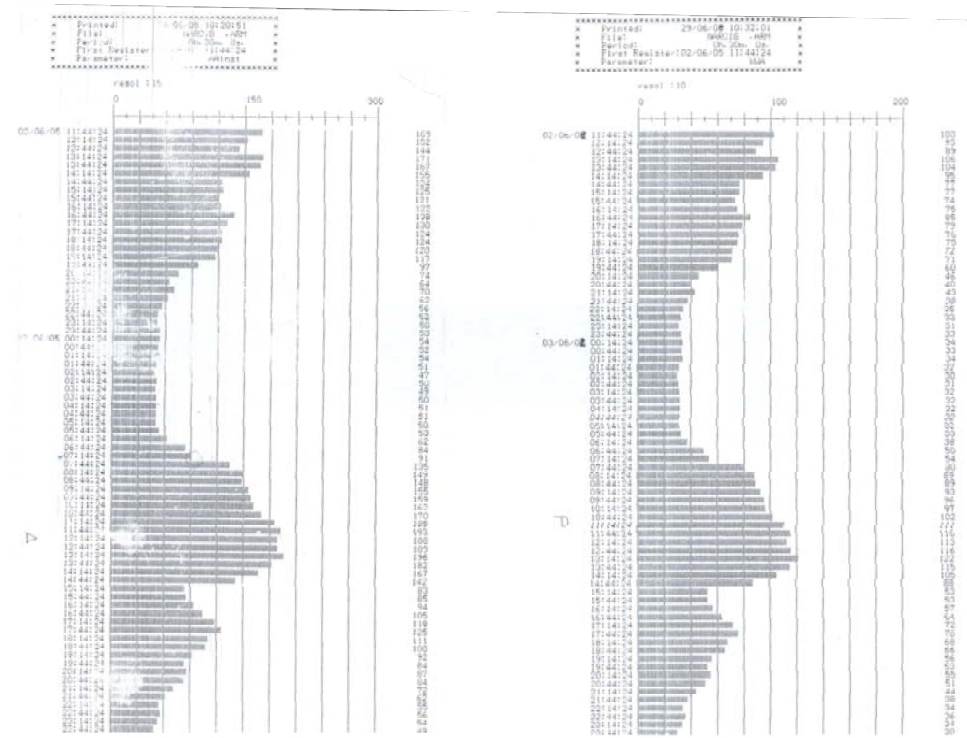


Fig. 3.4 Seguimiento detallado ON-LINE del consumo eléctrico

En los edificios autónomos que no disponían de seguimiento ON-LINE fue necesario realizar el trabajo con analizadores de red portátiles que se instalaban por determinados períodos (1 semana) en cada edificio. También se registraron los consumos cada 30 minutos (Fig. 3.5) a partir de los cuales se proyectó el consumo mensual y anual del edificio que se verificó con los datos registrados en los contadores y facturas.



**Fig. 3.5** Datos de consumo cada 30 min. con analizador de red portatiu

Se trata de equipos portátiles también de la casa CIRCUTOR tipo A.R.4 con pinzas voltiamperimétricas tipo CP-5 que registra mediciones según el período determinado en las unidades que se especifiquen (amperio, kiloWatio, voltio, etc.)



**Fig. 3.6** Equipos portátiles de medición y esquema de conexión.

En el caso del consumo de gas, no es posible realizar este nivel de seguimiento, pero sí es posible, a través del consumo eléctrico, identificar el momento en que se consume el gas en los

equipos de climatización realizando un “pinchazo” adicional con los equipos portátiles sobre el consumo de electricidad de los quemadores de las calderas de los edificios. Este “pinchazo” permite obtener valores cada 5 minutos de la puesta en marcha o el apagado de la caldera.

Para conocer la cantidad de consumo en proporción al total, se hizo un seguimiento del consumo de las bombas de impulsión de las salidas de cada circuito, suponiendo que todas las bombas funcionando corresponden a un consumo del 100% y en la medida en que las bombas dejasen de funcionar el consumo sería proporcional.

Para el caso de la refrigeración, y debido a que la mayoría de edificios tienen sistemas individuales, ha sido imposible realizar un seguimiento tan detallado como en el caso de la calefacción. El nivel de consumo se obtuvo por la diferencia respecto al consumo habitual en los meses sin refrigeración o calefacción.

En los edificios del Campus Nord ya que las instalaciones de climatización están gestionadas con el software de gestión de instalaciones de la firma SAUTER, se contó con información de horas de funcionamiento de las calderas, funcionamiento por escalonamientos, etc.

Para cada mes del año se seleccionó una semana en la que se instaló el equipo de medición en el edificio y se registraron las medidas de consumo en kWh cada 30 minutos de acuerdo a una programación que se coordinó de manera que se pudiera aprovechar la disponibilidad de los equipos y el acceso a las instalaciones **Fig. 3.7**.

CRONOGRAMA DE TRABAJO CUATRIMESTRE DE PRIMAVERA 2002																																
	Lun	Mar	Mier	Ju	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mier	Ju	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mier	Ju	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar	Mier	Ju	Vier	Sab	Dom	Lun	Mar		
FEBRERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
					EUPB					ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB		C-3/D-4			C-3/D-4	C-3/D-4		ETSAB				ETSAB	ETSAB		ETSAB						
MARZO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
			ETSAB	ETSAB		ETSAB-EUPB				ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB		ETSAB			ETSAB	ETSAB		ETSAB	AULARIO A-6			ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB	SEMANA SANTA							
ABRIL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
						ETSAB				ETSAB	ETSAB		AULARIO A-6	EUPB			AULARIO A-6	ETSAB-EUPB		C-3/D-4	ETSAB		C-3/D-4	C-3/D-4		AJUSTE	R.S			AJUSTE	AJUSTE	
MAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	ETSAB			ETSAB	ETSAB	ETSAB	ETSAB-EUPB			C-3/D-4		C-3/D-4	C-3/D-4	C-3/D-4	C-3/D-4		ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB	AULARIO A-6					AULARIO A-6	AULARIO A-6		EUPB			R.S	AJUSTE
JUNIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
		AJUSTE	AJUSTE				ETSAB		AULARIO A-6	ETSAB	ETSAB		ETSAB-EUPB		C-3/D-4	C-3/D-4	C-3/D-4			C-3/D-4		ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB	ETSAB-EUPB			R.S			ETSAB	ETSAB	ETSAB

**Fig. 3.7** Cronograma de seguimiento de consumos por cuatrimestre académico

### 3.3.2. Seguimiento detallado de la ocupación de los edificios

En el levantamiento de datos “estáticos” se obtuvo la información relacionada con la actividad en el edificio que suministraron los responsables administrativos de cada centro o las estadísticas de la UPC. Esta información permitió describir el uso “tipificado” o el perfil de uso teórico del edificio que debía ser contrastado con el trabajo de seguimiento detallado de la ocupación real de los espacios de los diferentes espacios de los edificios.

Para este seguimiento se planteó realizar en las mismas semana en que se instalaron los equipos de medición de energía, un conteo detallado de usuarios del edificio, mediante visitas aleatorias durante los días laborables de la semana, en diferentes franjas horarias en las que se



realizaron conteos de ocupantes de los diferentes espacios de cada uno de los edificios estudiados con el fin de obtener (al igual que con los instrumentos de medición que definen el perfil diario de consumo energético) el perfil diario de uso del edificio.

Las visitas se registraron en fichas de levantamientos de datos (**Fig. 3.8**) que se diseñaron para ordenar la información levantada y en las que se incluyeron casillas para valorar al mismo tiempo la cantidad de aparatos encendidos en el momento de la visita así como observaciones de confort de los usuarios o de la propia gestión del edificio (labores de mantenimiento habitual, etc.)

**Formato de seguimiento de ocupación y uso de espacios.**

EDIFICIO:	ETSAV		
FECHA:	13/Nov/2002	HORA:	12,30h

UBICACIÓN	ESPACIO	Personas	% ON-OFF ILMINACION	% ON-OFF OTROS	OBSERVACIONES
P0	ARCH. CODERCH	-	-	-	
	SERVICIOS	-	-	-	
	COPISTERIA	11	50%	100%	
	TLL. MAQUETAS	3	0%	100%	
	BAR	24	100%	100%	
	VESTIBULO	3	100%	100%	
	OTROS	2	-	-	Obras. 1 Hormigonera
		48			
P1	DESPACHOS ESTE	2+1+3	30%	80%	
	DESPACHOS OESTE	2+2	30%	30%	
	AULAS	T1 100% 20% T3 50% 20% T5 20%	100%	100%	
	AULAS info	8	100%	100%	
	SERVICIOS	-	-	-	
	BIBLIOTECA	45+	100%	100%	
	SALA DE ACTOS	80%	100%	100%	
	CENTRO DE CALCULO	5	80%	80%	
Z. COMUNES	9-	50%	-		
OTROS	5-	100%	100%	UNIVERS	
P2	DESPACHOS ESTE	4+2+1+4	30%	70%	
	DESPACHOS OESTE	1+1	10%	10%	
	AULAS ESTE	13+5+5+2+19+24	25%	100%	
	AULAS OESTE	11+19+17+38	50%	100%	
	SERVICIOS + Tienda	4	100%	100%	
	Z. COMUNES	3	50%	100%	
	OTROS Tienda	1	100%	100%	
P3	DESPACHOS ESTE	7	30%	30%	
	DESPACHOS OESTE	5+1+1	50%	50%	
	SERVICIOS				
	Z. COMUNES				
	OTROS				

**Fig. 3.8** Formatos de levantamiento de datos de usuarios

Los valores obtenidos en cada visita se consideraron representativos de cada franja horaria lo que permitió definir el perfil diario de ocupación para cada día tipo de cada una de las semanas estudiadas. Adicionalmente se tomó como premisa no repetir las visitas en las mismas franjas

horarias para las diferentes semanas, con el fin conocer al máximo las posibles variaciones en la intensidad de la ocupación de los diferentes espacios de los edificios.

En los fines de semana se realizaron visitas en los edificios que tenían programadas actividades en sábado o domingo (EPSEB, ETSAV). Adicionalmente se pudo disponer de información relacionada con la ocupación de los edificios en fin de semana a través de registros históricos llevados a cabo por los responsables de seguridad de la UPC.

		SEMANA SELECCIONADA						
Franja	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
FH 1	0:00	[Yellow]		[Yellow]			[Cyan]	[Cyan]
	1:00							
	2:00							
	3:00							
	4:00							
FH 2	5:00							
	6:00				[Yellow]			
	7:00							
FH 3	8:00							
	9:00		[Yellow]			[Yellow]		
	10:00							
FH 4	11:00							
	12:00	[Yellow]			[Yellow]			
	13:00							
FH 5	14:00							
	15:00			[Yellow]				
	16:00							
FH 6	17:00							
	18:00					[Yellow]		
	19:00							
FH 7	20:00							
	21:00		[Yellow]					
	22:00							
	23:00							
		[Yellow]	[FH 1]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Cyan]	[Cyan]
		Visita	FH 1	Franja horaria			Visita Fin de semana	

Fig. 3.9 Seguimiento del uso de los edificios: esquema para una semana tipo.

En el caso de los edificios C-3 y D-4 del Campus Nord al disponer de sistema de control de acceso electrónico para los períodos no laborables, fue posible disponer del registro de usuarios para cada una de las semanas tipo seleccionadas en el estudio. En los edificios autónomos se contó con la información de las compañías de vigilancia encargadas del control de acceso a los edificios los fines de semana a través de formularios de registro manual.

A partir de la información obtenida se estableció una "base de datos" (Fig. 3.10) de ocupación de los edificios, a partir de la cual se dibujan los perfiles diarios/semanales/mensuales a comparar y valorar entre los edificios estudiados y respecto al uso teórico y al comportamiento de otros edificios similares (Ver documentación anexa sobre datos obtenidos).

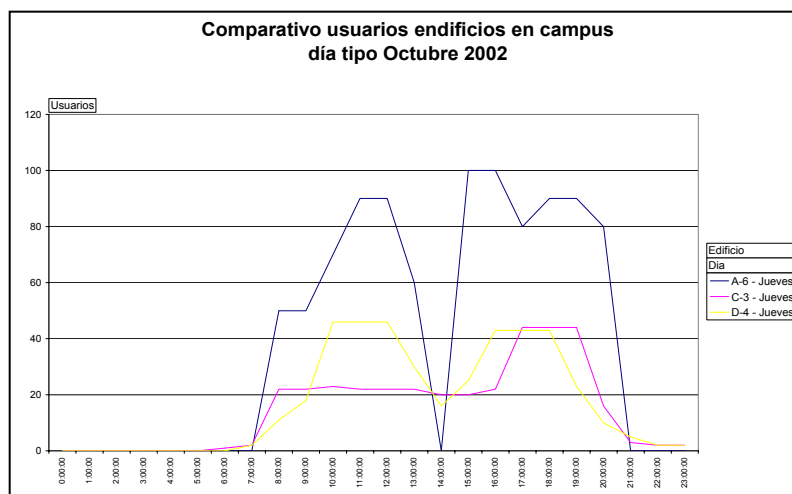
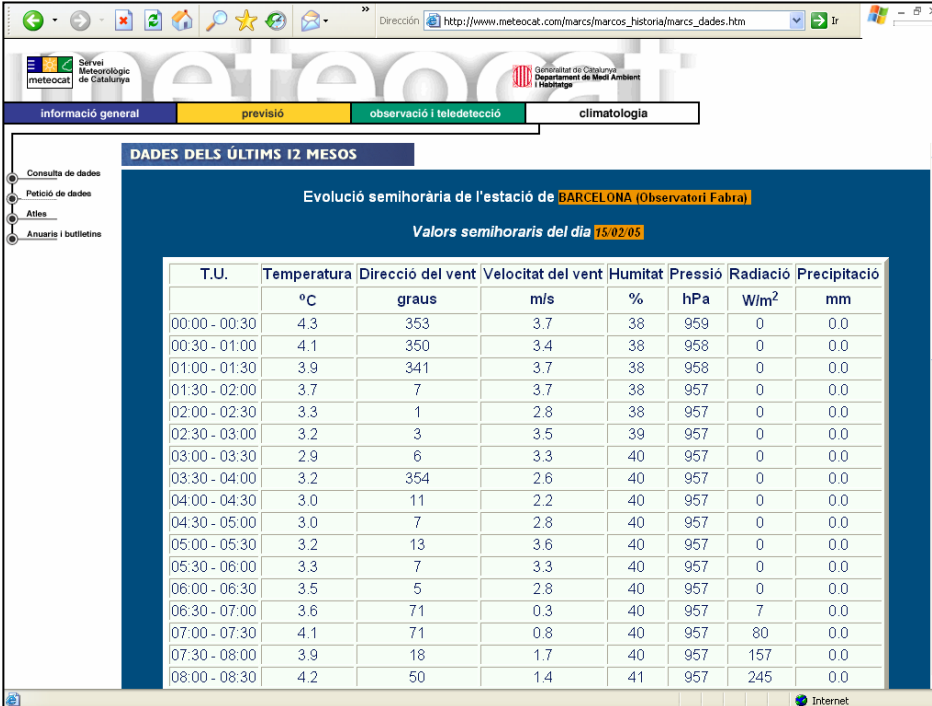


Fig. 3.10 Ejemplo de reporte base de datos usuarios. Comparativa de perfiles de ocupación. La información obtenida en este análisis detallado del uso permitirá definir el perfil de uso y gestión "real" del edificio y será fundamental para analizar la variable de **factor de gestión (Ge)** de la ecuación inicialmente planteada en esta tesis.

### 3.3.3. Seguimiento detallado de las condiciones climáticas

La variación de las condiciones de confort interior está directamente relacionada con la variación del entorno climático del edificio, por lo que se hace necesario realizar un seguimiento detallado de la evolución en el tiempo de dichas condiciones.

Para realizar este seguimiento se utilizaron los datos obtenidos del Servei Meteorològic de Catalunya (**Fig. 3.11**) que registra en fracciones semi-horarias datos de temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar y precipitaciones.



T.U.	Temperatura °C	Direcció del vent graus	Velocitat del vent m/s	Humitat %	Pressió hPa	Radiació W/m <sup>2</sup>	Precipitació mm
00:00 - 00:30	4.3	353	3.7	38	959	0	0.0
00:30 - 01:00	4.1	350	3.4	38	958	0	0.0
01:00 - 01:30	3.9	341	3.7	38	958	0	0.0
01:30 - 02:00	3.7	7	3.7	38	957	0	0.0
02:00 - 02:30	3.3	1	2.8	38	957	0	0.0
02:30 - 03:00	3.2	3	3.5	39	957	0	0.0
03:00 - 03:30	2.9	6	3.3	40	957	0	0.0
03:30 - 04:00	3.2	354	2.6	40	957	0	0.0
04:00 - 04:30	3.0	11	2.2	40	957	0	0.0
04:30 - 05:00	3.0	7	2.8	40	957	0	0.0
05:00 - 05:30	3.2	13	3.6	40	957	0	0.0
05:30 - 06:00	3.3	7	3.3	40	957	0	0.0
06:00 - 06:30	3.5	5	2.8	40	957	0	0.0
06:30 - 07:00	3.6	71	0.3	40	957	7	0.0
07:00 - 07:30	4.1	71	0.8	40	957	80	0.0
07:30 - 08:00	3.9	18	1.7	40	957	157	0.0
08:00 - 08:30	4.2	50	1.4	41	957	245	0.0

**Fig. 3.11** Servei Meteorològic de Catalunya registros meteorològics

En el caso de la ETSAV, ubicada en una climatología diferente a la del resto de edificios estudiados (Sant Cugat del Vallès) además de los datos obtenidos del Servei Meteorològic de Catalunya se pudo contar con los datos registrados por la estación meteorológica instalada en el propio edificio<sup>10</sup>, que permitió disponer de información histórica de gran utilidad para la evaluación del balance energético del edificio:

- temperatura exterior
- temperatura interior
- velocidad del viento
- estimación de grados día
- humedad relativa
- radiación

Los datos se almacenan periódicamente, se visualizan en forma gráfica a través del software *Energy* (**Fig. 3.12**) que permite comparar y analizar la información registrada en la estación y se pueden consultar de forma remota mediante acceso al servidor ftp de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès ETSAV.

<sup>10</sup> Marti Davant. Secció departamental: Departament de física i Enginyeria Nuclear ETSAV.

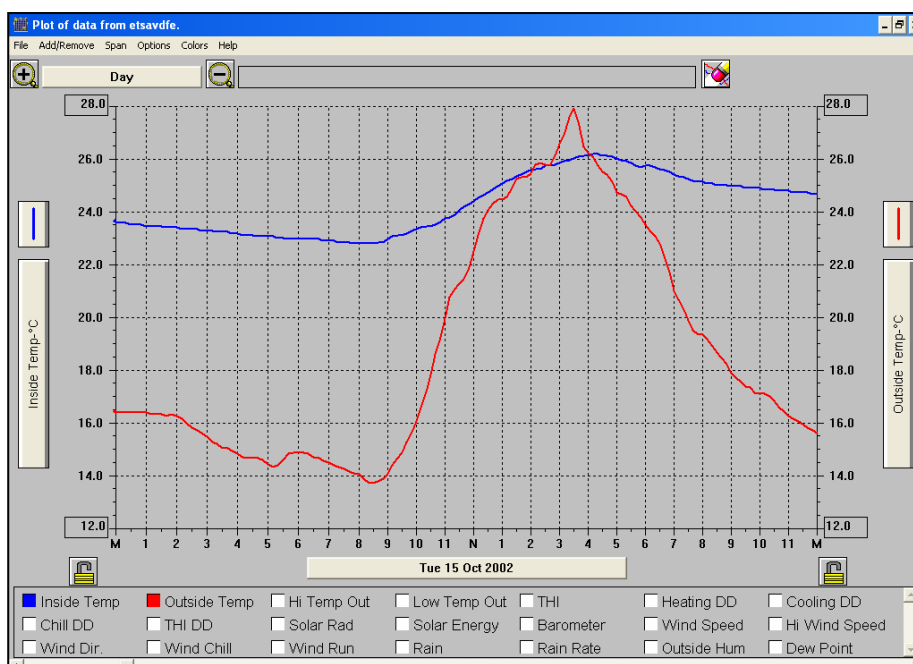


Fig. 3.12 Estación meteorológica ETSAV. *Software Energy.*

### 3.4. Definición de índices de referencia

Para resumir y sintetizar toda la información levantada en el trabajo de campo, se propuso trabajar con algunos índices que permitieran sintetizar y homogeneizar la información obtenida de las características y singularidades de cada edificio (datos estáticos) y los datos observados en el seguimiento del consumo y la ocupación (datos dinámicos).

Los índices se agruparon en 4 categorías (**Fig. 3.13**):

- **Índices de edificio:** resumen las características generales del edificio, de la envolvente y de los sistemas que posee.
- **Índices de uso:** resumen las características más relevantes del tipo e intensidad del uso del edificio.
- **Índices del consumo energético:** relacionan los datos observados en el seguimiento del consumo con las características del edificio y del uso.
- **Índices del impacto ambiental asociado:** como primera aproximación al impacto ambiental asociado se definen algunos índices generales por usos energéticos y en relación a los principales índices de edificio y uso.

Tipo	ÍNDICE	Unidad	DESCRIPCIÓN
EDIFICIO	Superficie útil	m <sup>2</sup>	Superficie total interior de las edificaciones.
	Piel - Lleno / vacío	%	Proporción de aberturas con respecto a la superficie total de cerramientos
	Factor de forma	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Relación de superficie de fachadas con respecto al volumen de la edificación
	Potencia instalada	W/m <sup>2</sup>	Suma de potencias de aparatos y dispositivos que consumen energía para su funcionamiento dentro de la edificación.
	Coefficiente global de transmisión de calor (KG)	W/m <sup>2</sup> °C	Flujo de calor por unidad de superficie y por grado de diferencia de temperatura interior y exterior.
	Coefficiente de aislamiento (G)	W/m <sup>3</sup> °C	Capacidad de intercambio energético del edificio por unidad de volumen habitable en relación con la diferencia de temperatura interior - exterior
	Coefficiente de aportaciones internas (D)	W/m <sup>3</sup>	Densidad de energía que se desprende en el interior de un edificio en su funcionamiento por unidad de volumen
	Coefficiente de captación solar (Sfs)	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Capacidad de un edificio para captar energía de la radiación solar.
USO	Horas de servicio al año	Hr/año	Horas de funcionamiento del edificio al año
	Horas de usuarios / día	Hr/día	Sumatoria de horas de usuario al día
	Horas de uso programado	Hr	Cantidad prevista de horas de uso al año de la edificación.
	Créditos	Cr	Unidad de medida de la actividad académica
	Capacidad lectiva	Cr	Potencial de créditos académicos a impartir.
	Usuarios potenciales	-	Sumatoria de usuarios potenciales de la edificación.
CONSUMO ENERGÉTICO	Consumo total de energía	kWh / año	Consumo total de energía al año, (electricidad +gas) / año académico
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	Consumo energético por unidad de superficie
	kWh / Usuario	kWh/u	Consumo energético por usuario.
	kWh/ crédito - año académico	kWh/cr	Consumo energético por crédito.
	kWh/ Horas de uso - año	kWh/h	Consumo energético por horas de usuario al año.
	% de incidencia de la calefacción	%	Incidencia de la calefacción en el consumo total de energía
	Consumo de fondo	%	Proporción de consumo en horas "no laborables"
	% de electricidad en consumo de fondo	%	Incidencia de la electricidad en el consumo de fondo
	Relación consumo / actividad	%	Proporción de consumo y actividad respecto a las horas punta en días tipo.
	kWh / Horas de servicio al año	kWh/h	Consumo energético por hora de servicio al año
Consumo / Potencia instalada	%	Proporción de energía consumida respecto al potencial de consumo	
IMPACTO AMBIENTAL	Emissiones CO <sub>2</sub> / año	Tn	Emissiones totales de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de recursos energéticos por año.
	Emissiones de CO <sub>2</sub> / Horas uso -año	Kg	Emissiones asociadas de CO <sub>2</sub> por horas de uso al año.
	Emissiones de CO <sub>2</sub> / crédito	Kg	Emissiones asociadas de CO <sub>2</sub> por crédito académico.
	Emissiones de CO <sub>2</sub> / consumo de fondo	Kg	Emissiones asociadas de CO <sub>2</sub> al consumo de fondo

Fig. 3.13 Índices por edificio

### 3.5. Resultados del trabajo de campo: Índices obtenidos por edificio

En los anexos a este documento se presentan en detalle los índices obtenidos para cada edificio que aquí se resumen en las siguientes tablas comparativas:

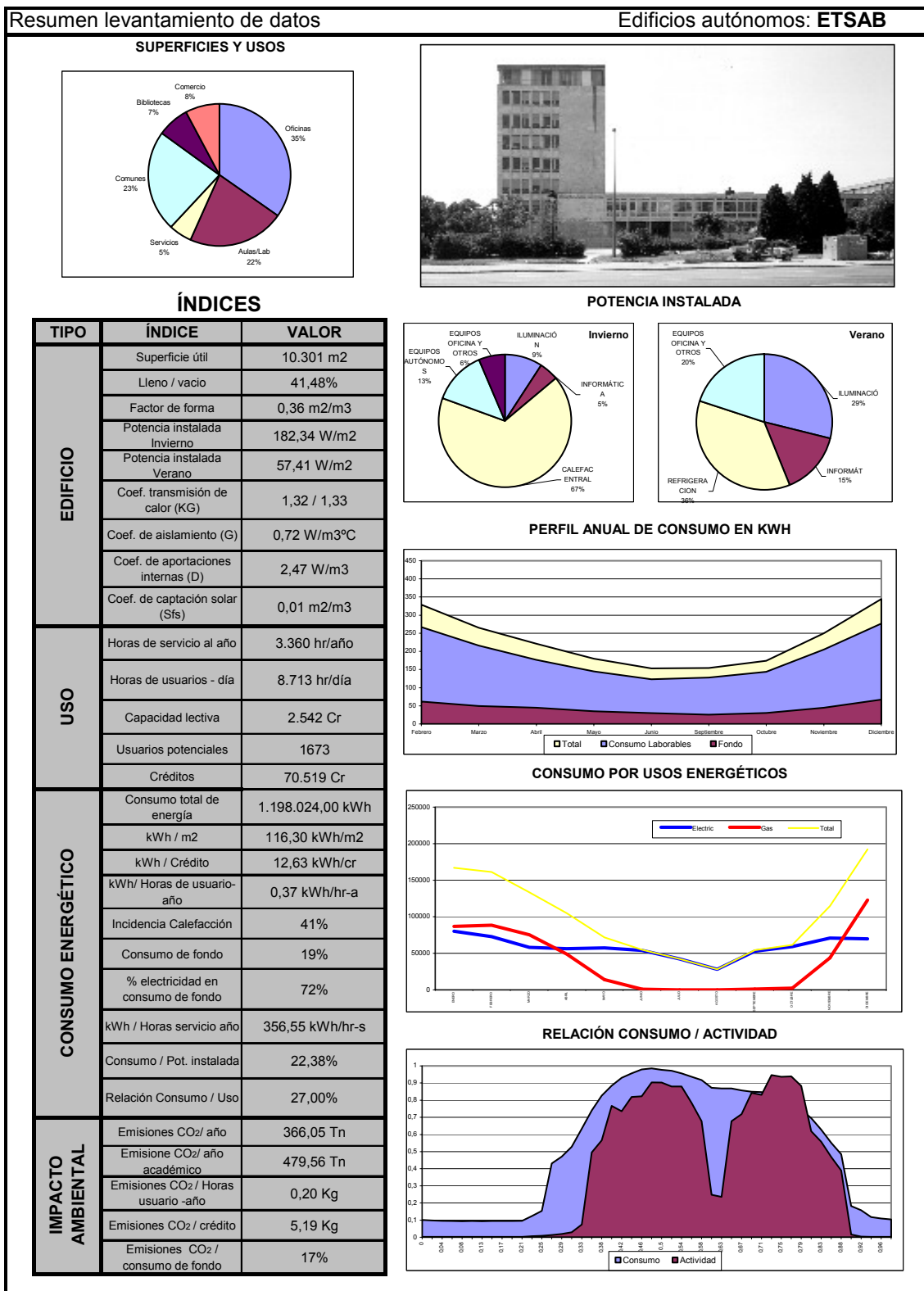
TIPO	ÍNDICE	C-3	D-4	A-6
EDIFICIO	Superficie útil	2.762 m <sup>2</sup>	2.499 m <sup>2</sup>	2.268 m <sup>2</sup>
	Lleno / vacío	28,89%	27,64%	28,96%
	Factor de forma	0,30 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,35 m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup>	0,37 m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup>
	Potencia instalada Invierno	181,83 W/ m <sup>2</sup>	116,96 W/ m <sup>2</sup>	108,22 W/ m <sup>2</sup>
	Potencia instalada Verano	70,07 W/ m <sup>2</sup>	77,36 W/ m <sup>2</sup>	27,49 W/ m <sup>2</sup>
	Coef. transmisión de calor (KG)	1,27	1,25	1,23
	Coef. de aislamiento (G)	0,53 W/m <sup>3</sup> °C	0,51 W/m <sup>3</sup> °C	0,81 W/m <sup>3</sup> °C
	Coef. de aportaciones internas (D)	2,47 W/m <sup>3</sup>	1,43 W/m <sup>3</sup>	2,29 W/m <sup>3</sup>
	Coef. de captación solar (Sfs)	0,02 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,01 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,02 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
USO	Horas de servicio al año	3.360 hr/año	3.360 hr/año	2.280 hr/año
	Horas de usuarios - día	2.700 hr/día	1.583 hr/día	5.916 hr/día
	Capacidad lectiva	1.310 Cr	1.666 Cr	5.852 Cr
	Usuarios potenciales	358	272	835
	Créditos	-	-	-
CONSUMO ENERGÉTICO	Consumo total de energía	479.935,28 kWh	348.259,81 kWh	151.096,00 kWh
	kWh / m <sup>2</sup>	173,75 kWh/ m <sup>2</sup>	139,38 kWh/ m <sup>2</sup>	66,62 kWh/ m <sup>2</sup>
	kWh / Crédito	-	-	-
	kWh/ horas de usuario-año	0,97 kWh/h	1,16 kWh/h	0,18 kWh/h
	Incidencia Calefacción	53%	25%	62%
	Consumo de fondo	13%	36%	14%
	% electricidad en consumo de fondo	31%	88%	98%
	kWh / horas servicio año	142,84 kWh/hr-s	103,65 kWh/hr-s	66,27 kWh/hr-s
	Consumo / Pot. instalada	36,82%	34,18%	14,00%
	Relación Consumo / Uso	41,00%	54,00%	42,00%
IMPACTO AMBIENTAL	Emisiones CO <sub>2</sub> / año	185,36 Tn	125,52 Tn	125,52 Tn
	Emisione CO <sub>2</sub> / año académico	239,30 Tn	160,19 Tn	160,19 Tn
	Emisiones CO <sub>2</sub> / horas usuario -año	0,48 Kg	0,53 Kg	0,53 Kg
	Emisiones CO <sub>2</sub> / crédito	141,46 Kg	75,36 Kg	75,36 Kg
	Emisiones CO <sub>2</sub> / consumo de fondo	42%	37%	37%

Fig. 3.14 Resumen de índices obtenidos. Edificios en campus.

