



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

## *La inserción de la eficiencia energética en los edificios universitarios brasileños: las políticas y los procesos de toma de decisiones*

**Marcos Antonio Leite Frandoloso**

**ADVERTIMENT** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

**Universitat Politècnica de Catalunya**  
Departament de Tecnologia en l'Arquitectura  
Programa de Doctorat en Arquitectura, Energia i Medi Ambient

**LA INSERCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS  
EDIFICIOS UNIVERSITARIOS BRASILEÑOS:  
Las políticas y los procesos de toma de decisiones**

**Doctorando: Marcos Antonio Leite Frandoloso**  
**Tutor de Estudios y Director de Tesis: Albert Cuchí i Burgos - UPC - España**  
**Co-director de Tesis: Eduardo Grala da Cunha (UFPEl - Brasil)**

Barcelona, septiembre de 2017.







Ilustración Correio do Povo, 10 de marzo de 1974

“Tarde o temprano, el conocimiento acumulado de las relaciones ambientales hombre/entorno que habían derivado de la aplicación (necesariamente experimental) de las nuevas tecnologías, resulta suficiente para facilitar una reevaluación de los métodos tradicionales, y sugerir algunos nuevos despliegues imaginativos de los potenciales así descubiertos” (Reyner Banham 1975, 309).

## **AGRADECIMIENTOS**

A Juan Miguel por el apoyo incondicional;

A mi familia y amigos por la espera;

A los tutores, colegas y alumnos que contribuyeron con la información técnica y científica que hicieron posible cerrar este largo, pero fructuoso camino.



## INDICE

RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
RESUMO .....	11
1. LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.1 Las motivaciones iniciales .....	13
1.2 Los contextos de la investigación.....	14
1.3 Objetivos.....	16
1.4 La metodología general .....	17
1.5 Exposición de los motivos .....	17
1.6 Organización de la tesis .....	24
1. OS PONTOS DE PARTIDA DA PESQUISA.....	27
1.1 As motivações iniciais .....	27
1.2 Os contextos da pesquisa .....	28
1.3 Objetivos.....	30
1.4 A metodologia geral.....	31
1.5 Justificativa .....	31
1.6 Organização da tese .....	38
2. LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA UNIVERSIDAD .....	41
2.1 Gestión ambiental y energética en las universidades .....	41
2.2 Contextualización de los objetivos ambientales .....	51
2.3 Descripción de los instrumentos y métodos para la evaluación de edificios universitarios.....	56
3 PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONDICIONES DE CONFORT .....	59
3.1 Evaluación del planeamiento ambiental de la UPC.....	59
Evaluación de los potenciales de ahorro de energía e instrumentos operativos .....	60
3.2 Evaluación de la gestión energética y condiciones de confort en la UPF .....	64
Definición de los edificios de investigación .....	66
Fase 1 - Inventario y levantamiento de datos .....	67
Datos estáticos.....	68
Datos dinámicos.....	72
Fase 2 - Evaluación.....	82
Definición de la herramienta de evaluación .....	82
Archivo climático .....	85
Configuraciones de los modelos .....	86
Fase 3 - Diagnósis y líneas de actuación.....	87
Resultados de las simulaciones y datos reales .....	87
Modelos teóricos .....	88
Comparativa de valores de referencia - indicadores de eficiencia energética .....	90
Potenciales de ahorro .....	91
Comparativa de valores de referencia - indicadores de confort.....	92
Líneas de actuación .....	93
Fase 4 - Propuestas de intervención.....	94
Procesos de toma de decisiones .....	94
Políticas para la ecoeficiencia de edificios universitarios.....	94
Plan de actuaciones.....	94
3.3 La metodología para la inserción de la eficiencia energética en los edificios universitarios .....	96

4 EVALUACIÓN Y DIAGNOSIS DE LA ECOEFICIENCIA EN LA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO .....	97
Fase 1: Inventario y levantamiento de datos .....	97
Características de la envolvente .....	99
Instalaciones y equipamientos .....	101
Perfiles de uso .....	104
Seguimiento de la intensidad de uso .....	106
Seguimiento del consumo de energía.....	108
Seguimiento de las variables ambientales.....	111
Condiciones de confort: investigación directa con los usuarios.....	112
Condiciones de confort: aplicación del software Analysis CST .....	113
Seguimiento de la gestión.....	114
Fase 2: Evaluación .....	117
Evaluación de la demanda térmica .....	118
Evaluación de la demanda energética .....	121
Condiciones de confort con la aplicación del software <i>DesignBuilder</i> .....	124
Evaluación del confort adaptativo .....	126
Fase 3: Diagnóstico y líneas de actuación .....	129
Comparativas entre las demandas y consumos energéticos reales y las simulaciones.....	129
Demandas de acondicionamiento – calefacción y refrigeración .....	131
Modelos teóricos ideales.....	134
Comparativa de valores de referencia – indicadores de eficiencia energética .....	145
Potenciales de ahorro .....	149
Comparativa de valores de referencia – indicadores de confort .....	153
Líneas de acción .....	155
Fase 4: Propuestas de intervención .....	159
Proceso de toma de decisiones .....	159
Políticas para la ecoeficiencia y planes de acciones: criterios para la mejora de la ecoeficiencia del parque construido de la UPF .....	161
CONCLUSIONES .....	167
CONCLUSÕES .....	173
Referencias Bibliograficas .....	179
Capítulo 1 .....	179
Capítulo 2 .....	180
Capítulo 3 .....	183
Capítulo 4 .....	188
A. LOS EDIFICIOS Y LA PLANIFICACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS UNIVERSITARIAS .....	195
A.1 Comportamiento medioambiental de los edificios.....	195
Aplicaciones al contexto climático local .....	201
A.2 Universidad y planificación medioambiental .....	205
A.3 Universidad y educación para la sostenibilidad .....	214
B. PARÁMETROS NORMATIVOS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT TÉRMICO.....	225
B.1 La contextualización energética de España y Brasil .....	225
B.2 La DEEE y el Código Técnico de la Edificación.....	229
B.3 Las normativas brasileñas para la eficiencia energética.....	236
Eficiencia energética de los edificios .....	236
Desempeño térmico de las edificaciones.....	242

B.4 Certificación y auditoria energética .....	245
B.5 La demanda energética .....	253
B.6 Parámetros de confort ambiental y rendimiento académico .....	255
C LAS PRÁCTICAS DE PLANEAMIENTO AMBIENTAL DE UPC Y UPF .....	267
C.1 Caracterización de los objetos de investigación - UPC y UPF .....	267
C.2 Universitat Politècnica de Catalunya - UPC .....	267
Evaluación de los programas ambientales en la UPC .....	271
Planes de medioambiente y estructura administrativa .....	271
El Pla Ambiental del Campus de Castelldefels .....	279
El Procés d'Aplicació de Criteris Ambientals en l'Arquitectura - ACA2 .....	281
Programas e investigaciones en la gestión de los recursos naturales en la UPC .....	287
C.3 La Universidade de Passo Fundo .....	301
Las acciones para el planeamiento físico y ambiental de la UPF .....	304
Análisis de la educación para la sostenibilidad .....	309
UPF y el uso de los recursos energéticos .....	313
D DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE ECOEFICIÊNCIA AMBIENTAL E ENERGÉTICA DA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO .....	318
D.1 O processo de planejamento físico e ambiental da UPF .....	318
D.2 O planejamento estratégico e ambiental na FEAR .....	329
D.3 Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética para a Universidade de Passo Fundo .....	332
Referencias Bibliograficas Apéndices .....	336
Apéndice A .....	336
Apéndice B .....	340
Apéndice C - UPC .....	347
Apéndice C - UPF .....	351
Apéndice D .....	353
ANEXO I ESCENARIOS DE LA ENERGÍA EN ESPAÑA Y BRASIL .....	356
ANEXO II DECLARACIÓN DE TALLOIRES .....	361
ANEXO III DECLARACIONES A PARTIR DE LA UNDESD - UNESCO .....	362
ANEXO IV EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS UNIVERSIDADES .....	363
ANEXO V GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL EN LA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP .....	364
ANEXO VI EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI ZERO - NZEB .....	365
ANEXO VII RELACIÓN CONFORT Y DESEMPEÑO ACADÉMICO .....	366
ANEXO VIII UPC - UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA - ESPAÑA .....	368
A. Pla UPC Sostenible 2015 .....	368
B. Edificio Escola Superior d'Agricultura de Barcelona - ESAB, proposta Concurso ACA2 .....	369
C. Edificio de Serveis, proposta Concurso ACA2 .....	370
D. Evaluación de la aplicación de los Criterios Ambientales en el Diseño, la construcción y la utilización de los edificios (UPC 1998) al Campus del Baix Llobregat .....	371
E. <i>Factors Claus per a la Intergració dels Criteris Ambiental als Edificis: Experiència de la UPC</i> .....	373
F. Pla d'Estalvi Energètic de la UPC 2011-2014 .....	374
G. Indicadores de consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) UPC 2012/2014 .....	377
ANEXO IX UPF - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO - BRASIL .....	378
A. Contextualización de la UPF .....	378
B. Variables ambientales en el Campus I - UPF .....	381
C. Parque construido de la UPF - tipologías recientes .....	382
D. Control del consumo energético en la UPF .....	382

E. Evaluación de la Educación para la Sostenibilidad en la UPF con la metodología AISHE 1.0.....	383
F. Plan de Desarrollo Institucional para la UPF.....	385
G. Planeamiento Estratégico de la Faculdade de Engenharia e Arquitetura .....	386
ANEXO X POTENCIALES DE AHORRO EN LOS RECURSOS EN LA UPC.....	387
ANEXO XI PROPUESTA PRELIMINAR DE LA METODOLOGÍA .....	388
ANEXO XII CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE PASSO FUNDO, SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE).....	389
ANEXO XIII DATOS ESTÁTICOS - ENVOLVENTE EDIFICIOS G1 Y L1 .....	390
ANEXO XIV DATOS DINÁMICOS: CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS EDIFICIOS G1 Y L1 .....	391
A. Espacios y multi-zonas térmicas.....	391
B. Equipos de acondicionamiento térmico.....	395
C. Monitorización del consumo energético.....	398
ANEXO XV INSTRUMENTOS DE CONTROL Y MEDICIONES DE LAS VARIABLES AMBIENTALES .....	399
ANEXO XVI EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO .....	408
A. Modelo de encuesta para valoración de confort térmico.....	408
B. Resultados de la valoración de confort térmico PPD - PMV .....	409
C. Resultados de la valoración de confort adaptativo macro-zonas.....	411
ANEXO XVII EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO Y ENERGÉTICO .....	413
A. Multi-zonas térmicas .....	413
B. Programación de uso y ocupación.....	415
C. Resultados de simulación DesignBuilder.....	416
D. Radiación solar y termografía .....	419
E. Simulaciones energéticas y diseño de acondicionamiento térmico - Modelos de referencia <i>R</i> .....	427
ANEXO XVIII DIAGNOSIS Y LÍNEAS DE ACCIÓN.....	433
A. Modelo teóricos $T_1$ .....	433
B. Modelos teóricos $T_2$ .....	442
C. Modelo teórico $L1\_T_3$ .....	444
D. Modelos teóricos $G1\_T_3$ y $L1\_T_4$ .....	447
E. Comparativas desempeño térmico y energético .....	449
ANEXO XIX CRITÉRIOS PARA PROYECTO DE LAS NUEVAS INSTALACIONES DE LA FEAR-UPF .....	452
ANEXO XX MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BRASIL .....	456
ANEXO XXI REQUISITOS DE LAS NORMATIVAS BRASILEÑAS RTQ-C Y RAC-C.....	458
A. Variables para la definición de los niveles de eficiencia RTQ-C.....	458
B. Análisis del nivel de eficiencia del edificio G1 por el método predictivo del RTQ-C .....	459
ANEXO XXII UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL .....	467
ANEXO XXIII DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO GENERADO .....	468

## RESUMEN

Las preocupaciones acerca de la eficiencia energética en los últimos años han tomado una importancia, no sólo en los aspectos medioambientales, como también económicos. Las iniciativas impulsadas por las directivas nacionales e internacionales, como requisitos de cumplimiento obligatorio, han despertado la responsabilidad medioambiental de las Universidades en el ámbito mundial. Una de estas experiencias es la de la Universitat Politècnica de Catalunya – UPC, que discute y practica diferentes acciones en el planeamiento y en la gestión de los recursos naturales y sus impactos a su parque construido.

Teniendo en cuenta dicha experiencia, este trabajo evalúa las acciones concretas, algunas de ellas desarrolladas en los ámbitos de investigaciones en el propio *Departament de Tecnologia en l'Arquitectura* y de este Programa de Doctorado. A partir de los conocimientos generados, se obtuvieron valores de referencia e indicadores para el desempeño energético de los edificios de la UPC. La evaluación de los puntos positivos y negativos generó, así, una metodología para la verificación de otro contexto universitario, en este caso, en la Universidade de Passo Fundo - UPF, ubicada en el Sur de Brasil. Para lograr este análisis se definieron los dos escenarios.

Temas relevantes al estudio igualmente son abordados de manera paralela y/o complementaria: la caracterización de la matriz energética de Brasil y España, el planeamiento y la gestión de los recursos naturales en edificios universitarios; los parámetros normativos para la eficiencia energética y las interrelaciones con el confort térmico de los usuarios.

A partir de estas estrategias se formuló una metodología de abordaje, perfeccionando y ajustando los métodos desarrollados previamente, además de incluir las nuevas pautas generadas por la investigación específica, con el objetivo de contextualizar las características Brasileñas y de la UPF. Dicha metodología fue utilizada como punto de referencia para los instrumentos de gestión de los recursos naturales y su repercusión económica en la Universidad.

Especialmente presenta como objetivo la transformación de esa metodología en un instrumento operativo y de gestión, en un instrumento de ayuda a la toma de decisiones para la mejora de la ecoeficiencia del parque existente, que permita valorar económica y ambientalmente las repercusiones de cada factor en el consumo energético y en la habitabilidad de los espacios de educación superior, pero igualmente aplicables a otras tipologías funcionales.

Cinco puntos son desarrollados a lo largo del trabajo: *a.* análisis de los factores incidentes en el consumo de los recursos energéticos en los edificios universitarios; *b.* diagnóstico del contexto de la ecoeficiencia en la UPF, con énfasis en el uso de la energía; *c.* evaluación de las condiciones de confort en los espacios académicos y valoración de los correspondientes desempeños de las variables arquitectónicas y de los sistemas en los edificios; *d.* propuesta de criterios para la toma de decisiones para la ecoeficiencia energética; y *e.* evaluación de las condiciones reales de los edificios comparándolos con simulaciones de los modelos teóricos ideales para la mejora de la envolvente y de los sistemas.

A partir de los resultados propuestos se indican pautas para apoyo en los procesos de toma de decisiones para la mejora del desempeño energético, térmico y de confort, es decir contribuyendo con la calidad ambiental de los espacios de aprendizaje y trabajo.

Con este trabajo, observándose los análisis y diagnósticos de la evolución de los factores incidentes en el consumo energético, la intención es que la Universidad promueva reflexiones en sus prácticas en las actividades académicas y administrativas hacia la puesta en marcha de herramientas que contribuyan para la Educación para la Sostenibilidad y para el cierre de flujos de materiales y energéticos en sus infraestructuras.

Es imprescindible que los procesos de toma de decisiones y los instrumentos normativos observen las pautas aquí desarrolladas, valorando sus inversiones y costes bajo la perspectiva de las implicaciones de las estrategias de diseño y gestión medioambiental.



## ABSTRACT

In recent years, concerns about energy efficiency have become significantly relevant both in terms of environmental and economical aspects. The initiatives launched by national or international regulations, some with obligatory requisites, have awakened environmental responsibility within the universities in the world arena. One of these experiences comes from the Universitat Politècnica of Catalunya – UPC, which discusses and puts into practice various planning activities and management of natural resources and the impacts of these into its university campus and building stock.

From this experience, the present study has evaluated the concrete actions, some of which were developed on the campus from research carried out in the Department of Technology on the Architecture and from the PhD programme of Research on Architecture, Energy and Environment at UPC. From the acquired knowledge, reference values and index ratings were obtained for energy performance in the buildings of the UPC. The evaluation of the positive and negative points lead, thereby, to a methodology to verify its applicability in another university context, in this case, the University of Passo Fundo - UPF, located in the south of Brazil; the two scenarios or field studies were characterized.

Themes relevant to the study were equally approached in a parallel and/or complementary manner: in terms of the Brazilian and Spanish energy matrix; the planning and management of natural resources in the university buildings; the normative parameters for energy efficiency and the inter-relations with thermal comfort of the users.

Using these strategies, a method of approach was created, improving and adjusting the previously developed methods as well as including new guidelines generated from this specific research with the aim of contextualizing the Brazilian characteristics and those of the UPF. This methodology was utilized as a reference point for the tools of natural resources management and their economic repercussion in the university.

The transformation of this methodology into an operative and managerial tool is especially presented as the objective; a tool for assisting in the processes of decision making for improving the eco-efficiency of the existing building stock, which will give economic and environmental value to the repercussions of each factor related to energy consumption and the inhabitability of the university education spaces, though being equally applicable to other functional typologies.

Five aspects have been developed throughout the study: *a.* analysis of incident factors on the consumption of energy resources in university buildings; *b.* diagnosis of eco-efficiency context in the UPF, with emphasis on the use of energy; *c.* assessment of comfort conditions in learning spaces and assessment of relevant performance of architectural variables and systems in buildings; *d.* proposed criteria for decision-making process for energy eco-efficiency; and *e.* evaluation of the actual conditions of the buildings compared with simulations of ideal theoretical models for the improvement of the envelope and systems.

From the proposed results diagnosis is indicated guidelines to support the processes of decision making for improved energy, thermal performance and comfort is obtained, as well as that is contributing to environmental quality of the areas of learning and work.

With this study, observing the analyses and diagnoses of the evolution of the incident factors in energy consumption, the intention is that the University promotes reflection in their practices in all their academic and administrative activities to promote tools which contribute to education for sustainability and effective closing of cycles of materials and energy within their infrastructures.

It is imperative that the decision making processes and normative tools observe the guidelines herewith presented, evaluating the inversions and costs with the perspective of the implications of the strategies of project and environmental management.

## RESUMO

Nos últimos anos as preocupações relacionadas com a eficiência energética tomaram uma relevância significativa, tanto quanto aos aspectos meio ambientais, como também econômicos. As iniciativas desencadeadas pelas normativas nacionais ou internacionais, algumas com requisitos de comprimento obrigatório, despertam a responsabilidade medioambiental das Universidades no âmbito mundial. Uma destas experiências é da Universitat Politècnica de Catalunya – UPC, que discute e pratica diferentes ações no planejamento e gestão dos recursos naturais e seus impactos no seu parque construído.

Considerando esta experiência, o presente trabalho avalia as ações concretas, algumas delas desenvolvidas dentro dos campos de pesquisa do próprio *Departament de Tecnologia a l'Arquitectura* e deste Programa de Doutorado. A partir dos conhecimentos gerados, se obtiveram valores de referência e indicadores para o desempenho energético dos edifícios da UPC. A avaliação dos pontos positivos e negativos gerou assim uma metodologia para a verificação de sua aplicabilidade em outro contexto universitário, neste caso, na Universidade de Passo Fundo - UPF, localizada no sul do Brasil; para esta análise foram caracterizados os dois cenários ou campos de estudo.

Temas relevantes ao estudo igualmente foram abordados de maneira paralela e/ou complementar: a matriz energética brasileira e espanhola, o planejamento e a gestão dos recursos naturais nos edifícios universitários; os parâmetros normativos para a eficiência energética e as inter-relações com o conforto térmico dos usuários.

A partir destas estratégias se formulou um método de abordagem, aperfeiçoando e ajustando os trabalhos desenvolvidos previamente, além de incluir as novas pautas geradas por esta pesquisa específica, com o objetivo de contextualizar as características brasileiras e da UPF. Tal metodologia foi utilizada como ponto de referência para os instrumentos de gestão dos recursos naturais e sua repercussão econômica na Universidade.

Especialmente apresenta como objetivo a transformação deste método em um instrumento operativo e de gestão, em um instrumento de ajuda aos processos de tomada de decisões para a melhoria da ecoeficiência do parque construído existente, que permita valorar econômica e ambientalmente as repercussões de cada fator incidente no consumo energético e na habitabilidade dos ambientes de educação superior, porém, igualmente aplicável a outras tipologias funcionais.

Cinco pontos são desenvolvidos ao longo do trabalho: *a.* análise dos fatores incidentes no consumo dos recursos energéticos nos edifícios universitários; *b.* diagnóstico do contexto da ecoeficiência na UPF, com ênfase no uso da energia; *c.* avaliação das condições de conforto nos ambientes acadêmicos e a valoração dos correspondentes desempenhos das variáveis arquitetônicas e dos sistemas nos edifícios; *d.* proposta de critérios para a tomada de decisões para a ecoeficiência energética; e *e.* avaliação das condições reais dos edifícios comparando-os com as simulações dos modelos teóricos ideais para a melhoria da envoltória e dos sistemas.

A partir destes resultados propostos se obtém a indicação de pautas para apoio aos processos de tomada de decisões para a melhoria do desempenho energético, térmico e de conforto, ou seja, contribuindo com a qualidade ambiental dos espaços de aprendizagem e trabalho.

Com este trabalho, observando-se as análises e diagnósticos da evolução dos fatores incidentes no consumo energético, a intenção é que a Universidade promova reflexões em suas práticas em todas as atividades acadêmicas e administrativas para impulsionar ferramentas que contribuam para a Educação para a Sustentabilidade e no efetivo fechamento dos ciclos de materiais e energia nas suas infraestruturas.

É imprescindível que os processos de tomada de decisões e instrumentos normativos observem as diretrizes aqui apresentadas, avaliando as inversões e custos sob a perspectiva das implicações das estratégias de projeto e gestão ambiental.



# 1. LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 Las motivaciones iniciales

De alguna manera la ilustración que aparecía en el diario *Correio do Povo*, el día 10 de marzo de 1974, y que acompañaba la entrevista concedida por el Sr. Félix Trombe, me llamó tanto la atención cuando contaba con menos de 10 años de edad, que decidí recortarla y guardarla en mis archivos personales. Esta imagen me ha acompañado desde entonces, es por este motivo que la incluyo en la portada de este trabajo. Treinta años atrás, las afirmaciones del Sr. Trombe sobre el uso de la energía solar no Brasil podrían parecernos utópicas, hoy por suerte son una realidad. De la misma forma, lo que empezó con el impulso de un niño se convirtió en un incentivo para seguir aprendiendo e investigando sobre el asunto, llegando a este punto en el que mis estudios académicos se culminan.