TIPO	ÍNDICE	EPSEB	ETSAB	ETSAV
EDIFICIO	Superficie útil	13.683 m <sup>2</sup>	10.301 m <sup>2</sup>	7.767 m <sup>2</sup>
	Lleno / vacío	37,54%	41,48%	25,66%
	Factor de forma	0,28 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,36 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,50 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
	Potencia instalada Invierno	115,06 W/m <sup>2</sup>	182,34 W/m <sup>2</sup>	151,04 W/m <sup>2</sup>
	Potencia instalada Verano	39,99 W/m <sup>2</sup>	57,41 W/m <sup>2</sup>	48,43 W/m <sup>2</sup>
	Coef. transmisión de calor (KG)	1,28 / 1,51	1,32 / 1,33	1,11 / 1,15
	Coef. de aislamiento (G)	0,55 W/m <sup>3</sup> °C	0,72 W/m <sup>3</sup> °C	0,72 W/m <sup>3</sup> °C
	Coef. de aportaciones internas (D)	1,85 W/m <sup>3</sup>	2,47 W/m <sup>3</sup>	1,69 W/m <sup>3</sup>
	Coef. de captación solar (Sfs)	0,01 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,01 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,01 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
USO	Horas de servicio al año	3.360 h/año	3.360 h/año	3.360 h/año
	Horas de usuarios - día	13.621 h/día	8.713 h/día	7.241 h/día
	Capacidad lectiva	3.167 Cr	2.542 Cr	2.106 Cr
	Usuarios potenciales	2557	1673	1270
	Créditos	126.997 Cr	70.519 Cr	54.489 Cr
CONSUMO ENERGÉTICO	Consumo total de energía	1.186.485,00 kWh	1.198.024,00 kWh	1.463.430,00 kWh
	kWh / m <sup>2</sup>	86,71 kWh/m <sup>2</sup>	116,30 kWh/m <sup>2</sup>	188,42 kWh/m <sup>2</sup>
	kWh / Crédito	6,92 kWh/cr	12,63 kWh/cr	19,58 kWh/cr
	kWh/ horas de usuario-año	0,24 kWh/h	0,37 kWh/h	0,56 kWh/h
	Incidencia Calefacción	47%	41%	65%
	Consumo de fondo	22%	19%	39%
	% electricidad en consumo de fondo	71%	72%	51%
	kWh / horas servicio año	353,12 kWh/h	356,55 kWh/h	435,54 kWh/h
	Consumo / Pot. instalada	25,87%	22,38%	39,23%
	Relación Consumo / Uso	36,00%	27,00%	62,00%
IMPACTO AMBIENTAL	Emisiones CO <sub>2</sub> / año	349,22 Tn	366,05 Tn	355,12 Tn
	Emisiones CO <sub>2</sub> / año académico	459,53 Tn	479,56 Tn	467,54 Tn
	Emisiones CO <sub>2</sub> / horas usuario -año	0,12 Kg	0,20 Kg	0,24 Kg
	Emisiones CO <sub>2</sub> / crédito	2,75 Kg	5,19 Kg	6,52 Kg
	Emisiones CO <sub>2</sub> / consumo de fondo	21%	17%	26%

Fig. 3.15 Resumen índices obtenidos. Edificios autónomos.

Para cada edificio se elaboró una ficha resumen donde aparecen los principales índices obtenidos por categoría, y donde también se incluyen algunos gráficos comparativos de su comportamiento energético durante el período analizado (ver detalle en **anexo 1**).



**Fig. 3.16** Ficha resumen de datos estáticos y dinámicos por edificio.



### 3.6. Análisis de los índices obtenidos

El trabajo desarrollado hasta ahora en las edificaciones, forma parte del proyecto de investigación denominado "Indicadores del consumo energético de los edificios de la UPC<sup>11</sup>" en el marco del **Laboratori Real 1.0** promovido por el CITIES (Pla de ambient de la UPC).

El informe final de este trabajo incluye unas conclusiones referidas a los datos obtenidos en el trabajo de campo que sirven de referencia para caracterizar el consumo de energía de los edificios de la UPC, las tendencias y las posibles líneas de trabajo a desarrollar.

De las conclusiones de este trabajo surgen algunos conceptos que se han ido analizando durante el desarrollo de la tesis, en algunos casos se han validado, en otros se han reinterpretado o replanteado, y se resumen de la siguiente manera:

- Incidencia de los usos energéticos en el consumo total: se evidenció el peso de la climatización como uso principal aunque en algunos casos por la singularidad del uso del edificio la tendencia podía variar.
- Consumo de fondo: definido como aquel que se presenta cuando no hay uso alguno y supuestamente el edificio se encuentra en situación de "apagado". En general se observa que el consumo de fondo es elevado e influye en gran medida en el consumo energético total.
- Tipología e intensidad de uso: la distribución porcentual de los usos en los edificios no necesariamente se corresponde con su incidencia en el consumo energético total. Usos minoritarios con una mala gestión, pueden descompensar el edificio por ejemplo. De aquí la importancia de poder segregar los consumos para el análisis.
- Relación consumo energético / uso: es evidente que existe una la relación entre el uso y el consumo de recursos a pesar de que en algunos períodos no tengan una tendencia "lógica". Las edificaciones analizadas tienen en muchos casos una curva constante de consumo independiente de la cantidad de uso que soporten. Es necesario estudiar en detalle esa relación, parametrizarla y analizarla.
- Impacto ambiental asociado: se evidencia el peso que supone en el impacto global del edificio, el tipo de fuente energética que se utilice, la gestión del consumo de recursos, la calidad de las instalaciones y el mantenimiento del edificio.

---

<sup>11</sup> "Indicadores del consumo energético de los edificios de la UPC, Laboratori Real 1.0. A. Cuchí, F. López. Mayo de 2003.

---

## **4. Capítulo Desarrollo de la hipótesis**

---

### **4.1. Evaluación de la demanda energética**

#### **4.1.1. Herramientas y programas utilizados**

#### **4.1.2. Resultados obtenidos para la muestra estudiada**

##### **4.1.2.1. Evaluación de la demanda en edificios autónomos**

##### **4.1.2.2. Evaluación de la demanda en edificios en campus**

#### **4.1.3. Análisis de resultados obtenidos: valores de demanda energética a considerar**

### **4.2. Evaluación de rendimiento medio de los sistemas**

#### **4.2.1. Evaluación del rendimiento a partir de valores de referencia**

#### **4.2.2. Evaluación del rendimiento con herramientas informáticas**

#### **4.2.3. Resultados obtenidos y valores de rendimiento a considerar**

### **4.3. Evaluación del factor de uso y gestión**

#### **4.3.1. Metodología utilizada**

#### **4.3.2. Resultados obtenidos**

#### **4.3.3. Análisis de resultados obtenidos**



## 4. Capítulo. Desarrollo de la hipótesis

En este capítulo, a partir de la información obtenida en el trabajo de campo realizado, se analizarán las diferentes variables propuestas en la ecuación del consumo energético planteada.

### 4.1. Evaluación de la demanda energética

Se han mencionado en el apartado 1.3 del ámbito de estudio, las diferentes metodologías y posibilidades de análisis de la demanda energética de los edificios (según el tipo de análisis y según el régimen de transferencia de calor que consideren). Considerando lo allí expuesto se han seleccionado algunas herramientas que de acuerdo a sus prestaciones pertenecen a una u otra de las características definidas.

#### 4.1.1. Herramientas y programas utilizados para evaluar la demanda.

La selección se realizó tratando de incluir al menos una herramienta de cada una de las categorías definidas. También se consideró importante utilizar herramientas que permitieran en lo posible conocer la forma en que analizan y procesan los datos del edificio.

Considerando que este trabajo pretende definir una metodología genérica para abordar el análisis del consumo energético de los edificios se determinó no utilizar software de pago de alguna firma en particular, ya que la mayoría de los casos no permiten el acceso a la estructura de programación o a las librerías de materiales y datos climatológicos. En estos casos este tipo de acceso a los datos está sujeto a contratos de mantenimiento, que para efectos de un trabajo de investigación como éste no se corresponderían.

En el **Anexo 2** se presenta la información detallada de las características y parámetros de funcionamiento de cada una de las herramientas de evaluación de la demanda energética que a continuación se resumen brevemente

#### Las herramientas seleccionadas son:

- **Método de análisis de la demanda energética a partir de los grados día:**

Se trata del cálculo de las necesidades energéticas anuales de calefacción y refrigeración de una edificación a partir de la definición detallada de la envolvente del edificio, los aportes internos y considerando la variación de las condiciones exteriores utilizando los grados día de invierno y verano como referencia.

Para este caso se utiliza la metodología establecida en el documento "Manuales de Auditoría energética" preparado por el Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona (Diputació de Barcelona 1986) desarrollada por el Dr. Rafael Serra Florensa, Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona - UPC.

La metodología propuesta permite calcular la demanda energética a partir de la definición de coeficientes que informan del comportamiento energético del edificio. En base a los coeficientes obtenidos se calcula la demanda energética para calefacción y refrigeración necesaria para alcanzar las condiciones interiores de confort. Las unidades son Wh/m<sup>3</sup> anuales. Ver información detallada en el **anexo 2.1**.

- **Programa ARCHISUN**

Este software ha sido desarrollado por el grupo de Arquitectura y Energía dirigido por el Dr. Rafael Serra Florensa, de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona- UPC, en el marco del programa THERMIE de la Comisión Europea. En el proyecto también han colaborado el Instituto Catalán de Energía, el Politécnico de Milán, de Italia, la Universidad de Hannover, de Alemania, y la empresa Tombazis and Ass., de Grecia.

ARCHISUN es una herramienta del tipo mono-zona, que realiza los cálculos del balance térmico del edificio mediante la aplicación de la transformada de Fourier, y utilizando algoritmos y ecuaciones que permiten obtener valores de demanda anual de calefacción y refrigeración en kWh/m<sup>3</sup>.

La entrada de datos en el programa se ha dividido en dos grupos. El primero, está compuesto por datos generales -volumen global de edificio, tipos de usos y número de ocupantes-, mientras que el segundo grupo está formado por datos específicos divididos a su vez en 5 áreas: localización, ubicación, entorno, forma, piel e interior. (Ver información en **anexo 2.2**).

#### • **BALANÇ ENERGÈTIC:**

Desarrollada por el profesor Arcadio de Bobes de la Sección de Tecnología de la E.T.S. Arquitectura del Vallès – UPC. En palabras de su autor: "Se trata de una aplicación en formato Excel que sirve para calcular de forma aproximada las variaciones térmicas interiores de un edificio sencillo en función de diversas variables, tanto constructivas como de funcionamiento y exteriores, a lo largo de un período de 24 horas." [**Balanç**]

Esta herramienta parte de la base de que el incremento de temperatura interior de un edificio depende fundamentalmente del balance energético durante un determinado período (una hora p. ejemplo) y la capacidad de acumulación de los diferentes elementos que constituyen el edificio, o lo que es lo mismo, la capacidad térmica del edificio

La herramienta calcula la variación interior de la temperatura y define para un período de 24 horas la energía total necesaria (en frío o en calor) para mantener el balance energético en 0, considerando que la temperatura interior varíe dentro de la banda de confort correspondiente para cada período del año, y el edificio termine el período con la misma temperatura con que lo comenzó, (Ver información detallada en el **anexo 2.3**).

#### • **Programa LIDER: Limitación de la demanda energética (Código Técnico de la Edificación)**

Se trata de la herramienta informática desarrollada por AICIA - Grupo de Termotecnia E.S de Ingenieros Industriales de Sevilla, para la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de la Vivienda y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, asociada a la implementación del Código Técnico de la Edificación. Este programa realiza una simulación de la demanda energética en base horaria, en régimen transitorio de transferencia de calor, considerando todas las zonas que tiene el edificio (análisis multi-zona).

Al ser una herramienta de evaluación de la normativa, el programa LIDER genera de forma automática un edificio de referencia con las mismas características de forma, orientación y uso del edificio analizado, pero con unas soluciones constructivas que le permitirían cumplir los requisitos prescriptivos del Código Técnico de la Edificación (**Ver anexo 2.4**). Para el desarrollo del trabajo aquí presentado se ha trabajado con la versión 0.99c del programa, en la que es posible visualizar los datos de demanda energética para los meses de invierno y verano. En las últimas versiones disponibles, se ocultan estos valores y solamente se menciona el porcentaje de mejora del edificio objeto de estudio respecto a la demanda de referencia.

#### **Parámetros y condiciones del análisis con las diferentes herramientas:**

Cada herramienta ofrece unas prestaciones que permitirán realizar un análisis más o menos detallado en función de los objetivos del estudio. Las principales características que se han considerado al seleccionar las herramientas empleadas se resumen en la **Tabla 4.1** y se describen a continuación:

- Características generales
  - Tipo de análisis. Como se mencionó en el apartado 1.2.3 se dividen según el nivel de zonificación del edificio que permitan (mono o multi zona)
  - Período de análisis. El período de tiempo considerado en el análisis será determinante de la calidad del análisis. Son habituales desde las herramientas de estimación global por período climático (estaciones) hasta las herramientas con estimaciones horarias.
  - Entrada gráfica. Desde el punto de vista de la singularidad geométrica y formal de un edificio es necesario saber si la herramienta permite representar gráficamente el edificio o no.
  
- Parámetros del análisis
  - Régimen de transferencia de calor que considere. También se mencionó en el apartado 1.2.3 que, de acuerdo a la consideración de los diferentes tipos de la transmisión de calor (conducción, convección, radiación) los programas se agrupan en herramientas de análisis estacionario, estacionario variable y transitorio.
  - Temperaturas de confort. Es importante establecer si la herramienta trabaja con temperaturas de confort fijas o rangos de temperatura (bandas de confort) y si estos valores son modificables o no por el usuario.
  - Perfil de uso. Algunas herramientas simplemente consideran un volumen de usuarios promedio contra otras que permiten modificar los valores de ocupación y aportes internos para cada período de análisis.
  - Condiciones del clima exterior. Las condiciones climáticas del entorno pueden considerarse desde simples valores de referencia, a partir de temperaturas promedio (grados día), hasta herramientas que consideran la variación horaria de las mismas y que permiten afinar mucho más el análisis que se realice.
  - Inercia térmica. Tiene que ver con el tipo de análisis de transmisión por conducción que realice la herramienta. Podemos encontrar algunas que realizan desde una estimación global de la incidencia de la inercia a partir de coeficientes de corrección, hasta herramientas que consideran la conducción en régimen transitorio y permitirán valorar mejor el fenómeno de acumulación de energía en la piel de los edificios.
  - Puentes térmicos: Puede ser un factor determinante en la dispersión de resultados en el análisis de la demanda, ya que buena parte de las herramientas de análisis no permiten simular el efecto de los puentes térmicos en la envolvente de los edificios y obligan a realizar simplificaciones previas a la introducción de datos.
  
- Resultados
  - Temperatura interior: El resultado del análisis debería permitir valorar la variación de las condiciones de confort interior durante el período de análisis. La situación ideal debería ser la valoración de las condiciones de humedad y temperatura, pero al menos, las herramientas deberían permitir visualizar el perfil de temperatura interior.
  - Aporte energético: Es muy importante que los resultados no sean simplemente la valoración de la cantidad de energía a aportar en un determinado período, sino que la herramienta permita visualizar cómo se realiza dicho aporte, y qué incidencia tiene en la variación de las condiciones de confort.
  - Demanda por componentes: Si el análisis permite identificar la incidencia de cada uno de los componentes de los espacios analizados (cerramientos horizontales, verticales, transparentes, etc.), será posible definir y valorar las estrategias de mejora.
  - Unidades: Algunas herramientas presentan los resultados en términos de cantidades de energía a aportar para el período analizada, usualmente en Wh o kWh. Otras valoran la demanda con relación a la superficie construida ( $\text{kWh/m}^2$ ) o al volumen de los espacios ( $\text{Wh/m}^3$ ). Es necesario considerar las unidades que utilice cada herramienta especialmente a la hora de comparar y valorar resultados de análisis.

Resumen características													
Herramienta	Generales					Parámetros del análisis					Resultados		
	Tipo de análisis	Período análisis	Entrada gráfica	Régimen de transferencia de calor	Temperaturas de confort	Perfil de uso	condic clima exterior	Inercia térmica	Puentes térmicos	T° interior	Aporte energético	Demanda por componentes	Unidades
Método grados día	Mono zona	Invierno / verano	No	Estacionario	fija - grados día	índices	grados día	estimación global - índice	No, calculo manual	No se visualiza	No se visualiza	No se visualiza	Wh por periodo
ARCHISUN	Mono zona	Invierno / verano	No	Estacionario variable	fijas no modificables	modificable global	variable por estación	T° del cerramiento	No, calculo manual	Si, por estaciones	No se visualiza	No se visualiza	Wh/m3 por periodo
Balanç Energètic	Mono zona	hora a hora	No	Estacionario variable	Banda de confort variable	variable hora a hora	variable hora a hora	hora a hora	No, calculo manual	Si, hora a hora	Si, hora a hora	No se visualiza	Wh/día
LIDER	Multi zona	hora a hora	SI	Transitorio	fijas no modificables	fijo no modificable	Base de datos no modificable	Acumulación reg transitorio	Si, Automáticos	No se visualizan	No se visualiza	Si en cada local/zona	Kwh/m2

Tabla 4.1 Resumen comparativo de las herramientas de análisis de la demanda energética utilizadas.

### 4.1.2. Resultados obtenidos para la muestra estudiada

En el **anexo 2** se detalla el trabajo de análisis de la demanda energética realizado para los edificios objeto de estudio, con cada una de las herramientas seleccionadas, así como los resultados obtenidos en cada caso.

A continuación se presenta un resumen comparativo de los resultados obtenidos en cada caso, precedidos de algunos comentarios respecto a las singularidades del análisis según la herramienta que se emplee. Este resumen se presenta agrupado en las dos tipologías de edificios analizados (edificios autónomos y edificios en campus).

#### 4.1.2.1. Evaluación de la demanda edificios autónomos

Los tres edificios agrupados en esta categoría, como ya se comentó, coinciden en la misma tipología de uso pero difieren en las características arquitectónicas y constructivas, así como el emplazamiento de uno de ellos (la ETSAV en Sant Cugat del Vallès) y, para este mismo edificio la gestión de los sistemas e instalaciones.

Las características formales y constructivas de los 3 edificios suponen una introducción de datos compleja que obliga a realizar simplificaciones o adaptaciones a las posibilidades de cada herramienta de análisis que se refleja inevitablemente en los resultados a obtener.

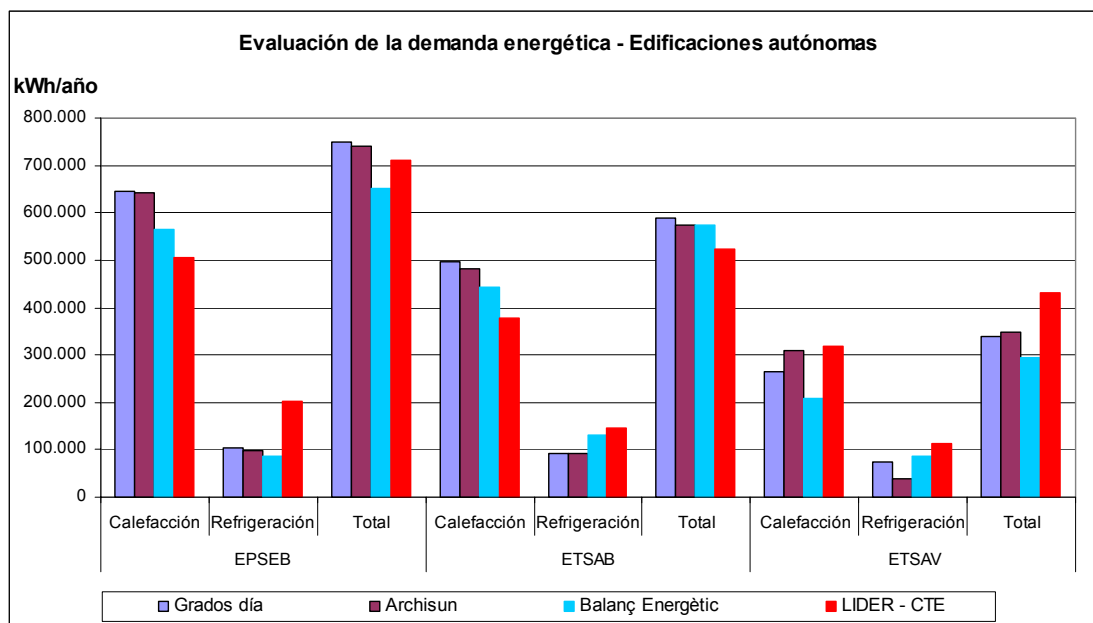
La singularización de las condiciones de cada uno de los demás factores que influyen en la demanda energética del edificio (los parámetros de confort, el clima exterior, la ocupación) marca diferencias importantes entre las herramientas empleadas y puede condicionar en gran medida los resultados a obtener. Mientras encontramos herramientas que permiten visualizar los parámetros que se consideran en el análisis (*BALANÇ ENERGETIC*) y es posible modificarlos en forma detallada, otras apenas los permiten y ofrecen escasas posibilidades de modificación (*ARCHISUM*) y otras no los permiten modificar ya que el programa los define por defecto o ni siquiera es posible visualizarlos (*LIDER*).

El resumen de los resultados obtenidos y la comparación entre ellos se presenta en la siguiente **Tabla 4.2** y en la **Fig. 4.1**

Edificio	Usos energéticos	Grados día (R. Serra, R. San Martin)	Archisun (R. Serra )	Balanç Energètic (A. De Bobes)	Programa LIDER-CTE
<b>EPSEB</b>	Calefacción	645.819 KWh	643.006 KWh	564.606 KWh	505.935 KWh
	Refrigeración	104.434 KWh	98.302 KWh	87.255 KWh	203.642 KWh
	<b>Total</b>	<b>750.254 KWh</b>	<b>741.308 KWh</b>	<b>651.861 KWh</b>	<b>709.577 KWh</b>
<b>ETSAB</b>	Calefacción	496.078 KWh	483.215 KWh	443.300 KWh	378.190 KWh
	Refrigeración	92.989 KWh	91.124 KWh	131.007 KWh	145.978 KWh
	<b>Total</b>	<b>589.067 KWh</b>	<b>574.339 KWh</b>	<b>574.307 KWh</b>	<b>524.168 KWh</b>
<b>ETSAV</b>	Calefacción	265.898 KWh	309.370 KWh	209.464 KWh	317.810 KWh
	Refrigeración	73.835 KWh	38.393 KWh	85.271 KWh	113.212 KWh
	<b>Total</b>	<b>339.733 KWh</b>	<b>347.763 KWh</b>	<b>294.736 KWh</b>	<b>431.022 KWh</b>

**Tabla 4.2** Demanda energética anual edificaciones autónomas





**Fig. 4.1** Comparativo de demanda obtenida edificaciones autónomas.

#### • Valoración de resultados edificios autónomos

Considerando las singularidades volumétricas y de configuración de los edificios estudiados se observa que el análisis con herramientas tipo mono-zona presenta importantes diferencias respecto a los análisis multi-zona. Estas diferencias podrían explicarse por varios motivos, uno de ellos y quizás el más importante radica en el hecho de que las 3 herramientas mono-zona no permiten la modelación gráfica de los edificios (no se dibuja el edificio) lo que obliga a simplificar sus características formales; este hecho es especialmente crítico en el caso de edificios con patios o cuando la misma volumetría genera retranqueos y sombras sobre el propio volumen. Estas singularidades si bien se pueden simular haciendo equivalencias o simplificaciones, pueden suponer diferencias importantes en el cálculo global. Se podría afirmar que, desde el punto de vista de la definición de los edificios, las herramientas mono-zona dificultan la singularización de las características del edificio, y en el caso de edificios como los analizados en esta tipología, es un factor que tiene gran la incidencia sobre los resultados globales.

El análisis multizona permite detallar las singularidades formales antes mencionadas y adicionalmente distinguir las diferentes zonas del edificio en cuanto a las necesidades de climatización a atender (zonas calefactadas / no calefactadas p. ejemplo) lo que en edificios del volumen, tamaño y uso como los analizados como se puede observar supone importantes diferencias en los resultados obtenidos.

La tendencia de los resultados del método de los grados día suele ser extrema (tanto superior como inferior), dicha tendencia puede explicarse porque parte de simplificaciones importantes de forma y características de los edificios. Adicionalmente las condiciones variables como el perfil de uso y gestión, o las condiciones climáticas exteriores, se simulan a partir de valores promedio y de referencia que difícilmente se podrán aproximar a las condiciones reales de uso de los edificios.

En el caso de la herramienta *ARCHISUN*, aunque permite una mayor singularización del perfil de uso (cargas internas) y de las condiciones climáticas respecto a la herramienta de grados día, no es posible registrar la variación en ocupación a lo largo del día y las singularidades geométricas. Son ejemplos de estas simplificaciones los patios en el caso de la ETSAV, o los

cambios de geometría de las plantas bajas respecto a la “torre” en la ETSAB y EPSEB que son difícilmente representables.

La influencia de la inercia térmica de los edificios es significativa en edificios del tamaño y las características de los aquí estudiados. Aunque cada una de las herramientas de análisis ha considerado la incidencia de la inercia térmica en la evaluación de la demanda estimada, es fácil suponer que las herramientas que consideran la conducción en régimen transitorio (LIDER en nuestro caso) permiten “afinar” mucho más en esta consideración y probablemente la dispersión de los resultados obtenidos puede tener una explicación en este sentido.

Desde el punto de vista de la simulación de las condiciones de uso y gestión de los edificios la herramienta *LIDER* presenta unas limitaciones importantes respecto a otras como *Balanç Energétic* que, aunque no realiza un cálculo tan “fino” de aspectos como la acumulación de calor en los cerramientos (inercia térmica), sí permite simular hora a hora las variaciones en la ocupación de los locales del edificio, los aportes internos de aparatos y equipos encendidos o la circulación de aire que los usuarios de forma voluntaria pueden generar en el edificio. Esta prestación permite suponer que es una herramienta que, no obstante tiene que extrapolar los resultados del balance diario de los edificios para estudiar el comportamiento estacional/anual, puede equiparar sus resultados con herramientas de mayor complejidad.

Es necesario tener en cuenta que *LIDER* es un programa concebido como herramienta de evaluación de la demanda a partir de las características de la envolvente de los edificios. La herramienta tiene unas limitaciones importantes a considerar como el hecho de “prefijar” los valores de uso y los parámetros de confort con valores “estándar” definidos por el programa y que no pueden ser modificados por el usuario. Como se mencionó en la descripción de la herramienta para el caso del uso el programa solamente ofrece la posibilidad de considerar un uso residencial o no-residencial y para las condiciones de confort según el manual de usuario prefija los valores de temperatura interior de confort a 20°C en invierno y 25°C en verano.

Es posible encontrar en el mercado herramientas que permiten variar estas condiciones de referencia y acercarse a un nivel de análisis más detallado, pero cuentan con otras limitaciones adicionales como son, las unidades en que trabajan, las bases de datos de materiales que utilizan, la introducción de parámetros climáticos locales, la consideración de los puentes térmicos, el elevado coste, etc.

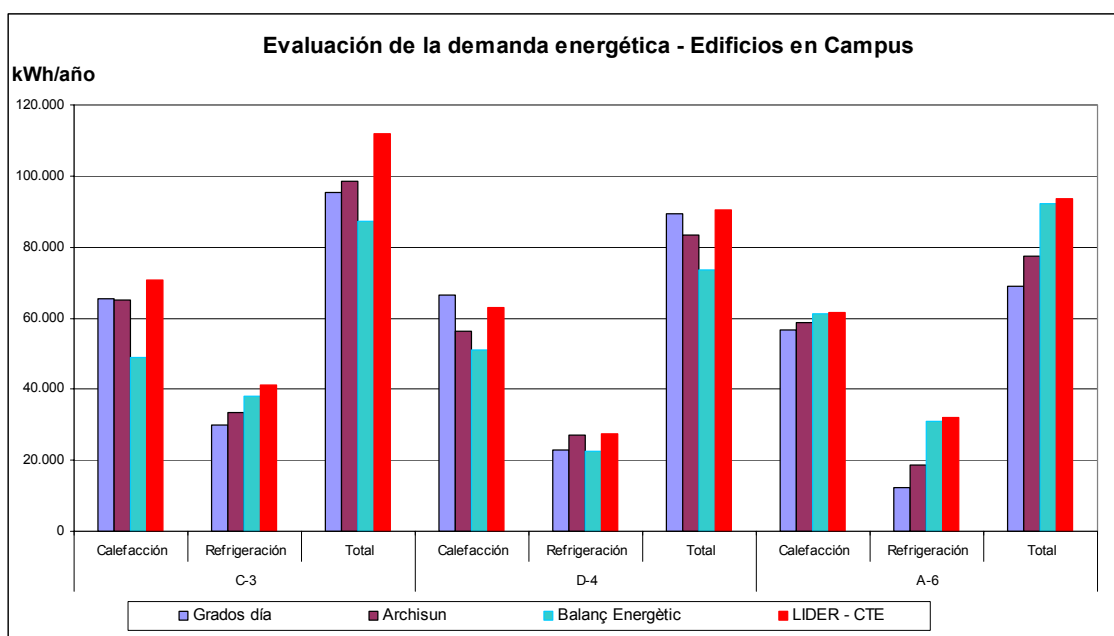
**4.1.2.2. Evaluación de la demanda de edificios en campus:**

Se agrupan en esta categoría las 3 edificaciones que pertenecen al Campus Nord de Barcelona y que contienen usos mixtos (despachos, aulas, laboratorios) en dos de los casos (C-3 y D-4) y uso especializado en el caso del aula A-6. Estos edificios coinciden en su emplazamiento y orientación, así como en las principales características arquitectónicas y constructivas diferenciándose en los sistemas de climatización que emplean.

El resumen de los resultados obtenidos y la comparación entre ellos es el siguiente:

Edificio	Usos energéticos	Grados día (R. Serra, R. San Martín)	Archisun (R. Serra)	Balanz Energètic (A. De Bobes)	Programa LIDER-CTE
<b>C-3</b>	Calefacción	65.443 KWh	64.947 KWh	49.042 KWh	70.735 KWh
	Refrigeración	29.871 KWh	33.590 KWh	38.058 KWh	41.153 KWh
	<b>Total</b>	<b>95.314 KWh</b>	<b>98.536 KWh</b>	<b>87.100 KWh</b>	<b>111.888 KWh</b>
<b>D-4</b>	Calefacción	66.682 KWh	56.250 KWh	51.082 KWh	62.849 KWh
	Refrigeración	22.773 KWh	27.000 KWh	22.589 KWh	27.553 KWh
	<b>Total</b>	<b>89.455 KWh</b>	<b>83.250 KWh</b>	<b>73.671 KWh</b>	<b>90.402 KWh</b>
<b>A-6</b>	Calefacción	56.500 KWh	58.650 KWh	61.165 KWh	61.747 KWh
	Refrigeración	12.322 KWh	18.768 KWh	31.115 KWh	31.996 KWh
	<b>Total</b>	<b>68.822 KWh</b>	<b>77.418 KWh</b>	<b>92.280 KWh</b>	<b>93.743 KWh</b>

**Tabla 4.3** Demanda energética anual edificios en campus



**Fig. 4.2** Comparativo de demanda obtenida edificios en campus.

---

- **Valoración de resultados edificios en campus:**

En general, se trata de edificios bien orientados, con envolventes de calidad aceptable en cuando a índices de transmisión de calor y aislamiento, lo que permite observar valores de demanda con variación baja respecto a los valores globales, no obstante utilizar herramientas de simulación diferentes.

En el caso de edificios con una geometría “sencilla” como los estudiados en esta categoría, el análisis permite observar resultados con tendencia similar para todas las herramientas empleadas, que se pueden explicar en las similitudes de las características de la envolvente y en cuanto a la zonificación “climática” interior, ya que no presentan áreas significativas de zonas con climatización diferenciada.

La herramienta que marca una tendencia diferente en los resultados obtenidos es *Balanç Energètic* que precisamente es la que mejor permite simular las variaciones de la ocupación y las cargas internas de los edificios a lo largo del día, este hecho es especialmente significativo en los edificios de uso mixto (C-3 y D-4) en los que se presentan zonas de uso diferenciado con variación diferente a lo largo del día.

La diferencia de los resultados de la simulación con todas las herramientas respecto al edificio de referencia del programa *LIDER* permite observar que salvo en el caso del edificio D-4 con una solución constructiva en fachadas que incorpora menos aislamiento, se trata de edificios que les costaría poco ajustarse a los valores de referencia de la normativa.

Los resultados con la herramienta *LIDER* marcan la tendencia “alta” de la demanda tanto de calefacción como de refrigeración para estos edificios, lo que se podría analizar como resultado del tipo de análisis que realiza esta herramienta (multizona – dinámico) donde la acumulación de calor y en resumen la inercia térmica tiene un papel importante en los resultados globales.

En el análisis de la refrigeración vale la pena considerar que, al igual que en los edificios autónomos, no se han tenido en cuenta los valores de demanda para el mes de agosto (el más extremo del verano) considerando que el uso de los edificios en este período es mínimo o nulo.

#### **4.1.3. Análisis de resultados obtenidos: definición de valores de demanda energética a considerar**

Ya que ninguna de las herramientas por sí sola considera todas las variables que se estiman pueden incidir en el cálculo de la demanda, es necesario definir a partir de los resultados obtenidos que demanda se ha de considerar como valor a introducir en la ecuación del consumo energético planteada.

Considerando lo expuesto sobre los resultados del análisis de la demanda con cada herramienta, y dada la dispersión de resultados que se observan, a continuación se definen los valores que se consideraran en cada caso para la variable **D** y los criterios que los justifican:

- En el caso de los edificios autónomos, se ha comprobado que su forma y geometría requiere una simulación que permita considerar todas las singularidades del edificio para el cálculo de la demanda. Desde este punto de vista la herramienta *LIDER* es la única de las seleccionadas que permite “dibujar” realmente el edificio y sus singularidades.

Esta misma herramienta realiza el cálculo más detallado tipo multizona y considera el régimen transitorio de transferencia de calor por conducción, pero tiene importantes limitaciones a la hora de considerar el perfil de uso de los edificios pues no permite modificar los valores preestablecidos para un uso “no residencial” y los parámetros de confort interior.

La herramienta que mejor permite simular las variaciones y singularidades de la ocupación del edificio y los aportes internos es *BALANÇ ENERGETIC* que, aunque de acuerdo a sus

características no realiza un cálculo tan detallado como *LIDER*, es la única herramienta de las seleccionadas que permite controlar las variaciones del confort interior del edificio considerando el aporte energético de calefacción o refrigeración hora a hora. **Esta condición es especialmente importante para el planteamiento de esta tesis pues es una forma de identificar la incidencia real del uso y la gestión de los edificios en el consumo energético total.**

En el caso de la herramienta ARCHISUN es necesario considerar que ha sido diseñada como un instrumento de ayuda al proyectista en la fase de diseño, que pretende “calibrar” la incidencia de las posibles alternativas que considere el proyectista, más que aportar datos absolutos sobre la demanda del edificio. Desde este punto de vista, la herramienta cumple su objetivo con gran acierto.

Como conclusión y tomando como premisa que la simulación de las características del perfil de uso y gestión del edificio deberían tener una valoración importante a la hora de analizar los resultados obtenidos, para la tipología de edificios autónomos aquí estudiada se estima que, aunque los valores de demanda obtenidos con las herramientas *ARCHISUN* y el método de los grados día son, como se ha explicado, una importante referencia para el análisis realizado y para las conclusiones de la tesis, las simplificaciones necesarias para realizar la simulación con estas herramientas para esta tipología de edificios, obligan a despreciar los valores obtenidos con estas herramientas y considerar para el valor de demanda final solamente una demanda promedio de la obtenida con las herramientas *LIDER* y *BALANÇ ENERGÈTIC* que, de acuerdo a sus características y a las posibilidades de simulación, ofrecen unos valores más cercanos a la realidad tipológica, constructiva y de funcionamiento de los edificios estudiados.

- En el caso de los edificios en campus vale la pena considerar que hay una menor dispersión de los resultados obtenidos producto posiblemente como ya se menciona de la sencillez formal y las similitudes constructivas de los edificios.

En este caso la dificultad de simular singularidades formales de los edificios tiende a igualarse y las herramientas que no permiten dibujar el edificio no se ven “penalizadas” con tanta incidencia como en los casos anteriores.

Al igual que en el caso de los edificios autónomos, la herramienta *LIDER* continúa siendo la que ofrece un análisis más preciso y en este caso con especial incidencia del fenómeno de la acumulación de calor en la envolvente y las masas interiores de los edificios que, si bien se mencionó que todas las herramientas de una u otra forma tienen una consideración de este efecto, el análisis que realiza *LIDER* (en régimen transitorio de conducción) es mucho más preciso en el cálculo.

El perfil de uso que consideran las diferentes herramientas deja nuevamente mejor “posicionada” a la herramienta *BALANÇ ENERGÈTIC*, aunque en el caso de los módulos C-3 y D-4, con un perfil muy cercano al de un edificio de oficinas, las consideraciones del perfil de uso de *LIDER* y de *ARCHISUN* pueden acercarse realmente a las condiciones reales del edificio.

En el caso de un uso especializado como el aula A-6, solamente la herramienta *BALANÇ ENERGÈTIC* permite simular de la manera más aproximada la singularidad de su uso (intermitencia e intensidad), puesto que el análisis con las demás herramientas en este aspecto siempre se quedara “corto”.

Como conclusión, para la tipología de edificios en campus aquí estudiada se tendrían dos consideraciones respecto a los resultados obtenidos, en el caso de los módulos C-3 y D-4, a la luz de los resultados y considerando sus características arquitectónicas, constructivas y especialmente su perfil de uso, salvo la herramienta de análisis de la demanda por el método de los grados día (que realiza un análisis muy simplificado), es posible considerar la demanda promedio de la calculada con las demás herramientas utilizadas (*LIDER*, *BALANÇ ENERGÈTIC* y *ARCHISUN*).

En el caso del Aulario A-6 con un uso especializado cuyas características de intensidad e intermitencia es necesario tener en cuenta especialmente, se considerarán los valores obtenidos con la herramienta *BALANÇ ENERGETIC* ya que de las herramientas seleccionadas es la única que permitiría realizar un análisis ajustado a la realidad de uso de este tipo de edificios. Adicionalmente, por la singularidad de zonas climatizadas/no-climatizadas que tiene el edificio, se tendrán en cuenta también los resultados obtenidos con la herramienta *LIDER* que permite reflejar mejor esta zonificación "climática", y además por el nivel de detalle en los cálculos y la consideración del análisis en régimen transitorio ya mencionado. De tal manera, la demanda a considerar para este edificio en particular será el promedio de la obtenida con *BALANÇ ENERGETIC* y *LIDER*.

Los valores de demanda que se consideraran en cada caso para la variable **(D)** propuesta en la ecuación inicialmente planteada para el consumo de energía en la climatización de los edificios se resumen en la **Tabla 4.4**

Resumen demanda energética anual			
Edificio	Calefacción	Refrigeración	Demanda Total
EPSEB	535.271 kWh	145.449 kWh	680.719 kWh
ETSAB	410.745 kWh	138.493 kWh	549.238 kWh
ETSAV	263.637 kWh	99.242 kWh	362.879 kWh
Edificio C-3	61.575 kWh	37.600 kWh	99.175 kWh
Edificio D-4	56.727 kWh	25.714 kWh	82.441 kWh
Edificio A-6	61.456 kWh	31.556 kWh	93.012 kWh

**Tabla 4.4** Valores de demanda energética anual **(D)** a considerar

En base al análisis de los datos obtenidos, y dadas las características de las herramientas ya mencionadas, podemos concluir que no se puede identificar una herramienta "ideal" de análisis que sirva de base para el desarrollo de la hipótesis planteada. Los valores tomados para dicho desarrollo, deben entenderse como una primera cuantificación de la demanda de los edificios y no como un valor exacto y fiable al ciento por cien. Dicho de otro modo, su valor es relevante en cuanto a que marca una tendencia en cada tipo de edificio y no como valor absoluto.

## 4.2. Evaluación del rendimiento medio de las instalaciones

La demanda energética estimada será atendida mediante el uso de sistemas y dispositivos que en la mayoría de los casos consumen una determinada cantidad de recursos energéticos y, dependiendo el tipo de recurso a consumir, tendrán un determinado impacto ambiental asociado.

Como se mencionó inicialmente, uno de los principales objetivos de este trabajo es poder segregarse del consumo total de energía de una edificación, la cantidad de energía utilizada realmente para satisfacer las necesidades identificadas y la energía que se "sacrifica" en función del mejor o peor rendimiento de los sistemas que atienden la demanda de confort.

También se mencionó que en sistemas como los que se presentan en los edificios estudiados en este trabajo, especialmente en el caso de la calefacción (centralizados), es necesario considerar no solo el rendimiento individual de las máquinas que generan el frío y el calor sino, también el rendimiento global del sistema y todos sus componentes.

De acuerdo a las metodologías y herramientas disponibles, este rendimiento se podría evaluar de dos maneras:

- A partir del levantamiento de datos de las instalaciones y con valores de referencia según las características de los equipos y los sistemas.
- Utilizando herramientas informáticas que permitan simular el comportamiento de los sistemas para atender la demanda calculada.

### 4.2.1. Evaluación del rendimiento a partir de valores de referencia

Teniendo en cuenta las características de los sistemas de climatización empleados en cada edificio, obtenidas del levantamiento de datos realizado y de acuerdo a documentación técnica de referencia (RITE, normas ASHRAE, etc.) se estima el rendimiento global del sistema considerando la ecuación planteada para la evaluación del rendimiento global:

$$\eta = \eta_g \times \eta_d \times \eta_r$$

Donde:

- $\eta$  : rendimiento global
- $\eta_g$  : rendimiento de generación
- $\eta_d$  : rendimiento de distribución
- $\eta_r$  : rendimiento de regulación

El rendimiento de generación está asociado en el caso de la calefacción, por ejemplo, al calor producido por la caldera con relación al poder calorífico del combustible que emplee.

El rendimiento de distribución está asociado al calor/frío cedido en un local respecto al producido por el equipo de generación en función de la infraestructura de distribución que se disponga y sus características (tuberías, conductos, emisores, etc.)

El rendimiento de regulación está asociado a la dosificación del calor/frío cedido en un local respecto al teóricamente necesario mediante el uso de aparatos de regulación y control (termostatos, sondas, sensores, etc.)

Como puede suponerse, para poder evaluar este rendimiento global es necesario conocer las siguientes características relacionadas con el edificio:

- Descripción general de los sistemas y aparatos instalados para atender las necesidades de calefacción y refrigeración en el edificio
- Elementos de generación individual / centralizada

- Rendimiento nominal de los diferentes elementos del sistema
- Trazado, longitud y características (materiales, aislamiento, etc.) del sistema de distribución
- Características y ubicación de las unidades terminales.
- Sistemas de regulación instalados en los edificios, características y patrón de funcionamiento ( $T^{\circ}$  de referencia, tipo de respuesta, etc.)

A partir de estas características identificadas y de acuerdo a los valores de referencia considerados, se obtiene un valor estimado de rendimiento global que permite aproximarse a los valores de rendimiento medio global del sistema:

En el **anexo 3.2** se explican en detalle los valores de referencia considerados para cada una de las variables de la ecuación propuesta.

Si bien este conjunto de características es una información de referencia importante, es necesario destacar que da por supuestas unas condiciones de funcionamiento estándar que difícilmente se observarán en edificios como los analizados. Se ha mencionado, por ejemplo, la importancia de considerar que el rendimiento nominal de un generador de calor no es tan importante como el rendimiento medio que tenga en cuenta las horas de funcionamiento a carga parcial y total, o bien el grado de regulación de la instalación, que aunque existan termostatos y sondas de temperatura en diferentes lugares del edificio, difícilmente dicha regulación podrá incidir en el consumo total de energía si el nivel de sectorización de la instalación es mínimo. (CLARK 1998)

Para realizar una evaluación del rendimiento que considere estos aspectos entre otros será necesario emplear herramientas de simulación de los sistemas que, según el tipo de cálculo que realicen, permitan evaluar con mayor precisión el rendimiento global.

#### **4.2.2. Evaluación del rendimiento utilizando herramientas informáticas**

Si se dispone de información detallada de las características de los sistemas empleados en el edificio para satisfacer la demanda, es posible utilizar herramientas informáticas que evalúan el rendimiento de dichos sistemas en función de su desempeño energético "Energy performance". En este sentido estaríamos hablando de herramientas de calificación energética que mediante la simulación del uso y gestión de los sistemas, evalúan su desempeño energético y califican el rendimiento global.

En el ámbito español y promovido desde la administración estatal (Ministerio de Fomento , Ministerio de la Vivienda-Dirección General de Arquitectura y Urbanismo- y Ministerio de Economía, se viene trabajando en el desarrollo de la herramienta CALENER, que recoge toda la experiencia adquirida en el desarrollo de la herramienta para la Calificación Energética de Viviendas – CEV -, y que en CALENER se amplía a todas las tipologías de edificios. Este trabajo de gran rigor y enorme complejidad, lo viene desarrollando el grupo de investigación AICIA de la cátedra de Termotecnia de la ETS de Ingenieros Industriales de Sevilla, y en el marco de la transposición de la directiva europea 2002/91/CE de Eficiencia Energética está llamada a ser la herramienta de calificación de ámbito estatal.

Para el desarrollo del trabajo aquí presentado se ha empleado la versión 2.02 del programa.

CALENER evalúa el consumo de energía del edificio objeto de estudio, y lo califica en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al tipo de combustible que emplee. Analiza en primer lugar la demanda y, de acuerdo a los sistemas que disponga el edificio, establece el consumo energético que supondrá mantener unas condiciones de confort determinadas.



Aunque CALENER permite obtener información relevante del desempeño energético del edificio "Energy Performance", para efectos de este trabajo limitaremos su uso a la evaluación del rendimiento global de las instalaciones.

La consideración del rendimiento en la herramienta CALENER se establece a partir de una ecuación similar a la definida anteriormente para el rendimiento global de las instalaciones, pero que incorpora el concepto de regulación como una de las variables a despejar:

$$\eta: \eta_g \times \eta_t \times \eta_e \times \eta_r$$

Donde:

- $\eta$  : rendimiento medio global
- $\eta_g$  : rendimiento medio de generación
- $\eta_t$  : rendimiento medio de transporte
- $\eta_e$  : rendimiento medio de emisión
- $\eta_r$  : rendimiento medio de regulación

Para el desarrollo de este trabajo se analizó el desempeño de todos los edificios estudiados utilizando el programa CALENER del cual, como se ha mencionado, se consideran **solamente los valores de rendimiento de los sistemas**, ya que el cálculo de la demanda (y el consumo en términos absolutos) que hace el programa, es sólo un resultado intermedio sin interés final en CALENER.

En el **anexo 3.3** se explica en detalle los parámetros del análisis del rendimiento global con la herramienta CALENER.

#### 4.2.3. Resultados obtenidos y valores a considerar

El procedimiento detallado para la obtención de los valores de rendimiento utilizando las dos metodologías propuestas (valores de referencia y herramienta informática), para cada uno de los edificios estudiados, está descrito en los **anexos 3.2 y 3.3** y se resumen en la **Tabla 4.5**

EDIFICIO	Valores de referencia $\eta: \eta_g \times \eta_t \times \eta_e \times \eta_r$		CALENER	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
EPSEB	0,73	2,1	0,715	2,0
ETSAB	0,60	2,0	0,647	2,0
ETSAV	0,67	2,3	0,600	2,0
Edificio C-3	0,75	1,71	0,748	1,23
Edificio D-4	0,73	2,2	0,688	2,0
Edificio A-6	0,70	-	0,723	-

**Tabla 4.5** Valores de rendimiento global obtenidos.

Considerando que el análisis del rendimiento de los sistemas a partir de valores de referencia tiene en cuenta valores nominales de rendimiento de los equipos, y no evalúa el comportamiento de los sistemas en condiciones de funcionamiento, además de considerar el rendimiento de distribución y regulación de forma cuantitativa solamente (Cantidad de aislamiento, nº de sondas o termostatos, etc.) se propone considerar como valores de rendimiento ( $\eta$ ) en la ecuación del consumo energético planteada, los valores obtenidos de la evaluación de los sistemas de los edificios con la herramienta CALENER, ya que permite valorar el rendimiento global del sistema considerando los rendimientos de cada una de las fases de forma integrada y en función del perfil de uso y funcionamiento del edificio, lo que se considera fundamental en el análisis propuesto.

### **Análisis de resultados obtenidos**

El rendimiento global de los sistemas de calefacción en general es bajo considerando los resultados obtenidos con ambas metodologías; sólo el edificio C-3 tiene un rendimiento cercano al 75% que se podría considerar adecuado a las características de las instalaciones que se observan en los edificios. Si se consideran como referencia los resultados obtenidos con la herramienta CALENER por las razones expuestas se observan valores de rendimiento global notablemente bajos especialmente en los casos de la EPSEB y la ETSAV con lecturas diferentes en cada caso:

- En la ETSAB, se observan deficiencias tanto en la generación con máquinas de bajo rendimiento, en la distribución con pérdidas importantes en los tramos verticales de la torre Segarra, donde es fácil observar pérdidas importantes de aire en el recorrido, la prácticamente nula regulación en los locales, el grado de control de los usuarios, y las propias características de la envolvente del edificio (ventanas con permeabilidades elevadas, p. ejemplo) hacen que el rendimiento global (64%) suponga sacrificar más del 35% de la energía que se consume.
- El sistema de calefacción en la ETSAV, a pesar de tener una generación con calderas en principio adecuadas a las necesidades del edificio, una distribución que aunque podría estar mejor sectorizada, debería permitir una mejor gestión que la observada, se observan problemas con el rendimiento de los emisores por su ubicación en algunos locales, y con la regulación a pesar de que existen algunos termostatos, sondas y elementos que permitirían controlar mejor el funcionamiento global del sistema pero que la gestión observada ignora por completo. Todas estas consideraciones justifican un rendimiento cercano al 60%, que supone sacrificar cerca del 40% de la energía consumida por el edificio para este uso energético.
- Para la EPSEB, que obtiene un rendimiento global mejor (71%), si bien los sistemas de generación y el trazado de la red de distribución pueden ser adecuados, se observan deficiencias en el aislamiento de la red de distribución, problemas con la calidad de la envolvente (ventanas de acero con permeabilidades importantes) y una regulación a nivel de locales prácticamente nula.

En el caso de los edificios en campus se observan diferencias en el comportamiento a pesar de tener infraestructuras comunes y una gestión cuidadosa, que de tener mejores elementos de control y regulación a disposición, podría alcanzar valores de rendimiento global mejor.

- El edificio C-3, que obtiene el mejor rendimiento global (74,8%) sacrifica cerca del 25% de la energía consumida por problemas en la infraestructura de distribución, y a pesar de tener una regulación que podría suponer una mejor gestión la capacidad de respuesta global del sistema es muy limitada por la propia zonificación de los sistemas (un circuito por fachada y uno central).
- En el edificio D-4, se observa un rendimiento global más bajo (69%) que obedece a una suma de pequeñas deficiencias en generación, regulación, distribución y control, que podrían optimizarse disponiendo de elementos de regulación y control en los locales y haciendo uso de la opción de escalonar la carga de los elementos de generación.
- En el edificio A-6, se observa un bajo rendimiento (72%) derivado de un uso de marcada intermitencia y una infraestructura con una zonificación muy limitada y mínimos elementos de regulación y control, que no permite responder de la manera más adecuada a dicha característica.

### 4.3. Evaluación del factor de gestión

Tal como se propuso en la definición del planteamiento de partida, se pretende conocer la variación del perfil teórico de uso y gestión considerado en el análisis de la demanda y la evaluación del rendimiento de los sistemas, respecto a las condiciones reales de funcionamiento del edificio, y establecer a partir de los datos obtenidos el **factor de gestión (Ge)** a considerar en la ecuación propuesta.

Si es posible identificar esta dispersión de lo teórico respecto a lo real, el interés será conocer cuál es su incidencia en el consumo de energía en la edificación. Esto se traduciría, en el caso del consumo de energía para climatizar un edificio, en conocer si los recursos energéticos que se están consumiendo realmente atienden las necesidades de confort de los usuarios o si, por el contrario, se está aportando energía en forma de frío o de calor en los momentos o en las cantidades que no se necesitan, lo que supondría una ineficiencia en la gestión del sistema. (GIVONI 1998).

#### 4.3.1. Metodología empleada

Es necesario analizar por un lado como se usa el edificio en términos de ocupación y utilización de los espacios, y también como consume la energía para atender sus necesidades de climatización. Como resultado del trabajo de seguimiento detallado del consumo y la ocupación de los edificios estudiados, se obtuvieron perfiles de consumo energético total y perfiles de ocupación para cada edificio y para los diferentes días tipo de cada mes **Fig. 4.3 y 4.4**

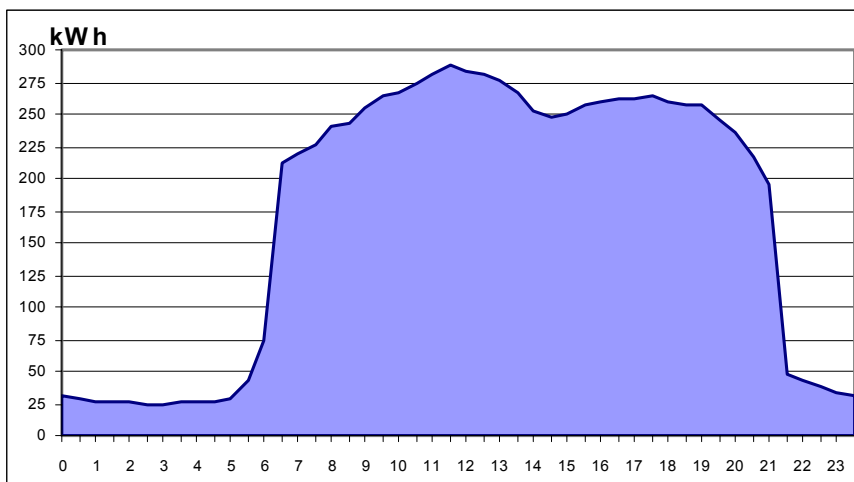


Fig. 4.3 Perfil de consumo energético en kWh para un día tipo

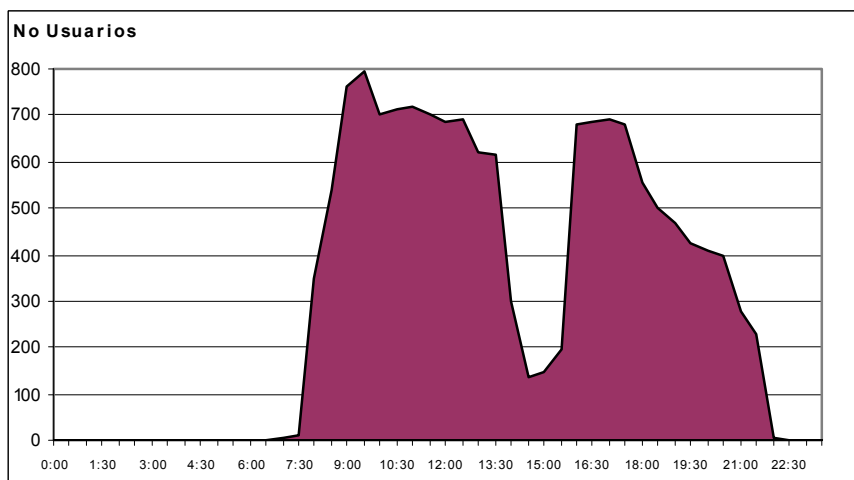


Fig. 4.4 perfil de ocupación en Nº de personas/hora para un día tipo

Esta información permitió evaluar la intensidad del uso y del consumo, y comparar los perfiles obtenidos con los teóricos según la tipología a la que pertenece cada edificio.

A partir de estos perfiles de intensidad de uso y consumo obtenidos, era necesario establecer la forma de compararlos teniendo en cuenta que se expresan en unidades diferentes (kWh, N° de personas) para ello se propuso obtener los valores relativos para cada momento del día, tanto del consumo energético como del n° de usuarios, respecto al máximo valor diario. Esto permitiría dibujar un diagrama cartesiano igual a los planteados en que el eje de ordenadas registra el porcentaje máximo de 0 hasta 100% y el de las abscisas los diferentes valores horarios de las dos variables representadas para un período de veinticuatro horas.

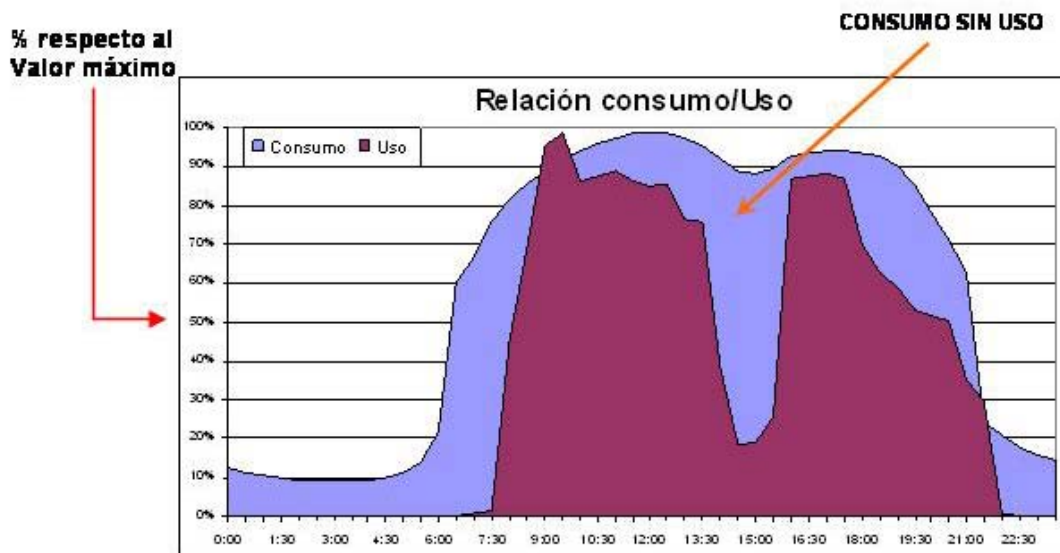


Fig. 4.5 análisis perfiles de consumo y ocupación

En términos generales se observa en las gráficas obtenidas (**anexo 1.2**) que hay horas del día en que hay consumo de recursos sin presencia de usuarios, o el porcentaje de consumo es mayor que el porcentaje de usuarios, lo que supondría una "ineficiencia" si partimos de la idea de que el uso de recursos energéticos debería tener una directa relación con la presencia de usuarios en la edificación.