Predecía el Sr. Trombe (*Correio do Povo* 1974, 22) el uso de las energías renovables en el todavía lejano año 2000, frente a la problemática de la crisis energética de aquella época. Aunque la energía nuclear parecía ser una solución alternativa al petróleo por ser "no contaminante", Trombe ya proponía el uso de la radiación solar para el acondicionamiento de los edificios (muros Trombe) y para la generación de fuerza (motores para la desalinización de agua) o calor (hornos solares). El escenario señalaba para la energía solar, casi que a modo de ciencia ficción cambios tecnológicos que ahora se presentan no solamente como opción sino como única alternativa, según una parte de los científicos.

Igualmente ese escenario utópico o lejano unas décadas atrás donde la energía abundante dominaría todo el territorio, hoy se hace realidad al mirar las imágenes presentadas por la NASA a finales del 2011, donde la Península Ibérica está ilustrada como un "tapiz reluciente" (Cerrillo 2012, 22-23).

Este nuevo mapa oculta algunos de los perversos efectos de la transformación que impone el hombre a la corteza de la Tierra (Cerrillo 2012, 22-23). Además debemos considerar que en 2012 España tuvo un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> de un 23,68%, por encima del nivel base de Kioto de 1990 que es de 15%, después de presentar descensos continuos desde el 2007. Es decir, aún con un contexto de crisis económica las oportunidades de cambios de recursos energéticos no se han concretado, o al revés, se ha utilizado el carbón como matriz energética, con la excusa de los costes más bajos y de subvenciones gubernamentales, en comparación con las energías renovables.

Otra información importante es de la Organización Meteorológica Mundial (OMM 2015) – que ha clasificado 2014 como el año más caluroso del que se tenga registro, lo que se sitúa en una tendencia al calentamiento continua. Las temperaturas medias mundiales del aire sobre la superficie terrestre y la superficie del mar en 2014 fueron superiores en 0,57 C (1,03 F) a la media a largo plazo de 14,00 C (57,2 F) del período de referencia 1961-1990. También la institución señala, a modo de comparación, que en 2010 las temperaturas fueron superiores en 0,55 C

(1,00 F) a la media y en 2005 en 0,54 C (0,98 F).

Entre estos momentos periodísticos las motivaciones personales hicieron que la continua búsqueda por conocimientos se concretara con al Máster en Economía y Habitabilidad en la Arquitectura<sup>1</sup>. Bajo el tema de las escuelas solares pasivas, se investigó una manera de adoptar los conceptos de la arquitectura, más allá de adjetivos de bioclimática, pero integradas con el entorno y sus condiciones para promover el confort de los usuarios y cumplir los requisitos funcionales y estéticos intrínsecos al tema.

Finalmente, con el estudio que se concluye con este trabajo de doctorado se pretende contribuir con otros temas también intrínsecos a la Arquitectura y de modo más amplio a la Educación Superior, dentro del ámbito de una “sostenibilidad fuerte” y de la ecoeficiencia de prácticas en la universidad y de los correspondientes procesos de toma de decisiones.

## 1.2 Los contextos de la investigación

Esta tesis propone una continuación a las investigaciones ya desarrolladas, o en desarrollo, dentro del ámbito del Departament de Tecnologia en l'Arquitectura<sup>2</sup> de la Universitat Politècnica de Catalunya - UPC, como elemento de continua evaluación de los procesos utilizados por la propia Universidad y garantizando la generación de conocimientos acumulados en el tema en estudio.

Utiliza como punto de partida estudios previos respecto a los factores que presentan influencia en el consumo de energía: las características de la demanda, la eficiencia de las instalaciones y el uso y gestión de los espacios. Basado en el concepto de la integración de estos tres factores, se pretende evaluar el parque construido de la Universidade de Passo Fundo - UPF, al sur de Brasil, contando con los instrumentos metodológicos que hacen parte del presente trabajo, a continuación detallados.

Inicialmente es necesario comentar que el tiempo transcurrido desde el inicio de los estudios (2004) enseña dos situaciones distintas para los contextos que la investigación busca evaluar: España (UPC) y Brasil (UPF).

En la UPC, tomada como punto de referencia, los temas del planeamiento ambiental de los edificios y de los nuevos campus hacían parte desde el 1995, cuando se desarrolló el *Primer Plan de Medi Ambient* (UPC 1995) y con la Declaración Ambiental de la UPC (UPC 1997). Eso significaba una decisión y confirmación administrativa de la importancia de los conceptos de la Educación para la Sostenibilidad y de sus respectivas aportaciones para toda la vida académica y viceversa (Ferrer i Balas 2001).

A lo largo de los años los despliegues de los instrumentos iniciales han llevado al desarrollo del *Pla UPC Sostenible 2015*, actualmente en su final de vigencia, cargado de diferentes experiencias para establecer criterios medio ambientales a los edificios, tales como el *Procés ACA2*, el *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels* o el programa *UPCO<sub>2</sub>*; igualmente la estructura administrativa acompañó estos cambios: *Oficina de Coordinació del Pla*, *CITIES – Centro Interdisciplinari de Tecnologia, Innovació i Educació per la Sostenibilitat*, *IS.UPC – Institut de Sostenibilitat*

---

<sup>1</sup> Estudios de “Mestrado”, según denominación brasileña, concluido en 2002 en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

<sup>2</sup> Anteriormente denominado Departament de Construccions Arquitectòniques.

UPC, y la denominación más reciente de *Oficina de Gestió Sostenible i d'Igualtat de la UPC*.

Sin embargo los planes de acciones poco a poco han perdido su ruta, sea por cuestiones conceptuales o por los motivos económicos a que la sociedad (y por supuesto la universidad) española estuvo sometida más recientemente, por ejemplo con la propuesta de recortes en Investigación y Desarrollo (I+D) de alrededor de un 25,6% para 2012 (Pain 2012) o con la inversión de dinero público en la universidad reducida en un 45% entre 1996 y 2014 (Espuelas et al. 2015). Esta "crisis" hizo con que las experiencias de investigación acumuladas en la UPC a lo largo de estas últimas décadas se perdieran o fuesen dejadas al margen (aunque temporalmente) de las actuales prácticas en los edificios del parque construido de UPC, obviamente sin excluir el papel de sistema SIRENA para el control de los consumos de los recursos naturales, resultado positivo de las investigaciones y de los instrumentos normativos.

Por otro lado, en Brasil el panorama económico más favorable, contribuyó para el aumento de la búsqueda por la formación superior en algunas carreras (especialmente tecnológicas y sanidad) resultando en la ampliación de las infraestructuras universitarias, con la creación de universidades públicas y privadas en todo el territorio nacional, o en las ya existentes, impactando en el aumento de la superficie construida. Este es el caso de la UPF, una universidad privada<sup>3</sup>, que presentó en los últimos años una creciente ampliación física y por consecuencia el aumento de los consumos energéticos así como de los respectivos costes.

Diferentemente de la UPC, los criterios medioambientales no hacían parte de la práctica del proyecto y construcción de los edificios ni de la preocupación con todas las fases de su vida útil, especialmente el uso y mantenimiento. Hasta muy recientemente estas preocupaciones no estaban insertadas en la planificación estratégica de la Universidad, excepto por la propuesta en 2011 (UPF 2011) de la instalación de aparatos de aire acondicionado en los espacios académicos, pero sin considerar las reales demandas de cada edificio, sea por sus condiciones de distribución espacial de los ambientes y de la tipología funcional, o de las características de la piel o envolvente, es decir, aspectos propios de la Arquitectura, y tan poco de las condiciones reales del confort de los usuarios.

Estas afirmaciones fueron confirmadas con el seguimiento de la evolución del consumo de energía en el campus principal de la UPF en Passo Fundo, que presentó un aumento de 10,54% en la relación al consumo unitario (kWh/m<sup>2</sup>) entre el 2004 y 2015, mientras que en términos económicos el aumento fue de 115,85%. En esta evaluación se percibió la importancia de los factores que presentan incidencia en el consumo energético, especialmente de la envolvente (características constructivas de la piel, orientación y protección solar) y de las condiciones de desconfort a que están sometidos alumnos y profesores.

Debemos referirnos a los contextos normativos de España y Brasil: el Código Técnico de la Edificación - CTE (España 2006; 2013) y las respectivas herramientas de análisis y los *Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos* - RTQ-C (PROCEL 2010; Brasil 2013). El primero de carácter obligatorio para las nuevas construcciones y el segundo voluntario, exceptuándose los edificios públicos federales a partir del 2014. Las herramientas de análisis en los métodos de simulación también tuvieron

---

<sup>3</sup> La Universidade de Passo Fundo es una institución privada con el carácter "comunitario" y filantrópica, según los conceptos brasileños (Brasil 1996; 2013b), sin fines lucrativos y mantenida por una fundación (FUPF) con representación de miembros de la comunidad regional, del ámbito de actuación en el Norte del Estado de Rio Grande do Sul.

una fuerte evolución, facilitando no solo la configuración y modelización de los edificios reales como proporcionando la creación de escenarios para la evaluación de las propuestas de mejora de la ecoeficiencia de los edificios a través de cambios en los parámetros.

La ecoeficiencia, término utilizado a partir del principio de los años 1990 (BCSD Portugal 2000), interrelaciona los bienes y servicios obtenidos de acuerdo con la satisfacción de las necesidades humanas y la contribución con los retos del desarrollo sostenible. Entre los aspectos propuestos para lograrla (Kibert 2005) el uso de los recursos naturales y energéticos presentan un importante papel.

### 1.3 Objetivos

La presente investigación ha permitido vivenciar la experiencia de la UPC en la discusión de los valores de referencia e indicadores para el desempeño energético de los edificios de la UPC, donde se formularon algunas pautas con los criterios y estrategias de intervención para alcanzar los patrones de ecoeficiencia, definidos por las directrices generales de la universidad. Estas directrices tienen como premisa la importancia de los factores de uso y de la gestión para el desempeño de los sistemas y de la envolvente.

A partir de este contexto, se propuso investigar la posibilidad de su futura reproducibilidad en otras instituciones con un parque construido con características de usos similares, con los imprescindibles ajustes a sus especificidades y contextos propios.

En este aspecto, se centra el objetivo general de la investigación, **proponer procesos y métodos de aplicación de criterios de la ecoeficiencia energética en el parque construido de la Universidade de Passo Fundo.**

Especialmente presenta como objetivo la transformación de esa metodología en un instrumento operativo, en un instrumento de ayuda a la decisión para la mejora de la ecoeficiencia del parque existente, que permita valorar las repercusiones de los factores incidentes en el consumo energético. El reto de esta valoración es racionalizar el proceso de toma de decisiones, para disminuir el coste de uso y de la gestión y desarrollar alternativas de acciones e inversiones.

Tomándose como punto de partida las prácticas e investigaciones desarrolladas dentro del ámbito de la UPC, se pretenden con la tesis generar los siguientes resultados para la UPF:

- Análisis de los factores incidentes en el consumo de los recursos energéticos en los edificios universitarios, considerándose las experiencias académicas y administrativas de la UPC;
- Diagnóstico del contexto de la Universidade de Passo Fundo en los temas de la ecoeficiencia, con énfasis en los aspectos del uso de los recursos energéticos en su parque construido;
- Evaluación de las condiciones de confort en los espacios académicos y valoración de los correspondientes desempeños de las variables arquitectónicas y de los sistemas en los edificios;
- Propuesta de criterios para la toma de decisiones respecto a la ecoeficiencia energética, según los factores de demanda, rendimiento y gestión de uso;

- Evaluación de las condiciones reales de los edificios y confrontación con modelos teóricos “ideales”, adoptándose simulaciones del desempeño térmico y energético de los edificios para lograr la mejora de la calidad ambiental de los espacios por medio de la envolvente y/o de los sistemas.

## **1.4 La metodología general**

A partir de los objetivos planteados se formuló una metodología de abordaje, cuestionando los métodos existentes aplicados a la UPC, por medio de la identificación de sus aspectos positivos y negativos, además de incluir las nuevas pautas generadas por la investigación para el contexto específico de la Universidade de Passo Fundo – UPF, en Brasil. Dicha metodología fue utilizada como punto de referencia para los instrumentos de gestión de los recursos naturales, y su repercusión económica en las universidades.

Teniendo en cuenta los análisis y diagnóstico de la evolución de los factores incidentes en el consumo energético se pretende demostrar cómo es posible que las administraciones de Universidades en situaciones identificadas con la UPF desarrollen sus planos estratégicos, valorando sus inversiones y costes, bajo la perspectiva de las implicaciones de las estrategias de diseño y gestión medioambiental para la energía y correspondientes emisiones. Sin embargo, ¿las estrategias son efectivamente aplicadas o dejadas al margen por cuestiones económicas o administrativas para aplicación de recortes en los presupuestos según la práctica normalmente adoptada en los contextos generales? Para esto se plantea la cuestión: ¿cuál es el real impacto entre la toma de decisiones en las políticas administrativas y los resultados de la ecoeficiencia de los parques construidos?

La Figura 1 resume gráficamente la organización general del estudio, incorporando temas paralelos y/o complementarios en los distintos Apéndices, sea para contextualizar los aspectos específicos de la investigación, como las prácticas en la planificación ambiental de la UPC y de la UPF y los parámetros normativos, sea para ampliar la lectura en temas como la planificación de las infraestructuras y edificios universitarios.

## **1.5 Exposición de los motivos**

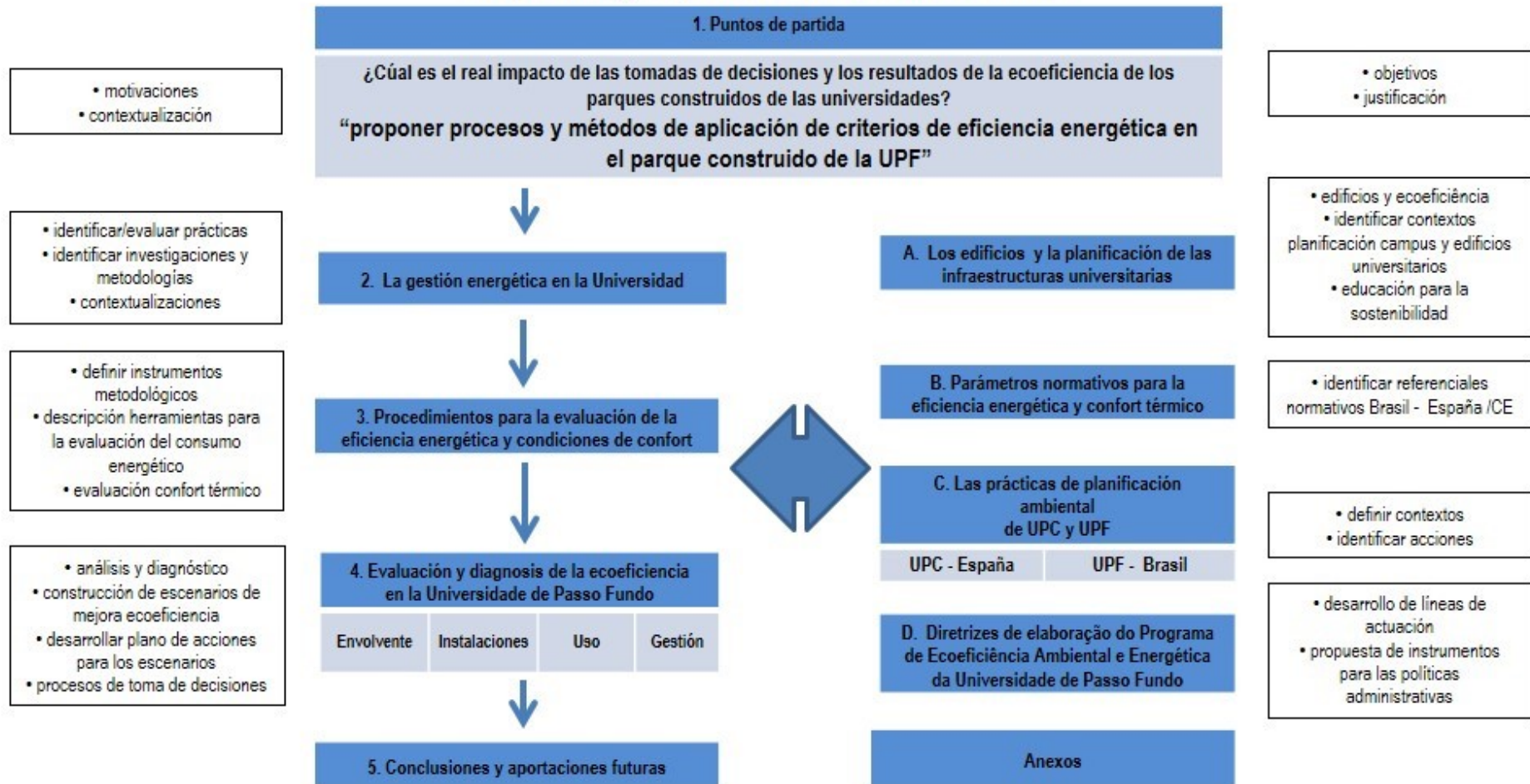
A lo largo de las últimas décadas mucho se habla de los cambios necesarios para que se obtenga el desarrollo sostenible conjuntamente en los aspectos económico, social y cultural. Sin embargo, sus bases conceptuales se presentan todavía en discusión y consolidación, mientras que en otras ocasiones resultan en actuaciones parciales.

Progresivamente, las experiencias que concretan los principios de una sociedad sostenible, son más representativas, pero persiguen las dudas de cómo evaluarlas dentro de sus contextos específicos, bajo el juicio de sus condicionantes locales particulares.

Resulta muy relevante la investigación de metodologías que permitan evaluar dichas experiencias, de modo que contribuya para que los criterios de la sostenibilidad “fuerte” según Naredo (1997), sean menos ambiguos y que se presenten como un cambio concreto en las prácticas de producción y de consumo de la sociedad actual.



## La inserción de la ecoeficiencia en los edificios universitarios: las políticas y los procesos de toma de decisiones



**A. Los edificios y la planificación de las infraestructuras universitarias**

**B. Parámetros normativos para la eficiencia energética y confort térmico**

**C. Las prácticas de planificación ambiental de UPC y UPF**

UPC - España	UPF - Brasil
--------------	--------------

**D. Diretrizes de elaboração do Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética da Universidade de Passo Fundo**

**Anexos**

Figura 1 Estructura general de la tesis.

La universidad, como parte de esta sociedad, tiene un papel de extrema importancia en este proceso de transformación, reconocido por la Declaración de Talloires<sup>4</sup> (USLF 1990) y por la definición de la UNESCO de la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible – DESD, para 2005-2014 (UNESCO 2004), a lo que se suele llamar como “Educación para la Sostenibilidad”

Según Leal Filho (2014) la DESD tuvo como reto coordinar los esfuerzos mundiales para abordar, a través de la educación, los retos sociales, ambientales, económicos y culturales del siglo XXI, centrándose en tres cuestiones fundamentales: el cambio climático, la biodiversidad y la reducción del riesgo de desastres a los puntos de entrada para la promoción de prácticas de desarrollo sostenible a través de la educación. Con el cierre del período y las evaluaciones (UNESCO 2014), todavía las universidades se encuentran con pautas abiertas para incorporar efectivamente las nuevas prácticas de transformación del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Es competencia de la universidad incluir los retos de la sostenibilidad en sus programas de educación, investigación e intercambio de información, además de incluirlos en la formación de sus propias políticas internas. De este modo “ser un ejemplo de responsabilidad ambiental estableciendo programas de conservación de los recursos, reciclaje y reducción de desechos...”, uno de los desafíos presentados por la Declaración de Talloires.

En este sentido, se justifica la elección del campo de estudio de la presente tesis como los centros universitarios, pues contribuyen para involucrar todos los agentes de la comunidad académica en los cambios hacia la sostenibilidad.

La responsabilidad ambiental de la universidad, en países como Brasil, se presenta con otras perspectivas. La expansión de los centros universitarios ha tenido un gran impulso en los últimos 30 años, debido a las transformaciones económicas del sector terciario de la información y del conocimiento. Como resultado, además de ampliar el número de alumnos, nuevos cursos o nuevas instituciones universitarias se han creado para responder a esta creciente demanda.

El modelo anglosajón de universidad adoptado por muchas universidades en Brasil y España, con los *campi* ubicados en zonas alejadas del centro urbano, ahora no tiene más validez, pues en la mayoría de los casos, el crecimiento urbano ha tomado la dirección de estas urbanizaciones especializadas, así que los límites entre la “ciudad” y la “ciudad universitaria” hoy presentan bordes comunes (Carreras 2001; Pinto y Buffa 2009).

La inexistencia de planes de implantación y gestión de las nuevas estructuras urbanizadas resultaron en conflictos tales como la urbanización de áreas rurales, la accesibilidad y movilidad (accesos, tráfico, medios de transporte) y la conexión con la dicha ciudad perimetral.

Además a estas cuestiones hay que añadir las preocupaciones ambientales: el impacto medioambiental al espacio natural y construido, la generación de residuos, el uso de recursos hídricos y energéticos, entre otros temas.

La situación real nos muestra que a pesar del compromiso adquirido en la Declaración de Talloires, raras son las instituciones universitarias que incluyen estas preocupaciones en sus Planes Directores, lo más habitual es que no las adopten.

---

<sup>4</sup> Declaración de Líderes de Universidades para un Futuro Sostenible, firmado por más de 400 representantes de universidades de más de 50 países, disponible en [http://www.ulsf.org/pdf/Spanish\\_TD.pdf](http://www.ulsf.org/pdf/Spanish_TD.pdf), véase el Anexo II.

Pasando a los temas de la construcción, en referencia a los productos generados por el actual sistema de producción, Braungart y McDonough (2005; 2009) presentan una correlación con los sistemas naturales, en el cual el ciclo de vida o "de cuna a cuna"<sup>5</sup> propone nuevos paradigmas para un correspondiente nuevo diseño, con fines de promover los imprescindibles cambios en la idea corriente de producto-y-desecho, según enseña la Figura 2. En el campo de la construcción el objetivo es "crear un edificio que sea un homenaje a una serie de placeres naturales y culturales - el sol, la luz, el aire, la naturaleza, e incluso la comida - para mejorar la vida de las personas ..." (2005, 69), o incluso al proponer algunos fundamentos para dicho nuevo diseño, las construcciones deberían ser como "árboles, que produzcan más energía de la que consumen y depuren sus propias aguas residuales" (2005, 84), conceptos estos insertados en lo que llaman de la eco-efectividad.