Este primer análisis supuso detectar que **existe una relación entre el consumo y el uso del edificio que se podría llegar a valorar**, si bien se hace necesario profundizar en el análisis ya que la consideración inicial podría tener sentido, en el caso del consumo de recursos para climatización, en situación de verano, cuando la mayor presencia de usuarios supondría el mayor consumo de energía en refrigeración ya que los usuarios contribuyen a aumentar la carga térmica a combatir en los locales. En situación de invierno, por el contrario, el momento del día con mayor presencia de usuarios, que coincide en la mayoría de los casos con el de mayores ganancias solares, debería ser el momento del día con el mínimo consumo de recursos energéticos. Es decir, que el análisis debería necesariamente estar referido al balance energético del edificio que considere las ganancias o pérdidas respecto al exterior junto con los aportes internos (con gran incidencia de la variación del número de usuarios del edificio), sin olvidar las condiciones de confort interior.

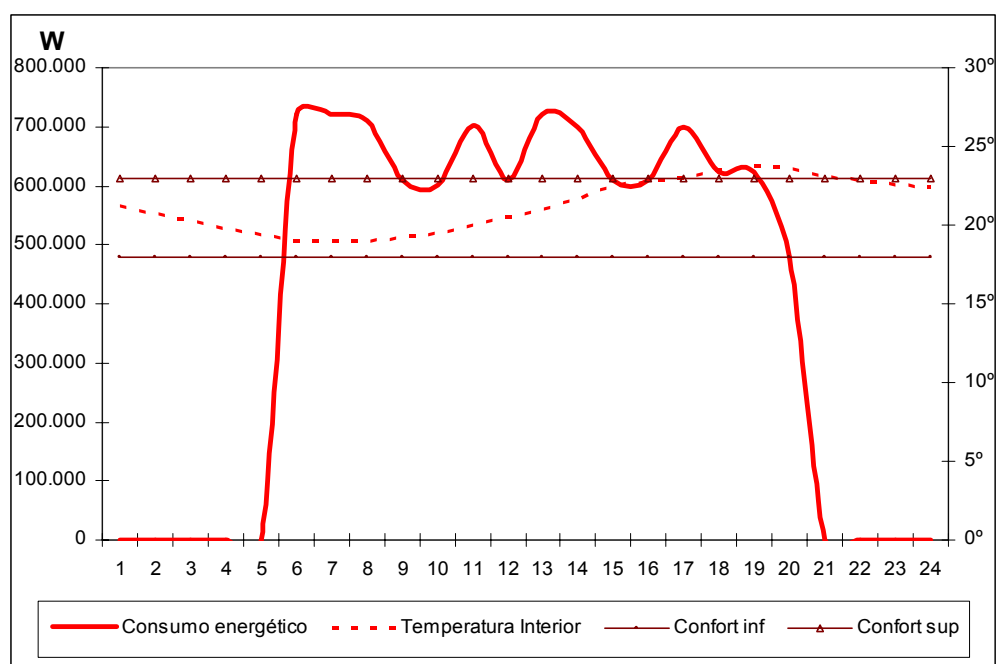
Si tenemos en cuenta lo expuesto, para evaluar la gestión de los recursos energéticos el procedimiento adecuado supondría, en primer lugar, segregar el consumo para cada uso energético, y en el caso específico de la climatización, deberíamos identificar cuál es la incidencia del aporte energético en los niveles de confort del edificio para un período de tiempo determinado, o lo que es lo mismo, cuál es el comportamiento del confort interior del edificio al aportar la energía que hemos averiguado que el edificio consume. A partir de este análisis se podrá establecer si sobra o falta energía para mantener el edificio dentro de unos parámetros de confort definidos.

Para realizar este análisis será necesario utilizar las herramientas de cálculo que permitan realizar el balance energético en términos de pérdidas y ganancias en el edificio en la modalidad de hora a hora, incluyendo el aporte de calor o frío que se hace en los locales, que el trabajo de monitorización del consumo realizado permite identificar dicho aporte, (medición con instrumentación realizada en los sistemas de climatización) y verificar el comportamiento de la temperatura interior en el mismo período.

Es necesario definir unos parámetros de referencia sobre los cuales establecer si las condiciones interiores son adecuadas y ofrecen la habitabilidad que los usuarios requieren. Habitualmente, las herramientas de evaluación de la demanda energética definen unos valores de temperatura interior que se consideran "ideales" para cada período del año, que se suelen resumirse en valores de referencia fijos: 20°C para los meses de invierno y 25°C para los de verano.

En condiciones climáticas como las de la zona mediterránea quizás sea más acertado hablar de "rangos de temperatura" que de valores fijos, pues el clima a lo largo del día y de los períodos mensuales puede tener una variación mucho más importante que en zonas con climas continentales. Desde este punto de vista se propone definir un rango o "Banda de confort" para cada período del año sobre el cual evaluar la variación de la temperatura interior del edificio de acuerdo a las condiciones ya mencionadas en un período determinado.

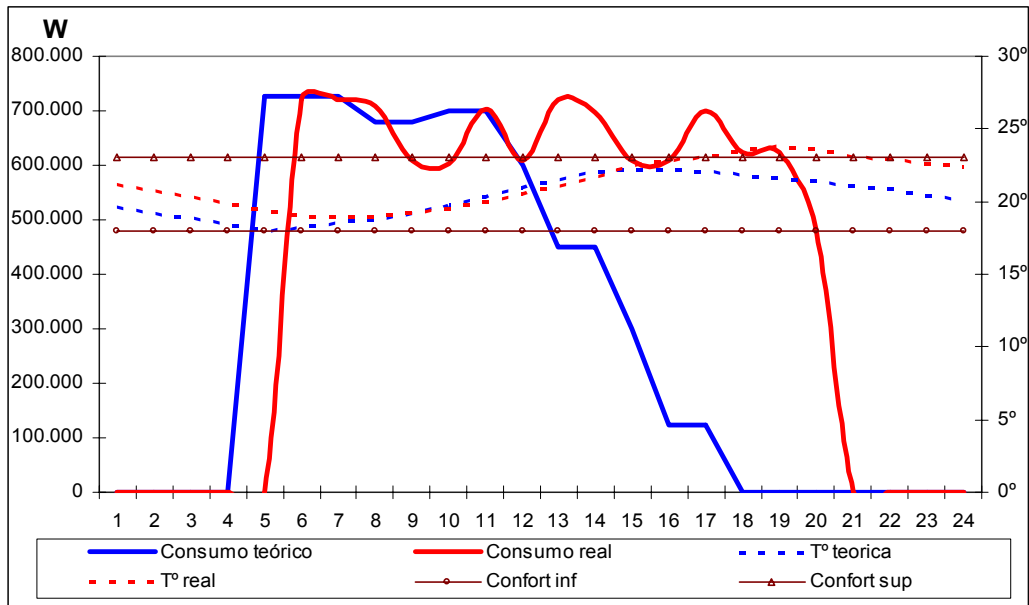
Según sea el comportamiento de la temperatura interior respecto a la banda de confort definida para cada época del año, en períodos de un día completo (0-24horas), se podrá establecer si el aporte energético es adecuado y el edificio se mantiene dentro del rango definido, o si por el contrario el edificio se descompensa por exceso o por defecto en dicho período, siempre con la premisa del "Balance energético". Es decir: el edificio debe comenzar y terminar el período estudiado con la misma temperatura interior **Fig. 4.6.**



**Fig. 4.6** Análisis consumo de recursos/parámetros de confort

En los casos en que el edificio no se mantenga dentro de la banda de confort definida se deberá comprobar si es posible mantenerlo dentro de ella con menos energía de la que está consumiendo, tomando como premisa que se deberá utilizar la misma infraestructura existente (equipos de generación, distribución y control) y planteando solamente algunas variaciones en la gestión (horarios de encendido, escalonamientos, si lo permite el equipo).

La diferencia entre la energía que teóricamente debería consumir ( $C_t$ ) con el perfil de gestión "optimizado" respecto a la que realmente consume ( $C_r$ ) permitiría establecer el grado de ineficiencia en la gestión.



**Fig. 4.7** Análisis gráfico del factor de gestión ( $Ge$ )

En términos matemáticos esto se traduce en que el cociente entre las superficies de las dos gráficas representadas, o lo que es lo mismo, de las integrales de las 2 funciones representadas  $\int C_t / \int C_r$  para un período de 24 horas, nos permitiría obtener un valor adimensional entre 0 y 1, que indicaría el grado de eficiencia de la gestión de los recursos a partir de las condiciones reales de funcionamiento del edificio y que se convertiría en el factor de gestión  $Ge$  a considerar en la ecuación:

$$Ge = \frac{\int_0^{24} C_t}{\int_0^{24} C_r} \quad (6)$$

Si un determinado edificio obtiene, por ejemplo, un valor de  $Ge$  de 0,80 supondría que el 20% de los recursos que consume para calefacción o refrigeración son excedentes y suponen una deficiente gestión derivada de la variación de las condiciones reales de funcionamiento respecto a las estimaciones teóricas de su ocupación. La cantidad de recursos que esto significa en términos de kWh, MJ, Btu, etc., vendrá determinada por el consumo energético del período analizado. No hay que olvidar que este coeficiente es adimensional y se refiere exclusivamente a la intensidad con que se consumen los recursos.

Para realizar este análisis se debería poder utilizar cualquier herramienta de evaluación de la demanda energética siempre que permita visualizar las variaciones de los parámetros de confort hora a hora de acuerdo al aporte de energía para climatización (al menos) durante un día tipo, lo que permitirá extrapolar el comportamiento de la misma manera que se realizó con los valores de demanda para el período semanal, mensual y anual del edificio. Desafortunadamente la gran mayoría de herramientas de análisis de la demanda, si bien permiten obtener perfiles de temperatura interior hora a hora de los edificios, no ofrecen una

relación de la cantidad de energía aportada en dicho período, sino que expresan la cantidad de energía a aportar por meses o en algunos casos para todo el período (invierno o verano).

De las herramientas utilizadas en este trabajo para el análisis de la demanda, y explicadas en detalle en el **anexo 2** sólo *BALANÇ ENERGETIC* permite realizar el análisis en los términos que se ha planteado, por lo que ha sido la utilizada en el análisis de cada edificio.

Se realizó el balance energético de un día tipo para los meses de invierno y verano (Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero) y verano (Junio, Julio). La banda de confort que se definió fue de 18°C – 23°C en invierno y de 24°C – 28°C en verano.

En situación de verano, el análisis de los edificios estudiados refleja (salvo en el caso del edificio C-3 del Campus Nord que posee sistema de refrigeración centralizado) que los edificios poseen sistemas individuales que atienden las necesidades de una mínima parte de los locales de cada edificio (de acuerdo a las políticas de la UPC en materia de refrigeración). Esta realidad arroja resultados negativos de **Ge** que no deberán tenerse en cuenta en el análisis global de gestión ya que supondrían tener que consumir más recursos de los que el edificio puede consumir por los aparatos que posee. **Por esta razón sólo se considerarán los valores de Ge obtenidos para el período de invierno**, y para el período de verano se considerará un valor de **Ge = 1**.

Es fácil suponer que, si en el diseño de una nueva edificación se ha partido de la consideración de un perfil de uso y gestión del edificio ajustado a las condiciones reales de funcionamiento mismo, no debería existir un diferencial de gestión, y simplemente la estimación del consumo energético deberá considerar la demanda calculada con este perfil de uso, y el rendimiento de los sistemas que aportarán la energía necesaria en el edificio.

El aporte energético de frío o calor en el edificio debería ajustarse a la curva “ideal” que describa la herramienta de análisis de la demanda para el aporte de energía en el período analizado, en los momentos y en las cantidades que allí se sugieran para mantener el edificio dentro de los parámetros de confort definidos.

#### 4.3.2. Resultados obtenidos: valores a considerar

En el **anexo 4.2** se presentan los resultados obtenidos en el análisis del factor de gestión **Ge** de cada uno de los edificios estudiados, que se resumen en este documento en la **Tabla 4.6**, que incluye el valor promedio a considerar para el período de calefacción (como se mencionó el análisis de la gestión para situación de verano no se considera salvo en el caso del edificio C-3).

Edificio	Valores Ge período de invierno				
	Enero	Febrero	Noviembre	Diciembre	Promedio
EPSEB	0,72	0,69	0,72	0,89	<b>0,75</b>
ETSAB	0,71	0,90	0,76	0,69	<b>0,77</b>
ETSAV	0,44	0,43	0,45	0,42	<b>0,44</b>
C-3	0,79	0,72	0,75	0,88	<b>0,78</b>
D-4	0,91	0,80	0,65	0,72	<b>0,77</b>
A-6	0,94	0,94	0,93	0,80	<b>0,90</b>
Edificio	Valores Ge período de verano			Promedio	
	Junio	Julio			
C-3	0,94	0,94		<b>0,94</b>	

**Tabla 4.6** Valores de **Ge** obtenidos.

### 4.3.3. Análisis de resultados obtenidos

- Los valores obtenidos de **Ge** nos informan, respecto al modelo de gestión de los recursos que se observa en los edificios, sobre la cantidad de energía que podría no utilizarse manteniendo los edificios dentro de una “banda de confort”. Pero esto no significa en ningún momento que esa nueva curva de consumo de recursos que se dibuja en cada caso sea la ideal para gestionar los recursos de los edificios. De hecho y como ya se ha mencionado, existirá una curva “ideal” (que es la que calcula cada herramienta de análisis de la demanda pero que usualmente no se enseña en los resultados que dan estas herramientas) que a lo mejor prevé aportes energéticos importantes en horas no laborables del edificio y en cantidades e intensidades que a lo mejor los equipos y sistemas que el edificio posee no podrían atender. Esta curva “ideal” debería ser una exigencia para las herramientas de evaluación de la demanda y ser explícita en cada nuevo edificio proyectado.
- En el período de invierno se observa en todos los edificios estudiados, una tendencia general a concentrar el consumo en las horas del día con mayores ganancias externas y aportes internos. Si se trazara la curva ideal de consumo para cada edificio, el perfil sería inverso al que se da en la realidad, con un mínimo consumo precisamente en estas horas del día.
- La gestión “Tipo” del consumo de recursos para climatización que se observa en los edificios estudiados está directamente relacionada con la presencia de usuarios en los edificios, y en ningún caso se advierte una estrategia de gestión de los recursos que considere las características de la envolvente de los edificios o la capacidad de respuesta de los sistemas que poseen.
- Los edificios autónomos EPSEB y ETSAB así como el aula A-6 del Campus Nord, presentan resultados promedio que reflejan que la mayor parte de la energía que consumen, independiente de que esté bien o mal “dosificada”, realmente atiende necesidades energéticas del edificio, y que incluso en algunos períodos, sería necesario un mayor aporte energético para cubrir las necesidades identificadas. La ETSAB presenta los peores valores de **Ge** para invierno, lo que supondría que más del 40% del consumo energético sería teóricamente innecesario, lo que se refleja en que además de dosificar mal el aporte de energía durante el día, consume gran cantidad de energía innecesaria.
- Vale la pena destacar los resultados obtenidos en edificios como los módulos C-3 y D-4 del Campus Nord que, a pesar de tener una gestión más “cuidadosa” que el resto de edificios estudiados y unas instalaciones con mejor mantenimiento, presentan valores de **Ge** elevados (0.78 y 0.77 respectivamente) que en principio mostrarían una tendencia no esperada, pero que en realidad nos están informando de las dificultades de los sistemas y equipos previstos para adaptarse a la variabilidad y dispersión del uso respecto a lo teóricamente previsto.



---

## **5. Capítulo. Verificación y análisis de la hipótesis**

---

- 5.1. Resolución de la ecuación planteada**
- 5.2. Análisis de la demanda "Ajustada"**
- 5.3. Análisis del uso de los recursos energéticos**
- 5.4. Análisis de impacto ambiental asociado**
- 5.5. Escenarios de optimización**
  - 5.5.1. Escenario 1. Optimizando la demanda**
  - 5.5.2. Escenario 2. Optimizando el rendimiento de los sistemas**
  - 5.5.3. Escenario 3. Optimizando el uso y la gestión**
  - 5.5.4. Resumen de escenarios**
  - 5.5.5. Alternativas de implementación de escenarios**



## 5. Capítulo. Verificación y análisis de la hipótesis

En este capítulo se desarrolla la resolución de la ecuación inicialmente planteada, definiendo la forma de operar de las diferentes variables estudiadas y, a partir de los resultados observados estudiar las alternativas de análisis.

### 5.1. Resolución de la ecuación planteada

Retomando la ecuación planteada inicialmente (Introducción Pág. 5):

$$CE = D * \eta * Ge \quad (3)$$

Donde:

CE =	Consumo de energía
D =	Demanda energética
$\eta$ =	Rendimiento medio de las instalaciones
Ge =	Factor de gestión

Se ha evaluado cada una de las variables propuestas y se han obtenido unos valores a considerar en cada caso. El paso a seguir será definir la forma en que interactúan dichas variables para resolver la ecuación planteada.

El primero de los factores estudiados es la demanda energética **D** que se expresa en términos de demanda anual de energía en kWh/año para cada edificio.

El rendimiento medio de los sistemas  **$\eta$** , viene expresado en porcentaje respecto al rendimiento ideal (100%). Se propone considerar este valor numéricamente como divisor de la demanda ya que actúa sobre ella y la modifica<sup>12</sup>.

Con relación al factor de gestión **Ge**, en el análisis de los valores obtenidos se comentó que un valor de **Ge** = 0,20 supondría que el 20% de los recursos que consume para calefacción o refrigeración son excedentes, se trata entonces de un valor que al igual que el rendimiento de los sistemas en todo caso será inferior a la unidad y nunca menor que 0 por lo que se propone que en esta ecuación opere en el denominador junto al valor de  **$\eta$** .

Tendiendo en cuenta estas consideraciones se propone resolver la ecuación planteada para obtener un valor de consumo energético **Ct** operando las variables de la siguiente manera:

$$CE = \frac{D}{\eta \times Ge} \quad (7)$$

Los valores de **CE** obtenidos que se presentan en la **tabla 5.1** nos permite establecer un primer análisis del comportamiento energético teórico de los edificios

<sup>12</sup> Es la consideración habitual del rendimiento respecto a la demanda que se utiliza en documentos de referencia como el propio Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios RITE

$CE = \frac{D}{\eta \times Ge}$					
Edificio	Uso energético	$D$	$\eta$	$Ge$	Consumo energético $CE$
<b>EPSEB</b>	Calefacción	535.271 KWh	0,72	0,75	992.704 KWh
	Refrigeración	145.449 KWh	2,00	1,00	72.724 KWh
	Total	680.719 KWh			1.065.428 KWh
<b>ETSAB</b>	Calefacción	410.745 KWh	0,65	0,77	822.658 KWh
	Refrigeración	138.493 KWh	2,00	1,00	69.246 KWh
	Total	549.238 KWh			891.905 KWh
<b>ETSAV</b>	Calefacción	263.637 KWh	0,60	0,44	997.130 KWh
	Refrigeración	99.242 KWh	2,00	1,00	49.621 KWh
	Total	362.879 KWh			1.046.751 KWh
<b>C-3</b>	Calefacción	61.575 KWh	0,75	0,78	105.026 KWh
	Refrigeración	37.600 KWh	1,30	0,94	30.802 KWh
	Total	99.175 KWh			135.828 KWh
<b>D-4</b>	Calefacción	56.727 KWh	0,69	0,77	106.867 KWh
	Refrigeración	25.714 KWh	2,00	1,00	12.857 KWh
	Total	82.441 KWh			119.724 KWh
<b>A-6</b>	Calefacción	61.456 KWh	0,72	0,90	94.460 KWh
	Refrigeración	31.556 KWh	1,00	1,00	31.556 KWh
	Total	93.012 KWh	0,72		126.015 KWh

**Tabla 5.1** Resolución de la ecuación planteada

El consumo energético  $CE$ , expresa el consumo teórico que cada edificio debería tener de acuerdo a sus necesidades energéticas, en función de sus características como edificio, de la calidad de sus instalaciones y del tipo de gestión de los recursos que se observa.

### **Análisis del Consumo Energético obtenido $CE$ respecto al consumo real**

En el análisis de edificios existentes, el valor de consumo teórico calculado a partir de la ecuación planteada, debería ser igual al del consumo real si todas las variables de la ecuación hubieran tenido en cuenta todos los factores que puedan intervenir y condicionarlo.

Los resultados obtenidos de consumo energético  $CE$  de cada edificio estudiado, si se comparan con el consumo real  $Cr$  obtenido del trabajo de campo que se presenta en la **tabla 5.2**, permiten identificar un diferencial de consumo  $\delta C = Cr - CE / Cr$  que, según se observa puede ser un porcentaje positivo o negativo, y que supone una cantidad de energía que debería estar asociada a la variación no recogida de alguno de los factores que inciden sobre las variables de la ecuación planteada.

Edificio	Uso energético	$CE$	$Cr$	$\delta C$
EPSEB	Calefacción	992.704 KWh	751.265 KWh	-32,14%
	Refrigeración	72.724 KWh	37.864 KWh	-92,07%
	Total	1.065.428 KWh	789.130 KWh	-35,01%
ETSAB	Calefacción	822.658 KWh	626.412 KWh	-31,33%
	Refrigeración	69.246 KWh	27.335 KWh	-153,32%
	Total	891.905 KWh	653.747 KWh	-36,43%
ETSAV	Calefacción	997.130 KWh	1.024.448 KWh	2,67%
	Refrigeración	49.621 KWh	8.658 KWh	-473,09%
	Total	1.046.751 KWh	1.033.106 KWh	-1,32%
C-3	Calefacción	105.026 KWh	96.891 KWh	-8,40%
	Refrigeración	30.802 KWh	23.850 KWh	-29,15%
	Total	135.828 KWh	120.741 KWh	-12,50%
D-4	Calefacción	106.867 KWh	123.321 KWh	13,34%
	Refrigeración	12.857 KWh	8.189 KWh	-57,01%
	Total	119.724 KWh	131.510 KWh	8,96%
A-6	Calefacción	94.460 KWh	108.465 KWh	12,91%
	Refrigeración	31.556 KWh	0 KWh	-315,00%
	Total	126.015 KWh	108.465 KWh	-16,18%

**Tabla 5.2** Comparativa del consumo energético obtenido y el consumo real

Para estudiar el diferencial de consumo  $\delta C$  es necesario analizar en detalle las variables, los factores que las condicionan y la forma en que se ha controlado su dispersión en el desarrollo del trabajo.

En el planteamiento del problema (Pág.4) se mencionó que, de las tres variables planteadas en la ecuación del consumo energético ( $D$ ,  $\eta$ ,  $Ge$ ), el factor de gestión  $Ge$  tenía la misión de "ajustar" la variación de las condiciones teóricas previstas al evaluar la demanda energética y el rendimiento medio teórico, respecto a las condiciones reales de funcionamiento de un edificio existente. En otras palabras, al evaluar el factor gestión se fija la dispersión de los factores que inciden en la demanda y el rendimiento medio que sean susceptibles de variar.

En la **Tabla 5.3** se analizan los diferentes factores que condicionan la demanda energética y el rendimiento medio de los sistemas, respecto a sus posibilidades de variación y la consideración que se hace al obtener el factor de gestión  $Ge$ .

	Factores	Tipo	Factor de gestión $Ge$
Demanda energética	Condiciones del clima exterior	Fijo =	No hay variación respecto a los valores obtenidos del trabajo de campo y considerados en el cálculo de la demanda
	Características del edificio	Fijo =	
	Perfil de ocupación	Variable ~	Se considera la ocupación real obtenida del seguimiento en los edificios
	Perfil de gestión	Variable ~	El "perfil real" se ajusta respecto al "perfil ideal teórico".
	Parámetros de confort	No definido	Se ajustan respecto a una banda de confort "ideal"
Rendimiento medio	Rendimiento de los componentes	Fijo =	No hay variación respecto a los valores obtenidos del trabajo de campo y considerados en el cálculo del rendimiento medio global
	Perfil de gestión	Variable ~	El "perfil real" se ajusta respecto al "perfil ideal teórico".

**Tabla 5.3** Análisis del "ajuste" de variables realizado en la obtención de  $Ge$

De las consideraciones resumidas en la **Tabla 5.3** se deduce que los factores susceptibles de variar son: el **perfil de gestión** (que es común para las 2 variables), los **parámetros de confort** y el **perfil de ocupación** (asociados a la demanda energética).

Al obtener el factor de gestión **Ge**, se ha ajustado el **perfil de gestión** de los recursos energéticos de cada edificio de acuerdo con unos **parámetros de confort** que se han fijado con relación a una banda de confort ideal, por tanto ninguno de estos factores debería estar asociado al diferencial de consumo.

En cuanto al **perfil de ocupación** (asociado al cálculo de la demanda), para realizar el análisis del factor de gestión **Ge** se ha considerado el perfil de ocupación "real" que se levantó con las visitas realizadas en el trabajo de campo, pero este perfil real de ocupación no es equivalente al perfil de ocupación considerado en el cálculo de la demanda, de hecho la diferencia entre **CE** y **Cr** sólo puede ser atribuida a una diferencia entre el perfil de ocupación considerado en el cálculo de la demanda y el perfil de ocupación real del edificio. En este orden de ideas **se puede plantear la dependencia funcional del diferencial de consumo  $\delta C$  respecto a la dispersión del perfil de ocupación del edificio (diferencial de ocupación  $\delta O$ )**.

#### **Diferencial de consumo $\delta C$ $\phi$ (Diferencial de ocupación $\delta O$ )**

Resumiendo, si el consumo teórico es diferente al consumo real  **$CE \neq Cr$**  significa que existe un diferencial de consumo  **$\delta C = (Cr - CE) / Cr$**  que es función de la variación del perfil de ocupación considerado al calcular la demanda energética del edificio.

Si  **$Ct = Cr$**  significa que NO existe un diferencial de consumo  **$\delta C$** , por tanto el perfil de ocupación teórico considerado en el análisis de la demanda energética es el mismo que el perfil que se puede encontrar en la ocupación habitual del edificio.

Desde este punto de vista, es fundamental considerar las características de la herramienta de evaluación de la demanda que se utilice, ya que si ésta permite introducir el perfil de ocupación real, no debería existir una dispersión y su correspondiente  **$\delta C$** . También es importante considerar el tipo de análisis que realice la herramienta, ya que será ideal poder considerar (si se dispone de este nivel de información) los perfiles de ocupación reales de cada zona del edificio individualmente y en este sentido el análisis "multizona" sería el adecuado.

En el caso de las herramientas empleadas en este trabajo la única que permite la definición real del perfil de ocupación, aunque trabaja en la modalidad "monozona", es *Balanç Energètic* y es otro de los motivos por los cuales se utiliza como herramienta base para el cálculo de **Ge** que permite ajustar los factores ya mencionados.

Analizando los valores obtenidos del diferencial de consumo  **$\delta C$**  se puede observar, en el caso de la calefacción, que edificios como la EPSEB y la ETSAB presentan valores por encima del 30% que estarían en función de una ocupación real del edificio considerablemente mayor que la prevista en el cálculo de la demanda, por lo que esta debería ser menor si se ajustara al perfil de ocupación adecuado, ya que a mayor ocupación mayores aportes internos y la carga térmica a aportar disminuiría.

En el edificio de la ETSAV la tendencia se invierte y se observa un diferencial de consumo  **$\delta C$**  positivo cercano al 3% que estaría en función de una ocupación real del edificio menor que lo considerado teóricamente en el cálculo de la demanda. En este orden de ideas la demanda debería ser mayor si considerara ésta dispersión de la ocupación, ya que si hay menos ocupación en el edificio se traduce en menos aportes internos y el balance de carga térmica a aportar aumentaría.

Ambas tendencias observadas se corresponden con la realidad de ocupación que se pudo verificar en el levantamiento de datos que se presentan en el **Anexo 1** (resumen de datos

dinámicos obtenidos por edificio) que en el caso de la EPSEB y la ETSAB se traduce en perfiles de uso bastante uniformes a lo largo del día con una mínima reducción en las horas del medio día, respecto a los perfiles de ocupación de la ETSAB que a partir de las 13h se observa que reduce la densidad de ocupación, la cual en horas de la tarde es considerablemente menor que en las mañanas.

En el caso de los edificios en campus se observa que el módulo C-3 del Campus Nord tiene un diferencial de consumo  $\delta C$  negativo del 8,4% que obedecería a una ocupación real menor respecto a la considerada en la evaluación de la demanda y que la haría aumentar por tener menos aportes de carga interna. Para los módulos D-4 y A-6 se observan porcentajes positivos cercanos al 13% que supondrían que la demanda energética calculada debería ser menor en función de una ocupación mayor que la prevista teóricamente, con más aportes internos y un balance de carga térmica a aportar menor.

En el caso de los valores de refrigeración, como se ha mencionado al analizar el factor de gestión  $Ge$  (apartado 4.3 Pág. 69), los edificios estudiados (salvo el módulo C-3 del Campus Nord) poseen sistemas de refrigeración individual que atienden solamente las necesidades de una mínima parte de los locales de cada edificio (de acuerdo a las propias políticas de la UPC en materia de refrigeración) lo que supone que el análisis del diferencial de consumo  $\delta C$  no se puede realizar en los términos que se ha planteado para la calefacción. Tal cosa sólo se puede plantear en el caso del módulo C-3 que en principio es el único que está atendiendo la demanda de todos los espacios. El porcentaje negativo del 29% que se observa, supone que la demanda energética debería ser menor que la calculada para ajustarse a una ocupación en el período de verano menor a la considerada de forma teórica al evaluar la demanda y que supone menor carga térmica a compensar.

Es fundamental remarcar que el diferencial de consumo  $\delta C$  está asociado a edificios existentes en los que es posible que el consumo real de energía difiera de lo teóricamente previsto. En este sentido el diferencial de consumo  $\delta C$  no es una variable más que se pueda calcular "a-priori" ya que se obtiene en función de los datos de consumo real una vez entra el edificio en funcionamiento.

## 5.2. Análisis de la demanda "ajustada"

El diferencial de consumo  $\delta C$  obtenido como resultado de la diferencia entre consumo teórico y real, nos permitió identificar una cantidad de energía que se consume en el edificio asociada a la demanda energética y específicamente a la dispersión del perfil de ocupación entre el previsto y el real. Este diferencial se convierte en un factor de ajuste de la demanda ya que su consideración nos permitiría obtener la demanda que realmente se atiende en el edificio.

Pero si consideramos que de acuerdo a lo analizado hasta ahora, el trabajo de campo realizado permite conocer de antemano el consumo real de energía  $Cr$ , el rendimiento de las instalaciones  $\eta$  y el factor de gestión  $Ge$ , la ecuación propuesta para obtener el consumo teórico (7) se podría replantear de manera que permita despejar el valor de la demanda que el edificio está atendiendo, en términos de la cantidad de energía que realmente se aporta en los locales del edificio, que se correspondería con la Demanda ajustada  $Da$ .

La ecuación inicialmente planteada se transformaría de la siguiente manera, donde la demanda energética se pasaría a denominar  $Da$  (Demanda ajustada):

$$Da = Cr \times \eta \times Ge \quad (8)$$

Vale la pena destacar que, a diferencia de la ecuación anterior (7) en que la demanda es un valor teórico estimado, los valores de todas las variables que permitirían despejar esta ecuación

son reales, el consumo real  $Cr$  y el rendimiento medio  $\eta$  de los sistemas, que parten de los datos levantados "in-situ" y factor de gestión  $Ge$  cuyo análisis parte de los datos reales de consumo energético y ocupación obtenidos en el edificio.

Los valores obtenidos al resolver esta ecuación que se presentan en la **Tabla 5.4**, se comparan con los valores de demanda energética  $D$  obtenidos con las herramientas de evaluación, lo que permite valorar la relación porcentual entre los valores obtenidos.  $Da/D \times 100$ .

$Da = Cr \times \eta \times Ge$				
Edificio	Uso energético	Demanda energética ( $D$ )	$Da$	$Da / D$
<b>EPSEB</b>	Calefacción	535.271 KWh	405.086 KWh	75,68%
	Refrigeración	145.449 KWh	75.728 KWh	52,07%
	<b>Total</b>	680.719 KWh	480.814 KWh	70,63%
<b>ETSAB</b>	Calefacción	410.745 KWh	312.761 KWh	76,14%
	Refrigeración	138.493 KWh	54.670 KWh	39,48%
	<b>Total</b>	549.238 KWh	367.431 KWh	66,90%
<b>ETSAV</b>	Calefacción	263.637 KWh	270.860 KWh	102,74%
	Refrigeración	99.242 KWh	17.317 KWh	17,45%
	<b>Total</b>	362.879 KWh	288.177 KWh	79,41%
<b>C-3</b>	Calefacción	61.575 KWh	56.805 KWh	92,25%
	Refrigeración	37.600 KWh	29.114 KWh	77,43%
	<b>Total</b>	99.175 KWh	85.919 KWh	86,63%
<b>D-4</b>	Calefacción	56.727 KWh	65.461 KWh	115,40%
	Refrigeración	25.714 KWh	16.377 KWh	63,69%
	<b>Total</b>	82.441 KWh	81.838 KWh	99,27%
<b>A-6</b>	Calefacción	61.456 KWh	70.568 KWh	114,83%
	Refrigeración	31.556 KWh	0 KWh	0,00%
	<b>Total</b>	93.012 KWh	70.568 KWh	75,87%

**Tabla 5.4** Análisis de la demanda corregida:  
Demanda ajustada  $Da$  respecto a la Demanda energética  $D$

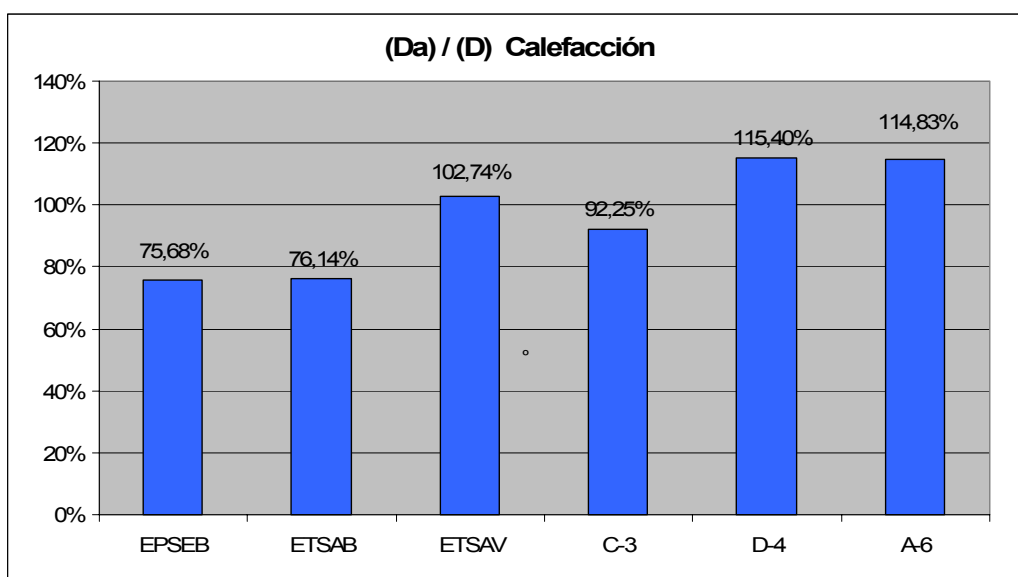
La relación porcentual obtenida refleja lo que supone la cantidad de energía realmente aportada en los locales de cada edificio, incluyendo el diferencial de ocupación, en proporción respecto a lo teóricamente calculado con un perfil de uso sin "ajustar" y serviría para valorar la cantidad de energía que se podría llegar a "desperdiciar" si desde el proyecto arquitectónico no se considera un perfil de ocupación ajustado a la realidad o, si los usuarios terminan adoptando un perfil de ocupación diferente al previsto.

### Valoración de los resultados

Como es lógico de acuerdo con el análisis planteado, los resultados obtenidos permiten observar una tendencia muy similar a la del diferencial de ocupación obtenido al comparar el consumo teórico y el real.

En el caso de la calefacción, **Fig. 5.4** en los 2 edificios autónomos de Barcelona (EPSEB y ETSAB) tienen valores de demanda ajustada con valores un 25% inferior a lo calculado teóricamente.

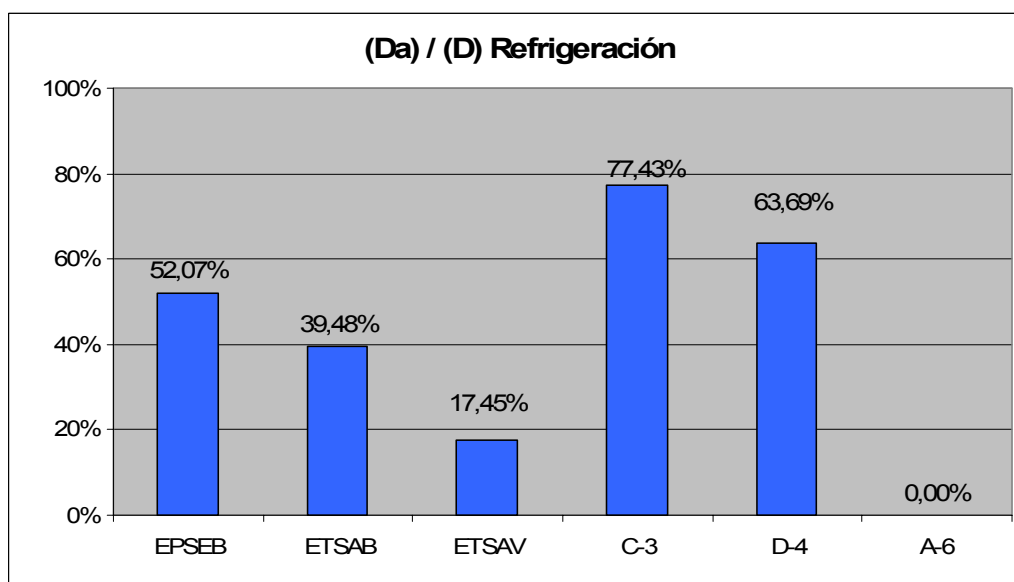




**Fig. 5.4** Análisis de la demanda ajustada  $D_a$  respecto a la Demanda energética  $D$  en calefacción.

En el caso de la ETSAV la tendencia se invierte y la demanda ajustada casi un 3% superior a lo calculado teóricamente, que como se ha explicado se correspondería con un perfil de uso inferior al previsto de forma teórica al evaluar la demanda.

En los edificios en campus los resultados muestran en el caso del edificio C-3 una diferencia de casi el 3% con una tendencia inversa al caso de la ETSAV, y en el caso de los edificios D-4 y A-6 hay un excedente del 15% aprox. respecto a la demanda energética  $D$  que refleja el mencionado desajuste del perfil de ocupación teórica respecto al real.

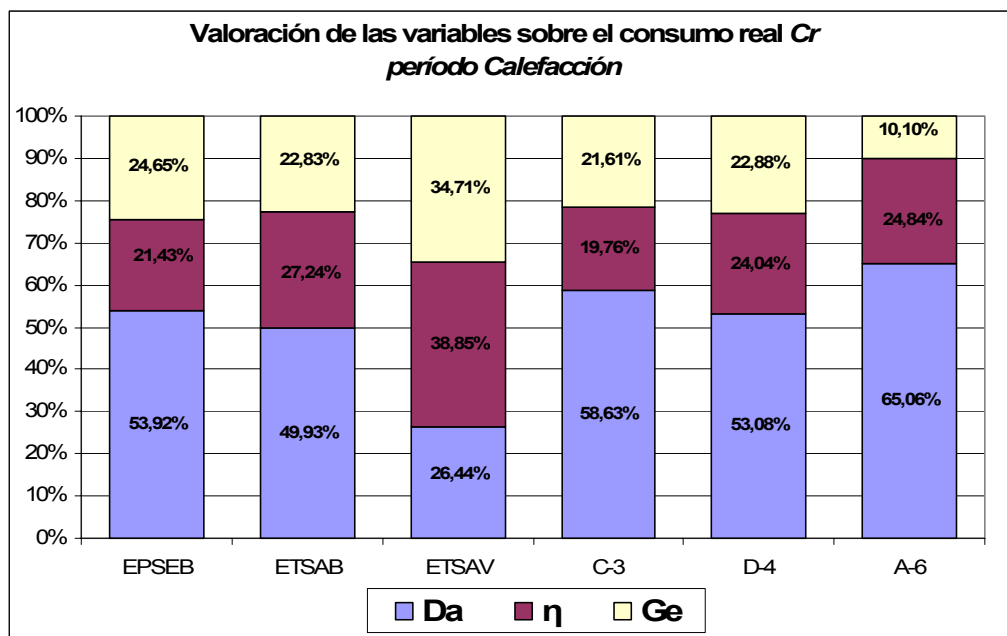


**Fig. 5.5** Análisis de la demanda ajustada  $D_a$  respecto a la Demanda energética  $D$  en refrigeración.

En cuanto a la refrigeración, en la **Fig. 5.5**, se observa en el caso de los edificios autónomos, que apenas se llega a cubrir el 50% de la demanda con la energía aportada en los locales en el caso de la EPSEB, y en cuanto a la ETSAB - ETSAV están en niveles aún inferiores. Esto se debe como ya se mencionó a la propia política de la UPC respecto a la disposición de aparatos de refrigeración y aire acondicionado en los locales que se aplica también a los resultados observados en los edificios en campus salvo en el caso ya mencionado del módulo C-3 que

atiende su demanda de refrigeración de forma centralizada, y en el que se observa una diferencia cercana al 27% respecto a la demanda calculada.

En el análisis del consumo energético para el período de calefacción, considerando la demanda ajustada y cada uno de los valores de las variables obtenidas respecto al consumo real se puede realizar una valoración del peso de cada variable en el consumo para cada edificio **Fig.5.6** que ofrece una visión de conjunto de cómo se consume la energía en cada edificio



**Fig. 5.6** Análisis de cada variable respecto al consumo real de energía  $C_r$ . período calefacción.

Destaca a primera vista el caso del edificio de la ETSABV que dedica menos del 30% de la energía que consume a atender la demanda energética del edificio, y se advierte que el uso y la gestión del edificio son responsables del gran "despilfarro" energético (56%) ya que el rendimiento medio de las instalaciones sin ser un valor "ideal" está dentro del rango de valores obtenidos por el resto de edificios analizados.

Para el resto de edificios hay una tendencia similar en el caso de los edificios de la EPSEB, ETSAB y el módulo D-4 del Campus Nord que dedican a la demanda energética entre el 50 y el 55% de la energía que consumen, sacrifican cerca del 21-27% en el rendimiento de los sistemas y por encima del 20% en el factor gestión.

El módulo A-6 del Campus Nord es el caso en el que mayor energía de la consumida realmente se aprovecha para atender la demanda energética, sacrificando cerca del 25% en el rendimiento de los sistemas y apenas un 10% en el factor de gestión.

### 5.3. Análisis del uso de los recursos energéticos

Si se compara la energía que realmente se aporta en los locales valorada en la Demanda ajustada **Da**, respecto al consumo real de energía **Cr** se puede plantear un análisis del uso final de los recursos que se consumen (**Tabla 5.5**) y analizar la relación porcentual entre la Demanda ajustada **Da** y el consumo real **Cr**,  $Da/Cr \times 100$ .

Edificio	Uso energético	<i>Cr</i>	<i>Da</i>	<i>Da/Cr</i>
<b>EPSEB</b>	Calefacción	751.265 KWh	405.086 KWh	53,92%
	Refrigeración	37.864 KWh	75.728 KWh	200,00%
	<b>Total</b>	789.130 KWh	480.814 KWh	60,93%
<b>ETSAB</b>	Calefacción	626.412 KWh	312.761 KWh	49,93%
	Refrigeración	27.335 KWh	54.670 KWh	200,00%
	<b>Total</b>	653.747 KWh	367.431 KWh	56,20%
<b>ETSAV</b>	Calefacción	1.024.448 KWh	270.860 KWh	26,44%
	Refrigeración	8.658 KWh	17.317 KWh	200,00%
	<b>Total</b>	1.033.106 KWh	288.177 KWh	27,89%
<b>C-3</b>	Calefacción	96.891 KWh	56.805 KWh	58,63%
	Refrigeración	23.850 KWh	29.114 KWh	122,07%
	<b>Total</b>	120.741 KWh	85.919 KWh	71,16%
<b>D-4</b>	Calefacción	123.321 KWh	65.461 KWh	53,08%
	Refrigeración	8.189 KWh	16.377 KWh	200,00%
	<b>Total</b>	131.510 KWh	81.838 KWh	62,23%
<b>A-6</b>	Calefacción	108.465 KWh	70.568 KWh	65,06%
	Refrigeración	0 KWh	0 KWh	0,00%
	<b>Total</b>	108.465 KWh	70.568 KWh	65,06%

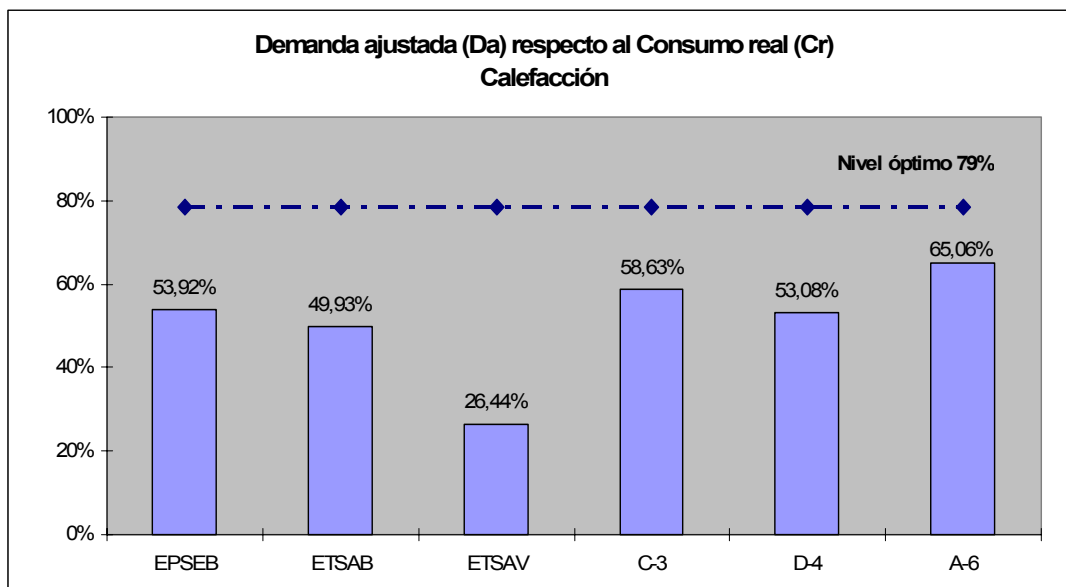
**Tabla 5.5** Comparativa Consumo real – Demanda ajustada

#### Valoración de los resultados

Para el caso de la refrigeración, debido al tipo de instalaciones individuales que se observan en la mayoría de los edificios con rendimientos nominales cercanos al 200%, y sin incidencia de la gestión como ya se mencionó, los valores simplemente reflejan este rendimiento que en todo caso podría optimizarse con máquinas de mejores prestaciones.

Para el caso de la calefacción, teniendo en cuenta que todos los edificios estudiados utilizan un sistema centralizado de generación, distribución y regulación, con gas natural como fuente energética, de acuerdo a las características de los equipos de generación dispuestos (calderas) y al tipo de distribución y regulación que se observa, se podría tomar como referencia un rendimiento "óptimo"  $\eta = 0,85$ , y si por la tipología del uso y la gestión propias de la UPC asumimos que difícilmente se podrá aprovechar el 100% de la energía que se consume para uso final, podríamos suponer que es necesario considerar, de acuerdo a las características de las infraestructuras y el tipo de gestión que se observa, al menos un mínimo porcentaje de "energía sacrificada" que podría estar en valores de  $Ge = 0,95$  en el caso de edificios como los módulos del Campus Nord, o de  $Ge = 0,90$  para los edificios autónomos (se propone considerar un valor promedio de  $Ge = 0,925$ ) lo que supondría, si queremos establecer un nivel óptimo de referencia, que sería "deseable" que al menos un 79% ( $D/0.85 * 0,925$ ) de los recursos energéticos sean los que realmente atienden la demanda energética **D** de calefacción.

Si se comparan los porcentajes obtenidos con la referencia del 79% como valor "óptimo" (**Fig. 5.7**), se observa que en general todos los edificios estarían por debajo de la referencia, ya que utilizan menos del 70% de la energía consumida para atender la demanda de calefacción. Destaca nuevamente el caso de la ETSAV con una ineficiencia importante ya que tan solo el 36.66% de la energía aportada realmente atiende la demanda de los locales.



**Fig. 5.7** Análisis demanda ajustada respecto al nivel "óptimo"

En el caso de los módulos del Campus Nord con un nivel de regulación mejor y una gestión centralizada en principio más eficiente, los porcentajes de aprovechamiento de la energía consumida deberían ser más elevados aunque, por el contrario, se observan valores como el del módulo D-4 en que el porcentaje apenas supera el 50% y en el módulo C-3 apenas supera en 60% y en el caso del aula A-6 apenas supera el 65%.

Se podría afirmar que la energía restante que no llega a los locales de los edificios, está asociada de un lado con el rendimiento medio de los sistemas  $\eta$ , y del otro con la incidencia sobre el consumo energético del factor de gestión de cada edificio **Ge**.

#### 5.4. Análisis del impacto ambiental asociado

Los datos de consumo anual de energía para cada uso energético, permiten analizar el impacto ambiental asociado. Para realizar esta valoración **tabla 5.6**, se tienen en cuenta de todas las emisiones asociadas al consumo de energía, las de CO<sub>2</sub> por ser las de mayor incidencia en el efecto invernadero, para lo cual se utilizan factores de conversión que permiten traducir los kWh producidos a partir de una determinada fuente energética, a emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al proceso de producción, distribución y disponibilidad de la misma.

Los factores de conversión seleccionados son:

- gas natural, 0,20 Kg. de CO<sub>2</sub> por kWh
- electricidad 0,545 Kg. de CO<sub>2</sub> por kWh.<sup>13</sup>

Evaluación del impacto asociado (anual)			
Edificio	Uso energético	Consumo real (Cr)	Emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas
<b>EPSEB</b>	Calefacción	751.265 kWh	150,25 Tn CO <sub>2</sub>
	Refrigeración	37.864 kWh	20,64 Tn CO <sub>2</sub>
	Total	789.130 kWh	170,89 Tn CO <sub>2</sub>
<b>ETSAB</b>	Calefacción	626.412 kWh	125,28 Tn CO <sub>2</sub>
	Refrigeración	27.335 kWh	14,90 Tn CO <sub>2</sub>
	Total	653.747 kWh	140,18 Tn CO <sub>2</sub>
<b>ETSAV</b>	Calefacción	1.024.448 kWh	204,89 Tn CO <sub>2</sub>
	Refrigeración	8.658 kWh	4,72 Tn CO <sub>2</sub>
	Total	1.033.106 kWh	209,61 Tn CO <sub>2</sub>
<b>C-3</b>	Calefacción	96.891 kWh	19,38 Tn CO <sub>2</sub>
	Refrigeración	23.850 kWh	13,00 Tn CO <sub>2</sub>
	Total	120.741 kWh	32,38 Tn CO <sub>2</sub>
<b>D-4</b>	Calefacción	123.321 kWh	24,66 Tn CO <sub>2</sub>
	Refrigeración	8.189 kWh	4,46 Tn CO <sub>2</sub>
	Total	131.510 kWh	29,13 Tn CO <sub>2</sub>
<b>A-6</b>	Calefacción	108.465 kWh	21,69 Tn CO <sub>2</sub>
	Refrigeración	0 kWh	0,00 Tn CO <sub>2</sub>
	Total	108.465 kWh	21,69 Tn CO <sub>2</sub>

**Tabla 5.6** Impacto ambiental asociado a la climatización de los edificios estudiados

El porcentaje de consumo de gas respecto a la electricidad, evidencia que la calefacción en los edificios es la gran responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo tal como se representa en la **Fig. 5.8**, a pesar de utilizar una fuente energética de menor impacto asociado. Las estrategias de ahorro y eficiencia que se pretendan implementar deberían incidir en este consumo como prioridad, sin olvidar que la mejor estrategia de reducción es actuar sobre la demanda.

<sup>13</sup> Fuente: Proyecto HIADES Institut Cerdà . Datos del mix energético español del año 2002

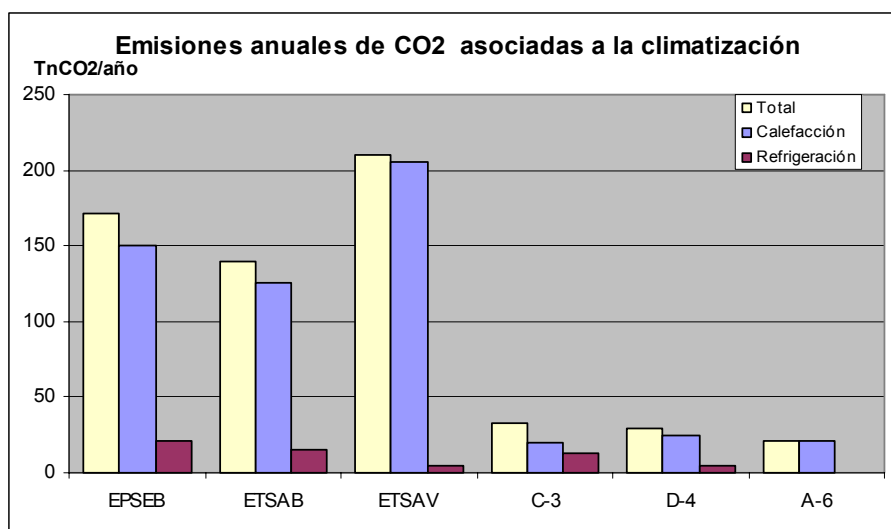


Fig. 5.8 Impacto ambiental asociado al consumo de recursos energéticos.

Si el análisis de la energía realmente aportada en los locales (demanda ajustada **Da**) respecto al consumo real **Cr** se realiza en términos del valor absoluto que esto supone en kWh anuales, se podría evaluar el impacto ambiental asociado que supone la energía "sacrificada" en el edificio, o lo que es lo mismo, el valor en términos de impacto asociado de la energía sacrificada en aras del rendimiento medio y el factor de gestión ( **$\eta+Ge$** ). Pero no toda la energía asociada al rendimiento y la gestión se debe considerar "sacrificada", si descontamos la que está asociada a un rendimiento y una gestión "óptimos" de acuerdo a las características de los edificios estudiados, como lo supuesto en el apartado anterior ( $\eta=0.80\%$  y  $Ge= 0,925$ ), obtendríamos las emisiones anuales de CO2 realmente innecesarias que se presentan en la

Tabla 5.7.

Edificio	Uso energético	Consumo real <b>Cr</b>	Emisiones asociadas	Emisiones $\eta+Ge$	Emisiones $\eta+Ge$ (óptimo)	Emisiones Innecesarias
<b>EPSEB</b>	Calefacción	751.265 kWh	150,25 Tn	69,24 Tn	27,85 Tn	41,39 Tn
	Refrigeración	37.864 kWh	20,64 Tn	0,00 Tn	14,19 Tn	-14,19 Tn
	Total	789.130 kWh	170,89 Tn	69,24 Tn	42,04 Tn	27,20 Tn
<b>ETSAB</b>	Calefacción	626.412 kWh	125,28 Tn	62,73 Tn	21,50 Tn	41,23 Tn
	Refrigeración	27.335 kWh	14,90 Tn	0,00 Tn	10,24 Tn	-10,24 Tn
	Total	653.747 kWh	140,18 Tn	62,73 Tn	31,74 Tn	30,99 Tn
<b>ETSABV</b>	Calefacción	1.024.448 kWh	204,89 Tn	150,72 Tn	18,62 Tn	132,10 Tn
	Refrigeración	8.658 kWh	4,72 Tn	0,00 Tn	3,24 Tn	-3,24 Tn
	Total	1.033.106 kWh	209,61 Tn	150,72 Tn	21,87 Tn	128,85 Tn
<b>C-3</b>	Calefacción	96.891 kWh	19,38 Tn	8,02 Tn	3,91 Tn	4,11 Tn
	Refrigeración	23.850 kWh	13,00 Tn	-2,87 Tn	5,45 Tn	-8,32 Tn
	Total	120.741 kWh	32,38 Tn	5,15 Tn	9,36 Tn	-4,21 Tn
<b>D-4</b>	Calefacción	123.321 kWh	24,66 Tn	11,57 Tn	4,50 Tn	7,07 Tn
	Refrigeración	8.189 kWh	4,46 Tn	0,00 Tn	3,07 Tn	-3,07 Tn
	Total	131.510 kWh	29,13 Tn	11,57 Tn	7,57 Tn	4,00 Tn
<b>A-6</b>	Calefacción	108.465 kWh	21,69 Tn	7,58 Tn	4,85 Tn	2,73 Tn
	Refrigeración	0 kWh	0,00 Tn	0,00 Tn	0,00 Tn	0,00 Tn
	Total	108.465 kWh	21,69 Tn	7,58 Tn	4,85 Tn	2,73 Tn

Tabla 5.7 Impacto ambiental asociado a la energía "sacrificada"

### Valoración de los resultados

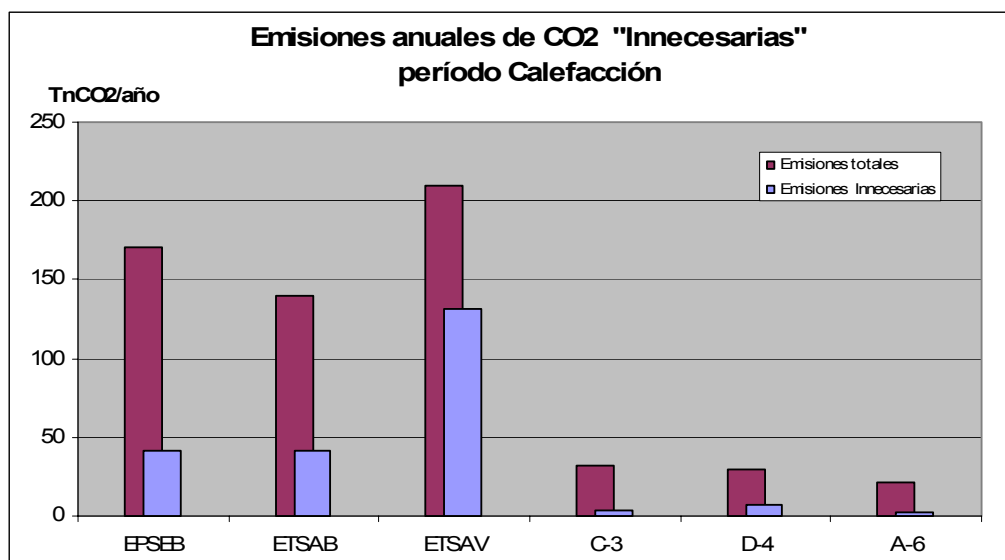
Considerando los valores negativos para el período de refrigeración que se corresponden con la realidad de edificios donde no se cubre la demanda por los factores ya mencionados y, al ser sistemas individuales en la mayoría de los casos, el despilfarro por rendimiento global y gestión centralizada desaparece. Únicamente en el caso del módulo C-3 es posible valorar las emisiones innecesarias asociadas a la refrigeración, donde se puede apreciar un porcentaje de energía sacrificada cercano al 20% del total de emisiones.

En el análisis de los valores obtenidos para el período de calefacción **Fig. 5.9**. Destacan a primera vista las toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas a la ineficiencia de los sistemas y la gestión en un edificio autónomo como la ETSAB, o en la EUPB que equivaldría a más de 2 veces las emisiones asociadas de un módulo del Campus Nord, o a la sumatoria de las emisiones de los tres edificios estudiados.

En el caso de la ETSAV estos valores se desbordan y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la ineficiencia (132 Tn) supera el 100% de las emisiones totales asociadas al consumo de energía de los tres edificios del Campus Nord juntos (83,2 Tn) en el mismo período.