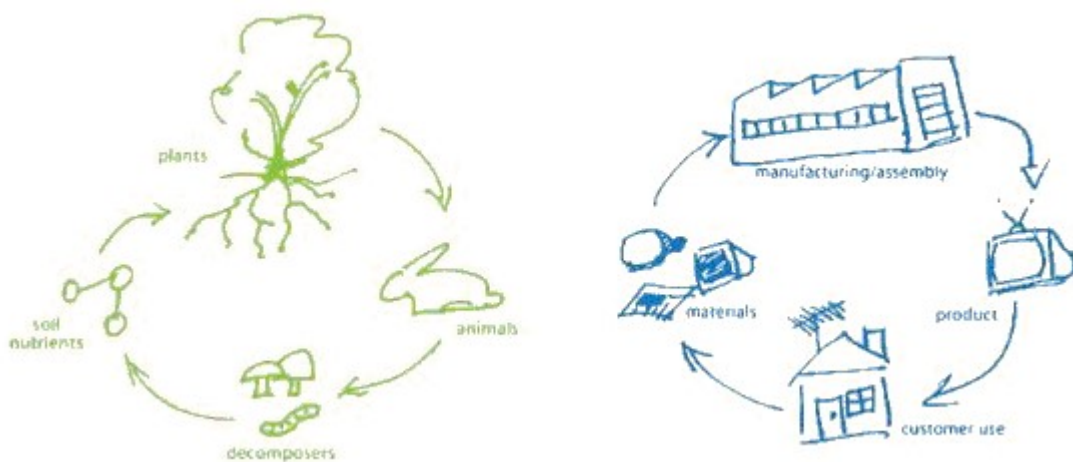


Figura 2 El ciclo de 'la cuna a la cuna' (Braungart y McDonough 2012).

Cuchi i Burgos (2009, 24) habla de la calidad ambiental de los edificios como el nivel de la eficiencia de un edificio respecto a los retos de la sostenibilidad, insertándola a la calidad existente sea técnica, económica o estética, de manera a integrarse a los procesos a que el sector normalmente evalúa sus productos. Para el autor hay que sacar el máximo provecho de las oportunidades de la propia Arquitectura como emplazamiento, geometría, materiales, instalaciones, etc., con fines de aplicar estrategias para reducir los costes en los sentidos económico y ambiental.

El objetivo de la definición de dichas estrategias es obtener la máxima eficiencia ambiental de los servicios con una contrapartida de la reducción de los recursos necesarios para la construcción y funcionamiento; de esta manera es más importante ser eficiente que eficaz o efectivo para usar el término adoptado por Braungart y McDonough, entendiendo la eficiencia como la relación entre las condiciones del ambiente logrado y los impactos causados para conseguirlo (Cuchi i Burgos 2009, 18).

<sup>5</sup> The Cradle to Cradle Framework (Braungart y McDonough 2012), disponible en: <<http://www.mbc.com>>.



Figura 3 Principales acciones de la calidad a lo largo de la vida útil de un edificio (adaptado de Cuchi i Burgos 2009, 35).

Para la obtención de la calidad ambiental Cuchi i Burgos presenta un manual para la eco gestión de los edificios, donde sistematiza las acciones en cuatro grupos de indicadores (energía, agua, materiales y residuos) según las fases del ciclo de vida (promoción, proyecto, obra, uso y demolición), de acuerdo con la Figura 3.

De este conjunto de factores, la presente investigación se centra en los aspectos energéticos en el uso de los edificios universitarios, por su papel de concentración del consumo de los recursos naturales y económicos, y por su carácter mayoritario como generador de impactos ambientales. Según los datos del GBC - *Green Building Council* (Wadel Raina 2009) la construcción y el mantenimiento de los edificios absorben 40% de los materiales utilizados, el 32% de la energía consumida y el 30% de las emisiones y entre 30 y 40% de los desechos producidos.

Por otra parte, estudios también del GBC (GBC Brasil 2013) enseñan que edificios sostenibles certificados ahorran índices superiores a 30% en energía, con menos de 35% en emisiones de CO<sub>2</sub>, entre 30% y 50% en la economía de agua y 60% menos de residuos.

De acuerdo con Adalberth (1997), citado por el *World Business Council on Sustainable Development - WBCSD* (2007), 84% de la utilización de energía ocurre en la fase operacional del tiempo de vida de un edificio, según presentado en la Figura 4.

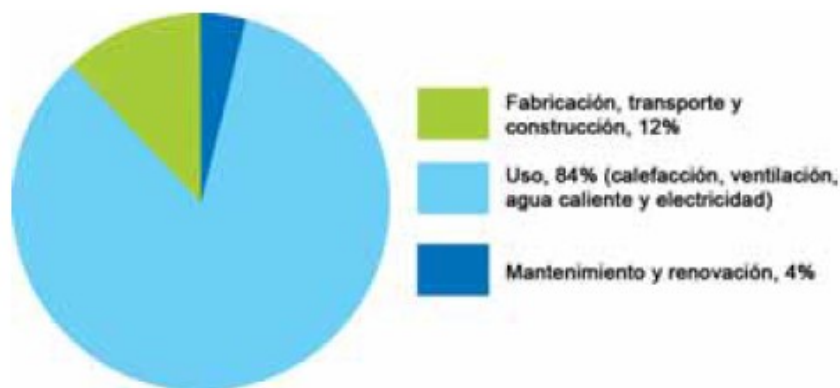


Figura 4 Utilización de energía en el ciclo de vida de los edificios (WBCSD 2007, 11).

Los impactos de la construcción en los recursos naturales en Brasil siguen las referencias internacionales, con reducidas informaciones como afirma Tavares (2006) especialmente por la falta de datos a lo largo de todo el ciclo vida de los edificios, en este sentido el autor propone una metodología para evaluar el impacto en los edificios de

vivienda basado en cálculo por el Análisis de Ciclo de Vida – ACV. Sin embargo, estudios apuntan que las edificaciones consumen un 75% de los recursos naturales (John, Oliveira y Lima 2007), la gran mayoría en recursos no renovables; además es responsable por alrededor del 47% del consumo de energía eléctrica final (Lamberts, Dutra y Pereira 2014), 21% del consumo de agua, además de un 75% de la madera de la región amazónica (Souza y Deana 2007) y por la producción alrededor de un 60% de la masa de residuos sólidos (Araújo y Cardoso 2010).

Las edificaciones representaban en 2011 el 46,7% del consumo total de energía eléctrica: a la vivienda correspondía el 23,3%, al comercio 15,4% y al sector público 8,0% - Figura 5. En el *Balanzo Energético Nacional – BEN* - de 2013 (EPE 2014a, 20) considerándose todos sectores, incluso transporte, a la vivienda corresponde el 9,1% y a los servicios 4,6%, teniéndose en cuenta que la producción industrial, transporte de carga y movilidad responden por 66% del consumo de energía primaria del país. La estructura del parque construido en Brasil está representada en la Figura 178 del Anexo I.

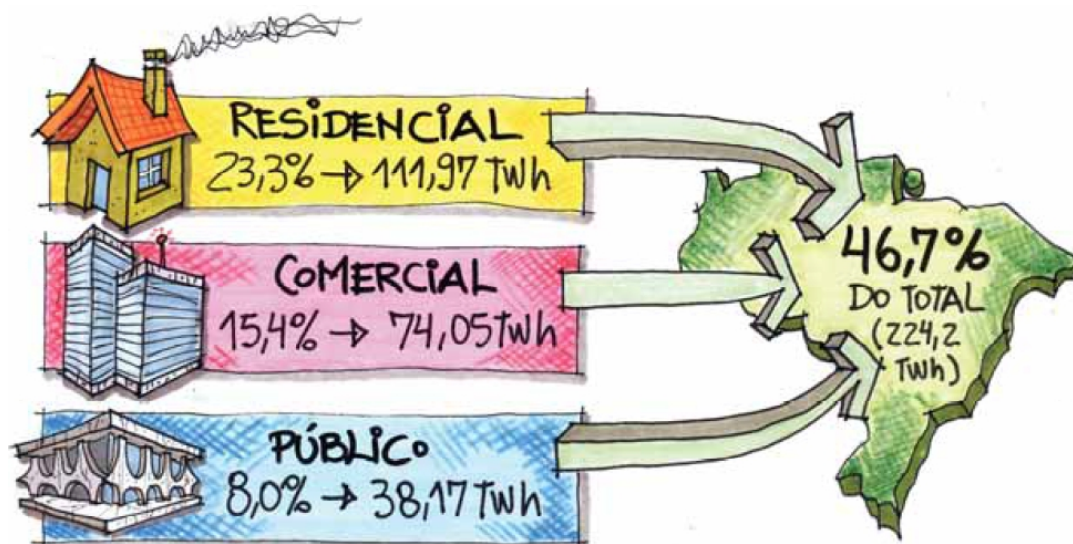


Figura 5 Consumo de energía eléctrica en las edificaciones brasileñas – BEN 2011 (Lamberts, Dutra y Pereira 2014, 16).

Para mejor caracterizar los contextos de Brasil y España la Tabla 1 se presentan los datos de población y producto interior bruto (PIB), además de informaciones sobre las matrices energéticas de cada uno de los países:

Tabla 1 Comparativa de población, renta y oferta de energía entre Brasil y España, 2013 (adaptado de <sup>1</sup>Banco Mundial 2015; <sup>2</sup>OECD 2014; <sup>3</sup>Statista 2015).

	Población (millones) <sup>1</sup>	PIB (billón U\$) <sup>1</sup>	PIB per cápita (U\$/persona) <sup>1</sup>	Energía Total (ktoe) <sup>6</sup> <sup>2</sup>	Prod. Energía renovable (%) <sup>2</sup>	Consumo Energía per cápita (kWh) <sup>3</sup>	Emisiones CO <sub>2</sub> (ton/cápita) <sup>2</sup>
Brasil	200,40	2.245,67	11.208,10	249.200,80	42,70	1,73	2,2
España	46,65	1.393,04	29.863,20	32.185,80	11,90	38,22	5,8

Comparativamente para el año 2013 (OECD 2014), en Brasil la generación total de energía corresponde a 240.220,8ktoe, superior a España con 32.778,0ktoe; a Brasil las fuentes renovables corresponden a un 42,7% contra el 11,9% de España, mientras que la media mundial es de 13,0% y a los países miembros de la OECD -

<sup>6</sup> Mtoe –millones de toneladas de oleo equivalente.



Organization for Economic Co-operation and Development, un 8,1% (EPE 2014b). El Apartado B.1 presenta datos e informaciones que permiten una comparativa más profundizada de los escenarios y contextos entre España y Brasil.

Los contextos normativos a que están sometidos los edificios en Brasil y en España, han tenido avances para la adecuación a la situación global, no tan sólo a lo que se a la ecoeficiencia energética y los respectivos impactos en los cambios climáticos, sino también a la perspectiva de la eficiencia económica.

Los avances brasileños para la puesta en marcha de reglamentos y herramientas para la certificación energética de los edificios finalmente empiezan a presentar sus primeros resultados, ya que es todavía muy reciente y no obligatoria al nivel general, pero señala la preocupación gubernamental y profesional hacia estos temas. Dicha preocupación se percibe con la obligatoriedad de la certificación de los edificios públicos federales con la etiqueta ENCE (*Etiqueta Nacional de Conservação de Energia*) en nivel A, sea para nueva construcción o rehabilitación a partir del agosto de 2014 (Brasil 2014).

En lo que respecta al planeamiento de las estructuras físicas de las instituciones universitarias, en la particularidad de la Universidade de Passo Fundo, al sur de Brasil, la inexistencia de patrones y criterios de planeamiento y gestión ambiental consolidados, hace que sea imprescindible definir instrumentos que promocionen cambios en esta situación. Las diferentes experiencias en otras instituciones poco han contribuido en la formulación de una política universitaria capaz de incorporar de una manera sistémica los temas de la sostenibilidad. Desafortunadamente las diversas acciones ambientales ya adoptadas por la universidad todavía son aisladas, sin embargo iniciase un proceso de cambios de paradigmas con el reto de la integración en desarrollo de la *Política de Responsabilidade Social Universitária* y de la *Política Ambiental Institucional* (Dalmolin e Moretto 2014).

Como referencia a los cambios con los que se pretenden alcanzar con esta investigación, está la Universitat Politècnica de Catalunya; con una experiencia innovadora de casi 20 años de UPC en el planeamiento ambiental de la Universidad, sin duda, mucho puede contribuir para este objetivo.

La creación de los planes ambientales (para los periodos 1996-2001, 2002-2005 y 2006-2015), con sus respectivos instrumentos para la inclusión de criterios de diseño, construcción y utilización para los edificios han sido concretizados por la ejecución del Campus del Baix-Llobregat y por la construcción de los centros de educación e investigación en él instalados, sin embargo los planteamientos originales han sufrido algunas desviaciones en la concreción de los edificios.

De cualquier manera las metodologías de aplicación de criterios medioambientales adoptados en estos edificios ya construidos permitieron desarrollar estudios para analizar sus resultados *as-built*. La identificación de las potencialidades de los métodos propuestos y las barreras encontradas para llevarlos a cabo, resultan en un perfeccionamiento del proceso, que debe ser continuamente revisado y complementado con las nuevas aportaciones promocionadas por los casos concretos.

Es oportuna esta evaluación, además de verificar los parámetros con los que la UPC enfrenta las normativas y sus propias directrices internas, de manera a que su parque construido efectivamente sirva de ejemplo para atender a los factores medioambientales y económicos, así como contribuya con la formación profesional de los miles de estudiantes y técnicos que utilizan los diferentes edificios y campi.

La generación del conocimiento obtenido con la metodología aplicada por la Universitat Politècnica de Catalunya permitió establecer referencias para la aplicación de un instrumento eficiente y compatible con el contexto técnico y económico específico para el objeto final de la tesis: la Universidade de Passo Fundo.

Los distintos contextos generales, desde las diferencias económicas y sociales y de las matrices energéticas, hasta los específicos de las dos universidades han permitido establecer algunas cuestiones:

- ¿Cuáles son las dificultades encontradas por sendas universidades para establecer directrices y estrategias para incorporar los criterios medioambientales en los edificios?
- ¿De qué manera la experiencia de una universidad europea puede ser adoptada en una universidad latinoamericana y viceversa?
- ¿Cuáles son las barreras para que dichas directrices y estrategias sean concretamente puestas en marcha en sus infraestructuras – edificios y campus?

A lo largo de la investigación se pretende contestar estas tres cuestiones, cotejadas con los objetivos específico y generales de este trabajo.

## **1.6 Organización de la tesis**

Este trabajo está organizado en 5 capítulos; de manera a complementar los temas presentados, los apéndices contribuyen para interconectarlos y permitir una visión más profundizada de aspectos específicos según el área de conocimiento e interés del lector. Finalmente, una tercera parte de la tesis reúne tablas y figuras adicionales que también promueven lecturas paralelas y/o complementarias.

En la *Introducción* está presentado el contexto en que se ubica este estudio, así como identifica el problema principal de la investigación, sus objetivos generales y específicos, la metodología general, además de la exposición de los motivos que han contribuido para el desarrollo de esta tesis.

El *Capítulo 2* trata del estado del arte de temas importantes para el desarrollo de la investigación, presentando la gestión ambiental y energética en las universidades, recogiendo experiencias metodológicas y prácticas. A partir de dichas experiencias son contextualizados los objetivos ambientales, además de una breve descripción de los instrumentos metodológicos específicos para el desarrollo de esta investigación.

Los referentes a la evaluación de la eficiencia energética y del desempeño en las condiciones de confort de los edificios de la UPC y de la UPF, así como la definición de los criterios de su elección, constituyen el *Capítulo 3*. En este sentido, se presentan los conceptos adoptados para la obtención de los datos estáticos, que incluyen la caracterización arquitectónica, constructiva y de los sistemas de acondicionamiento térmico y alumbrado) y de los datos dinámicos, es decir, que presentan variaciones temporales, como el consumo de energía, variables ambientales y patrones de ocupación.

A continuación son considerados las herramientas para la evaluación energética y del desempeño del confort de los usuarios a partir de los conceptos de confort adaptativo de la ASHRAE 55 (2004); para la evaluación y análisis de la envolvente y de los sistemas ha sido adoptado el programa de simulación *DesignBuilder* y los requisitos normativos

brasileños de etiquetaje energética de los *Requisitos Técnicos da Qualidade do Nivel de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos* - RTQ-C, implementados a partir del 2009 en carácter voluntario para los edificios con área construida de más de quinientos metros cuadrados. De acuerdo con la metodología de evaluación energética, se presentan los instrumentos para la etapa de diagnosis y, por fin, para las propuestas de intervención, considerando los aspectos energéticos y de confort térmico.

El estudio de la Universidade de Passo Fundo - UPF se realiza en el *Capítulo 4*, con la aplicación de la metodología de auditoría energética específica, identificando los desempeños de la envolvente de los edificios estudiados, sus desempeños energéticos y las condiciones de confort de los usuarios, de acuerdo con el contexto presentado en los Apéndices y las metodologías explicitadas en el *Capítulo 3*, de manera a establecer los indicadores para el desarrollo y evaluación de los escenarios para la mejora de la ecoeficiencia de los edificios universitarios. En esta etapa se evaluaron dos edificios representativos de las tipologías constructivas y funcionales del Campus I, con el seguimiento de los consumos energéticos y de las variables ambientales a partir de 2009, además de los demás factores incidentes en el consumo, definidos por los datos estáticos y dinámicos.

A partir de la presentación de sendos contextos, se establecieron paralelos entre la Universitat Politècnica de Catalunya - UPC y la Universidade de Passo Fundo - UPF, caracterizados y profundizados en el Apéndice C. Fueron identificadas las coincidencias y diferencias de las experiencias en los ámbitos de la investigación y de los resultados de las prácticas efectivas, además de identificar las aportaciones de una a la otra, especialmente en las formulaciones de las líneas de actuación y la evaluación de los respectivos costes de los escenarios propuestos para mejora de la ecoeficiencia en los edificios.

Finalmente, las *Conclusiones* cierran el trabajo, con las reflexiones acerca de los temas de la aplicación metodológica y las aportaciones resultantes de la investigación. A partir de los resultados propuestos se obtiene la diagnosis del contexto de los recursos energéticos de la Universidade de Passo Fundo aplicados a parque construido, así como la propuesta de pautas para los procesos de toma de decisiones para la mejora del desempeño energético, térmico y de confort, es decir, contribuyendo con la calidad ambiental de los espacios de estudio y trabajo.

Las referencias bibliográficas están agrupadas según los temas, presentados al final de cada una de las partes: capítulos y apéndices.

El *Apéndice A* contribuye con temas relacionados a los conceptos relacionando la Arquitectura con el comportamiento medioambiental de los edificios y la ecoeficiencia, con un abordaje más amplio; aún presenta temas específicos para la Universidad y su planificación, tanto cuanto a los aspectos medioambientales de la estructura física, pero también con un abordaje en discusiones acerca del papel de las universidades hacia la educación para el desarrollo sostenible.

En el *Apéndice B* están presentados los distintos contextos de España y Brasil respecto a la generación y consumo energético. Aquí se hace un enfoque en los parámetros normativos para la eficiencia energética y confort, con temas desde las respectivas normativas hasta las metodologías para las certificaciones y auditorías energéticas. Este apéndice también hace la referencia a la demanda energética y sus relaciones con la ecoeficiencia, la relación



con el confort y habitabilidad de los espacios universitarios.

Ya con el *Apéndice C* se caracterizan los dos contextos investigados: la UPC y la UPF, presentando las estructuras administrativas y las infraestructuras de la universidad española, así como la brasileña. Especialmente trata de los instrumentos de planificación medioambiental adoptados en cada una de las universidades, de manera a identificar los procesos de toma de decisión en la gestión de los edificios y del consumo energético. Con referencia a la UPC son presentadas las investigaciones previas a cerca del tema de las auditorías energéticas y de la gestión de los recursos naturales realizadas o en curso, ya iniciadas cuando de la participación en el Proyecto *LaboratoriREAL*.

Por fin, en el *Apéndice D* son presentadas las aportaciones específicas para la planificación en la Universidade de Passo Fundo, escrito en portugués. En este apéndice se delinear las directrices para un Programa de Ecoeficiencia Ambiental y Energética aplicable al contexto de la UPF, desarrollado en el Capítulo 4.

Los anexos presentan complementaciones conceptuales y metodológicas para el desarrollo de la investigación. También son presentadas tablas y figuras adicionales para estudios profundizados en cada uno de los distintos temas tratados en los capítulos y apéndices. Al final se incluyen artículos ya publicados en congresos y periódicos científicos, indicando la difusión del conocimiento generado a lo largo de la investigación.

Para la presentación, la configuración del trabajo está dividida en tres tomos: I. Capítulos y Conclusiones; II. Apéndices; III. Anexos.

# 1. OS PONTOS DE PARTIDA DA PESQUISA

## 1.1 As motivações iniciais

De alguma forma a ilustração veiculada no diário *Correio do Povo*, no dia 10 de março de 1974, e que acompanhava a entrevista concedida pelo Sr. Félix Trombe, me chamou tanto a atenção quando contava com menos de 10 anos de idade, que decidi recortá-la e guardá-la em meus arquivos pessoais. Esta imagem tem me acompanhado desde então, é por este motivo que faz parte da capa deste trabalho. Trinta anos atrás, as afirmações do Sr. Trombe sobre o uso da energia solar no Brasil podiam nos parecer utópicas, hoje por sorte são uma realidade. Da mesma forma, o que começou com o impulso de uma criança se converteu em um incentivo para seguir aprendendo e pesquisando sobre o assunto, chegando neste ponto no qual meus estudos acadêmicos culminam.

Predizia o Sr. Trombe (*Correio do Povo* 1974, 22) o uso das energias renováveis no ainda distante ano 2000, frente à problemática da crise energética daquela época. Embora a energia nuclear parecesse ser uma solução alternativa ao petróleo por ser "não poluente", Trombe já propunha o uso da radiação solar para o condicionamento dos edifícios (muros Trombe) e para a geração de força (motores para a dessalinização da água) ou calor (fornos solares). O cenário apontava para a energia solar, quase como ficção científica, mudanças tecnológicas, que agora se apresentam não só como opção senão como única alternativa, segundo uma parte dos cientistas.

Da mesma forma, no cenário que se imaginava como utópico e longínquo algumas décadas atrás, onde a energia abundante dominaria todo o território, hoje se faz realidade ao se observar as imagens apresentadas pela NASA em 2011, onde a Península Ibérica está ilustrada como um "tapete reluzente" (Cerrillo 2012, 22-23).

Este novo mapa oculta alguns dos perversos efeitos da transformação que impõe o homem à crosta da Terra (Cerrillo 2012, 22-23). Além disso, devemos considerar que em 2012 a Espanha teve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> de 23,68%, acima do nível base de Kyoto de 1990 que é de 15%, depois de apresentar descensos contínuos desde 2007. Ou seja, mesmo com um contexto de crise econômica as oportunidades de mudanças de recursos energéticos não se concretizaram, ao contrário, se utiliza o carvão como matriz energética, com a desculpa dos custos mais baixos e de subvenções governamentais, em comparação com as energias renováveis.

Outra informação importante é da Organização Meteorológica Mundial (OMM 2015) que classificou 2014 como o ano mais quente já registrado, com uma tendência de aquecimento contínuo. A temperatura do ar média global da terra e da superfície do mar em 2014 foram superiores em 0,57°C (1,03°F) à média de longo prazo no período 1961-1990 que é 14,00°C (57,20°F). A instituição também aponta, a título de comparação, que em 2010 as temperaturas foram mais elevadas em 0,55°C (1,00°F) e em 2005 corresponderam a 0,54°C (0,98°F).

Entre estes momentos jornalísticos as motivações pessoais fizeram que a continua busca por conhecimentos se

concretizara com o Mestrado em Economia e Habitabilidade na Arquitetura<sup>7</sup>. Sob o tema das escolas solares passivas, pesquisaram-se formas de adotar os conceitos da arquitetura, além de adjetivos bioclimáticos, porém integrados com o entorno e suas condições para promover o conforto dos usuários e cumprir os requisitos funcionais e estéticos intrínsecos ao tema.

Por último, com o estudo que se conclui com este trabalho de doutorado se pretende contribuir com outros temas também intrínsecos à Arquitetura e de modo mais amplo à Educação Superior, dentro do âmbito de uma "sustentabilidade forte" e da ecoeficiência de práticas na universidade e dos correspondentes processos de tomada de decisões.

## 1.2 Os contextos da pesquisa.

Este trabalho propõe uma continuação às pesquisas já desenvolvidas, ou em desenvolvimento, dentro do âmbito do *Departament de Tecnologia en l'Arquitectura da Universitat Politècnica de Catalunya - UPC*, como elemento de contínua avaliação dos processos utilizados pela própria Universidade e garantindo a geração de conhecimentos acumulados no tema em estudo.

Toma como ponto de partida estudos prévios no que se refere aos fatores que apresentam influência no consumo de energia: as características da demanda, a eficiência das instalações e o uso e gestão dos espaços. Baseado no conceito da integração destes três fatores se pretende avaliar o parque construído da Universidade de Passo Fundo - UPF, ao sul do Brasil, contando com os instrumentos metodológicos que formam parte do presente trabalho, detalhados a seguir.

Inicialmente é necessário comentar que o tempo transcorrido desde o início dos estudos (2004) mostra duas situações distintas para os contextos que a pesquisa procura avaliar: Espanha (UPC) e Brasil (UPF).

Na UPC, tomada como ponto de referência, os temas de planejamento ambiental dos edifícios e dos novos *campi* formavam parte desde 1995, quando se desenvolveu o *Primer Plan de Medi Ambient* (UPC 1995) e com a *Declaración Ambiental de la UPC* (UPC 1997). Isso significou uma decisão e confirmação administrativa da importância dos conceitos da Educação para a Sustentabilidade e de suas respectivas contribuições para toda a vida acadêmica e vice-versa (Ferrer i Balas 2001).

Ao longo dos anos os desdobramentos dos instrumentos iniciais levaram o desenvolvimento do *Pla UPC Sostenible 2015*, atualmente na fase final de vigência, carregado de diferentes experiências para estabelecer critérios meio-ambientais aos edifícios, tais como o *Procés ACA2*, o *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels* ou o programa *UPCO<sub>2</sub>*; da mesma forma a estrutura administrativa acompanhou estas mudanças: *Oficina de Coordinació del Pla*, *CITIES – Centro Interdisciplinari de Tecnologia, Innovació i Educació per la Sostenibilitat*, *IS. UPC – Institut de Sostenibilitat UPC*, e a denominação mais recente de *Oficina de Gestió Sostenible i d'Igualtat de la UPC*.

Mesmo assim, os planos de ações aos poucos foram perdendo sua rota, sejam por questões conceituais ou por motivos econômicos em que a sociedade (e obviamente a universidade) espanhola esteve submetida mais

---

<sup>7</sup> Concluído em 2002 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

recentemente, por exemplo, com a proposta de recortes em Pesquisa e Desenvolvimento ao redor de um 25,6% para 2012 (Pain 2012) ou com o investimento de dinheiro público na universidade reduzido em um 45% entre 1996 e 2014 (Espuelas et al. 2015). Esta "crise" fez com que as experiências de pesquisa acumuladas na UPC ao longo destas últimas décadas se perdessem ou fossem deixadas à margem (embora temporalmente) das atuais práticas nos edifícios do parque construído da UPC, obviamente sem excluir o papel do sistema SIRENA para o controle dos consumos dos recursos naturais, resultado positivo das pesquisas e dos instrumentos normativos.

Por outro lado, no Brasil o panorama econômico mais favorável, contribuiu para o aumento da busca pela formação superior em algumas carreiras universitárias (especialmente tecnológicas e saúde) resultando na ampliação das infraestruturas universitárias, com a criação de universidades públicas e privadas em todo o território nacional, ou nas já existentes, impactando no aumento da superfície construída. Este é o caso da UPF, uma universidade privada<sup>8</sup>, que apresentou nos últimos anos uma crescente ampliação física e conseqüentemente o aumento dos consumos energéticos assim como dos respectivos custos.

Diferentemente da UPC, os critérios meio-ambientais não faziam parte da prática do projeto e construção dos edifícios, nem da preocupação com todas as fases de sua vida útil, especialmente o uso e manutenção. Até muito recentemente estas preocupações não estavam inseridas no planejamento estratégico da Universidade, exceto pela proposta de 2011 (UPF 2011) da instalação de aparelhos de ar condicionado nos espaços acadêmicos, mas sem considerar as reais demandas de cada edifício, seja pelas suas condições de distribuição espacial dos ambientes e da tipologia funcional, as características da envolvente. Ou seja, aspectos próprios da Arquitetura e das condições reais de conforto dos usuários.

Estas afirmações foram confirmadas com o seguimento da evolução do consumo de energia no campus principal da UPF em Passo Fundo, que apresentou um aumento de 10,54% em relação ao consumo unitário (kWh/m<sup>2</sup>) entre 2004 e 2015, enquanto que em termos econômicos o aumento foi de 115,85%. Nesta avaliação se percebeu a importância dos fatores que apresentam incidência no consumo energético, especialmente da envolvente (características construtivas da pele, orientação e proteção solar) e das condições de desconforto que estão submetidos alunos, professores e funcionários.

Devemos nos referir aos contextos normativos da Espanha e do Brasil: o *Código Técnico de la Edificación - CTE* (Espanha 2006; 2013) e as respectivas ferramentas de análise e os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (PROCEL 2010; Brasil 2013). O primeiro de caráter obrigatório às novas construções e o segundo voluntário, excetuando-se para os edifícios públicos federais a partir de agosto de 2014. As ferramentas de análise nos métodos de simulação também tiveram uma forte evolução, facilitando não só a configuração e modelagem dos edifícios reais, como proporcionando a criação de cenários para a avaliação das propostas de melhora da ecoeficiência dos edifícios através de mudanças nos parâmetros construtivos e de uso.

A ecoeficiência, termo utilizado a partir de princípio dos anos 90 (BCSD Portugal 2000), inter-relaciona os bens e

---

<sup>8</sup> A Universidade de Passo Fundo é uma instituição privada com caráter "comunitário" e filantrópica, segundo os conceitos brasileiros (Brasil 1996, 2013b), sem fins lucrativos e mantida por uma Fundação (FUPF) com representação de membros da comunidade regional do âmbito de atuação no Norte do Estado de Rio Grande do Sul.

serviços obtidos de acordo com a satisfação das necessidades humanas e a contribuição com os desafios do desenvolvimento sustentável. Entre os aspectos propostos para alcançá-la (Kibert 2005) o uso dos recursos naturais e energéticos apresentam um importante papel.

### 1.3 Objetivos

Esta pesquisa permitiu vivenciar as experiências da UPC na discussão dos valores de referências e indicadores para o desempenho energético dos edifícios universitários, o que permitiu a formulação de algumas pautas de critérios e estratégias de intervenção para alcançar os padrões de ecoeficiência, definidos pelas diretrizes gerais da Universidade. Tais diretrizes apresentam como premissa a importância dos fatores de uso e gestão para o desempenho dos sistemas e da envoltória.

A partir deste contexto, se propõe investigar a possibilidade de sua futura reprodutibilidade em outras instituições com um parque construído com características de usos similares, com os imprescindíveis ajustes a suas especificidades e contextos próprios.

Neste aspecto, se centra o objetivo geral da pesquisa: **propor processos e métodos de aplicação de critérios da ecoeficiência no parque construído da Universidade de Passo Fundo - UPF.**

Especialmente apresenta como objetivo a transformação dessa metodologia em um instrumento operativo, em um instrumento de ajuda à decisão para a melhora da ecoeficiência do parque existente, que permita valorar as repercussões dos fatores incidentes no consumo energético. O objetivo desta valoração é racionalizar o processo de tomada de decisões, para diminuir custos de uso e gestão, bem como desenvolver alternativas de ações e investimentos.

Tomando-se como ponto de partida as práticas e pesquisas desenvolvidas no âmbito da UPC, se pretende com a tese gerar os seguintes resultados para a UPC:

- Análise dos fatores incidentes no consumo dos recursos energéticos nos edifícios universitários, considerando-se as experiências acadêmicas e administrativas da UPC;
- Diagnóstico do contexto da Universidade de Passo Fundo nos temas da ecoeficiência, com ênfase nos aspectos de uso dos recursos energéticos no parque construído;
- Avaliação das condições de conforto nos espaços acadêmicos e valoração dos correspondentes desempenhos das variáveis arquitetônicas e dos sistemas nos edifícios;
- Proposta de critérios para a tomada de decisões com relação à ecoeficiência energética, segundo os fatores de demanda, rendimento e gestão de uso;
- Avaliação das condições reais dos edifícios e comparação com os modelos teóricos “ideais”, adotando-se simulações do desempenho térmico e energético dos edifícios para alcançar a melhora da qualidade ambiental dos espaços, por meio da envoltória e/ou dos sistemas.

## 1.4 A metodologia geral

A partir dos objetivos propostos se formulou uma metodologia de abordagem, aperfeiçoando os métodos existentes por meio da identificação de seus aspectos positivos e negativos, além de incluir as novas pautas geradas pela pesquisa na aplicação ao contexto específico da Universidade de Passo Fundo – UPF, no Brasil. Esta metodologia foi utilizada como ponto de referência para os instrumentos de gestão dos recursos naturais, e sua repercussão econômica na universidade.

Considerando-se as análises e diagnósticos da evolução dos fatores incidentes no consumo energético se pretende demonstrar como é possível que as administrações de Universidades em situações identificadas com a UPF desenvolvam seus planos estratégicos, valorando seus investimentos e custos sob a perspectiva das implicações das estratégias de design e gestão ambiental para a energia e correspondentes emissões. No entanto, as estratégias são efetivamente aplicadas ou deixadas à margem por questões econômicas ou administrativas para a aplicação nos cortes de orçamentos, de acordo com a prática normalmente adotada nos contextos gerais? Para tanto se formula a questão: qual é o impacto na tomada de decisões das políticas administrativas e os resultados efetivos da ecoeficiência dos parques construídos?

A Figura 6 resume graficamente a organização geral da tese, incorporando temas paralelos e/ou complementares nos diferentes Apêndices, seja para contextualizar os aspectos específicos da investigação, como as práticas no planejamento ambiental da UPC e da UPF e os parâmetros normativos, seja para ampliar a leitura em temas como do planejamento das infraestruturas e edifícios universitários.

## 1.5 Justificativa

Ao longo das últimas décadas muito se fala das mudanças necessários para se obter o desenvolvimento sustentável de forma conjunta nos aspectos econômicos, social e cultural. Não entanto, suas bases conceituais se apresentam ainda em discussão e consolidação, enquanto que em outras ocasiões resultam em atuações parciais.

Progressivamente, as experiências que concretizam os princípios de uma sociedade sustentável, são mais representativas, mas perseguem as dúvidas de como avaliá-las dentro de seus contextos específicos, sob o julgamento de seus condicionantes locais particulares. Desta forma, é relevante a pesquisa de metodologias que permitam avaliar tais experiências, de forma que contribuam para que os critérios da sustentabilidade “forte” segundo Naredo (1997) sejam menos ambíguos e que se apresentem como uma mudança concreta nas práticas de produção e de consumo da sociedade atual.

A Universidade, como parte desta sociedade, tem um papel de extrema importância neste processo de transformação, reconhecido pela Declaração de Talloires<sup>9</sup> (USLF 1990) e pela definição da UNESCO da Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável – DESD, para 2005-2014 (UNESCO 2004), ao que se costuma chamar como “Educação para a Sustentabilidade”.

---

<sup>9</sup> Declaração de Líderes de Universidades para um Futuro Sustentável, assinado por mais de 400 representantes de universidades de mais de 50 países, disponível em [http://www.ulsf.org/pdf/Spanish\\_TD.pdf](http://www.ulsf.org/pdf/Spanish_TD.pdf), ver o Anexo II.

## La inserción de la ecoeficiencia en los edificios universitarios: las políticas y los procesos de toma de decisiones

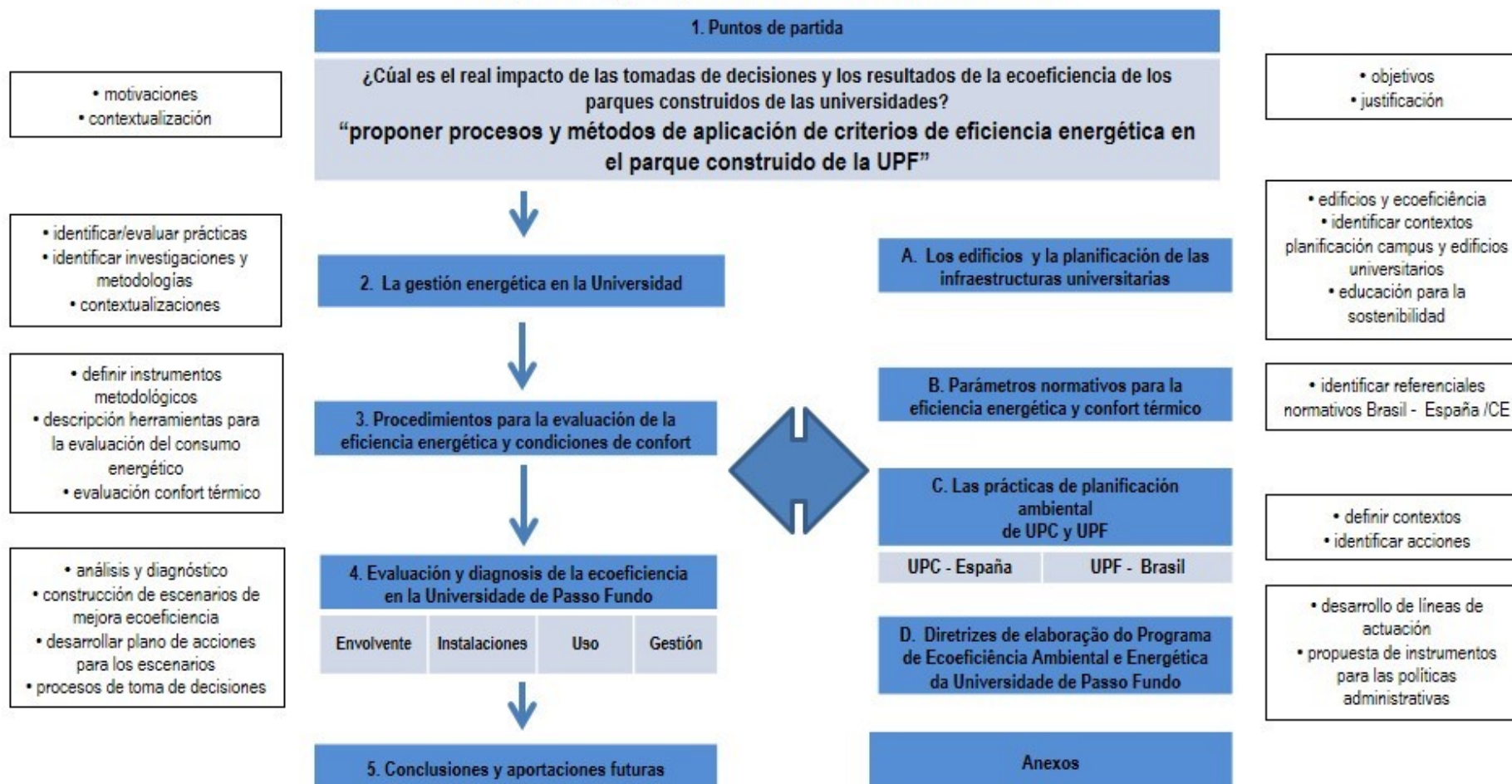


Figura 6 Estructura general da tese.

Segundo Leal Filho (2014) a DESD teve como objetivo coordenar os esforços mundiais para abordar através da educação, os aspectos sociais, ambientais, econômicos e culturais do século XXI, se centrando em três questões fundamentais: mudança climática, a biodiversidade e a redução do risco de desastres e a promoção de práticas de desenvolvimento sustentável através da educação. Com a conclusão do período e as avaliações (UNESCO 2014), as universidades ainda se encontram com pautas abertas para incorporar de forma efetiva as novas práticas de transformação do processo de ensino e aprendizagem.

É competência de a Universidade incorporar os desafios da sustentabilidade em seus programas de educação, pesquisa e extensão, além de incorporá-los na formação de suas próprias políticas internas. Desta forma “ser um exemplo de responsabilidade ambiental estabelecendo programas de conservação dos recursos, reciclagem e redução de resíduos...”, é um dos desafios apresentados pela Declaração de Talloires.

Neste sentido, se justifica a escolha do campo de estudo da presente tese como os centros universitários, pois contribuem para envolver todos os agentes da comunidade acadêmica nas mudanças para a sustentabilidade.

A responsabilidade ambiental da Universidade, em países como o Brasil, se apresenta com outras perspectivas. A expansão dos centros universitários teve um grande impulso nos últimos 30 anos, devido às transformações econômicas do setor terciário da informação e do conhecimento. Como resultado, além de ampliar o número de alunos, novos cursos ou novas instituições universitárias se criaram para responder esta crescente demanda.

O modelo anglo-saxão de universidade adotado por muitas universidades no Brasil e na Espanha, com os *campi* situados em áreas distantes do centro urbano, agora não é mais válido, pois na maioria dos casos, o crescimento urbano tomou a direção destas urbanizações especializadas, desta forma os limites entre a “cidade” e a “cidade universitária” hoje apresentam contornos comuns (Carreras 2001; Pinto e Buffa 2009).

A inexistência de planos de implantação e gestão das novas estruturas urbanizadas resultou em conflitos tais como a urbanização de áreas rurais, a acessibilidade e mobilidade (acessos, trânsito, meios de transporte) e a conexão com a chamada cidade perimetral.

Além destas questões tem que ser acrescentadas as preocupações ambientais: o impacto meio-ambiental ao espaço natural e construído, a geração de resíduos, o uso de recursos hídricos e energéticos, dentre outros temas.

A situação real nos mostra que embora o compromisso adquirido na Declaração de Talloires, são poucas as instituições universitárias que incluem estas preocupações em seus Planos Diretores, o mais freqüente é que não o adotem.

Passando aos temas da construção, em referência aos produtos gerados pelo atual sistema de produção, Braungart e McDonough (2005; 2009) apresentam uma correlação com os sistemas naturais, em que o ciclo de vida ou "de berço a berço" <sup>10</sup> propõe novos paradigmas para um correspondente novo *design*, com fins de promover as mudanças imprescindíveis na ideia corrente de produto-e-descarte, como mostra a Figura 7. No campo da construção o objetivo é "criar um edifício que seja uma homenagem a uma série de prazeres naturais e culturais - o sol, a luz, o ar, a natureza, e até a comida - para melhorar a vida das pessoas..." (2005, 69), ou até ao propor alguns

---

<sup>10</sup> *The Cradle to Cradle Framework* (Braungart y McDonough 2012), disponível em: <<http://www.mbdc.com>>.



fundamentos para o citado novo *design*. As construções deveriam ser como "árvores, que produzam mais energia da que consomem e depurem suas próprias águas residuais" (2005, 84), conceitos inseridos no que os autores chamam da eco eficácia.

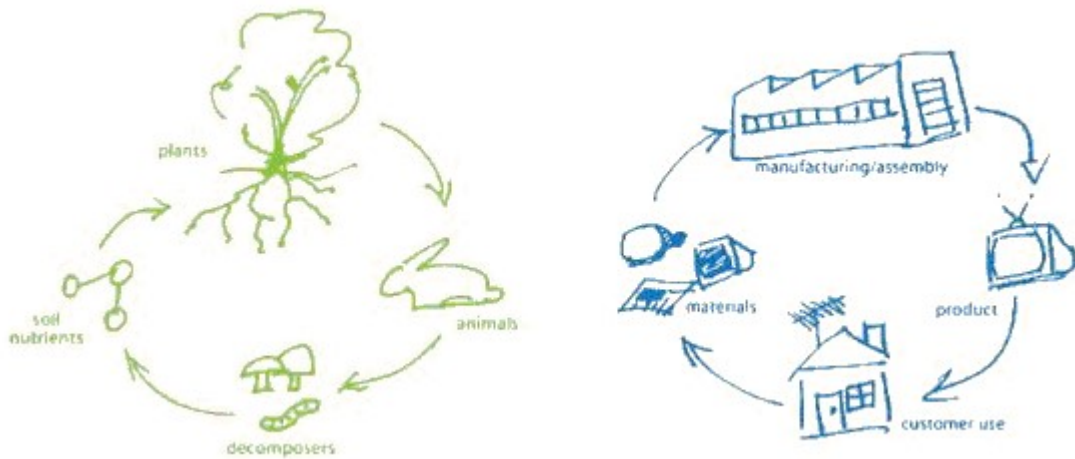


Figura 7 O ciclo de 'berço a berço' (Braungart y McDonough 2012).