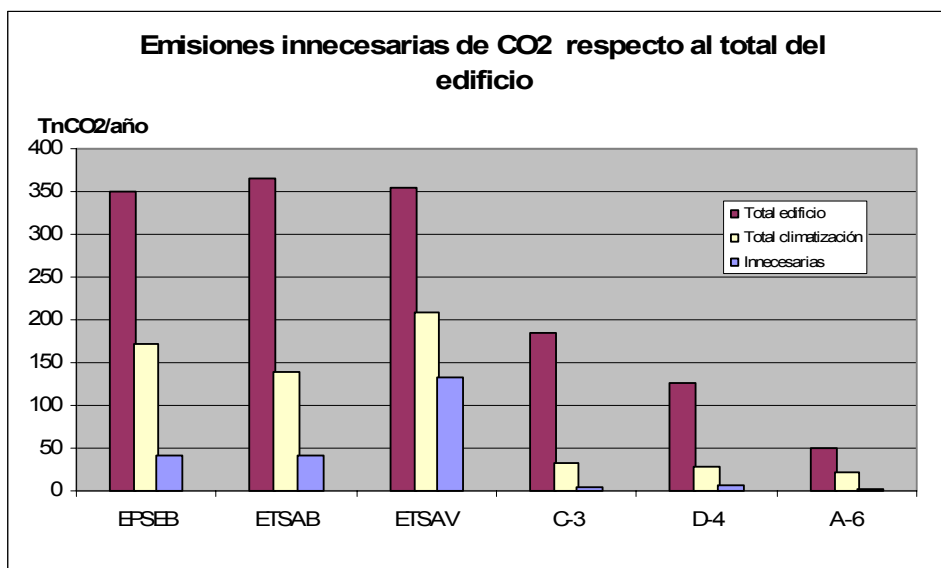
La comparación de lo que supone las emisiones asociadas a la energía sacrificada, respecto al total de emisiones asociadas a la climatización del edificio, permite analizar que si se invirtiera en la optimización del rendimiento y la gestión de los edificios (que significa invertir en actuaciones económicas respecto a lo que supondría invertir en la demanda del edificio), se podrían alcanzar niveles de reducción del impacto significativos.

En el caso de la EPSEB se podría reducir un 24% de sus emisiones totales asociadas a la climatización, la ETSAB un 29%, en la ETSAV un 63% y en los edificios del Campus Nord entre el 13% y el 24% de sus emisiones.



**Fig. 5.9** Análisis emisiones anuales asociadas a la ineficiencia

Si el análisis se traslada al global del edificio tal como se expresa en la **Fig. 5.10**, se observa que del total de emisiones asociadas al consumo de energía incluyendo todos los usos energéticos (alumbrado, climatización, fuerza, etc.) las edificaciones autónomas podrían ahorrar una buena cantidad de emisiones "innecesarias" que van desde el 12 y 11 % de la EPSEB y ETSAB respectivamente hasta el 37% de la ETSAV y en los edificios en campus el ahorro aunque es menor en el caso del C-3 con un 2%, y en el caso del módulo D-4 y el A-6 con un 5%, también son valores significativos.



**Fig. 5.10** Comparación de emisiones innecesarias respecto al consumo total



## 5.5. Escenarios de optimización

Si se compara lo que sería el consumo de energía de los edificios en un escenario ideal, optimizando todas las variables de la ecuación propuesta, es decir con la demanda energética optimizada, con el rendimiento medio adecuado al tipo de instalaciones y sistemas que posee y con un tipo de gestión adecuado, podríamos obtener el potencial óptimo de consumo por edificio. Se plantea realizar este análisis de forma individual para cada variable con el fin de valorar el peso de cada una de las opciones, y a continuación final se plantea lo que debería ser el escenario "ideal" que sume todas las posibilidades de mejora.

### 5.5.1. Escenario 1. Optimizando la demanda

El primer escenario de mejora que se simula es a partir de la optimización de la demanda, sin modificar los valores de rendimiento, ni el factor de gestión de cada edificio. La optimización de la demanda que se propone está referida a la optimización de las características de la envolvente del edificio, o lo que es lo mismo, a las soluciones constructivas que dispone sin modificar los demás factores (perfil de ocupación, datos climáticos, etc.).

Para calcular la demanda optimizada **Do** se propone considerar en primer lugar, los valores de demanda energética obtenidos para el *Edificio de referencia* que aporta el programa LIDER (ver Pág. 51), ya que como se ha comentado este *Edificio de referencia* supone las mismas condiciones de emplazamiento y forma de cada uno de los edificios estudiados, pero con unas soluciones constructivas que les permitirían cumplir como mínimo con las exigencias normativas para la envolvente del edificio definidas en el Código Técnico de la Edificación. En segundo lugar, a la demanda obtenida para el *Edificio de referencia* es necesario aplicarle el "factor de ajuste" que supone el diferencial de consumo obtenido **δC** que como se explicó está asociado a la dispersión del perfil de ocupación del edificio.

$$Do = \text{Demanda edificio referencia LIDER} \times \delta C$$

Al resolver la ecuación planteada para obtener el consumo energético (**7**) utilizando los valores de demanda optimizada **Do**, se obtiene un consumo energético para el escenario 1 **Ce1** que comparado con el Consumo real **Cr**, permite valorar el porcentaje de la energía que se consumiría respecto al que se consume actualmente **Ce1/Cr x 100**.

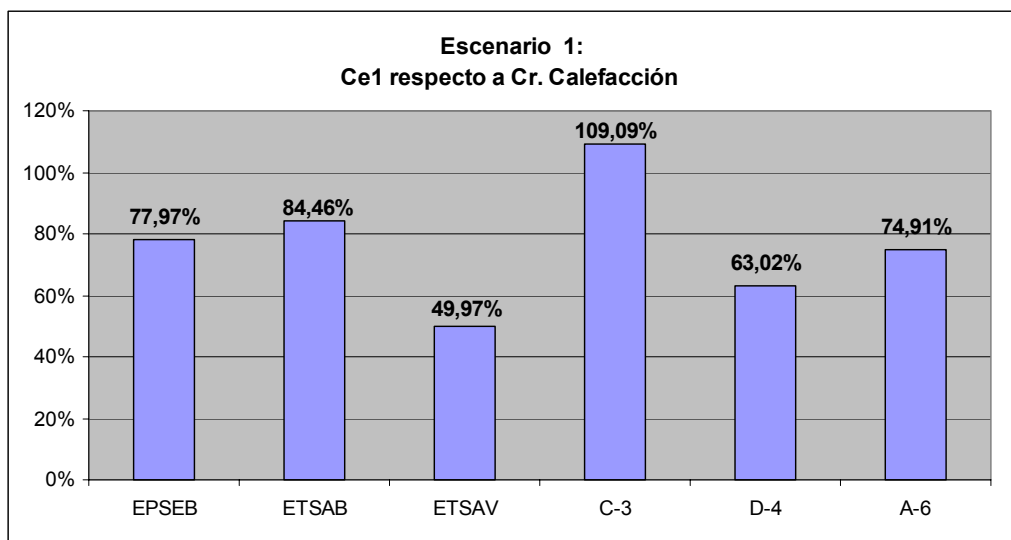
Edificio	Uso energético	Demanda optimizada (Do)	Ce1	Consumo real Cr	Ce1/Cr
EPSEB	Calefacción	253.769 KWh	470.636 KWh	751.265 KWh	62,65%
	Refrigeración	108.253 KWh	54.127 KWh	37.864 KWh	142,95%
	Total	362.022 KWh	524.762 KWh	789.130 KWh	66,50%
ETSAB	Calefacción	202.053 KWh	404.681 KWh	626.412 KWh	64,60%
	Refrigeración	46.048 KWh	23.024 KWh	27.335 KWh	84,23%
	Total	248.102 KWh	427.705 KWh	653.747 KWh	65,42%
ETSAV	Calefacción	192.802 KWh	729.218 KWh	1.024.448 KWh	71,18%
	Refrigeración	39.952 KWh	19.976 KWh	8.658 KWh	230,71%
	Total	85.765 KWh	749.194 KWh	1.033.106 KWh	72,52%
C-3	Calefacción	59.777 KWh	101.960 KWh	96.891 KWh	105,23%
	Refrigeración	28.294 KWh	23.178 KWh	23.850 KWh	97,18%
	Total	88.071 KWh	125.138 KWh	120.741 KWh	103,64%
D-4	Calefacción	50.186 KWh	94.545 KWh	123.321 KWh	76,67%
	Refrigeración	12.457 KWh	6.228 KWh	8.189 KWh	76,06%
	Total	62.643 KWh	100.773 KWh	131.510 KWh	76,63%
A-6	Calefacción	61.385 KWh	94.351 KWh	108.465 KWh	86,99%
	Refrigeración	28.033 KWh	28.033 KWh	0 KWh	0,00%
	Total	89.418 KWh	122.384 KWh	108.465 KWh	112,83%

**Tabla 5.8** Escenario 1: optimizando la demanda

El análisis se realiza sobre los valores del período de calefacción ya que en el caso de la refrigeración, al optimizar la demanda se calcula un consumo **Ce1** que atendería el 100% las necesidades de refrigeración del edificio, contra un consumo real **Cr** que por política de la propia UPC no atiende las necesidades de refrigeración de todos los espacios del edificio, por lo que se observan algunos valores negativos en el porcentaje de diferencia.

Partiendo de esta consideración, el análisis de la diferencia porcentual entre el Consumo energético del escenario 1 **Ce1** y el Consumo real **Cr**, para el período de calefacción, en el caso de los edificios autónomos que al tratarse de edificios con baja calidad constructiva de su envolvente, (especialmente perjudicados por los puentes térmicos, el nivel de aislamiento en cerramientos opacos y la calidad de las carpinterías), al optimizar este factor tendrían cerca del 35% menos de consumo en los casos de EPSEB y ETSAB respectivamente. En el caso de la ETSAV la relación porcentual disminuye a cerca del 30%, aunque dispone de una envolvente "mejor" que los edificios anteriores aun es optimizable y hay que considerar la influencia del clima que supone un salto térmico mayor a compensar.

En el caso de los edificios en campus que se representa en la **Fig. 5.11**, es significativa la diferencia porcentual del edificio D-4 (34%) que, aunque tiene soluciones constructivas similares al C-3 y A-6, algunos aspectos como la calidad de sus carpinterías y la solución de puentes térmicos evidentemente lo perjudican y podrían suponer una mejora significativa.



**Fig. 5.11** Análisis escenario 1 período calefacción

Se observa que en el caso del edificio C-3 el consumo energético del escenario superaría al real en un 5%, que se correspondería con el escaso margen de mejora de su envolvente por tener, básicamente, un mejor nivel de aislamiento y mejores soluciones constructivas en los cerramientos.

Las inversiones en actuaciones para alcanzar este escenario suelen ser las más costosas y de más lenta amortización, aunque, y en todo caso, las decisiones sobre las acciones a realizar en este tipo de escenario no deberían condicionarse solamente al potencial de amortización sino al nivel de ahorro que consiguen y al carácter permanente de las soluciones que se incorporen

### 5.5.2. Escenario 2: Optimizando el rendimiento de los sistemas

Para el escenario dos se optimiza solamente el rendimiento de los sistemas, sin modificar los valores de demanda (se considera la demanda ajustada  $Da$  y el factor de gestión  $Ge$ ).

En este caso se considera el rendimiento medio optimizado  $\eta-o$  que podrían tener los sistemas a partir del nivel de zonificación y regulación que poseen, sin que ello suponga realizar grandes modificaciones o inversiones.

Para los edificios autónomos se propone alcanzar un rendimiento medio optimizado  $\eta-o$  de 0,85 y para el caso de los edificios en campus con mejor infraestructura y equipos se propone un rendimiento medio optimizado  $\eta-o$  de 0,90

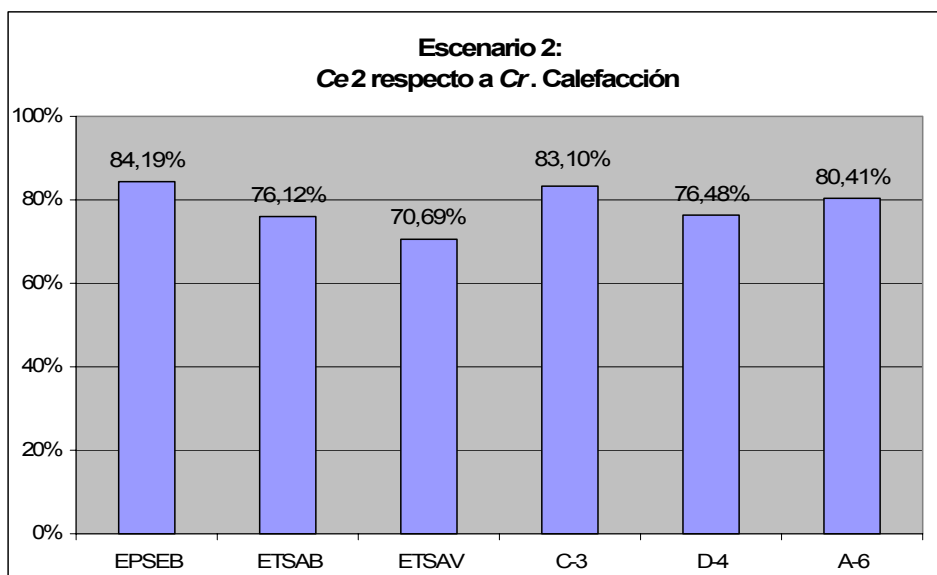
Al resolver la ecuación planteada para obtener el consumo energético (**7**), utilizando los valores de rendimiento medio optimizado  $\eta-o$ , se obtiene un Consumo teórico para el escenario 2  $Ce2$  que comparado con el Consumo real  $Cr$ , permite valorar el porcentaje de la energía que se consumiría respecto al que se consume actualmente  $Ce2/Cr \times 100$ .

Edificio	Uso energético	$\eta-o$	$Ce2$	Consumo real $Cr$	$Ce2/Cr$
EPSEB	Calefacción	0,85	632.477 KWh	751.265 KWh	84,19%
	Refrigeración	2,25	33.657 KWh	37.864 KWh	88,89%
	Total		666.134 KWh	789.130 KWh	84,41%
ETSAB	Calefacción	0,85	476.810 KWh	626.412 KWh	76,12%
	Refrigeración	2,25	24.298 KWh	27.335 KWh	88,89%
	Total		501.108 KWh	653.747 KWh	76,65%
ETSAV	Calefacción	0,85	724.224 KWh	1.024.448 KWh	70,69%
	Refrigeración	2,25	7.696 KWh	8.658 KWh	88,89%
	Total		731.921 KWh	1.033.106 KWh	70,85%
C-3	Calefacción	0,90	80.516 KWh	96.891 KWh	83,10%
	Refrigeración	2,25	13.780 KWh	23.850 KWh	57,78%
	Total		94.296 KWh	120.741 KWh	78,10%
D-4	Calefacción	0,90	94.313 KWh	123.321 KWh	76,48%
	Refrigeración	2,25	7.279 KWh	8.189 KWh	88,89%
	Total		101.592 KWh	131.510 KWh	77,25%
A-6	Calefacción	0,90	87.218 KWh	108.465 KWh	80,41%
	Refrigeración	2,25	0 KWh	0 KWh	0,00%
	Total		87.218 KWh	108.465 KWh	80,41%

**Tabla 5.9** Escenario 2: optimizando el rendimiento medio de los sistemas

Los valores de rendimiento medio optimizado  $\eta-o$  que se han estimado para este escenario supondrían mejorar las condiciones de distribución y regulación (termostatos, sondas, etc.) que permitieran que los equipos de generación puedan dar su máximo rendimiento nominal previsto.

Al igual que el escenario 1, el análisis se realiza sobre los valores del período de calefacción, ya que en el caso de la refrigeración, al optimizar el rendimiento de los sistemas se calcula un consumo teórico que atendería las necesidades de refrigeración del edificio, contra un consumo real que por política de la propia UPC no atiende las necesidades de refrigeración de todos los espacios del edificio.



**Fig. 5.12** Análisis escenario 2, período calefacción

El análisis de la diferencia porcentual entre el Consumo teórico del escenario 2 (**Ce2**) y el Consumo real **Cr**, permite observar en la **Fig. 5.12**, que para el período de calefacción, los edificios podrían consumir entre un 70,69%, en el caso extremo de la ETSAV, y un 84,14% de la energía que consumen actualmente, optimizando el rendimiento medio de cada uno de los sistemas considerados.

Esta tendencia de ahorro potencial entre el 15 y 30% del consumo, responde al bajo rendimiento que en general se observa en todos los casos, que tiene como común denominador unos sistemas de generación que no terminan por alcanzar su máximo rendimiento nominal porque el propio diseño del sistema (distribución, zonificación) lo perjudica, y el nivel de control y regulación en los locales es mínimo en todos los casos estudiados.

Los casos de la EPSEB y el módulo C-3 con potenciales de ahorro por debajo del 17% suponen que los sistemas tienen rendimientos razonables para el tipo de instalaciones que poseen, pero con la consideración importante de que el análisis del factor de gestión **Ge** (apartado 4.3 Pág. 69), nos informa que los niveles de confort no se alcanzan con el aporte de recursos que se registra.

En el caso del módulo C-3 en que las oportunidades de mejora optimizando la demanda son mínimas, de forma tal que sería en este escenario donde tendría un importante potencial de mejora que consistiría básicamente en adaptar la infraestructura para mejorar su capacidad de respuesta a la variación de las condiciones de uso, que pasaría por mejorar la zonificación y los elementos de control y regulación, que supondría una inversión de coste y amortización media.

### 5.5.3. Escenario 3 : Optimizando el factor de gestión

Para el escenario 3 se optimiza el factor de gestión del edificio **Ge-o**, sin modificar los valores de demanda y rendimiento medio de los sistemas. Se consideran valores de **Ge-o** diferentes para las 2 tipologías de edificios estudiados y para cada uso energético por separado.

En el caso del consumo de energía para calefacción en los edificios en campus se propone un valor de **Ge-o** de 0,95 lo que supondría que debería sacrificar como máximo el 5% de la energía que consume, y de 0,90 en el caso de los edificios autónomos, lo que supone que los edificios deberían sacrificar como máximo un 10% de la energía que consumen por la variación de las condiciones de uso y gestión inicialmente previstas. Esta suposición se hace de acuerdo a las características de los edificios y el tipo de gestión que la UPC realiza en cada caso.

En el caso de la refrigeración al disponer los edificios de instalaciones individuales de control directo por parte de los usuarios un escenario ideal es que no haya "sacrificio" energético, o no exista incremento del consumo por el factor de gestión, por lo que se supone un valor de **Ge-o** = 1,0 salvo en el caso del edificio C-3 con sistema centralizado que se considera por las características de las instalaciones que se podría optimizar para "sacrificar" únicamente un 5% de energía.

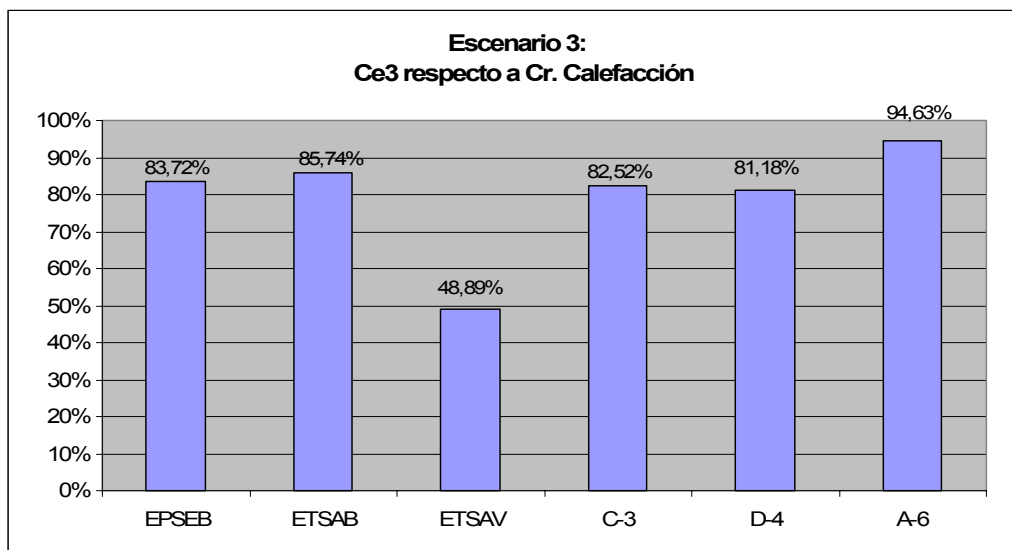
Al resolver la ecuación planteada para obtener el consumo energético (**7**), utilizando los valores del factor de gestión optimizado **Ge-o** se obtiene un Consumo teórico para el escenario 3 **Ce3** que comparado con el Consumo real **Cr**, permite valorar el porcentaje de la energía que se consumiría respecto al que se consume actualmente **Ce3/Cr x 100**.

Edificio	Uso energético	<i>Ge-o</i>	<i>Ce3</i>	Consumo real <i>Cr</i>	<i>Ce3/Cr</i>
<b>EPSEB</b>	Calefacción	0,90	628.976 KWh	751.265 KWh	83,72%
	Refrigeración	1,00	37.864 KWh	37.864 KWh	100,00%
	Total		666.840 KWh	789.130 KWh	84,50%
<b>ETSAB</b>	Calefacción	0,90	537.113 KWh	626.412 KWh	85,74%
	Refrigeración	1,00	27.335 KWh	27.335 KWh	100,00%
	Total		564.448 KWh	653.747 KWh	86,34%
<b>ETSAV</b>	Calefacción	0,90	500.841 KWh	1.024.448 KWh	48,89%
	Refrigeración	1,00	8.658 KWh	8.658 KWh	100,00%
	Total		509.500 KWh	1.033.106 KWh	49,32%
<b>C-3</b>	Calefacción	0,95	79.950 KWh	96.891 KWh	82,52%
	Refrigeración	0,95	23.574 KWh	23.850 KWh	98,84%
	Total		103.524 KWh	120.741 KWh	85,74%
<b>D-4</b>	Calefacción	0,95	100.111 KWh	123.321 KWh	81,18%
	Refrigeración	1,00	8.189 KWh	8.189 KWh	100,00%
	Total		108.299 KWh	131.510 KWh	82,35%
<b>A-6</b>	Calefacción	0,95	102.642 KWh	108.465 KWh	94,63%
	Refrigeración	1,00	0 KWh	0 KWh	0,00%
	Total		102.642 KWh	108.465 KWh	94,63%

**Tabla 5.10** Escenario 3: optimizando el factor de gestión.

El análisis de la diferencia porcentual entre el Consumo teórico del escenario 3 **Ce3** y el Consumo real **Cr**, permite observar la **Fig. 5.13** que el edificio de la ETSAV es el que tendría el mayor ahorro energético (mas del 50%), ya que su deficiente gestión no costaría mucho mejorarla incluso a un nivel conservador como el que se propone (**Ge-o** = 0,90), con la consideración adicional, para éste y para todos los casos en que se trata de medidas de mínimo coste económico y ninguna dificultad técnica de implementación, (cambio de rutinas de

apagado / encendido de los sistemas, control de la temperatura de consigna de sondas y termostatos, control sectorizado de las condiciones de confort, etc. ) partiendo de la utilización de la infraestructura existente en el edificio y unas mínimas inversiones complementarias.



**Fig. 5.13** Análisis escenario 3, período calefacción

Salvo en el caso del módulo A-6 en que el potencial de ahorro es mínimo (menos del 5%) y en el de la ETSAV ya comentado, para el resto de edificios hay un potencial de mejora entre el 15 y el 20% que en términos de energía absoluta supone cantidades significativas.

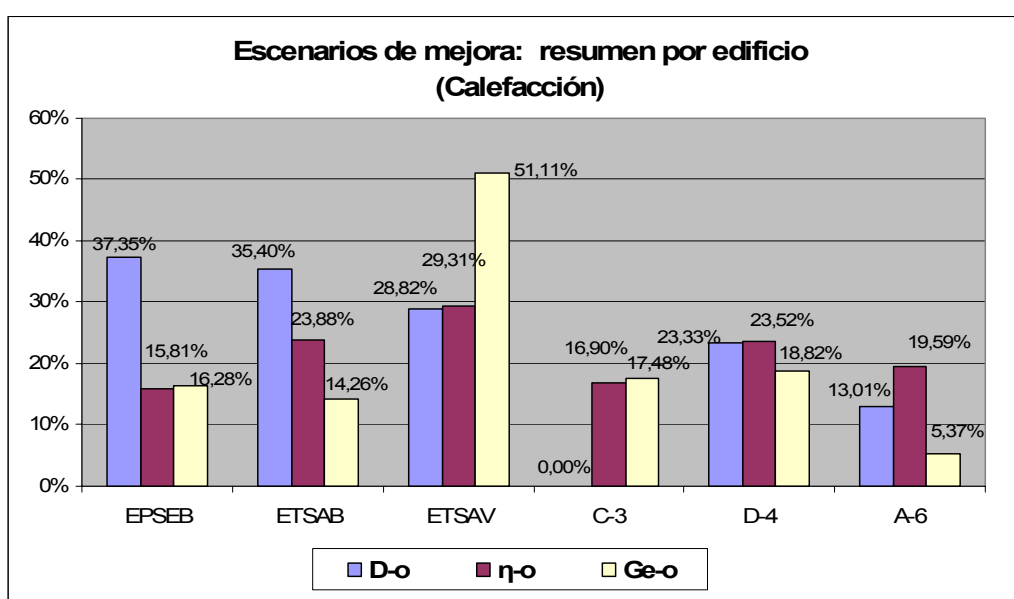
Es importante considerar que la diferencia entre lo que se consumiría en este escenario respecto a lo que se consume hoy puede ser relativamente baja, respondiendo a que el escenario de mejora es "conservador" dado que, como se ha explicado, parte de la realidad de uso y gestión de los edificios de la UPC. También se debería considerar que aunque la gestión pueda ser "correcta" ello no significa que sea la que necesita el edificio, como se demuestra en el escenario 1, o que las condiciones de confort interior estén garantizadas.

### 5.5.4. Resumen de escenarios

El análisis de optimización de las diferentes variables de la ecuación planteada, permite establecer un resumen de posibilidades de mejora de cada uno de los edificios según el ámbito en que se desee actuar: **D-o**,  **$\eta$ -o**, **Ge-o**.

Debido a que en el consumo de energía para refrigeración los equipos y sistemas como los dispuestos no cubren la demanda energética de los edificios, y los que están cerca de cubrirlas como el caso del edificio C-3 y el D-4 podrían alcanzar niveles de mejora ya analizados en los escenarios propuestos, el resumen que se presenta a continuación se refiere solamente al consumo de recursos energéticos para calefacción, donde los edificios estudiados emplean la mayor cantidad de energía.

En la **Fig. 5.14** para cada edificio se presenta el porcentaje de ahorro que supone el consumo de cada escenario respecto al consumo real **Cr**.



**Fig. 5.14** Resumen de escenarios, calefacción

Se observa de forma resumida lo que se ha analizado para cada escenario: algunos edificios limitan sus posibilidades de ahorro energético en alguna de las variables analizadas (módulo C-3 en el caso de la demanda energética, o el Módulo A-6 con un mínimo potencial de optimización en el caso del factor de uso y gestión) mientras que todos podrían definir estrategias de mejora y eficiencia en al menos dos de las variables analizadas.

Vale la pena remarcar que una actuación de coste "intermedio" como es la optimización del rendimiento medio de los equipos y sistemas  **$\eta$ -o**, se evidencia como una alternativa aplicable en todos los casos con ahorros importantes. Las medidas de coste mínimo o nulo como son las de la optimización del factor de gestión **Ge-o**, suponen potenciales de ahorro significativos y en el caso de la ETSAV podría ser la gran estrategia de mejora.

Las oportunidades de actuación para optimizar la demanda energética **D-o**, que en el caso de edificios existentes como los aquí estudiados es la de mayor inversión y complejidad de implementación, debería sin embargo tener la prioridad de ejecución en todos los casos, ya que supone actuaciones "permanentes" que incidirían y potenciarían aun más los beneficios de las demás variables, al reducir la necesidad de sistemas de aporte energético y estrategias para gestionarlos.

Es importante considerar que no se plantea optimizar el diferencial de consumo  $\delta C$ , ya que como se ha explicado no es una variable de la ecuación sino un factor asociado al diferencial de ocupación que incide específicamente sobre la demanda energética y desde este punto de vista no sería optimizable individualmente

Como cada escenario por separado ofrece unas posibilidades de ahorro diferentes para cada caso, vale la pena visualizar lo que sería la optimización "conjunta" de todas las variables de la ecuación planteada.

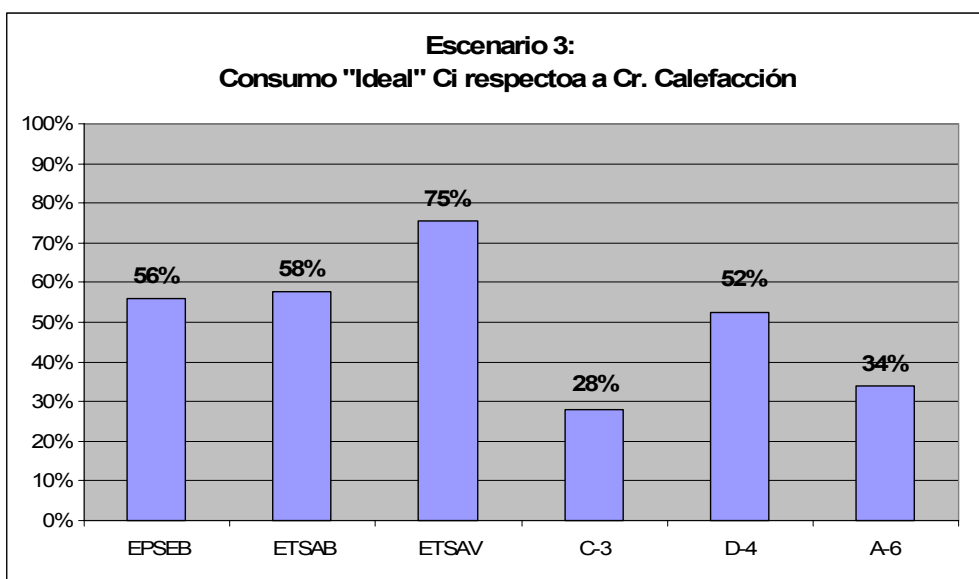
Lo que en principio sería la sumatoria de los ahorros individuales obtenidos en cada escenario estudiado, en realidad es necesario evaluarlo sobre un escenario resumen que simularía el consumo energético "Ideal"  $C_i$  derivado de optimizar todas las variables de cada edificio al mismo tiempo.