Cuchi i Burgos (2009, 24) fala da qualidade ambiental dos edifícios como o nível da eficiência de um edifício em relação aos desafios da sustentabilidade, inserindo-a a qualidade existente seja técnica, econômica ou estética, de maneira a se integrar aos processos de avaliação de produtos no setor das edificações. Para o autor, têm-se que tirar o máximo proveito das oportunidades da própria Arquitetura como a localização, geometria, materiais, instalações, etc., com fins de aplicar estratégias para reduzir os custos nos sentidos econômicos e ambientais.

O objetivo da definição destas estratégias é obter a máxima eficiência ambiental dos serviços com uma contrapartida da redução dos recursos necessários para a construção e funcionamento; desta maneira é mais importante ser eficiente do que eficaz ou efetivo para usar o termo adotado por Braungart e McDonough, entendendo a eficiência como a relação entre as condições do ambiente logrado e os impactos causados para consegui-lo (Cuchi i Burgos 2009, 18).

Para a obtenção da qualidade ambiental Cuchi i Burgos apresenta um manual para a eco-gestão dos edifícios, onde sistematiza as ações em quatro grupos de indicadores (energia, água, materiais e resíduos) segundo as fases do ciclo de vida (promoção, projeto, obra, uso e demolição), de acordo com a Figura 8.



Figura 8 Principais ações para a qualidade ao longo da vida útil de um edifício (adaptado de Cuchi i Burgos 2009, 35).

Deste conjunto de fatores, a presente pesquisa se centra nos aspectos energéticos aplicados ao uso dos edifícios universitários, pelo papel de concentração de consumo dos recursos naturais e econômicos, e pelo seu caráter majoritário como gerador de impactos ambientais. Segundo os dados do GBC - *Green Building Council* (Wadel Raina 2009) a construção e a manutenção dos edifícios absorvem 40% dos materiais utilizados, 32% da energia consumida e 30% das emissões e, ainda, entre 30 e 40% dos resíduos produzidos.

Por outra parte, estudos também do GBC (GBC Brasil 2013) mostram que edifícios sustentáveis certificados economizam valores superiores a 30% em energia, com menos de 35% em emissões de CO<sub>2</sub>, entre 30% e 50% na economia de água e 60% menos de resíduos.

De acordo com Adalberth (1997), citado pelo *World Business Council on Sustainable Development - WBCSD* (2007), 84% da utilização da energia ocorre na fase operacional do tempo de vida de um edifício, segundo apresentado na Figura 9.

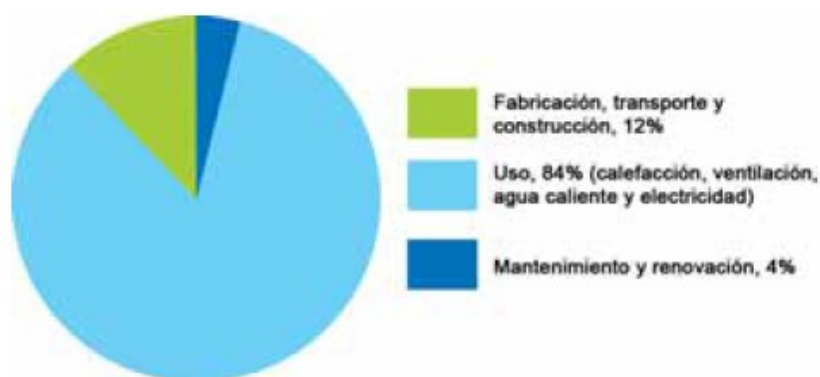


Figura 9 Utilização de energia no ciclo de vida dos edifícios (WBCSD 2007, 11).

No impacto da construção nos recursos naturais no Brasil seguem as referências internacionais, com reduzidas informações como afirma Tavares (2006), especialmente pela falta de dados ao longo de todo o ciclo de vida dos edifícios; neste sentido o autor propõe uma metodologia para avaliar o impacto nos edifícios de moradia baseado no cálculo pela Análise do Ciclo de Vida – ACV. Estudos apontam que as edificações consomem 75% dos recursos naturais (John, Oliveira e Lima 2007), a grande maioria em recursos não renováveis; além de ser responsável ao redor de 47% do consumo de energia elétrica final (Lamberts, Dutra e Pereira 2014), 21% do consumo de água, além de 75% da madeira da região amazônica (Souza e Deana 2007) e pela produção ao redor de 60% da massa de resíduos sólidos (Araújo e Cardoso 2010).

As edificações eram responsáveis em 2011 por 46,7% do consumo total de energia elétrica: ao setor residencial correspondia 23,3%, ao comércio 15,4% e ao setor público 8,0% - Figura 10. No Balanço Energético Nacional – BEN - de 2013 (EPE 2014a, 20) considerando todos os setores, inclusive transporte, o setor residencial corresponde 9,1% e aos serviços 4,6%, tendo em conta que a produção industrial, transporte de carga e mobilidade responde por 66% do consumo de energia primária do país. A estrutura do setor da construção no Brasil está representada na Figura 178 do Anexo I.

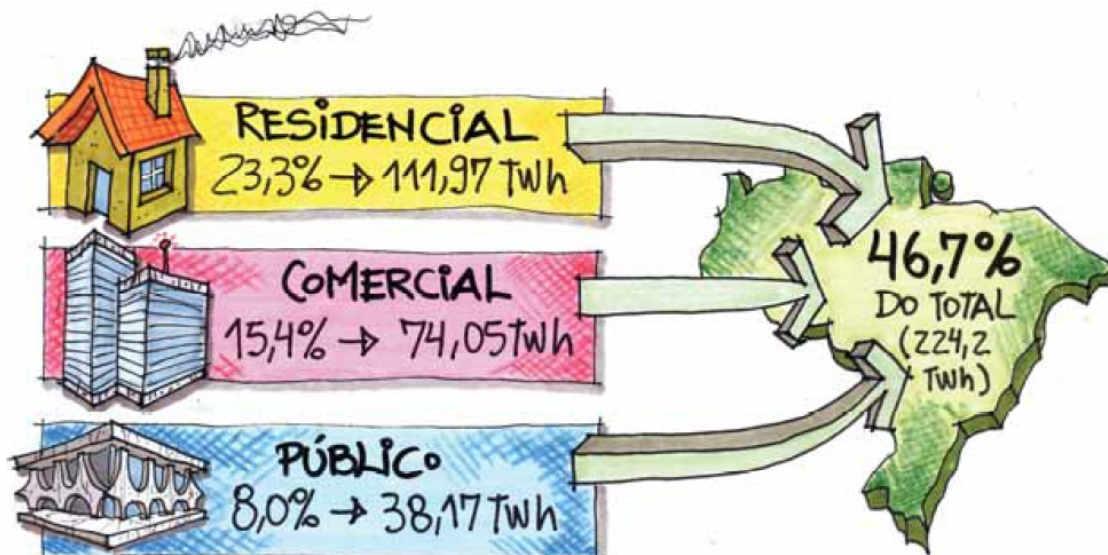


Figura 10 Consumo de energia elétrica nas edificações brasileiras – BEN 2011 (Lamberts, Dutra e Pereira 2014, 16).

Para caracterizar melhor os contextos do Brasil e da Espanha a Tabla 2 apresenta os dados de população e Produto Interno Bruto (PIB), além de informações sobre as matrizes energéticas de cada um dos países:

Tabla 2 Comparativo de população, renda e oferta de energia entre Brasil e Espanha, 2013 (adaptado de <sup>1</sup>Banco Mundial 2015; <sup>2</sup>OECD 2014; <sup>3</sup>Statista 2015).

	População (milhões) <sup>1</sup>	PIB (bilhões US\$) <sup>1</sup>	PIB per cápita (US\$/pessoa) <sup>1</sup>	Energia Total (ktoe <sup>11</sup> ) <sup>2</sup>	Prod. Energia renovável (%) <sup>2</sup>	Consumo Energia per cápita (kWh) <sup>3</sup>	Emissões CO <sub>2</sub> (ton/cápita) <sup>2</sup>
Brasil	200,40	2.245,67	11.208,10	249.200,80	42,70	1,73	2,2
Espanña	46,65	1.393,04	29.863,20	32.185,80	11,90	38,22	5,8

Comparativamente para o ano 2013 (OECD 2014), no Brasil a geração total de energia corresponde a 240.220,8ktoe, superior à Espanha com 32.778,0ktoe; no Brasil as fontes renováveis correspondem a 42,7% contra 11,9% da Espanha, enquanto que a média mundial é de 13,0%, e 8,1% para os países membros da OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development* (EPE 2014b). O Apêndice B.2 apresenta dados complementares que permitem a comparação entre os contextos e cenários espanhol e brasileiro.

Os contextos normativos a que estão submetidos os edifícios no Brasil e na Espanha, tiveram avanços para a adequação à situação global, não só no que se refere à ecoeficiência energética e os respectivos impactos nas mudanças climáticas, além da perspectiva da eficiência econômica.

Os avanços brasileiros para a colocação em marcha de regulamentos e ferramentas para a certificação energética dos edifícios finalmente começam a apresentar seus primeiros resultados, já que ainda é muito recente e não obrigatória, mas aponta a preocupação do governo e profissionais para estes assuntos. Esta preocupação é percebida com a obrigatoriedade do uso dos processos de etiquetagem dos edifícios públicos federais com a etiqueta ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) em nível A, seja para aqueles de nova construção ou reforma a partir de agosto de 2014 (Brasil 2014).

<sup>11</sup> Mtoe –milhões de toneladas de óleo equivalente.

No que se refere ao planejamento das estruturas físicas das instituições universitárias, particularmente da Universidade de Passo Fundo, ao sul do Brasil, a inexistência de padrões e critérios de planejamento e gestão ambiental consolidados, faz que seja imprescindível definir instrumentos que promovam mudanças nesta situação. As diferentes experiências em outras instituições pouco contribuíram na formulação de uma política universitária capaz de incorporar de uma maneira sistêmica os temas da sustentabilidade. Infelizmente as diversas ações ambientais já adotadas pela universidade ainda são desarticuladas, porém inicia-se um processo de mudanças de paradigmas objetivando a integração no desenvolvimento da Política de Responsabilidade Social Universitária e a Política Ambiental Institucional (Dalmolin e Moretto 2014).

Como referência às mudanças com os quais se pretendem atingir com esta pesquisa em sua aplicação na Universidade de Passo Fundo, a Universitat Politècnica de Catalunya apresenta uma experiência inovadora de quase 20 anos no planejamento ambiental da Universidade, que sem dúvida, pode contribuir significativamente para este objetivo.

A criação dos planos ambientais (para os períodos 1996-2001, 2002-2005 e 2006-2015), com seus respectivos instrumentos para a inclusão de critérios de design, construção e utilização para os edifícios, foram concretizados pela realização do Campus do Baix-Llobregat e pela construção dos centros de educação e pesquisa nele instalados, porém os planos originais sofreram alguns desvios na concretização dos edifícios.

De qualquer maneira as metodologias de aplicação de critérios ambientais adotados nestes edifícios já construídos permitiram desenvolver estudos para a análise de seus resultados *as-built*. A identificação das potencialidades dos métodos propostos e as barreiras encontradas para levá-los a cabo, resultaram em um aperfeiçoamento do processo, que deve ser continuamente revisado e complementado com as novas aportações promovidas pelos casos concretos.

É oportuna esta avaliação, além de verificar os parâmetros com os que a UPC enfrenta as normativas e suas próprias diretrizes internas, de forma que seu parque construído efetivamente sirva de exemplo para atender aos fatores ambientais e econômicos, assim como contribui com a formação profissional dos milhares de estudantes e técnicos que utilizam os diferentes edifícios e *campi*.

A geração do conhecimento obtido com a metodologia aplicada pela Universitat Politècnica de Catalunya permitiu estabelecer referências para a aplicação de um instrumento eficiente e compatível com o contexto técnico e econômico específico para o objeto final da tese: a Universidade de Passo Fundo.

Os diferentes contextos gerais, desde as diferenças econômicas e sociais e das matrizes energéticas, até os específicos das duas universidades permitiram estabelecer algumas questões:

- Quais são as dificuldades encontradas pelas duas universidades para estabelecer diretrizes e estratégias para incorporar os critérios ambientais nos edifícios?
- De que forma a experiência de uma universidade européia pode ser adotada em uma universidade latino-americana e vice-versa?
- Quais são as barreiras para que estas diretrizes e estratégias sejam concretamente postas em marcha em

suas infraestruturas – edifícios e campus?

Ao longo da pesquisa se pretende responder a estas três questões, inseridas nos objetivos específico e gerais deste trabalho.

## 1.6 Organização da tese

Este trabalho está organizado em 5 capítulos, de forma complementar os temas apresentados, os apêndices contribuem para interconectá-los e permitir uma visão mais aprofundada de aspectos específicos segundo a área de conhecimento e interesse do leitor. Finalmente, uma terceira parte da tese reúne tabelas e figuras adicionais que também promovem leituras paralelas e complementares.

Na *Introducción* é apresentado o contexto em que se situa este estudo, bem a identificação do problema da pesquisa, seus objetivos geral e específicos, bem como a metodologia geral aplicada, além da justificativa para o desenvolvimento desta tese.

O *Capítulo 2* trata do estado da arte de temas importantes para o desenvolvimento da pesquisa, apresentando a gestão ambiental e energética nas universidades, recolhendo experiências metodológicas e práticas. A partir de tais experiências são contextualizados os objetivos ambientais, além de uma breve descrição dos instrumentos metodológicos específicos para o desenvolvimento da pesquisa.

Os referentes à avaliação da eficiência energética e do desempenho nas condições de confort dos edifícios da UPC e da UPF, assim como a definição dos critérios de sua escolha así como la definición de los criterios de su elección, se constituem o *Capítulo 3*, referentes à avaliação da eficiência energética e do desempenho nas condições de conforto. Neste sentido, se apresentam os conceitos adotados para a obtenção dos dados estáticos, que incluem a caracterização arquitetônica, construtiva e dos sistemas de condicionamento (térmico e iluminação) e dos dados dinâmicos, ou seja, que apresentam variações temporais, como o consumo de energia, variáveis ambientais e padrões de uso e ocupação.

A seguir são consideradas as ferramentas para a avaliação energética e do desempenho do conforto dos usuários a partir dos conceitos de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2004); para a avaliação e análise da envolvente e dos sistemas foram adotados o programa de simulação *DesignBuilder* e os requisitos normativos brasileiros de etiquetagem energética dos Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, implementados a partir de 2009, em caráter voluntário para os edifícios com área construída de mais de quinhentos metros quadrados. De acordo com a metodologia de avaliação energética, se apresentam os instrumentos para a etapa de diagnóstico e, por fim, para as propostas de intervenção, considerando os aspectos energéticos e de conforto térmico.

O estudo da Universidade de Passo Fundo - UPF se realiza no *Capítulo 4*, com a aplicação da metodologia de auditoria energética específica, identificando os desempenhos da envolvente dos edifícios estudados, seus desempenhos energéticos e as condições de conforto dos usuários, de acordo com o contexto apresentado no Apêndice C e nas metodologias explicitadas no Capítulo 3, de maneira a estabelecer os indicadores para o desenvolvimento e avaliação dos cenários para a melhora da ecoeficiência dos edifícios universitários. Nesta etapa

se avaliaram dois edifícios representativos das tipologias construtivas e funcionais do Campus I, com o seguimento dos consumos energéticos e das variáveis ambientais a partir de 2009, além dos demais fatores incidentes no consumo, definidos pelos dados estáticos e dinâmicos.

A partir da apresentação de ambos os contextos, se estabeleceram paralelos entre a Universitat Politècnica de Catalunya - UPC e a Universidade de Passo Fundo - UPF, caracterizados e aprofundados no Apêndice C. Foram identificadas as coincidências e diferenças das experiências nos âmbitos da pesquisa e dos resultados das práticas efetivas, além de identificar as contribuições de uma à outra, especialmente nas formulações das linhas de atuação e avaliação dos respectivos custos dos cenários propostos para melhorar a ecoeficiência nos edifícios.

Finalmente, as *Conclusões* fecham o trabalho, com as reflexões sobre os temas da aplicação metodológica e as contribuições resultantes da pesquisa. A partir dos resultados propostos se obteve o diagnóstico do contexto dos recursos energéticos da Universidade de Passo Fundo aplicados ao seu parque construído, bem como a proposta de pautas e critérios para o processo de tomada de decisões referentes à melhoria do desempenho energético, térmico e de conforto, ou seja, contribuindo com a qualidade ambiental dos espaços de estudo e de trabalho.

As referências bibliográficas estão agrupadas segundo os respectivos temas abordados, ao final de cada uma das partes: capítulos e apêndices.

O *Apêndice A* contribui com temas relacionados aos conceitos relativos à Arquitetura e ao comportamento meio-ambiental dos edifícios e à ecoeficiência, com uma abordagem mais ampla; ainda apresenta temas específicos à Universidade e seu planejamento, tanto quanto aos aspectos ambientais da estrutura física, mas também com uma abordagem em discussões sobre o papel das universidades para a educação para o desenvolvimento sustentável.

No *Apêndice B* estão apresentados os distintos contextos de Espanha e Brasil com relação à geração e consumo energético. Dá-se um enfoque aos parâmetros normativos para a eficiência energética e conforto, com temas desde as respectivas normativas, até as metodologias para as certificações e auditorias energéticas. Este apêndice também faz referência à demanda energética e suas relações com a ecoeficiência e a relação com o conforto e habitabilidade dos espaços universitários.

Já com o *Apêndice C* se caracterizam os dois contextos investigados: a UPC e a UPF, apresentando as estruturas administrativas e as infraestruturas da universidade espanhola, assim como a brasileira. Especialmente trata dos instrumentos de planejamento ambiental adotados em cada uma das universidades, de maneira a identificar os processos de tomada de decisão na gestão dos edifícios e do consumo energético. No que se refere à UPC são apresentadas as pesquisas prévias sobre o tema das auditorias energéticas e da gestão dos recursos naturais realizadas ou em curso, já iniciadas na participação no Projeto *LaboratoriREAL*.

Por último, no *Apêndice D* são apresentadas as contribuições específicas para o planejamento na Universidade de Passo Fundo, escrito também em português. Neste apêndice se delineiam as diretrizes para um Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética aplicável ao contexto da UPF.

Os anexos apresentam complementações conceituais e metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa. Da mesma forma são apresentadas tabelas e figuras adicionais para estudos aprofundados em cada um dos distintos temas tratados nos capítulos e apêndices. Na parte final se incluem artigos já publicados em congressos e jornais

científicos, indicando a difusão do conhecimento gerado ao longo da pesquisa.

Para a apresentação, a configuração do trabalho está dividida em três partes: I. Capítulos e Conclusões; II. Apêndices; III. Anexos.

## 2. LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA UNIVERSIDAD

### 2.1 Gestión ambiental y energética en las universidades

Para presentar la visión de la gestión ambiental en la Universidad y de los edificios universitarios, son referenciados sus conceptos y principios, además de relatar experiencias en el contexto mundial y en las universidades brasileñas. De manera complementaria, en el Apéndice A, son comentados desde los aspectos históricos de la propia Universidad y de la planificación medioambiental hasta los marcos de la Educación para la Sostenibilidad (ES). Específicamente en lo que respecta a las acciones en la Universitat Politècnica de Catalunya – UPC – y en la Universidade de Passo Fundo – UPF – el Apéndice C trata de las prácticas de planeamiento ambiental de sendas universidades, objeto de análisis y diagnóstico más profundizadas en los Capítulos 3 y 4.

Con el inicio del empleo del término “eco-campus”, adoptado por la Universidad de Bordeaux, para definir aquellas instituciones de enseñanza superior orientadas para la sostenibilidad, la práctica de la gestión ambiental en las universidades ha sido abordada por universidades como la University of Osnabrück, en Alemania; dicha Universidad propone un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) con el objetivo de introducir una metodología para enfrentar la temática ambiental, por medio de políticas y prácticas de evaluación continuada y monitorización del uso de los recursos y sus respectivos impactos (Viebahn 2002).

La metodología del SGA sigue la normativa internacional ISO 14000 (Tibor y Feldman 1996) creada para definir un proceso de evaluación del desempeño ambiental de empresas o instituciones buscando su certificación - ISO 14001 (ISO 2004), es decir, la comprobación del cumplimiento de sus actividades, servicios o productos a requisitos internacionales consolidados por las “auditorías ambientales”. Utilizando el concepto propuesto por Philippi Jr. y Aguiar (2004, 811) la auditoría ambiental es un proceso sistémico y formal de verificación, por una parte auditora, de la conducta ambiental y/o desempeño ambiental de una entidad auditada frente a un conjunto de criterios específicos.

De acuerdo con Ferreira et al. (2006, 974) La implementación del SGA es una manera privilegiadamente holística e integrada para abordar la problemática medioambiental dentro de una organización, que puede ser una herramienta extremadamente válida para mejorar la *performance* ambiental de las universidades, además de promover un aprendizaje sostenible. En la experiencia de la University of Osnabrück (Institut für Umweltsystemforschung 2000), se identificaron siete campos de variables para las actuaciones: energía, tránsito y movilidad, materiales, agua potable, aguas grises o residuales, residuos sólidos y superficie.

Se identifican dos corrientes de pensamiento en lo que se refiere al papel de las instituciones de enseñanza superior (IES) en lo que respecta al desarrollo sostenible (Tauchen y Brandli 2006, 504): la primera destaca la



cuestión educacional como una práctica fundamental para que las IES, a través de la formación, puedan contribuir en la cualificación de sus graduados, futuros tomadores de decisión, para que incluya en sus prácticas profesionales la preocupación con las cuestiones ambientales; la segunda corriente destaca la postura de algunas IES en la implementación de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA's) en sus *campi* universitarios, por medio de políticas y prácticas de evaluación continuada y monitorización del uso de los recursos y sus respectivos impactos, adecuados a las especificidades y contextos de cada una de las instituciones.

En términos de Brasil, Tauchen (2006) desarrolló una propuesta de procedimientos para implantar un modelo de gestión ambiental en IES, aplicándolo a la Facultad de Horizontina - RS (FAHOR). La concepción está basada en la herramienta del PDCA: *Plan* (planificación), *Do* (ejecución), *Check* (verificación) y *Act* (acción), base conceptual de la norma ISO 14001 (ISO 2004), adaptándola a las especificidades del campus universitario de estudio.

Además, según la propuesta de Tauchen, los requisitos legales y aspectos ambientales deberán influir directamente en la definición de la Política Ambiental del campus; después de identificarlos, se puede aplicar el ciclo del PDCA. Según la actividad ejercida por la IES, a partir de establecimiento de la política ambiental, se puede evaluar y determinar quién será responsable por cada etapa del proceso, cuáles serán los cambios físicos necesarios y principalmente, cuál es el presupuesto disponible para invertir en ese proyecto de mejora. Después de la ejecución de lo propuesto, se sigue con la monitorización de las etapas productivas, buscando corregir errores que puedan existir y minimizar los posibles problemas que no cumplen con el objetivo del SGA.

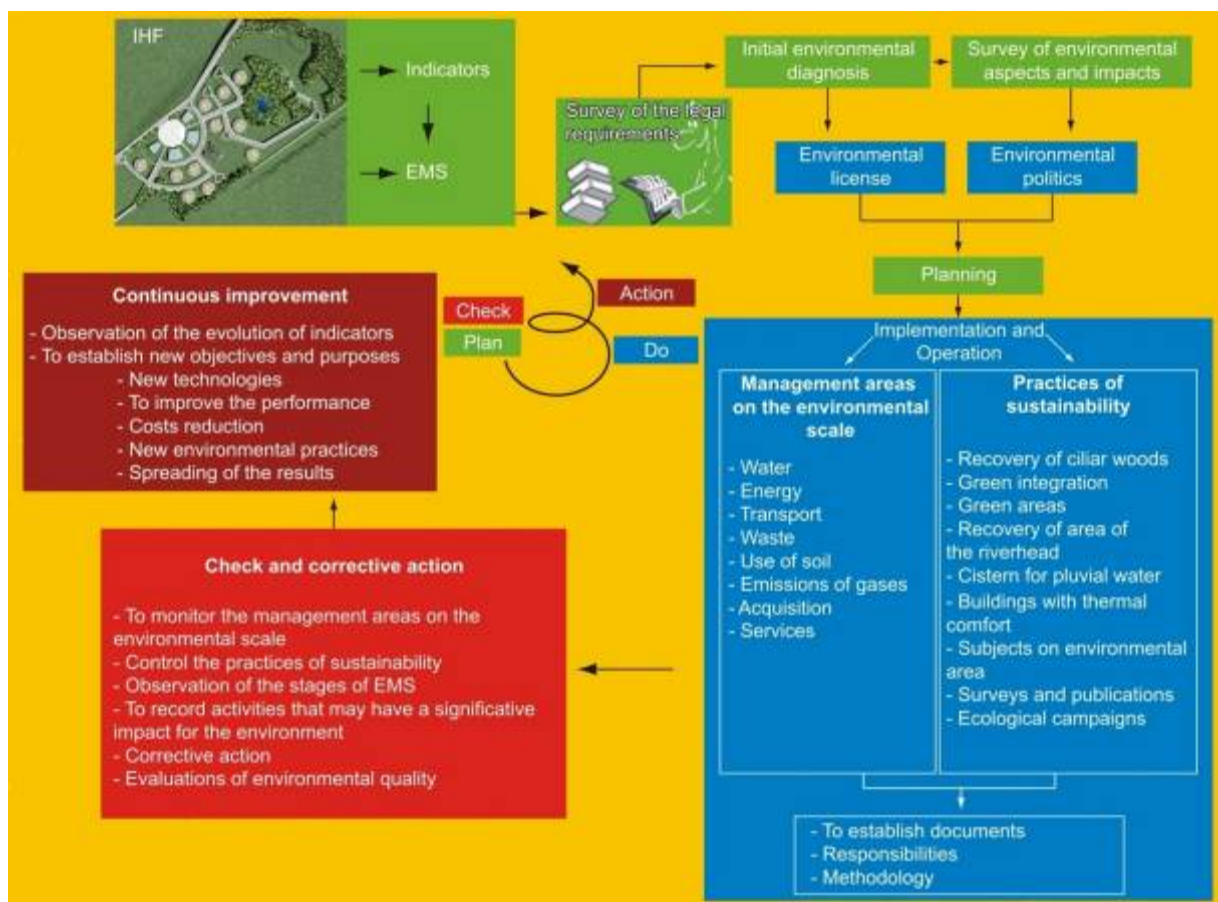


Figura 11 Modelo de ciclo PDCA para IES (adaptado de Tauchen y Brandli 2006, 512).

Como etapa final de ese ciclo, es necesario un análisis crítico sobre lo que fue mejorado, si la política ambiental se aplicó realmente y si, efectivamente, el SGA alcanzó sus objetivos. Por ser un ciclo, el SGA, a partir de ahí, vuelve a aplicar su política, buscar posibles nuevos aspectos ambientales que puedan ser observados después de la ejecución del PDCA. Evaluar nuevamente los recursos disponibles para mejorar el proceso, seguir la monitorización de las acciones y realizar nuevos análisis, siempre con el objetivo principal del ciclo que es la mejora continua del SGA.

La Figura 11 detalla el modelo a partir del ciclo PDCA, encuadrando las iniciativas de sostenibilidad en planificación, ejecución, verificación y acción correctiva. Posteriormente esta misma metodología ha sido presentada para la Universidade de Passo Fundo (Frاندoloso 2005; Brandli et al. 2007; Brandli, Frاندoloso y Tauchen 2011), según presentado en el Capítulo 4 y Apéndice C.

Una experiencia brasileña concreta es la obtención en 2004 de la certificación ISO14001 por la Universidade do Vale do Rio do Sinos - UNISINOS, la primera universidad latinoamericana en obtenerla y todavía la única universidad brasileña con la certificación. La definición de una Política Ambiental, revisada en 2009 por la alta administración ha impulsado el proceso de gestión de los residuos en el campus de la universidad de 90,55 hectáreas, además de considerarlo como un laboratorio o área experimental para aplicar las prácticas del SGA por los casi de 28 mil alumnos, 2 mil profesores y 2 mil funcionarios (Gomes 2011).

En la propuesta del SGA hace parte el esfuerzo para "no solo mejorar lo que existe, sino innovar, crear, reflexionar y pensar en soluciones que lleven a la sostenibilidad" (UNISINOS, 2011), mientras que contribuye con el desarrollo regional y, sobretodo, con la credibilidad, la confianza y la concienciación de la comunidad académica, atendiendo las legislaciones vigentes con una mejora en el desempeño ambiental de la universidad.

Las políticas y prácticas medioambientales presentan indicadores en los ámbitos del control de la producción de los residuos sólidos y la gestión de su destinación, en el tratamiento de los efluentes líquidos, con el adecuado destino según su clasificación (Gomes 2010).

En lo que se refiere a la gestión del consumo de energía, los informes (Gomes 2011) apuntan que los objetivos de la disminución en términos cuantitativos han sido alcanzados, sin embargo los costes/inversiones han tenido incrementos importantes a lo largo de período de aplicación del SGA, a partir del 2005, con la reducción en un 22,21% - Figura 12; para el consumo de agua ha presentado valores más expresivos, con la reducción en un 37,39%.

Sin embargo, Spellerberg et al. (2004, 131-132) cuestionan la necesidad de pequeñas universidades aplicaren un SGA formal, incluso una certificación bajo los patrones de la ISO14001; para los autores lo importante es que la universidad establezca su propia política ambiental y haya el compromiso de ponerla en práctica, es decir, de una manera "informal", pero igualmente insertada en la premisa de su papel de cambiar valores y actitudes de los estudiantes, y su amplificación por efecto dominó a toda comunidad donde tenga influencia.

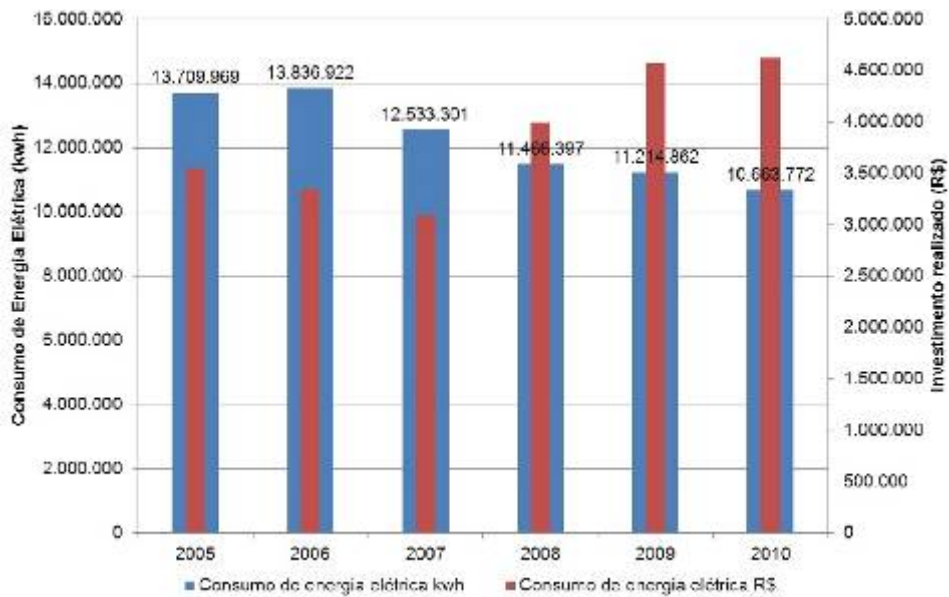


Figura 12 Consumo de energía eléctrica en la UNISINOS (Gomes 2011, 18).

Por otro lado, para Halila y Tell (2013, 87) la implementación de las bases de la ISO14001 son una manera de que las pequeñas compañías e instituciones puedan evaluar sus prácticas, al revés de desarrollar una metodología propia, más apropiada, según los autores a las grandes empresas. Los autores incluso hacen un sumario de la revisión bibliográfica de las fuerzas y de la barreras de su aplicación: las fuerzas internas son los empleados, las iniciativas de gestión, a menudo dirigidas a la reducción de costes; de entre las fuerzas externas presentan la presión de los consumidores/usuarios, las fuerzas de competitividad y la necesidad de un capital de riesgo. Las más desafiantes barreras son las limitaciones de tiempo, la insuficiente financiación, además de una falta de otros recursos como el apoyo interno y la *expertise*.



Figura 13 Sistemas de control ambiental y energético y paneles fotovoltaicos. Escuela de Ingeniería The Haguen Universitat. DWA, 2009. (Fotografías del autor 2010).

Como un ejemplo de aplicación de la gestión medioambiental, según su implícita metodología de proyecto, el edificio de la Escuela de Ingeniería de la *The Haguen Universitat*, mencionado en el Apéndice A, hace con que las instalaciones se conviertan en una estrategia de experimentación de los alumnos, es decir, la concreción de los conocimientos teóricos en la práctica. Los objetivos medioambientales planteados han sido alcanzar una reducción

de alrededor de 55.000 euros/año en el uso de energía, con la reducción de un 65% en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados *as-built* han logrado el *EPC*<sup>12</sup> de 0,59, lo que representa un 50% de la normativa holandesa vigente, y el *GreenCalc*+<sup>13</sup> de 256MIG, otros datos muestran que han sido logrados los objetivos iniciales, como el *R<sub>value</sub>* de la envolvente de 4W/m<sup>2</sup>K y los acristalamientos con *G<sub>value</sub>* de 0,25; para el calentamiento 465kW y para el resfriamiento 775kW. (DWA 2010). En la Figura 13 está presentado el sistema *on-line* de control de las variables ambientales y energéticas y los paneles para energía fotovoltaica.



Figura 14 Propuesta de las áreas del EMS para la MMU (Hindley 2009, 8).

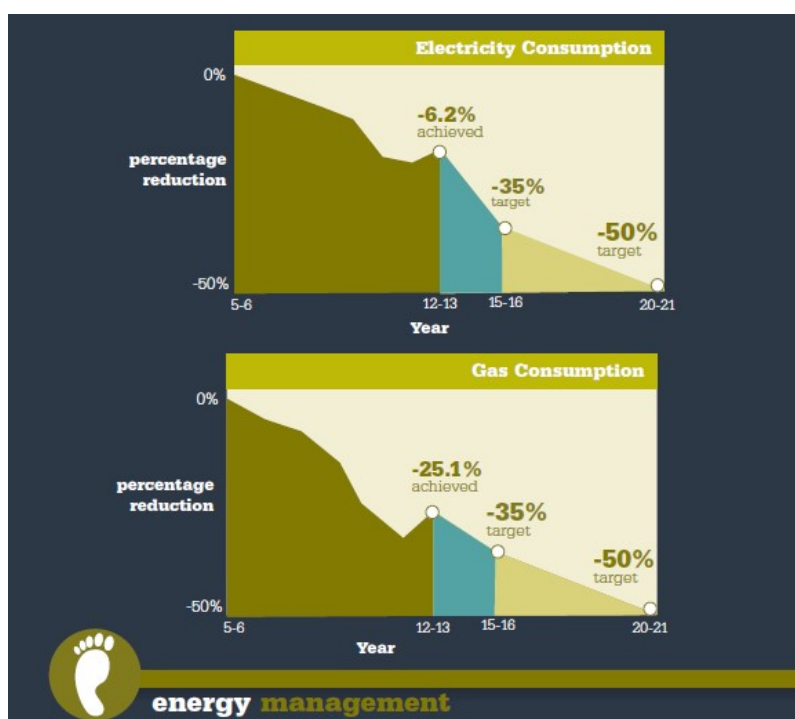


Figura 15 Desempeño y metas para la gestión de energía eléctrica y gas en la MMU 2005-2021 (MMU 2014).

También la *Manchester Metropolitan University* – MMU, citada también en el Apéndice A.2, presenta un sistema de gestión medioambiental y social (Hindley 2009), basado en 8 grupos de acciones, según la Figura 14. Cabe subrayar que los retos propuestos han sido alcanzados plenamente (MMU 2014) a lo que llevó a pasar del puesto

<sup>12</sup> EPC - Energy Performance Coefficient de la normativa holandesa para evaluar el desempeño energético de los edificios y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

<sup>13</sup> Software holandés para evaluar la sostenibilidad de los edificios, disponible en [www.greencalc.com](http://www.greencalc.com).

57 al número 1 del *ranking* de la *Green League*, en sostenibilidad de las universidades británicas. En la gestión energética para los años 2012-2013 presentó una reducción de 6,2% en electricidad y un 25,1% en gas en relación a los años base 2005-2006 - según la Figura 15, además de presentar también las metas para 2015-2016 y 2020-2021.

Contribuye para una aproximación a la realidad brasileña, la tesis de Doctorado en Arquitectura de Romero (1994) que presenta como objetivo desarrollar un método adecuado para evaluar el potencial de conservación de energía eléctrica en centros universitarios, estudiando la “ciudad universitaria” de la Universidade de São Paulo. Esta investigación ha sido continuada por la tesis de maestría (en la acepción de *Master in Science* adoptada en Brasil) de Álvarez (1998) e igualmente en ese tema se presenta la tesis de maestría de Arana (1994), pero estas últimas se tratan de trabajos en el campo de las ingenierías.

Desde el 1997 la Universidade de São Paulo dispone del *Programa Permanente para o Uso Eficiente da Energia na USP – PUREUSP* (USP 2009), evaluando un potencial de 20% de ahorro energético para la Universidad; además de prescribir algunas medidas para el control del consumo de energía, dispone de un sistema de monitorización del consumo (SIGGEN) que ha identificado los indicadores para 7 de sus unidades. Por ser la mayor Universidad brasileña y la tercera de Latinoamérica, con una comunidad académica de más de 106 mil personas, el impacto de los costes con los recursos naturales se constituyen en un fuerte impulso también a las medidas medioambientales y sociales, tanto en el consumo de papel como de agua (Programa PURA), además de establecer parámetros para el cálculo de la huella ecológica y las emisiones de CO<sub>2</sub> y - para el año de 2008, por ejemplo, la estimativa era de 107720,81tonCO<sub>2</sub>/año.

Aunque con diversas acciones internas y de cooperación con otras Universidades internacionales, como la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), la USP todavía no disponía de un Sistema de Gestión Ambiental formal o de certificaciones ISO14001. Sin embargo el PUREUSP sigue con la monitorización del consumo de energía y del respectivo desembolso mensual, orientando las acciones de gestión de los recursos, en este sentido, los informes (PUREUSP 2012) están direccionados a los dirigentes de cada una de las unidades académicas. Por otro lado, cabe destacar que pese el control de datos, los consumos y costes con energía siguen presentando aumentos, según la Figura 16.

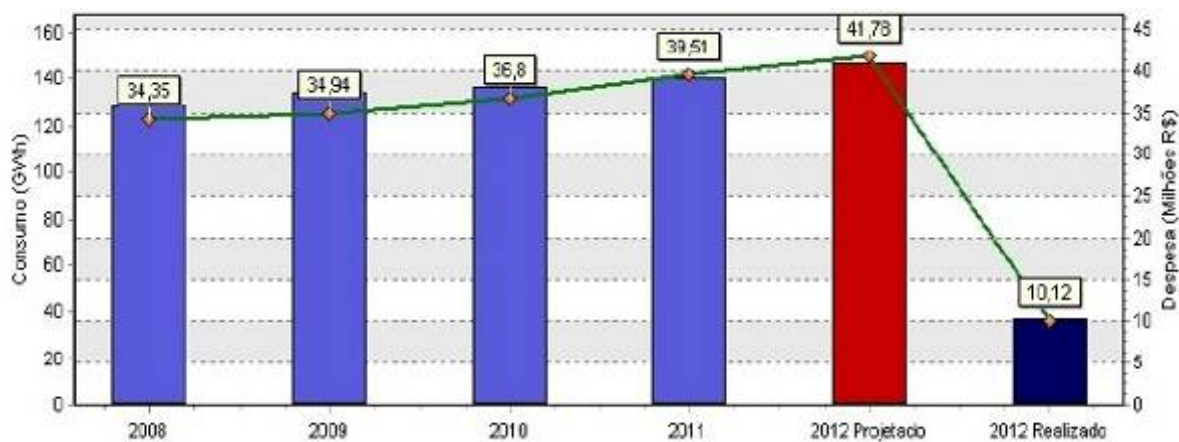


Figura 16 Consumo de energía y costes en la USP - 2008-2012 (PUREUSP 2012, 2).



A partir de toda esta experiencia de gestión, fue creada en 2012 la *Superintendência de Gestão Ambiental* (SGA-USP 2014), con el objetivo de promover la sostenibilidad ambiental de los *campi* de USP, basada en los siguientes principios:

- envolver las acciones de conservación de los recursos naturales de la Universidad;
- promover un ambiente saludable y la seguridad ambiental dentro de los *campi*;
- promover el uso racional de recursos;
- educar bajo los retos de la sostenibilidad;
- construir, de forma participativa, una universidad sostenible, transformando la USP en un modelo de sostenibilidad para la sociedad.

Se consolida así la Política Ambiental Institucional, en respuesta a los principios de la *Carta à Universidade de São Paulo* (Philippi Jr. et al 2009), firmada por diferentes órganos universitarios en que demostraban a la administración superior la importancia y relevancia de un instrumento de política y un proceso de gestión articulado y comprometido, y basado en la *Proposta de Gestão Ambiental para a USP* (SGA - USP 2009). Por medio de la publicación de la Portaria GR-4.448/2009, fueron creados Grupos de Trabajo, con la responsabilidad de definir la ejecución de la Gestión Medioambiental de la Universidad.

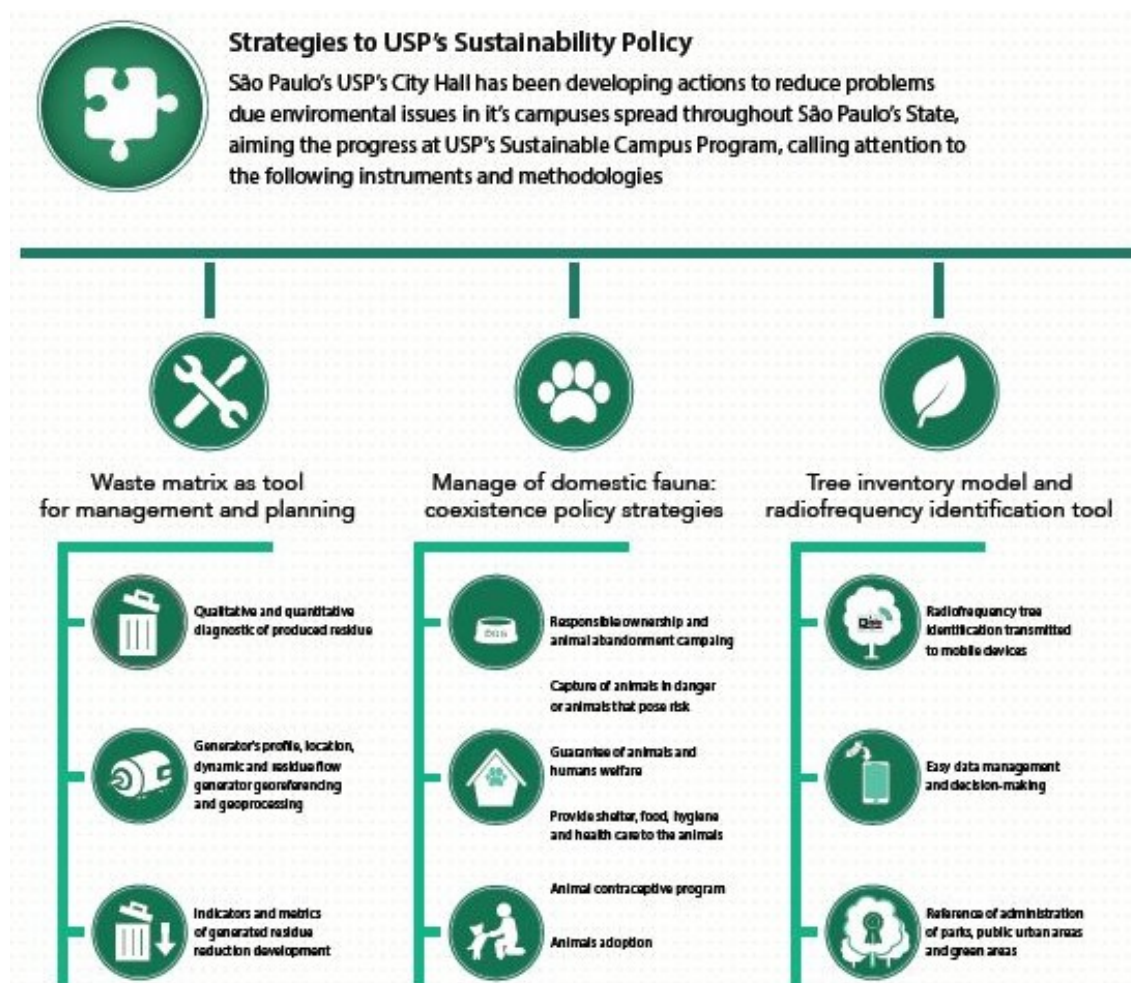


Figura 17 SGA – USP: políticas para reducción de impactos medioambientales (adaptado de Philippi Jr. y Ambrizzi 2014b).