Al resolver la ecuación planteada para obtener el consumo energético (**7**), utilizando los valores de cada una de las variables optimizadas:  $D-o$ ,  $\eta-o$ ,  $Ge-o$  se obtiene un Consumo teórico "Ideal"  $C_i$  cuya diferencia respecto al Consumo real  $C_r$ , permite valorar el porcentaje de optimización del consumo para cada uso energético  $(C_i-C_r)/C_r \times 100$ .

Edificio	Uso energético	$D-o$	$\eta-o$	$Ge-o$	Consumo "Ideal" $C_i$	Consumo Real $C_r$	$(C_i-C_r)/C_r$
<b>EPSEB</b>	Calefacción	253.769 KWh	0,85	0,90	331.724 KWh	751.265 KWh	56%
	Refrigeración	108.253 KWh	2,25	1,00	48.112 KWh	37.864 KWh	-100%
	Total	362.022 KWh	0,00	0,00	379.836 KWh	789.130 KWh	52%
<b>ETSAB</b>	Calefacción	202.053 KWh	0,85	0,90	264.122 KWh	626.412 KWh	58%
	Refrigeración	46.048 KWh	2,25	1,00	20.466 KWh	27.335 KWh	25%
	Total	248.102 KWh	0,00	0,00	284.588 KWh	653.747 KWh	56%
<b>ETSAV</b>	Calefacción	192.802 KWh	0,85	0,90	252.029 KWh	1.024.448 KWh	75%
	Refrigeración	39.952 KWh	2,25	1,00	17.756 KWh	8.658 KWh	-100%
	Total	85.765 KWh	0,00	0,00	269.786 KWh	1.033.106 KWh	74%
<b>C-3</b>	Calefacción	59.777 KWh	0,90	0,95	69.915 KWh	96.891 KWh	28%
	Refrigeración	28.294 KWh	2,25	0,95	13.237 KWh	23.850 KWh	45%
	Total	88.071 KWh	0,00	0,00	83.151 KWh	120.741 KWh	31%
<b>D-4</b>	Calefacción	50.186 KWh	0,90	0,95	58.697 KWh	123.321 KWh	52%
	Refrigeración	12.457 KWh	2,25	1,00	5.536 KWh	8.189 KWh	32%
	Total	62.643 KWh	0,00	0,00	64.233 KWh	131.510 KWh	51%
<b>A-6</b>	Calefacción	61.385 KWh	0,90	0,95	71.796 KWh	108.465 KWh	34%
	Refrigeración	28.033 KWh	2,25	1,00	12.459 KWh	0 KWh	-100%
	Total	89.418 KWh	0,00	0,00	84.255 KWh	108.465 KWh	22%

**Tabla 5.11** Análisis escenario resumen





**Fig. 5.15** Potencial de ahorro energético escenario "Ideal". Calefacción

Al igual que en el análisis de cada escenario por separado se propone realizar el análisis conjunto sobre los valores obtenidos para el período de calefacción. Tal como se observa en la **Fig. 5.15** todos los edificios estudiados tienen un potencial de ahorro significativo en este escenario "Ideal". En el caso de la ETSAV permite suponer que podría llegar a ahorrarse el 75% de la energía que el edificio consume para atender su demanda, con unos sistemas e infraestructuras y un factor de uso y gestión acorde a lo que se observa en los otros edificios de la UPC.

También es destacable que este escenario permitiría ahorrar en el caso de edificios como la EPSEB y la ETSAB más del 50% de la energía que consumen, en gran parte justificado por la misma baja calidad de infraestructuras, tanto del edificio como de los sistemas y porque la gestión y mantenimiento los lleva a cabo el mismo equipo de personas con los mismos recursos técnicos y logísticos.

En los edificios en campus, el módulo D-4 tiene un importante potencial de mejora respecto a los edificios de su tipología, que se justifica en los elevados potenciales de ahorro al optimizar la demanda o el rendimiento medio de los sistemas.

### 5.5.5. Alternativas de implementación de escenarios

El análisis de escenarios de mejora de una edificación planteados a partir de la metodología propuesta en esta tesis, tienen un importante potencial de implementación en un contexto energético en el que los recursos que se emplean dependen en gran medida de los combustibles de origen fósil, y en general de los recursos no renovables que tienden a agotarse de forma alarmante (WAKERHAGEL, REES 1996). Conceptos como la eficiencia energética, la optimización de sistemas y procesos serán fundamentales a la hora de garantizar la sostenibilidad del sistema visiblemente amenazado.

En el **Capítulo 1** (apartado 1.7) se ha hecho referencia al ámbito normativo de referencia en el marco tanto de las nuevas directivas europeas sobre eficiencia energética en las edificaciones, como de las normativas estatales y locales que deberían ayudar a cumplir los compromisos globales en este sentido.

También se menciona en este apartado las nuevas “oportunidades” de negocio que se generan en torno a temas como la eficiencia y el ahorro energético, concretamente la figura de los Energy Performance Contracts (EPC) o las empresas que trabajan en la modalidad de Energy Service Company (ESCO), que a la luz de lo expuesto en este **Capítulo 5** se encargarían de evaluar las posibilidades de mejora de los edificios en cuanto al rendimiento de los sistemas que atienden la demanda energética  $\eta$ , o la gestión de los recursos energéticos **Ge**.

Desde el punto de vista de lo planteado en esta tesis será fundamental que el análisis de el potencial de mejora en la eficiencia energética y su ahorro asociado en términos económicos, no se desvincule del confort de los edificios, o lo que es lo mismo, que el punto de partida sea garantizar las condiciones de habitabilidad que los edificios requieren y a partir de aquí tendrá sentido dirigir todos los esfuerzos hacia la eficiencia en la gestión de los recursos que se empleen.

---

## **6. Capítulo. Conclusiones**

---

- 6.1. Conclusiones generales**
- 6.2. Conclusiones por ámbitos específicos**
- 6.3. Discusión final**
- 6.4. Líneas de investigación abiertas**



## 6. Capítulo. Conclusiones

### 6.1. Conclusiones generales

El desarrollo del trabajo y la resolución de la ecuación planteada comprueban la hipótesis de partida ya que permiten establecer que, **de los factores que condicionan las diferentes variables planteadas en la ecuación del consumo energético, el perfil de uso (que considera la ocupación y gestión del edificio) es el de mayor incidencia**, por ser el factor común a todas las variables, y fundamentalmente porque condiciona la dispersión entre las suposiciones teóricas y la realidad del consumo de recursos energéticos.

Se demuestra también que es posible evaluar y analizar todas las variables propuestas en la ecuación y los factores que las condicionan.

La principal conclusión de esta tesis es que **el consumo energético de una edificación es función, principalmente, del perfil de uso como factor determinante**.

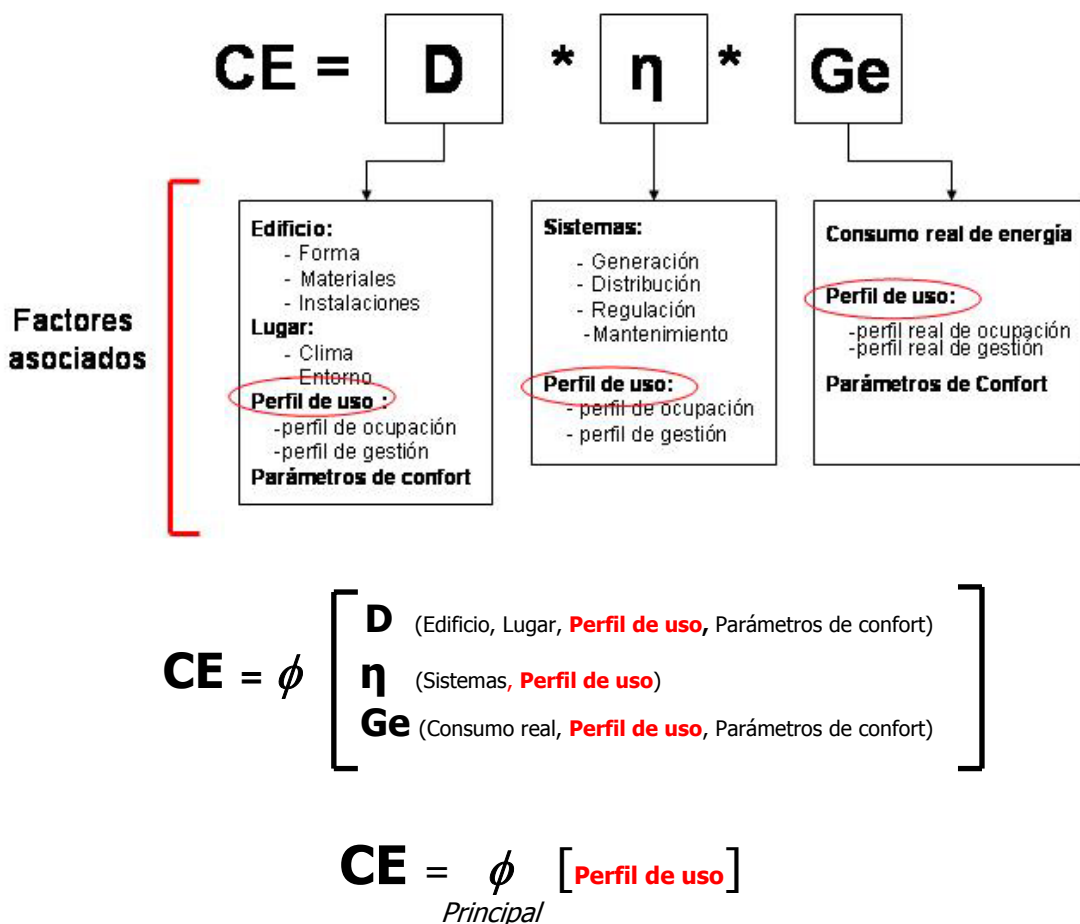


Fig. 6.1 Dependencia funcional del consumo energético

**Se evidencia la necesidad de definir una estrategia energética**, que permita sumar todos los esfuerzos por reducir el impacto ambiental de la edificación en una misma dirección. Si no existe tal estrategia es fácil que los esfuerzos individuales terminen por diluirse y perder su verdadera eficiencia en relación al objetivo conjunto.

Esta tesis demuestra que **la definición de esta estrategia debe partir necesariamente de la definición del perfil de uso del edificio**, por ser el factor principal que condiciona todas las variables que influyen en el consumo de sus recursos energéticos.

Todas las variables de la ecuación planteada y desarrollada merecen una atención y consideración específica, pero desde el punto de vista de la arquitectura y del arquitecto como proyectista es la demanda energética la de más directa relación y la de mayor potencial de incidencia. En esta tesis se han estudiado y valorado algunas herramientas que el proyectista tiene a disposición para incidir y optimizar la demanda del edificio, pero **se demuestra que la mejor manera de actuar sobre la demanda y optimizarla desde la arquitectura es a partir de la consideración en el proyecto del perfil de uso del edificio.**

**Proyectar ajustándose al partir del perfil de uso debería ser la forma correcta de plantear una respuesta arquitectónica a la demanda de habitabilidad de los usuarios, puesto que garantizaría comenzar a abordar el problema partiendo de la pregunta adecuada.** Esto que aquí pareciera novedoso no es otra cosa que adaptar la respuesta arquitectónica y tecnológica a las necesidades del usuario, partiendo de la realidad del lugar y de los recursos disponibles para construir los edificios y lleva poniéndose en práctica en la arquitectura popular desde hace unos cuantos siglos.

Desde la perspectiva que ofrece esta tesis al analizar el comportamiento de edificios existentes, se puede concluir que diseñar y construir un edificio adaptado a un perfil de uso fiel a la realidad de su funcionamiento es prácticamente imposible ya que prever las condiciones reales de utilización es realmente complejo. Pero si es posible exigir que **el diseño de los edificios que prevea la variación de las condiciones reales de utilización dentro de un rango controlado desde el proyecto**, permitir que dicha variación no deba ser asumida exclusivamente por los sistemas activos de aporte energético de los edificios, sino que el propio diseño incorpore los elementos que le permitan al usuario adaptarse a las condiciones variables del entorno y del propio uso.

Esta tesis ha demostrado que el arquitecto que quiera proyectar y construir, tiene a su disposición hoy día, herramientas de análisis y modelos de referencia que le inhabilitan para seguir diseñando y construyendo edificios ajenos a la realidad social y económica en que vivimos.

## 6.2. Conclusiones específicas por ámbitos específicos

### Respecto a la metodología

**La hipótesis de partida se puede verificar con la metodología propuesta.** La demostración del planteamiento de partida se desarrolló a partir del seguimiento de uso y el análisis del consumo, segregando los diferentes factores que inciden en él mediante la resolución de una ecuación planteada. **Se demuestra que es posible establecer la incidencia de cada uno de estos factores y se evidencia el peso y la importancia del uso de los edificios en el consumo final.**

**La metodología de análisis puede ser aplicada a edificios nuevos o existentes.** El análisis desarrollado ha demostrado que es posible resolver la ecuación planteada no sólo a partir del análisis de la realidad de consumo de edificios existentes, sino que permitiría analizar desde el proyecto el potencial de consumo e impacto asociado de una edificación. Este modelo debería ser aplicado a nuevas edificaciones a través de la definición detallada y compleja de la demanda energética del edificio que estará adaptada al perfil de uso real y supondrá un modelo de gestión a implementar.

Es fundamental considerar que en el análisis del factor de gestión **Ge**, se ha considerado el edificio como una “unidad” o un “monoespacio”, y la incidencia de este diferencial sobre el consumo de recursos y los parámetros de confort está valorada respecto a la totalidad del edificio. **Sería lógico suponer que el análisis óptimo debería estar referido a cada una de las zonas del edificio**, con la dificultad añadida de tener que segregar el consumo de recursos energéticos (y sus mecanismos de medición) a cada una de estas zonas, lo que hace que en la dinámica actual de diseño y construcción de los edificios sea una medida de difícil implementación.

Será muy importante entonces, valorar en este sentido (como se propone en la metodología de esta tesis) el comportamiento del global del edificio, detallando al máximo las singularidades posibles de los valores fijos que influyen en este análisis (datos estáticos) y aproximarse al máximo a la simulación de las condiciones variables (datos dinámicos), para que los valores obtenidos, las tendencias y el análisis sean extrapolables a su realidad.

El análisis del factor de gestión **Ge**, se realizó utilizando instrumentos de medición del consumo que ya pueden ser reemplazados por herramientas disponibles en el mercado, sistemas de telegestión de los diferentes consumos energéticos en los edificios incluido el consumo de gas por ejemplo, permiten obtener lecturas en tiempo real que evitarían tener que “pinchar” el consumo de calderas y quemadores y realizar de forma más sencilla el análisis de la incidencia del incremento de uso y gestión <sup>14</sup>.

### **Respecto a las herramientas de análisis de la demanda energética**

Se han valorado las prestaciones y posibilidades que ofrecen las diferentes herramientas de evaluación de la demanda energética y se ha evidenciado la necesidad de que dichas herramientas no sólo sirvan para informar (como sucede en la totalidad de los casos), sobre la cantidad de energía que el edificio necesita para garantizar unos determinados niveles de habitabilidad, sino que **es necesario que informen también, sobre como se han de gestionar (dosificar) los recursos energéticos y como es posible adaptarse a las variaciones del perfil de uso y gestión inicialmente previsto.**

La incidencia demostrada del perfil de uso y gestión de un edificio en los diferentes factores que determinan el consumo de energía, hace suponer que **la posibilidad de modelar de forma rigurosa y dinámica el perfil de uso y gestión de un edificio condicionará de forma importante la selección de una determinada herramienta de simulación de la demanda.** Este trabajo ha utilizado algunas herramientas que permiten evaluar la demanda energética de un edificio de diferente forma y a partir de diferentes enfoques. Aunque el menú de posibilidades es inmenso y cada día aumenta el número de herramientas disponibles en el mercado para este tipo de análisis, es fácil suponer que no existe una herramienta “perfecta” y la selección, que deberá contemplar la consideración de diversos criterios ya comentados, debería valorar con la importancia que merece la versatilidad de la herramienta respecto a este “factor principal”.

A la luz de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las consideraciones hechas respecto las prestaciones de los programas de análisis de la demanda energética, se podría proponer una alternativa de herramienta que de cumplir con algunas características mínimas como las que se mencionan en la **Tabla. 6.1**, permitiría ajustar el cálculo de la demanda energética de un edificio a la realidad de uso final.

---

<sup>14</sup> Un sistema como el que se referencia es el POWERSTUDIO de la marca CIRCUTOR que permitiría controlar todos los consumos energéticos on-line de una edificación. A raíz de los trabajos desarrollados en esta tesis la propia UPC ya está implementando este tipo de sistemas de telegestión en sus edificios.

Características	Prestación
<b>Generales</b>	
Tipo de análisis	Multi-zona
Período análisis	hora a hora
Entrada gráfica	Si, con posibilidades de importar/exportar archivos
<b>Parámetros del análisis</b>	
Régimen de transferencia de calor	Transitorio
Temperaturas de confort	Banda de confort variable
Perfil de uso	Modificable hora a hora
Condiciones clima exterior	Modificable hora a hora
Inercia térmica	Análisis en régimen transitorio
Puentes térmicos	Con posibilidad de descripción individual
<b>Resultados</b>	
Tº interior	Hora a hora
Aporte energético	Hora a hora por zonas
Demanda por componentes	En cada local / zona
Unidades	kWh/m <sub>2</sub> , kWh/m <sub>3</sub>

**Tabla 6.1** Características mínimas que debería tener una herramienta de evaluación energética.

### **Respecto al perfil de uso de los edificios**

**Todo el esfuerzo que supone generar, transportar y disponer de un vatio (W) de potencia energética en un edificio debería suponer el más riguroso sistema de gestión y utilización de la energía que se consume.** El simple análisis de los valores globales de consumo de una edificación respecto a la energía que realmente se usa para satisfacer las necesidades de los usuarios, permite establecer que el uso y la gestión de los edificios no deberían permitir que se consuma energía "en vano", programando adecuadamente el uso de los espacios y dotando la infraestructura de elementos de control, regulación y seguimiento que permitan la flexibilidad de uso que la actividad requiere.

Esta tesis ha centrado su atención en el análisis del consumo de recursos energéticos para generar un clima interior en los edificios que atienda las necesidades de habitabilidad de los usuarios. La mayoría de sistemas y aparatos de climatización de los edificios estudiados, (se podría generalizar a la mayoría de los edificios que hoy día se construyen) se diseñan a partir de una estimación de la demanda para las condiciones extremas tanto de invierno como de verano. La realidad demuestra que dichas condiciones se dan en muy pocos momentos del año, por lo que esta consideración resulta ser demasiado conservadora y los sistemas en consecuencia sobredimensionados para las necesidades reales. Si a esto añadimos que la gestión de dichos sistemas en la mayoría de los casos también atiende a las necesidades extremas (Si alguien sintió frío o si alguien sintió calor) porque la mayoría de edificios no dispone de los sistemas de control y gestión adecuados, **terminamos por usar los equipos que no necesitamos de la manera menos adecuada lo que inevitablemente se refleja en el consumo final de energía.**

Los datos obtenidos de consumo, mas el seguimiento detallado del uso y la gestión de los edificios, demuestran que no se trata de saturar de "ocupación" una edificación para amortizar su despilfarro energético, sin tener en cuenta las características de las instalaciones y su gestión. La cantidad e intensidad de uso debe ir acompañada de una adecuada infraestructura y una eficiente gestión.



### **Respecto al impacto ambiental de la edificación**

Se han evidenciado diversas alternativas para reducir el consumo energético en los edificios y no se puede olvidar que todo consumo tiene asociado un impacto sobre el medioambiente. **La mejor estrategia para reducir el impacto ambiental de la edificación es actuar sobre la demanda.**

El proyecto arquitectónico debería agotar todas las posibilidades de interactuar con las oportunidades que le ofrece el entorno y **conducir toda la imaginación y creatividad incorporando soluciones “pasivas” de diseño que eviten el tener que condenar a los usuarios a satisfacer sus necesidades de habitabilidad consumiendo cantidades innecesarias de recursos energéticos “importados”** que contribuyen a aumentar el impacto ambiental global.

No es posible que buena parte del impacto ambiental de las edificaciones, como este trabajo ha demostrado, esté asociado a la energía que se despilfarra en los edificios y en ningún caso esté aportando beneficio alguno al bienestar (a las condiciones de habitabilidad) de los usuarios. Esto significa que el deterioro que se ocasiona en el patrimonio común tiene el agravante de ser en vano, lo cual es desde todo punto de vista insostenible.

**Hace mucho tiempo que se construyen edificios “adictos” a las redes de suministro energético para satisfacer la demanda de habitabilidad de sus usuarios**, esta es una realidad que no tiene ningún sentido en un panorama donde el valor de los recursos naturales cotiza en bolsa y su precio crece en forma exponencial, a la misma velocidad probablemente, a la que se agotan las existencias.

### 6.3. Discusión final

Esta tesis parte de algunos planteamientos en principio obvios “Se da por aceptado que los edificios consumen mucha energía para funcionar, se da por obvio que la forma de los edificios, su envolvente, los sistemas que posean o el uso que alberguen tienen mucho que ver...” (Pág. 2). **El desarrollo de la tesis, la metodología propuesta y los resultados obtenidos han demostrado la forma de evaluar y cuantificar estas “obviadas”.**

Pero no hay que dejar de lado otra obviedad asumida “La responsabilidad del proyectista sobre el consumo de energía y el impacto ambiental de la edificación termina cuando se inaugura el edificio”, este trabajo pretende demostrar que esta obviedad no puede tolerarse en un contexto social, cultural y económico como en el que vivimos, y es precisamente a partir del replanteamiento de esta obviedad erróneamente asumida, que será posible reconducir la situación y aproximarnos a un futuro menos “hipotecado” y quizás sostenible.

La mayoría de esfuerzos (económicos, tecnológicos, etc.) que buscan responder a la problemática del consumo de energía y el impacto asociado de la edificación, tienden a trabajar sobre la oferta de soluciones tecnológicas de sistemas que atiendan la demanda energética de los edificios, soluciones generalmente traducidas en sistemas que consumen energía y reafirman la dependencia de los edificios de sistemas externos. **No se dedican los esfuerzos suficientes a actuar sobre la demanda energética**, mas aun si consideramos que garantizaría la reducción del impacto por suponer de entrada, menos dependencia de sistemas activos “energívoros”, de su rendimiento y eficiencia.

**No es posible que garantizar las condiciones de habitabilidad de los edificios, que en el caso de la vivienda es la satisfacción de una necesidad básica del ser humano, sea el modelo de enriquecimiento de unos pocos, que siguen promoviendo, proyectando, construyendo edificios en una cadena inconexa de agentes que se ignoran entre si, e ignoran la visión de conjunto que supone el ciclo de vida de una edificación.** Mientras el proyectista siga haciendo el papel pasivo de simple escribano de los deseos de promotores que en muchos casos no tienen el más mínimo interés por saber que sucede en los edificios que se construyen una vez se venden y entran en uso, el usuario seguirá siendo un simple “condenado” a vivir en unas condiciones muchas veces ajenas a sus necesidades, a sus posibilidades y lo que es peor (si echamos un simple vistazo a la situación de los recursos naturales y a la dependencia de nuestro esquema económico), ajenas a la realidad social y económica de la sociedad en que vive.

**Es fundamental que el proyectista se involucre en todas las fases del ciclo de vida de una edificación.** No es posible que el proyectista de un edificio sea un actor más que desaparece del proceso cuando este entra en uso. Es necesario que se asuma el rol que corresponde y se asuma de paso, las responsabilidades que respecto al desarrollo sostenible del conjunto de la sociedad nos compete a los arquitectos.

#### 6.4. Líneas de investigación abiertas

La metodología de trabajo propuesta y desarrollada en esta tesis, constituye el principal aporte a explotar en futuras líneas de investigación que consideren oportuno aproximarse al tema del impacto ambiental de la edificación a partir del análisis del consumo de recursos energéticos en los edificios.

La implementación de la metodología aquí propuesta es una línea de trabajo que de hecho ya se está desarrollando en la propia UPC dentro de uno de los proyectos de investigación en el marco del ***Laboratori REAL 2***. Promovido desde el CITIES.

En este trabajo se retoman las conclusiones de esta tesis y se pretende analizar las posibilidades de implementar líneas de actuación en la propia estructura de gestión de los edificios de la UPC (tanto los nuevos a construir, como el parque existente) que se concreten en actuaciones específicas en cada uno de los ámbitos ampliamente analizados en este trabajo.

Estas líneas de actuación se orientarían a incorporar criterios ambientales en el encargo de nuevos edificios que permitan optimizar la demanda energética de partida, analizar el tipo de sistemas e instalaciones que la propia UPC incorpora en sus edificios para identificar el nivel de rendimiento óptimo que es posible asumir de acuerdo a las limitaciones económicas y tecnológicas, y evaluar el perfil de gestión que se observa en los diferentes edificios y campus de la universidad con el fin de establecer un modelo de gestión adecuado a las necesidades de cada caso, que servirá de referencia tanto para la optimización de la gestión de los edificios como para la definición de los nuevos encargos.

El desarrollo de este trabajo pretende vincular investigadores que trabajan en este campo y permitirá no solo la revisión de los resultados y conclusiones aquí tratados, sino también, “afinar” los instrumentos empleados, e incorporar otras herramientas de análisis disponibles.

En el campo del análisis de la demanda energética y el rendimiento de los sistemas energéticos de los edificios, en el propio Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC, hay una amplia experiencia en el desarrollo de herramientas y software de análisis. Este trabajo pretende aportar algunas conclusiones que permitan fortalecer esta línea de investigación.

---

## **7. Bibliografía**

---



ANINK, David; BOONSTRA, Chiel; MAK, John. (1996)

**Handbook of sustainable building:** an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment .

London: James & James, cop. 1996

ISBN: 1-873936-38-9

ASHRAE (1997)

**Handbook of Fundamentals**

Edición Española

Manual básico sobre técnicas para el cálculo de instalaciones de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (traducción ACETYR)

Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, cop. 1997

ISBN: 0-910110-97-2

ASHRAE (1997)

**Handbook: heating, ventilating and air-conditioning applications**

Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, cop. 1997

ISBN: 1-883413-71-0 (cart.)

ATECYR, Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (1999)

**Impacto ambiental de la climatización: plan de calidad**

Madrid: AFEC, Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización, 1999

ISBN: 84-930549-0-9

BAKER, Nick; KOEN, Steemers (2000)

**Energy and environment in architecture: a technical design guide**

LondonNew York : E & FN Spon, cop. 2000

ISBN: 0-419-22770-9

BURTON, S. (2000)

**Energy Comfort 2000 – The application of low energy technologies to seven new non-domestic buildings**

European Comission. Thermie Project to reduce energy and improve confort and environment.

BURTON, S. (2001)

**Energy efficient office refurbishment**

London : James & James, cop. 2001

ISBN: 1-902916-01-8

BUTERA, Federico M. (1996)

**Energia e tecnologia fra uomo e ambiente.** 5a. edición

Milano. CittàStudi 1992. 5a. edición de 1996

ISBN: 88-251-7057-2

CARRIER (1997)

**Handbook of Air Conditioning System Design**

McGraw-Hill, New York, Carrier Air Conditioning Co.

Versión española: Barcelona. Marcombo ed. S.

CLARK II, William H. (1998)

**Análisis y gestión energética de edificios. Métodos proyectos y sistemas de ahorro energético**

Traducción y revisión técnica: Claudio Míguez Gómez

Madrid: McGraw-Hill, 1998

ISBN: 84-481-2102-3

COMISIÓ EUROPEA. Programa LIFE. (1999)

**La enseñanza de la arquitectura y el medio ambiente.**

Barcelona: Generalitat de Catalunya, COAC, ITEC, UPC,. 1999.

ISBN: 84-89698-34-1

COMISION MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988)

**Nuestro futuro común**

Madrid: Alianza, 1988

ISBN: 84-206-9574-2

CUCHI, Albert; LÓPEZ, Isaac (1999)

**Informe MIES: Una aproximació a l'Impacte ambiental de l'Escola d'Arquitectura del Vallès.**

ISBN: 84-7653-870-7

CUCHI, Albert (2006)

**Arquitectura i Sostenibilitat**

Barcelona: Edicions UPC Temes de Tecnologia y Sostenibilidad. 2006

ISBN: 84-8301-839-X

DANIELS, Klaus (2003)

**Advanced building systems: a technical guide for architects and engineers**

Basel: Birkhäuser, cop. 2003

ISBN: 3-7643-6723-7

DIPUTACIÓ DE BARCELONA. (1986)

**Manuals: Auditoria Energètica: 2. Instal·lacions i edificis**

Barcelona: Diputació, 1985-1986

ECO, Humberto. (1992)

**Cómo se hace una tesis: técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura.** Versión castellana de Lucía Baranda y Alberto Clavería Ibáñez

Barcelona: Gedisa, 1992

ISBN: 84-7432-137-9

FERRER D.; GRANADO N.; DIAZ A. (2003)

**ACA2 : procés d'aplicació de criteris ambientals en l'arquitectura**

Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, DL 2003

ISBN: 84-7653-829-4

HUNN, Bruce D. (1996)

**Fundamentals on building energy dynamics**

Cambridge, MALondon: The MIT Press, cop. 1996

ISBN: 0-262-08238-1

GAUZIN-MÜLLER, Dominique (2002)

**Arquitectura ecológica**

Barcelona : Gustavo Gili, cop. 2002

ISBN: 84-252-1918-3

GIVONI, Baruch. (1998)

**Climate considerations in building and urban design**

New York : Van Nostrand Reinhold, 1998

ISBN: 0442009917

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (1999)

**Fundamentos técnicos de la calificación energética de viviendas. Manual del usuario**

Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones, cop. 1999

ISBN: 84-498-0436-1

Institut Ildefons Cerdà (1999)

**Guía de la edificación sostenible**

Madrid: Ministerio de Fomento, DL 1999

ISBN: 848710438X

ISALGUÉ BUXEDA, Antoni (1997)

**L'Energia viatja als edificis: introducció a la física del transport d'energia**

Barcelona: Edicions UPC, 1997

ISBN: 8483011824

ITEC, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (2003)

**Paràmetres de sostenibilitat.**

Direcció de Fructuós Mañà i Reixach ; Línia del Medi Ambient i la Construcció ITEC: Albert Cuchí i Burgos, Daniel Castelló i Cortina, Glòria Díez i Bernabé, Albert Sagrera i Cuscó.