De entre las acciones recientes está la propuesta de futura sustitución de las redes de energía del alumbrado público para el sistema subterráneo, combinados con tecnologías para ampliar la eficiencia en términos de iluminancia y reducciones de costes, con la utilización de lámparas LED y paneles fotovoltaicos, por ejemplo. En la Figura 17 se presentan algunas estrategias incluidas en la Política Medioambiental de la Universidad para la reducción de impactos; en la Figura 188 del Anexo V muestra las reflexiones de Phillip Jr. y Ambrizzi (2014a) a cerca de los desafíos y perspectivas para la SGA – USP.

La Pontificia Universidade Católica - PUC-RS, también estableció algunas directrices para la gestión de energía del campus, desarrollando un Manual de Economía de Energía (PUC-RS 2009), direccionada a la comunidad académica, a modo de divulgación y concienciación. En este sentido han sido creados grupos gestores, CGA - *Comitê de Gestão Ambiental*, que en 2010 obtuvo una reducción de 8% en el consumo de energía, logrado por el uso adecuado y concienciado de los recursos naturales resultantes de los programas educativos. Aunque sea un instrumento administrativo determinado por la Rectoría en 2009, hasta el momento no forma parte de un SGA completo, y sí de un programa interno e informal, defendido por Spellerberg et al. (2004), ya comentado.

El *Projeto Uso Sustentável de Energia* (USE) presenta resultados relacionados con monitorización del consumo de energía, por medio de la instalación de 29 puntos distribuidos en el campus, conectado *on-line* al sistema *PowerView*, a partir de esto fue posible evaluar los perfiles de consumo en cada una de las unidades y promover los análisis para la mejora de la eficiencia de los sistemas; en la Figura 18 se presentan graficas de la curva de cargas de los sistemas de iluminación en una sala administrativa (uso diurno) y de una clase (uso principal nocturno), con el resultado de 6,4kWh/m<sup>2</sup> y 15,2kWh/m<sup>2</sup>, respectivamente (Silva, A. 2011).

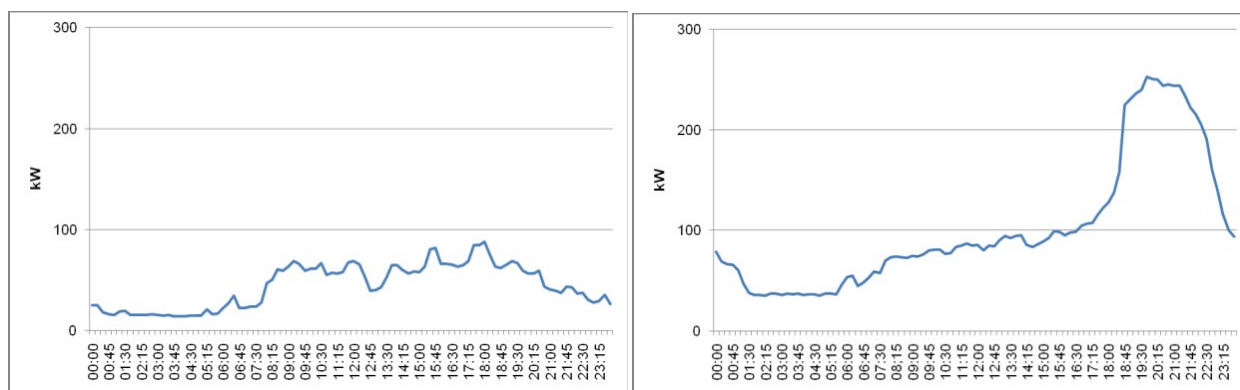


Figura 18 Curvas de cargas de los sistemas de iluminación, PUC-RS (Silva, A. K. da et al 2011, 3).

La PUC-RS con casi 30 mil estudiantes y 6,5 mil de personal docente y administrativo está ubicada en Porto Alegre, capital del estado de Rio Grande do Sul, siendo la mayor universidad privada del estado. Por su dimensión vale comentar que los estudios del *Projeto USE* han identificado que la mayor contribución energética está relacionada con los usos para iluminación, en este sentido hizo un estudio detallado de todos los tipos de bombillas y dispositivos de iluminación (lámparas, reactores, etc.) existentes en el campus y de estudios luminotécnicos en 438 salas con el software DIALux (Petry et al. 2011a; 2011b; Beherens et al. 2011), como resultado de las simulaciones indicaron un potencial de reducción de 60%; con la utilización de lámparas LED la reducción sería de un 45%, sin

disminuir la calidad del alumbrado.

Los investigadores de PUC-RS - GEE (Grupo de Eficiência Energética) han evaluado estrategias para la mejora del desempeño energético también considerando cambios en la envolvente de edificios universitarios, por ejemplo con la utilización de cubiertas verdes y protectores solares.

Merece todavía comentar las investigaciones y acciones prácticas desarrollados por la Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, con el Programa Permanente de Gestión de Energía Eléctrica, que en 2005 identificó una reducción potencial de alrededor de un 50% en el consumo en iluminación, representando en una reducción de un 30% del consumo total de energía en algunos edificios evaluados (Silva et al. 2008); con estas metas la Universidad podría lograr atender la normativa brasileña vigente del Decreto nº4.31/2002 (Brasil 2002) que proponía una reducción de 17,5% en los edificios públicos a partir de febrero del 2002, pero esta normativa sigue todavía sin resultados efectivos, tema comentado en el Apéndice B.

Como resultado de las iniciativas académicas y de investigaciones en el *Laboratório de Conforto e Eficiência Energética* - LABCEE, en junio de 2012 la Universidad ha creado el PROBEN - *Programa de Bom Uso Energético*. El programa propone las siguientes acciones:

- organización de las informaciones disponibles y caracterización de los perfiles de consumo de energía eléctrica;
- revisión de los contratos de suministro de energía (demanda y estructura tarifaria);
- corrección de los factores de potencia, eliminándose desperdicios con las componentes reactivas de potencia;
- eficiencia de los sistemas de alumbrado;
- eficiencia de los sistemas de acondicionamiento de aire;
- diagnóstico de funcionamiento de motores eléctricos;
- orientación para el desarrollo de proyectos arquitectónicos para edificios nuevos y reformas;
- implantación de un programa de concienciación y orientación de la comunidad universitaria;
- implantación de un sistema de monitorización.

En este sentido, analizándose el período de 2006 hasta 2014 (PROBEN 2015) los resultados de ahorro en costes son de alrededor de 2 mil millones de reales. Las acciones más significativas están relacionadas con las revisiones contractuales, además de la reducción de hasta un 87% en el consumo en alumbrado en las salas donde el PROBEN ya fue aplicado, con la mejoría en los niveles de iluminancia (Silva, Oliveira y Cleff 2006). El programa también establece que los resultados de ahorro serán redistribuidos a las unidades académicas a modo de bonificaciones con recursos para reinversiones de infraestructuras.

El control del consumo energético en el Campus principal de la UFPEL se presenta en el Anexo XXII, teniendo en cuenta que los indicadores fueron utilizados para comparación en la Fase 4 del Capítulo 4.



También en Brasil, en 2000 un grupo de investigación de la Universidade de Santa Catarina evaluó un potencial de ahorro de energía eléctrica de 35% en sus edificios, así que ha puesto en marcha algunos programas de ajustes, entre ellos el *Programa de Racionalização do Uso de Energia* – PRUEN (LabEEEE-UFSC 2005) que consiste en recomendaciones generales para proyectos de los nuevos edificios y de especificaciones de instalaciones de iluminación y aire acondicionado, así como también de un control centralizado del consumo, ya que los edificios aisladamente no disponen de monitorización que permita el control efectivo en cada uno de los edificios.

Como se percibe, gradualmente las universidades brasileñas han tomado iniciativas de creación de programas y proyectos para incluir principios de sostenibilidad en la vida académica de sus *campi*, como el *Escritório Verde* de la Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (UTFPR 2011), con la atribución de desarrollar las políticas medioambientales y programas como el control de emisiones y de eficiencia energética de los edificios, incluso el proyecto y construcción de la sede de la oficina ha adoptado criterios para que el propio edificio se constituya en un "laboratorio vivo" para promocionar el conocimiento y la experimentación de técnicas ecoeficientes.

En lo que respecta a las directrices de referencia al consumo de energía en las instituciones de enseñanza en Brasil, el informe sobre el mercado para la eficiencia energética (PROCEL 2008a; 2008b), evaluó 201 facultades y escuelas en el año de 2005, identificando el consumo medio mensual para el sector de 28kWh/alumno, mientras que el promedio por funcionarios es de alrededor de 579kWh/mes. El desglose del promedio de costes de la energía eléctrica ha identificado un 16,3% respecto a todos los costes en el sector de la educación.

En relación al acondicionamiento por calefacción el mismo estudio identificó que solamente 6,7% de las instituciones adoptaban sistemas de calefacción con energía eléctrica, con una potencia instalada de 19,3kW. La Figura 19 presenta los sistemas de acondicionamiento y/o ventilación para el sector de educación, donde se percibe la gran predominancia de los sistemas de tipo Split o de pared. Ya para la iluminación la potencia instalada está ubicada en una franja de 10 a 50kW para 51,1% del sector y entre 5 a 10kW y 50 a 100kW, correspondiente a 12,8% de las instituciones: el promedio de la potencia instalada es de alrededor de 80 kW para las instituciones de enseñanza superior y de 26kW para las escuelas básicas.

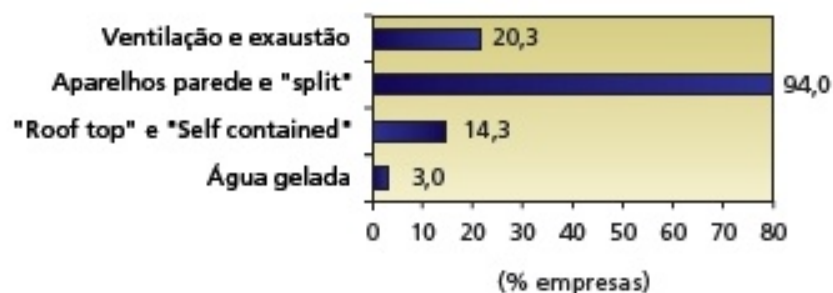


Figura 19 Tipos de sistema de acondicionamiento y/o ventilación en el sector de educación (PROCEL 2008b, 11).

La evaluación apunta que solamente un 19,2% de las instituciones superiores y el 25% de las de enseñanza básica investigadas han indicado la existencia de alguna comisión interna de conservación de energía u otro grupo con la atribución de analizar el desempeño energético; cuestionados acerca de la realización de evaluaciones de los usos de energía en sus edificios, el 65,8% de las instituciones superiores y el 56,7% de las enseñanza básica afirmaron realizarlas (PROCEL 2008b).

Desafortunadamente todavía no han sido publicados informes actualizados que permitan una comparación con datos más recientes, así como la evolución temporal de los patrones de consumo de energía en instituciones educativas, además de las políticas y prácticas para la implementación de la EE.

Comparándose las experiencias aquí relatadas entre las universidades europeas y las brasileñas, enseñase distintos enfoques. Inicialmente la gestión medioambiental en las europeas, aunque aquí solamente elegidos algunos estudios de caso puntuales, están incorporados de una manera transversal en las prácticas administrativas y académicas. De otra parte, las universidades brasileñas presentan esta temática de modo individualizado, es decir, los relatos son extraídos de un contexto restricto y limitado a intenciones de una u otra universidad, pero igualmente aisladas de un proceso de toma de decisiones integrada y/o integral.

Estos distintos contextos está relacionados no solo a cuestiones de tiempo para implementar los procesos, ya que en Europa y otros países, la Educación para la Sostenibilidad (tema del apartado A.3) hace parte de documentos y normativas desde hace más tiempo que en Brasil. Además, en lo que respecta a la gestión de los recursos naturales, y aquí en este estudio acerca de la energía, los marcos legales son más estrictos para Europa que en Brasil, teniendo en cuenta que los reglamentos brasileños son de carácter indicativo, no obligatorios, como se puede identificar en el Apéndice B.

Las deficiencias y limitaciones poco a poco son superadas en otras universidades de Brasil, teniendo como referencia la USP, aunque esté en un proceso lento de implementación, u ojalá de manera sistematizada en el SGA de la UNISINOS. La Universidade de Passo Fundo enseña cambios en esta dirección, al incorporar estas cuestiones en sus documentos institucionales de planeamiento estratégico, con un abordaje más amplio desarrollado en los apartados C.3 y D. Sin embargo, en el panorama de las universidades y centros de educación superior brasileños hay mucho por avanzar.

## **2.2 Contextualización de los objetivos ambientales**

Los diferentes contextos de España y Brasil, presentados en los Apéndices A.1 y C, indican que una simple importación de un método de evaluación es imposible, en este sentido se hizo una apropiación a los objetivos específicos de la Universidade de Passo Fundo y de sus contextos locales, ya que presenta una estructura *multicampi* en 7 municipios: Passo Fundo, Soledade, Carazinho, Palmeira das Missões, Lagoa Vermelha, Casca y Sarandi.

Hubo que valorar las potencialidades y las dificultades entre los dos campos de estudio, la UPC y la UPF, para definir la viabilidad de aplicación de los puntos convergentes y la identificación de los puntos divergentes, a los cuales fueron elaborados los ajustes apropiados en los instrumentos y métodos generales, que por su vez, resulten en una propuesta centrada en las necesidades locales y sus respectivas características.

V. da Silva, M. da Silva y V. Agopyan (2003) presentan algunos ejemplos de los diferentes abordajes para la importación de metodologías de evaluación de los edificios en Brasil: el uso de energía, en términos de consumo y de cantidad de emisiones asociadas (diferente patrón de fuentes y generación de energía) y el distinto peso del uso del suelo por las diferencias de ocupación y densificación urbana. Los autores siguen presentando que en la

mayoría de las metodologías adoptadas por los países desarrollados, la dimensión de sostenibilidad está restringida a la ambiental, mientras que en países como Brasil, es imprescindible contemplar la dimensión “social/democrática” y la dimensión económica.

En aquel momento no estaban incluidas en el estudio brasileño las pautas de la Educación para la Sostenibilidad y los retos propuestos en la UNDES presentados en el Apéndice A.3, y tampoco las evaluaciones críticas a cerca del concepto clásico de “sostenibilidad” ya discutidas por Naredo (1997) entre la “sostenibilidad débil y fuerte” también defendidas por Cuchí Burgos (2005), además de otros puntos de vista: la “interdependencia cósmica” (Mebratu 1998) como un reemplazamiento de las relaciones entre los diferentes sistemas del modelo trípode “dominante”, o la ampliación para una cuarta dimensión institucional propuesta con el “prisma de la sostenibilidad” de Meadowcroft, Farrel y Spangerberg (2005), de acuerdo con las representaciones graficas de la Figura 20.

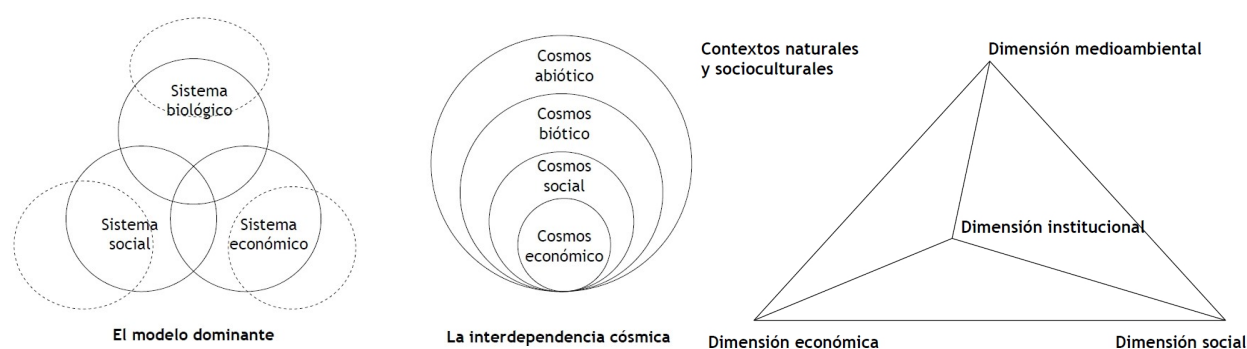


Figura 20 Representación de los modelos de sostenibilidad (adaptado de Pérez Foquet y Velo 2014, 14-15).

Como campo de estudio de la investigación, hay que señalar que en Brasil, el perfil de consumo de energía eléctrica en el sector de las edificaciones residenciales es predominantemente para iluminación y equipos, proveniente de fuente hidroeléctrica, según la caracterización presentada en el Apéndice A.1. Por otro lado, las condiciones térmicas y de confort interior en los edificios son muy desfavorables, sin prácticamente reflejar las diferentes características climáticas regionales, condiciones que en algunas ocasiones son adecuadas a una toma de decisiones de proyecto para adopción de sistemas pasivos de condicionamiento y de climatización artificial apenas como complemento, situación está causada por, entre otras razones, la falta de normas y reglamentos eficientes sobre el desempeño energético y térmico de los edificios.

Para el sector de los edificios comerciales, servicios y públicos el impacto del uso de equipos de aire acondicionado ha presentado un creciente aumento, representando un 47% del consumo, según señala el CBCS (2014, 51-54) y la Figura 181 del Anexo I. En este sector, las recientes normativas brasileñas ya comentadas – *Instrução Normativa nº2* (Brasil 2014) apuntan un cambio de dirección para la inserción de criterios de eficiencia energética en los edificios públicos.

Como ejemplo de estos cambios el edificio del Ministério do Meio Ambiente (Bloco B) en la Esplanada dos Ministérios en Brasília – DF, ha sido objeto de evaluaciones de su desempeño energético, y es el primer edificio federal a recibir el Selo PROCEL Edificações en nivel A, en mayo de 2015. De entre las propuestas del proyecto de *retrofit* están la modernización del sistema de aire acondicionado de los pisos térreo y subsuelo, la reconfiguración del proyecto luminotécnico y todo el edificio con la separación de circuitos, el uso de sensores fotosensibles y de

dimerizadores, que permitirán la readecuación de la iluminación artificial (Portal Brasil, 2015).

En los términos del Decreto nº7.746 (Brasil 2012) se instituyen criterios para las compras sostenibles para las instituciones públicas federales, de entre ellos que observen la “mayor eficiencia en la utilización de los recursos naturales como agua y energía”. A partir de agosto de 2014, deberán ser exigidos que los modelos de equipamientos consumidores de energía estén enmarcados en el *Programa Brasileiro de Etiquetagem*, con etiquetas clasificadas como eficiencia A, según la normativa que se aplica a los edificios nuevos e de *retrofitting* con más de 500 metros cuadrados - *Instrução Normativa nº2* (Brasil 2014)

Como también se presenta en el apartado 2.1, algunas experiencias puntuales han sido desarrolladas en centros universitarios brasileños: la Universidade de São Paulo a través del *Programa para Uso Eficiente da Energia na USP – PUREUSP* (USP 2009). Por otro lado, la Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS ha establecido el *Manual de Economia de Energia* (PUC-RS 2009), instrumentalizada por el *Projeto Uso Sustentável de Energia - USE*, con acciones prácticas en el principal uso de energía identificado, la iluminación.

Según comentado también en el apartado 2.1, para finalizar esta contextualización, el PROBEN de la Universidade Federal de Pelotas ha logrado el ahorro de más de 2 millones de reales en sus proyectos de eficiencia energética, con medidas de revisiones tarifarias y puesta en marcha del *retrofitting* de los sistemas de alumbrado y de aire acondicionado.

No obstante, hay que destacar que estos programas partieron de decisiones particulares de la gestión de los edificios, no de un planeamiento general administrativo de la Universidad o insertadas en un Sistema de Gestión Ambiental - ISO 14.001 (ABNT 2004) o Sistema de Gestión Energética – NBR-ISO 50.001 (ABNT 2011). La única experiencia Brasileña de gestión energética insertada en los criterios de SGA es la Universidade do Rio do Sinos - UNISINOS, igualmente ya comentada anteriormente.

Este es el principal problema, así como en la UPC, según los análisis presentados en el Apéndice C.2, las administraciones de USP y UNISINOS se han comprometido con los criterios de la sostenibilidad - *Declaração de Sustentabilidade de la UPC* (UPC 1997), de una manera general, proponiendo instrumentos efectivos para lograr la reducción de los impactos ambientales con la eficiencia en el uso de los recursos naturales; en general las universidades brasileñas todavía no han asumido esta responsabilidad incorporando dichos criterios efectivamente en sus procesos de toma de decisiones.

En estudios comparativos entre las experiencias de las universidades brasileñas y españolas, Frandoloso (2006) y Frandoloso y Cuchi Burgos (2005a; 2005b; 2005c) identifican que, además de las diferencias económicas, energéticas, políticas y climáticas entre los dos contextos, lo importante es adoptar metodologías concretas para disminuir los impactos ambientales. Sin embargo, en el caso brasileño enseña un gradual cambio de comportamientos y prácticas, pero todavía con un largo camino para los investigadores y administradores de universidades como la UPF.