Barcelona: ITEC, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya ; 2003

ISBN: 8478534555

LEVERMORE, G. J. (1992)

**Building energy management systems: an application to heating and control**

London: E & FN Spon, cop. 1992

ISBN: 0-419-15290-3

LÓPEZ DE ASIAÍN, Jaime (2001)

**Arquitectura, ciudad, medioambiente**

Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes. 2001

ISBN: 84-472-0658-0

MARTIN M, Manuel. (1996)

**Comportamiento térmico de cerramientos soleados.** Tesis doctoral

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 1.996

McQUOISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER Jeffrey D. (2003)

**Calefacción, ventilación y aire acondicionado: análisis y diseño**

México D. F.: Limusa Noriega, cop. 2003

ISBN: 968-18-6170-1

MILIAN I ROVIRA, Josep M. (1981)

**Manual de calefacción**

Barcelona: La Gaya Ciència, 1981

ISBN: 84-7080-181-3

MOORE, Fuller (1993)

**Environmental Control Systems: Heating, cooling lighting**

New York: McGraw-Hill, 1993

ISBN: 0-07-042889-1

MOSS, Keith J. (1997)

**Energy management and operating costs in buildings**

London New York: E & FN Spon, 1997

ISBN: 0419217703

NEILA, Fco. Javier. (2004)

**Arquitectura bioclimática: en un entorno sostenible**

Madrid: Munilla-Lería, 2004

ISBN: 84-89150-64-8

OLGYAY, Victor (2002)



**Arquitectura y clima manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**

Barcelona: Gustavo Gili, 2002

ISBN: 84-252-1488-2

RAMON M. Fernando (1980)

**Ropa, sudor y arquitecturas**

Madrid: Blume, DL 1980

ISBN: 84-7214-193-4

ROGORA, Alessandro (2003)

**Architettura e bioclimatica : la rappresentazione dell'energia nel progetto**

Napoli: Sistemi, cop. 2003

ISBN: 88-513-0131-X

Royal Institution of Chartered Surveyors (1993)

**Energy efficiency in buildings: energy appraisal of existing buildings**

Holdings Ltd., 1993

ISBN: 085406561X

SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULUS, D. (1996)

**Passive Cooling of Buildings.**

London: James &amp; James cop, 1996

ISBN: 1-873936-47-8

SERRA FLORENSA, Rafael; COCH ROURA, Helena (2001)

**Arquitectura y energía natural**

Barcelona: Edicions UPC, 2001

ISBN: 84-8301-497-1

SERRA FLORENSA, Rafael (1998)

**Arquitectura y climas**

Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1998.

ISBN: 84-252-1767-9

SERRA, R.; COCH, H.; SAN MARTIN, R. (1996)

**La arquitectura y el control de los elementos**

Viladecans: Asociación Cultural Saloni, cop. 1996

ISBN: 84-920886-1-3

TAYLOR, N. (2002)

**Energy efficiency for everyone: Analysis and development of an energy efficiency project home.** Tesis doctoral

The University of Western Australia. 2002

Universitat Politècnica de Catalunya UPC (2002)

**Dades estadístiques i de gestió. Curs 2002-2003**

Barcelona: Servei de Publicacions de la UPC, 2002

WACKERHAGEL, M., REES, W. (1996)

**Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.**

Gabriola Island: New Society Publishers, cop. 1996

ISBN: 0-86571-312-X

WENDES, Herb. (1996)

**HVAC energy audit and balancing forms manual**

Lilburn: The Fairmont Press, cop. 1996

ISBN: 0881732192



**NORMATIVA DE REFERENCIA:**

Ministerio de Industria y Energía - España

**Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios RITE y sus instrucciones técnicas complementarias ITE.** (También se ha trabajado con el borrador de modificación del reglamento actualmente en preparación [www.idae.es](http://www.idae.es))  
Madrid, Ministerio de Industria y Energía, 1.998

AENOR

**Norma Española UNE-EN 832**

Comportamiento térmico de los edificios: Cálculo de las necesidades energéticas para calefacción  
Madrid, AENOR, 2000

Normativa europea de referencia

**ISO 13790**

Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating

Normativa europea de referencia

**EN 13465**

Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in dwellings including infiltration

MINISTERIO DE FOMENTO DE ESPAÑA

Código Técnico De La Edificación

**Documento básico HE: Ahorro de energía.** (Borradores en desarrollo)

Madrid, Ministerio de fomento. 2005

MINISTERIO DE FOMENTO DE ESPAÑA

Código Técnico De La Edificación

**Herramienta de Cálculo de la Demanda Energética: Manual de Fundamentos Técnicos**

AICIA - Grupo de Termotecnia E.S. Ingenieros Industriales, Universidad de Sevilla. Oct de 2001

AICIA - Grupo de Termotecnia E.S. Ingenieros Industriales, Universidad de Sevilla

**CALENER**

Manual general, Manual de referencia, Manual de ejemplos.

Sevilla. Marzo de 2002

**ARTÍCULOS Y PONENCIAS CONSULTADAS:**

ÁLVAREZ, S.; VELÁZQUEZ, R.; MOLINA J.L.

**Los nuevos requisitos de ahorro de energía para reducir la demanda energética de calefacción y refrigeración de los edificios en España.**

Jornadas IDAE, Diciembre de 2004

BERTOLDI, P.; REZESSY, S.

**Energy Service Companies in Europe**

European Commission, DG JRC,

Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, 2005

BORDASS W.; LEAMAN A.

**Future buildings and their services: strategic considerations for designers and their clients, CIBSE**

National Conference, Harrogate, 1, 88-96, 1996

---

JUDKOFF,R.; BALCOMB, J.D.; HANCOCK, C.E.; BARKER, G.; SUBBARAO, K.  
**Side-by-Side Thermal Tests of Modular Offices:** A Validation Study of the STEM Method.  
Technical report. National Renewable Energy Laboratory, December 2000.

OLOFSSON, T.; ANDERSSON, S.; ÖSTIN, R.  
**Energy load predictions for buildings based on a total demand perspective**  
Artículo publicado en: Energy and Buildings 27(1998) Pág. 109-116

RICHVIEW, Clongskeagh.  
Energy Research Group, School of Architecture, University College of Dublin  
**Tools and Techniques for the Design and Evaluation of Energy Efficient Buildings**  
THERMIE Action No. B184

SCHEUER,C.; KEOLEIAN, G.; REPPE, P.  
**Life cycle energy and environmental performance of a new university building:  
modelling changes and design applications.**  
Artículo publicado en: Energy and Buildings 35 (2003) Pág. 1049-1064.

SCHMIDT, D.  
**Design of Low Exergy Buildings: Method and a Pre-Design Tool**  
Artículo publicado en: International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, Vol. 3,  
2003

SUZUKI, M.; OKA, T.  
**Estimation of life cycle energy consumption and CO<sub>2</sub> emission of office buildings in  
Japan**  
Artículo publicado en: Energy and Buildings 28(1998) Pág. 33-41

**PÁGINAS WEB CONSULTADAS:**

AIE: GRUP DE RECERCA D'ARQUITECTURA I ENERGIA. ETSAB

[www.upc.es/aie](http://www.upc.es/aie)

BREEAM BRE Environmental Assessment Method

[www.breeam.org](http://www.breeam.org)

BUILDING ENERGY MEASUREMENT AND PERFORMANCE ANALYSIS

<http://eetd.lbl.gov/EA/Buildings/PROJECTS/>

CIBSE: THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS

[www.cibse.org](http://www.cibse.org)

CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

[www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org)

CSTB: CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

[www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY

[www.eea.eu.int](http://www.eea.eu.int)

ENERGIE-CITÉS; ASOCIACIÓN DE MUNICIPIOS EUROPEOS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA EN EL MEDIO URBANO

[www.energie-cites.org](http://www.energie-cites.org)

ENERGY OFFICE

[www.energyoffice.org](http://www.energyoffice.org)

EUROPA, DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍAS Y TRANSPORTE.

[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/index\\_es.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_es.html)

ICAEN: INSTITUT CATALÁ D' ENERGIA

[www.icaen.net](http://www.icaen.net)

IDAE: INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA

[www.idae.es](http://www.idae.es)

IBPSA: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION

[www.ibpsa.org](http://www.ibpsa.org)

NREL: THE NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

[www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

UNIVERSIDAD DE LAS PLAMAS DE GRAN CANARIA. Escuela de arquitectura. Departamento de construcción

<http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/index.htm>

UPC: UNIVERSITAT POLITÉNICA DE CATALUNYA

[www.upc.es](http://www.upc.es)

USABLE BUILDINGS

[www.usablebuildings.co.uk](http://www.usablebuildings.co.uk)

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

[www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)

---

**8. Ponencias presentadas y artículos publicados**

---



---

## **Ponencias presentadas**

- Ponencia leída en el **8<sup>th</sup> World Renewable Energy Congress August 28 - September 3, 2004 in Denver, Colorado**. En el apartado Low Energy Architecture.

### **Energy consumption indicators for Technical University of Catalonia (UPC) buildings**

(1)Albert Cuchí , (2)Fabián López

1.School of Architecture of Vallès (UPC) 2. Environmental Plan (UPC)  
Pere Serra, 1-15, 08190 Sant Cugat del Vallès, (SPAIN)

T.+34934017884 F.+3493401788 [alberto.cuchi@upc.es](mailto:alberto.cuchi@upc.es)

---

#### **Abstract.**

The aim of this paper is to show an experience in the definition of indicators to measure the influence of the buildings use in the energy consumption, against the other factors that influence it.

This paper summarizes the study carried out by the authors by assignment of the Environmental Plan of Technical University of Catalonia (UPC) on the possibility of assessing the associated consumption to the different uses (educational, research, management, library, etc.) typified and quantified for the university spaces. The interest of the study for the UPC is to explore the possibility of determining possible energy efficiency policies based on actions on the user, that did not suppose discrimination in function of the different infrastructure that are used or the different types of activity that are carried out.

To do so it, was necessary to separate the different factors that influence in the energy consumption and, above all, to measure simultaneously the consumption and the use in each monitored building.

Particularly, the work consisted in collecting information of the energy consumption and the intensity of use in the annual academic cycle in 6 buildings of the Technical University. The buildings were selected in accordance with the characteristics of architecture, use and location. They were splitted into two groups, one with 3 buildings with common characteristics of architecture and location, but with different uses, and the other with similar uses but with differences in architectural characteristics and location.

The results of the study permit to carry out some discussion on which are the adequate indicators, to measure the energy consumption in relation to the use of the buildings, but also to establish the relation between the use of the buildings and their energy consumption.



- Ponencia leída en el **3<sup>rd</sup> Dubrovnik Conference On Sustainable Development of; ENERGY, WATER AND ENVIRONMENT SYSTEM, June 2005 in Dubrovnik, Croacia**. En la sesión: Environmental Assessment.

**About the environmental impact of buildings:**  
Analysis of the incidence of the use of the buildings in the  
energy consumption

Fabian López PLazas  
Environmental Plan Office  
Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain  
e-mail: [fabian.lopez@upc.edu](mailto:fabian.lopez@upc.edu)  
Albert Cuchí Burgos  
School of Architecture of Vallès  
Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain  
e-mail: [alberto.cuchi@upc.edu](mailto:alberto.cuchi@upc.edu)

**Abstract.**

The consideration of the use of the buildings as one of the factors of greater incidence in the final energy consumption in the buildings is the initial approach of this work that proposes a methodology that permit to quantify, to value and to analyze this influence. Understanding that the use is not only referred to the activities that develop in a building but also to the energy resources that utilizes to carry out these activities and to satisfy the needs of comfort of the users, the total consumption of energy will be related to the different energy uses in the building. Taking as premise that for each energy use the consumption should be related to the systems and available machines in the building, its performance and the use that be done of them. If we consider each one of these factors as a variable to know, the energy consumption (theoretical) would be able to be defined according to the solution of the following equation in which there would be to establish the interaction of the different variables:

$$EC = P * R * U$$

Where:

EC = Energy consumption  
P = Power installed  
R = Performance/efficiency of systems  
U = Use

The study and the resolution of this equation suppose the initial approach to verify by means of the analysis of some buildings of the UPC in the development of a doctoral thesis and in the framework of different research projects promoted from Environmental Plan Office.

---

- **Artículos publicados:**

Como resultado del trabajo realizado en los 6 edificios de la UPC analizados en detalle en esta tesis y cuyos resultados se presentaron en los informes de los proyectos de investigación del ***Laboratori Real 1 y 2*** promovidos por el CITIES (Centre Interdisciplinari de Tecnologia, Educació i Innovació per a la Sostenibilitat), la Universidad decidió promover la realización de Auditorias Energéticas en sus edificios siguiendo la metodología de análisis planteada, en el marco del Plan de Eficiencia Energética en el Consumo de Recursos (PECR) promovido desde la vicerrectoría adjunta de edificaciones.

El desarrollo de las auditorias se propuso como una línea de proyectos de fin de carrera, de la Escuela Politécnica Superior de la Edificación de Barcelona (EPSEB) y ha sido llevado a cabo en convocatorias anuales. Desde septiembre de 2003 a la fecha se han llevado a cabo 31 Auditorias de un total de 86 edificios de la UPC, las cuales se han realizado bajo la tutoría académica de las profesoras Montserrat Bosch e Inmaculada Rodríguez Cantalapiedra, y con mi apoyo como técnico del CITIES (Centre Interdisciplinari de Tecnologia, Educació i Innovació per a la Sostenibilitat).

Los resultados de esta experiencia docente se resumen en el artículo presentado al JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION de la Editorial ELSEVIER, el cual ha sido aceptado para publicación en el próximo número de la revista que se incluye a continuación.



ELSEVIER

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of Cleaner Production xx (2006) 1–5

**Journal of  
Cleaner  
Production**
[www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)

# Involvement of final architecture diploma projects in the analysis of the UPC buildings energy performance as a way of teaching practical sustainability

 I.R. Cantalapiedra <sup>a,\*</sup>, M. Bosch <sup>b</sup>, F. López <sup>c</sup>
<sup>a</sup> Department of Applied Physics (EPSEB), Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain

<sup>b</sup> Department of Architectural Technology II (EPSEB), Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain

<sup>c</sup> Environment Plan Office Co-ordination, Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain

Received 1 August 2005; accepted 1 November 2005

## Abstract

Education is the foundation for achieving sustainable development. With the purpose of facing sustainable challenges in terms of climate change, water and energy consumption, Technical University of Catalonia (UPC) has promoted the culture of energy efficiency in new generations of professionals that will work in the field of building construction. A group of 21 students taking the final official Diploma in Architecture were involved in a project of analysis of energy performance of UPC buildings in order to identify and implement cost-effective ways of promoting a greater environmental responsibility. The development of works focused the attention on introducing energy audits in existing university buildings, analysing the following aspects: surveying construction drawings, building characteristics, energy consumption, use of natural lighting, energy-saving lighting controls, water consumption, and high-efficiency HVAC systems. The ultimate goal was to draft a proposal for greater respect for the environment, and for corrective measures aimed at reducing the environmental impacts.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Keywords:** Curriculum greening; Energy efficiency; Interdisciplinary

## 1. Introduction

Sustainable development is an increasingly relevant goal in today's society, which should involve considerable change in our behaviours. A sustainable society can only be constructed through example, and through specific activities. The European Union (EU) Directive of building energy performance of buildings [1] could play a very important role in the future increase in energy efficiency. In many countries, current building codes have relatively low requirements for energy efficiency and renewable energy, which leads to a higher energy consumption than what is cost-effective. Because most houses

are built according to these low standards, the users are burdened with unnecessarily high operational costs. New, stronger building codes that are enforced, can correct this problem, to the benefit of the users, the constructors and the environment. The new professionals in building construction need to know what are the today's European standards requirements for energy efficiency and how to evaluate and modify the actual park of buildings.

Energy rating started just after the energy crisis. The concern of the industrialized countries about the high energy consumption of the building sector initiated actions and programmes aiming to rationalize the energy consumption of dwellings.

- In Denmark, energy rating schemes have been prepared for large commercial buildings since 1992. The scheme is mandatory, relatively costly and quite comprehensive.

\* Corresponding author.

E-mail address: [inma@fa.upc.edu](mailto:inma@fa.upc.edu) (I.R. Cantalapiedra).

URL: <http://dfa.upc.es/websfa/eupb/inma.htm>

- In the UK, in the 1980s and 1990s performed hundreds of multi-year energy audits. They labelled buildings with different schemes.
- In Ireland, from 1992 labelled almost 8000 houses per year.
- In Spain, and in particular in the Basque Country, an energy rating system has been developed. Energy-efficiency certificates are awarded to buildings in two stages. A first certificate is awarded in the design phase and a final one is provided to the finished building.
- In the Netherlands, a rating scheme was developed in the mid-1990s.

The main purpose of this work is the analysis of the energy performance of UPC buildings in order to identify and implement cost-effective ways of promoting a greater environmental responsibility. The work is part of the framework of UPC policies [2] that, in 2003, launched a project for auditing the energy efficiency of the university buildings so as to establish a Resources Consumption Efficiency Plan (focussed mainly on energy and water).

The Technical Architecture School has adopted as a teaching strategy the principle that environmental issues should be dealt with throughout the whole course of studies as a part of the curriculum and in all subjects.

All students are required to complete a Final Project (PFC) at the end of their degree programme, providing them with an opportunity to specialise their studies and focus on the areas that interest them the most and in which they would prefer to undertake their professional careers.

UPC's interest in developing an Energy Efficiency Plan for consumption of energy resources, with the aim of auditing the existing buildings and defining policy and objectives for energy savings and efficiency, was seen as an opportunity for establishing links between teaching, research and management of the university. Within this framework, the Environment Plan Office, with the collaboration of the Department of Architectural Technology II and the Department of Applied Physics, has created a line of projects with the name Resources Consumption Efficiency Plan (PECR) – Energy Audits as a strategy focussing on learning by students.

The PECR has developed a practical and useful methodology for auditing the energy performance of UPC buildings and assessing their environmental quality. This goal has been pursued on the basis of yearly rounds involving groups of students who receive, over a six-month period, individual and group teaching that obliges them to do research and learn under the interdisciplinary guidance of a group of lecturers with specific knowledge.

The paper has the objective of publicising the results, from an academic standpoint, of a specific action carried out within the framework of the Energy Efficiency Plan (UPC, 2002) that is now being implemented and that will allow the existing commitment to greening the university studies in Technical Architecture School, to be strengthened. In the first stage, this task was performed through the energy audit of buildings and in particular of UPC buildings, and, in

view of the good results obtained, the second stage has now been started.

This action had the following goals:

- Address the need for curriculum greening;
- Develop a learning strategy;
- Create tools and a framework for work;
- Integrate different areas of work at UPC (teaching, research and management).

By means of Strategic Plans, our University has been making a sustained effort for several years aimed at greening the areas of teaching, research and technology transfer with the professional sector. This approach is carried through with the express commitment by the different departments to promote ongoing enhancement of the activities that were undertaken to stimulate students.

The completion of a Final Thesis in the Technical Architecture Diploma programme provides a good opportunity to work with those concepts on the basis of a comprehensive view of all the aspects involved in the construction process: optimisation of energy resources, energy savings and improvements, and construction procedures and treatment of the outer surface of buildings, among others.

For this purpose, the “Guide to Greening Final Projects” [3] was drafted in 1998, classifying theses into four different types, depending on the degree of implication of environmental issues.

Projects linked to the PECR arose in connection with these purposes and with the proposal of the Environment Plan Office to carry out an energy audit of all UPC buildings to assess their energy performance and establish potential improvements, both in respect of energy efficiency and consumption of resources, and to allow reduction of their environmental impact.

## 2. Methodology

The development of the project planning for six months in duration, involved 21 students of the Technical Architecture School of Barcelona (EPSEB), three lecturers and various staff members from the Environmental and Maintenance Offices and other units. It included a weekly seminar day in order to discuss all the concepts that arose, and to share experiences. In conclusion, it was an enriching experience for the students.

Each student was expected to do her/his own work, but they were also encouraged to co-operate and share their experiences, with the objective of ensuring consistently high quality of all the work done.

Once the programme was established, students were provided with tools and physical surroundings for their work for adapting the different projects to the index or programme (Fig. 1) established in advance consisting of:

- Summary of general characteristics, with measurement data, a use specification sheet and architectural information on the envelope and structure and interiors;

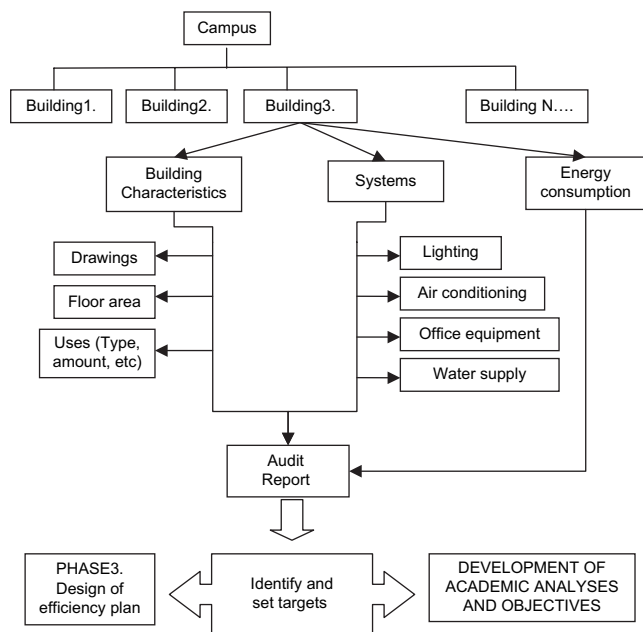


Fig. 1. Framework for performing the energy audits.

- Study of energy resources: electricity, gas, water, and other fuels;
- Analysis of systems of: lighting, air conditioning, energy and outfitting, and water pipes, providing plans and sets of data sheets compiling all the information;
- Monitoring of energy consumption;
- Data analysis and study of the energy efficiency of the building;
- Proposals for actions to be taken.

All data gathering, working methodology and analysis of the data obtained were carried out in accordance with models and experience provided by the tutors and experts consulted in the course of the work [4,5].

Lastly, summary sheets giving all the values obtained were drawn up for each building studied. In keeping with the standard reference parameters, the actions to be taken or the strategies to be applied with each building were determined, setting out the policies for energy saving and efficiency in accordance with the provisions of the UPC General Plan (Fig. 2).

### 3. Results and lessons learned

In order to evaluate the results of this initiative, a survey was carried out in which the students submitting their Final Theses were asked ten questions to assess the different aspects (cognitive, affective and methodological) that they encountered in the course of their work. A total of 16 questionnaires were evaluated.

In connection with cognitive aspects, the students stated that prior to completing this work their knowledge and aptitude in connection with environmental issues were not sufficient while after completing the project, they felt that both their knowledge and their aptitude for dealing with

environmental issues had improved to a satisfactory level. Consequently, more material on this subject should be included in the diploma programme in Technical Architecture and at the very least, the students have realised that there is more to be learned than what is available through academic training. Education continues outside the bounds of the prescribed studies.

Most of the surveyed students felt that both their sensitivity and their attitudes towards issues relating to the environment had changed satisfactorily and none of the surveyed students considered that their feelings on the subject had not changed sufficiently. We can therefore, state that they all felt that they had acquired certain new skills and attitudes. This is a very positive fact, since it indicated that carrying out a project relating to the environment had an influence on the formation of students' values, and this different outlook will undoubtedly lead them to work differently in their chosen professions.

Assessment of the new model of tutorial experience was positive, particularly regarding the regular meetings, which served to provide the information needed to the carry out the project and to allow the students themselves to create synergies and means of co-operation to deal with the problems that arose repeatedly, and to contrast working methodologies.

In the opinion of the lecturers, the web page was used effectively to transmit information that could be of use to all the students. It is important to bear in mind that working with 21 students at once and tutoring their theses involves a substantial amount of work. The fact that certain information, such as data tables, bibliographic selections, reviews of articles relating to the work, examples of construction elements taken as models, etc., can be provided in common to all the students makes the tutorial more efficient. We understand, nevertheless, that student's satisfaction might not be the same as ours, due probably to a different perception than in circumstances where more personalised attention is given, but we should point out that such attention was also provided in this case, at all times attempting to focus it on issues that will be more directly related to the final energy consumption of buildings and its associated environment impact.

### 4. Conclusions and recommendations

Completion of Final Projects provides students with an excellent opportunity to specialise their studies and focus on the areas that interest them the most and in which they would prefer to undertake their professional careers.

University energy audits are an opportunity for students to integrate and apply the knowledge they learned in the various fields of building construction during their training, in a real-life situation, and in a comprehensive manner.

The creation of workshops for preparation of Final Theses fosters interdisciplinarity, teamwork and the exchanges of experiences.

Lecturers benefit from the approach by having the opportunity to broaden their knowledge through exchanges and collaboration with colleagues in other disciplines. It is also

BUILDING INDICATORS-SUMMARY SHEET			
	Values	Reference values	Actions
Total surface	0 m <sup>2</sup>	-	
Total volume	0 m <sup>3</sup>	-	
<b>BUILDING</b>		Normative	
<b>Isolation</b>			
Wall Transmission Coefficient	0,00W/m <sup>2</sup> °C	0,73W/m <sup>2</sup> °C	
Façade 1	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade 2	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade 3	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade---	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Window Transmission Coefficient	0,00W/m <sup>2</sup> °C	3,90W/m <sup>2</sup> °C	
Façade 1	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade 2	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade 3	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade 4	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
Façade---	0,00W/m <sup>2</sup> °C	-	
% Total Windows	0,00%	-	
Cover Transmission Coef	0,00W/m <sup>2</sup> °C	0,41W/m <sup>2</sup> °C	
South solar protections	yes-no	Must have	
<b>INSTALATIONS</b>		UPC values	
<b>Thermal Conditioning</b>			
Heating	yes-no	yes	
Tipus	colective / Individual	Colect	
Energetic source	Gas/ electr /other	Gas prefer	
Demand / consumption	Theoric Demand/consumption	0%	
Cooling	yes-no	yes	
Tipus	colectiv / Individual	Heat Bomb hight COP	
Energetic source	Gas/ electr /other	-	
Demand / consumption	Theoric Demand/consumption	0%	
<b>Lighting</b>		Normative	
Offices			
Tipus	Fluoresc /incandes /etc.	Low consum fluoresc	
Level	0 Lux	500 Lux	
Classroom / Laborat			
Tipus	Fluoresc /incandes /etc.	Low consum fluoresc	
Level	0 Lux	500 Lx	
Corridors / comunit			
Tipus	Fluoresc /incandes /etc.	Low consum fluoresc	
Level	0 Lux	100	
<b>INDOOR AIR QUALITY</b>		UPC values	
Winter indoor T°	0 °C	20 °C	
Summer indoor T°	0 °C	25 °C	
Air renovation	0 m <sup>3</sup> /h pers	30-50 m <sup>3</sup> /h pers	
<b>CONSUMPTION MESUREMENT</b>		UPC values	
Measurement systems			
Electricity	colectiv / Individual	Individ electronic	
Gas	colectiv / Individual	Individ electronic	
Water	colectiv / Individual	Individ electronic	
<b>CONSUMPTION INDICATORS AND ASSOCIATED ENVIRONMENTAL IMPACTE</b>			
	Value	Reference	Actions
<b>CONSUMPTION</b>		UPC values	
Electricity	0 Kwh	XX kwh/any	
Gas	0 Kwh	XX kwh/any	
Water	0 m <sup>3</sup>	XX m <sup>3</sup> /any	
<b>Indicators</b>			
Consumption per m <sup>2</sup>	0 Kwh/m <sup>2</sup>	XX kwh-m <sup>2</sup> /any	
Consumption per crèdit	0 Kwh/credit	XX kwh-cr/any	
Consumption per usuari	0 Kwh/per-any	XX kwh/any-pers	
<b>ASSOCIATED IMPACT*</b>			
Annual emission CO <sub>2</sub>	0 Tn/any	XX Kg-CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	
Annual emission CO <sub>2</sub>	0 KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	XX Kg-CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	
* 0.545 Kg/co <sub>2</sub> per Kwh of electricity and 0,20 Kg/co <sub>2</sub> per Kwh of gas.			Data de actualització

Fig. 2. Summary sheet.

true that tutoring groups of students demands substantial dedication and requires tutors to maintain very high standards for themselves.

In short, the completion of these Final Theses has addressed a need in connection with curriculum greening through development of a learning strategy and creation of the suitable tools and operational framework.

Sustainable development and respect for the environment are a major challenge that society must deal with. Experts in construction will play a key role in contributing to the technological development that society needs, and the university must train professionals to lead this process of change.

The educational background of the students regarding the environment and sustainability is very important in this

457 process, particularly in that they gain the capacity to analyse  
458 the information and to define the objectives. If this input is  
459 limited, the process will be hindered and the activities delayed,  
460 as time must be devoted to providing this background.  
461

## 462 References

463 [1] Directive of building energy performance of buildings 2002/91/EC of the  
464 European Parliament and of the Council of 16 December 2002.  
465  
466

- 467 [2] Universitat Politècnica de Catalunya UPC. 2n Pla de medi ambient  
468 (2002–2005). Barcelona: Servei de Comunicació Institucional UPC;  
469 2002.  
470 [3] Universitat Politècnica de Catalunya UPC. Guia d'ambientalització dels  
471 treballs de Fi de Carrera. Barcelona: Servei de Comunicació Institucional  
472 UPC; 1988.  
473 [4] Serra R, Sanmartín R. Auditories energètiques II-Instal·lacions i edificis.  
474 Barcelona: Diputació de Barcelona, Departament de Mediambient; 1989.  
475 [5] Santamouris M, editor. Energy performance of residential buildings:  
476 a practical guide for energy rating and efficiency. James & James  
Earthscan; 2005.

UNCORRECTED PROOF