Otra dificultad a ser enfrentada en Brasil es en lo que se refiere a los patrones normativos para los edificios. Como referencia normativa para el desempeño térmico de las edificaciones en Brasil, hay que referenciar la NBR 15.220 (ABNT 2005), que presenta los requerimientos mínimos según el *Zoneamiento Bioclimático Brasileiro* y las

directrices constructivas, aplicadas a las viviendas de interés social o de protección oficial; como dicho anteriormente, esta normativa tiene un carácter de instrucción, no de cumplimiento obligatorio. En un paralelo con las normativas españolas, cabe decir que también la aplicación de reglamentos a las edificaciones y sus sistemas ha evolucionado a partir de cuestiones de seguridad del RITE – Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (España 2009), orientándose a lo largo del tiempo hacia la eficiencia energética de carácter obligatorio, de manera a adecuarse también a los marcos europeos, comentados en el Apéndice B.

Según la NBR 15220 (ABNT 2005), la región de Passo Fundo está ubicada en la Zona Bioclimática 2 - Figura 117; la normativa propone unos requisitos mínimos para las propiedades térmicas de paredes (que sean ligeras) y cubiertas (que sean ligeras y aisladas). Sin embargo, se nota que los mismos valores son indicados a todas las otras zonas, es decir, la normativa no observa muy claramente cada una de las diferencias climáticas brasileñas, de acuerdo con los comentarios del Apéndice B.3. Aunque la región tenga una complejidad climática, según la caracterización presentada en el Apéndice C.3, las características culturales y arquitectónicas no prevén estrategias vernaculares para la adaptación del edificio a su entorno, en general con baja inercia térmica tanto en los edificios en madera, muy utilizados en el proceso de urbanización de las ciudades del interior de Brasil, como en aquellos construidos con ladrillos.

Además de las condiciones técnicas, los aspectos económicos, al igual que en otros países en desarrollo, tienen un papel clave en la falta de condiciones adecuadas para el confort térmico principalmente para los periodos más fríos, dependiente casi que exclusivamente de los procedimientos de adaptación metabólica y del vestido. Diferentemente a los países vecinos con características climáticas semejantes, Argentina y Uruguay, la tradición del acondicionamiento para la calefacción de los ambientes es casi nula, mismo a las clases más privilegiadas en el sector de la vivienda.

Desafortunadamente, tanto los edificios de viviendas como los de uso público disponen en general de una muy baja calidad y condiciones de confort, como se puede comprobar con los resultados presentados a continuación con los estudios para las dos edificaciones universitarias evaluadas.

La Norma de Desempeño NBR 15575 (ABNT 2008; 2013) en vigencia inicial prevista para noviembre de 2010, después alterada para marzo de 2012, aunque en el mismo nombre<sup>14</sup> estuvo inicialmente dirigida a los edificios de vivienda con hasta 5 plantas, se aplica también a aquellos con más plantas y usos diferenciados, por sus condiciones legales y de fiscalización no claramente establecidas, se caracteriza mucho más como un criterio a ser reglado por el mercado inmobiliario brasileño y por el Código del Consumidor, para reivindicar la calidad de la vivienda adquirida.

La normativa que más puede tener impacto a los edificios de usos comerciales, administrativos y de educación, caso directo de este estudio, son los *Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos* – RTQ-C (PROCEL 2010a; Brasil 2013a) y del *Programa de Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações*, aunque sean actualmente de carácter voluntario para los

---

<sup>14</sup> La NBR15575 (ABNT 2008) llamada *Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos* tuvo su vigencia inicial aplazada para 2012 y otra vez más para junio de 2013, especialmente por presiones de los sectores empresariales de la construcción civil. En la versión de 2013 (ABNT 2013) la limitación de aplicabilidad ha sido retirada de la normativa.

edificios nuevos y existentes, la ley preveía su transformación en carácter obligatorio para nuevas construcciones, a partir del 2013. De acuerdo con las consideraciones del Apéndice B.3, con los desplazamientos de fecha de inicio de la exigencia de cumplimiento de la normativa, el Plan de Eficiencia Energética - PNEf - vigente (Brasil 2011) establece el año de 2020 para edificios públicos, es decir, con resultados efectivos solamente de largo plazo.

Para la aplicación de la metodología de evaluación determinada por el documento *Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nivel de Eficiência Energética - RAC* (PROCEL 2010b; Brasil 2013a) las certificaciones serán emitidas por universidades y centros de investigación acreditadas junto a la ELETROBRAS/PROCEL e INMETRO, pero inicialmente solamente la Fundación CERTI de la UFSC<sup>15</sup> estuvo habilitada a hacerlas, lo que llevaba a una limitación teniendo en cuenta todo el territorio brasileño y su parque construido; de los edificios de usos educativos solamente quince edificios universitarios fueron certificados hasta noviembre de 2015<sup>16</sup>.

El gran problema es que estos programas y certificaciones todavía necesitan ser mejor divulgados, tanto por sus potencialidades técnicas y comerciales como en la capacitación de profesionales no solo capaces de aplicar las herramientas específicas contenidas en el reglamento, por parte de los equipos de certificación, sino en los aspectos más generales de todas las etapas del edificio, desde el proyecto y construcción hasta el uso y mantenimiento, es decir de todo el cuerpo técnico de arquitectos e ingenieros.

Teniendo en cuenta esta contextualización, son relevantes considerarse en el estudio, las siguientes condiciones para los factores de demanda, de los sistemas y equipos, además de los también comentados anteriormente factores económicos y sociales:

- Caracterización climática, según el *Zoneamento Climático* Brasileño – NBR 15220 (ABNT 2005) y estudios complementarios específicos del sitio de ubicación como archivos climáticos y evaluación de grados-día de acondicionamiento;
- Características de la envolvente de los edificios, sean los materiales y las técnicas constructivas;
- Uso, gestión y perfiles de ocupación de los espacios;
- Identificación de los usos y perfiles de consumo energético, fuentes de energía primaria;
- Factores económicos (costes, tarifas, etc.);
- Factores sociales y culturales.

Para lograr los análisis específicos de cada uno de estos temas, y alcanzar cada una de las etapas de la investigación son descritos a continuación los instrumentos de evaluación. Para validar los análisis de datos han sido adoptadas herramientas informáticas de simulación del comportamiento térmico y energético de los edificios y de las condiciones de confort de los espacios interiores.

Este marco general permitirá que los instrumentos sean igualmente contextualizados para otros centros

---

<sup>15</sup> Actualmente están acreditadas por el INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia y ELETROBRAS/PROCEL, otras universidades para aplicar la certificación según el RTQ-C, de entre ellas la UFPEl – Universidade Federal de Pelotas, através del LINSE - Laboratório de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações.

<sup>16</sup> Véase nota 91 – Apéndice B.2.

universitarios, replicando conocimientos y generando nuevas metodologías.

### **2.3 Descripción de los instrumentos y métodos para la evaluación de edificios universitarios**

La investigación del desempeño de los componentes de los edificios constituye un significativo y largo dominio dentro de la investigación de la Arquitectura en el sentido más amplio. Los estudios de Givoni utilizados como ejemplo por Groat y Wang (2002, 249-273) generalmente adoptan la investigación experimental, definiendo los siguientes puntos: la identificación de las variables del fenómeno a ser estudiado, el tratamiento de las variables, las mediciones de las variables dependientes o independientes, la clara definición de las unidades de evaluación, el uso de la comparación o control de los grupos de variables, con el foco en la "casualidad" (Groat y Wang 2002, 252).

De otra parte, igualmente Groat y Wang (2002, 275-300) presentan la simulación y modelización como métodos para las investigaciones arquitectónicas, citando el ejemplo del proyecto para el Illinois Institute of Technology de Rem Koolhaas y del proyecto CAVE<sup>17</sup>, lo que ha permitido una interacción en tiempo real entre diseñadores y clientes en un ambiente "virtual", con el objetivo de discutir todas las etapas de diseño, para así solucionar los requisitos programáticos y constructivos, antes de la propia ejecución del edificio, con sus obvios beneficios. Gracias a los avances en la informática, la simulación permite, de esta forma, evaluar escalas complejas, dimensiones subjetivas del comportamiento humano y testar componentes y materiales distintos, para la elección de un mejor resultado, bajo los requisitos definidos para cada estudio específico.

La simulación ocurre cuando la replicación del contexto del "mundo real" (o mismo según un "mundo real hipotético") contiene interacciones dinámicas que son el resultado de factores manipulados; estas interacciones son el reflejo de las mismas del "mundo real", es decir, la simulación permite obtener datos para la aplicación efectiva en contexto del estudio (Groat y Wang 2002, 279). Todavía sobre la simulación de los edificios, además de las consideraciones conceptuales planteadas por Hensen y Lamberts (2011, 1-14)<sup>18</sup>, Augenbroe (2011) presenta un abordaje metodológico, con un énfasis en todas las fases del diseño y operación de los edificios y las respectivas oportunidades de aplicación de la evaluación de distintos aspectos, pero subrayando el rigor necesario para la definición de los indicadores a fin de preparar un proceso racional de decisión.

La investigación experimental aísla el contexto e identifica las variables que pueden ser manipuladas para ver cómo afectan a otras variables, la simulación también elimina el contexto y las variables, pero Augenbroe (ídem) reconoce que las relaciones de causa-efecto no son normalmente claras en el contexto real, lo que envuelve generalmente factores probabilísticos, y como consecuencia, las variables e interacciones son difíciles de aislarlas precisamente de antemano.

En este sentido, el desarrollo de la tesis utiliza los principios de una metodología de investigación combinando lo que Groat y Wang (2002, 283) llaman investigación experimental, con la utilización también de instrumentos de simulación y "modelización", según las características de las tipologías de respuestas necesarias para cada una de sus etapas.

---

<sup>17</sup> CAVE - *Computer Assisted Virtual Environments*, desarrollado por la *University of Illinois Chigago*.

<sup>18</sup> Comentado en el Apéndice B.

Como marco teórico para la investigación cabe mencionar que la evaluación del desempeño, comentada en el Apéndice B, el objetivo de la modelización del desempeño o *performance*, es crear una representación de las estrategias conceptuales del edificio, o mismo de partes de él o de un conjunto edificado, y del comportamiento de los sistemas (Mallory-Hill 2004, 44). Esto significa relacionar tipos arquitectónicos y sus (sub)sistemas a la descripción del desempeño de cada uno de estos elementos, dónde el desempeño sea el modelo de "demanda" y el concepto de diseño la "oferta", véase la Figura 21.

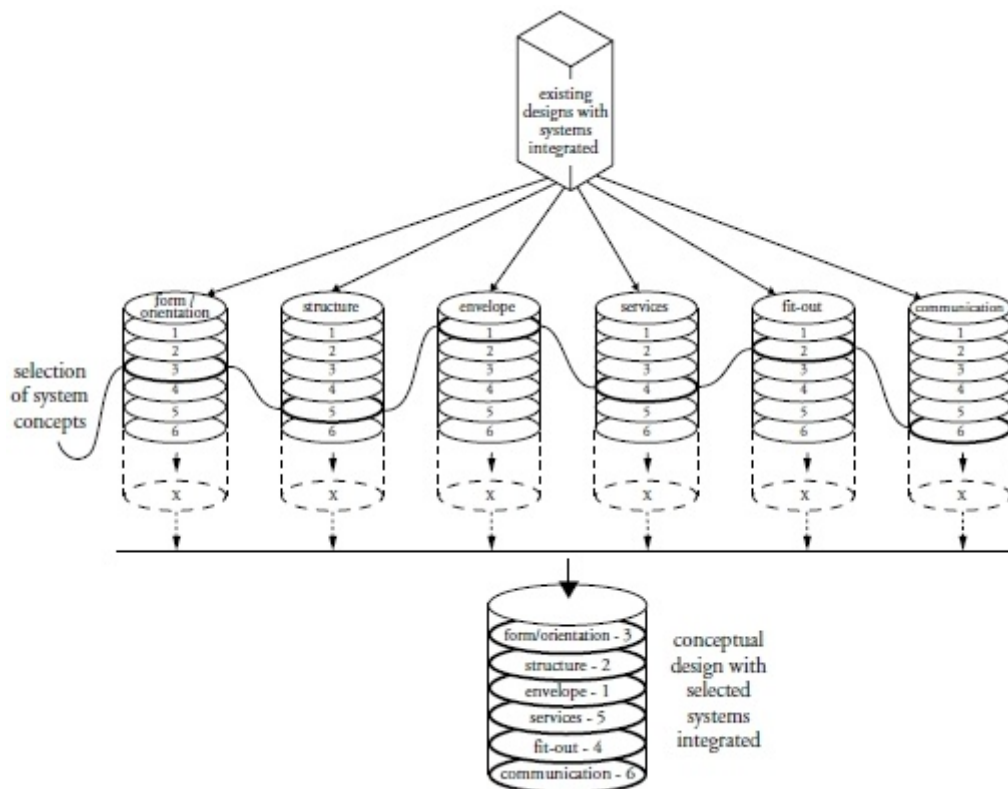


Figura 21 Selección de los modelos de concepto de los sistemas (Mallory-Hill 2004, 44).

Aunque las variables del presente estudio se presenten a continuación, cabe destacar Brand (1994 apud Mallory-Hill 2004, 51; apud Groat y Wang 2002, 314-15), caracterizando los modelos de evaluación de edificios en seis categorías (los seis S's en el inglés<sup>19</sup>): cosas (mobiliario y equipamiento), espacio (plano del suelo), servicios (aire acondicionado, alumbrado, acústica), piel (envolvente), estructura y sitio (forma y orientación); además, para el autor cada componente puede ser subdividido en subsistemas, como los servicios en seguridad, iluminación, energía, regulación del aire, aguas residuales, etc.

<sup>19</sup> *Stuff, space-plan, services, skin, structure y site*, según Stuart Brand (1994).





## 3 PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONDICIONES DE CONFORT

### 3.1 Evaluación del planeamiento ambiental de la UPC

Para el estudio de la situación del planeamiento ambiental en la UPC se analizaron los programas ambientales puestos en marcha a lo largo de las últimas décadas y evaluados sus resultados, identificando en la estructura administrativa de la UPC los agentes responsables por cada una de las etapas de los procesos, desde el planeamiento estratégico institucional hasta los órganos responsables por el proyecto, la construcción y el mantenimiento de los edificios.

Las Auditorías Energéticas se constituyen el punto de partida para las investigaciones; de acuerdo con la metodología desarrollada a partir de lo propuesto por la Diputación de Barcelona (1986) y López Plazas (2006), las auditorías permiten caracterizar cada edificio relacionado a diferentes fuentes de energía con sus respectivos usos. Esta caracterización se obtiene a partir de la recogida de informaciones diferenciadas en dos tipos: los datos estadísticos y los datos dinámicos (Cuchí i Burgos 2009).

López Plazas (2006, 40) propuso tres ámbitos para el inventario de las características de los edificios relacionados con la edificación, el uso y los sistemas, según la Tabla 3:

Tabla 3 Ámbitos para el inventario de las características de los edificios y sistemas (adaptado de López Plazas 2006, 40).

<b>a. Características de la edificación</b>	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
<b>b. Características del perfil teórico de uso y gestión del edificio</b>	Tipología de uso: Datos generales del tipo y la cantidad de uso de acuerdo a las unidades de referencia establecidas para la UPC (Créditos, horas de uso, EETC, etc.)	
	Intensidad: Proyección de la intensidad de uso de acuerdo a lo programado para cada edificación. Registros históricos de volumen de usuarios.	
<b>c. Características de los sistemas</b>	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

Las auditorías energéticas presentan como premisa la integración de tres tipos de factores: la demanda, el rendimiento de las instalaciones y la gestión de uso y ocupación. Basados en estos conceptos, Frandoloso y Cuchi Burgos (2005c) propusieron una metodología preliminar para mejorar (o incluir, según el caso) la eficiencia energética en centros universitarios, representada en la Figura 220, Anexo XI.

A partir del conocimiento de las prácticas en la planificación medioambiental de la UPC, se ha permitido el desarrollo de los instrumentos que posibilitaron la apertura de la metodología, para su evaluación de las posibilidades de reproducibilidad en otros entornos universitarios, con perfiles de gestión de un patrimonio edificado con usos bien caracterizados, como se presenta en el Apéndice C.2.

El informe final del proyecto de investigación "*Factor claus per la integració dels criteris ambientals als edificis de la UPC*" (Cuchi i Burgos, López Plazas y Leite Frandoloso 2006), ha contribuido con este análisis al presentar las estrategias de soporte que conduzcan a la eficiencia ambiental de los edificios:

- *Establecimiento del marco general de las políticas institucionales* – definición de los niveles de habitabilidad de los espacios, de los instrumentos para lograrlos dentro de los principios de la eficiencia en la utilización de los recursos naturales y financieros, en este punto se incluyen las inversiones necesarias y los respectivos plazos de amortización, sea por los ahorros logrados sea por las reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>;
- *Definición de los instrumentos de priorización*, a través de establecimiento de pautas de actuaciones y sus correspondientes agentes y responsables por las decisiones, igualmente relacionadas con los plazos e inversiones;
- *Organización de los mecanismos de aplicación, seguimiento y evaluación de las actuaciones*, con el involucramiento de todos los agentes en un proceso continuo de comunicación de los resultados obtenidos que garanticen sus correcciones y/o redireccionamientos cuando sean necesarias.

Basado en estos precedentes, las informaciones fueron sistematizadas para identificar métodos que permitiesen la continua evaluación de su aplicabilidad, revisándolos cuando se identificaron cambios en alguna de las directrices generales<sup>20</sup>.

Respecto a los edificios construidos en los marcos de los Planes Medioambientales y los programas específicos, como el caso de los Criterios Ambientales para los Edificios (UPC 1998), Pla de Ambiental del Campus de Castelldefels (UPC 1999) y del *Procés ACA2* (Ferrer-Balas et al. 2003), se evaluaron sus puntos positivos en el Apéndice C.2, identificando igualmente las barreras enfrentadas por los procesos y los éxitos o deficiencias de los resultados obtenidos *as-built* (Frandoloso 2006).

## **Evaluación de los potenciales de ahorro de energía e instrumentos operativos**

Dentro de los ámbitos del Laboratori REAL y del proyecto de investigación "*Factors claus per a la integració dels*

---

<sup>20</sup> Estos conocimientos generados han sido publicados a lo largo de la primera etapa de la investigación: Frandoloso 2005; 2006; Frandoloso y Cuchi Burgos 2005a; 2005b; 2005c; Frandoloso, Cuchi Burgos y López Plazas 2006, algunos de ellos presentados en el Anexo XXIII.

*criteris ambientals als edificis: experiència de la UPC*" (Cuchi i Burgos, López Plazas y Leite Frandoloso 2006), se procesaron los datos obtenidos con las evaluaciones de los estudios previos de Cuchi Burgos y López Plazas (2004) y López Plazas (2006) para cada uno de los 6 edificios objetos de análisis, comparándolos para resultar en una visión valorada de cada uno de sus respectivos desempeños, de acuerdo con la metodología y resultados comentados en el Apéndice C.2.

Por otra parte, por medio de los instrumentos metodológicos y de la aplicación de las herramientas adecuadas, fueron identificados los desvíos a los parámetros de referencia, tanto cuando comparados a los valores *default* proporcionados por los programas informáticos como también a los datos ya obtenidos por las investigaciones previas del parque construido de la UPC.

El análisis general del consumo de la muestra de edificios de los estudios precedentes (Cuchi Burgos y López Plazas, 2003; López Plazas 2006), enseña datos más específicos cuando son relacionados el consumo de energía y la superficie construida, véase la Figura 22.

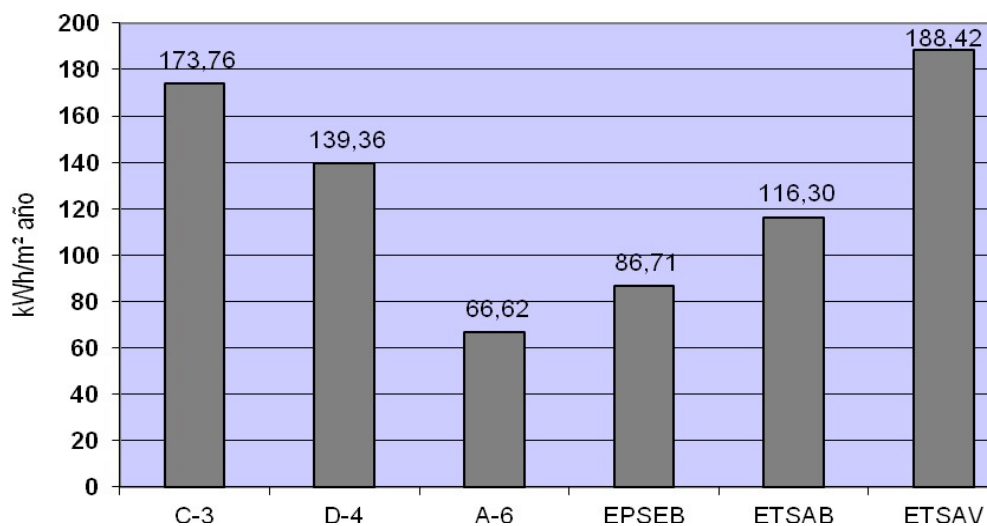


Figura 22 Indicadores de consumo de energía en edificios de UPC - 2003 (basado en López Plazas 2006).

La comprobación del planteamiento inicial de López Plazas (2006), con la definición de las formas de interacción entre las variables de la ecuación 5, desarrollada en la Fase 3, permitió obtenerse el peso de cada una de ellas respecto al consumo total de los recursos energéticos, en este caso para el uso en la calefacción por ser lo más significativo. Según presentado también en el Apéndice C.2, hay una valoración de las diferentes variables: demanda energética ajustada, rendimiento medio de las instalaciones y factor de gestión, en el consumo real.

Una vez que se ha podido segregar y valorar el peso de cada variable, se propuso que la Universidad debería ser capaz de definir para el 100% de la factura energética, el porcentaje que le corresponde asumir por ser propietaria de los edificios y proveedora de los sistemas que poseen ( $D$  - demanda - y  $\eta$  - rendimiento) y el porcentaje que debería transferir a los usuarios por ser responsables de la gestión de los edificios ( $Ge$ ).

Se propuso una relación entre la demanda necesaria para la climatización (en este caso para calefacción) y el consumo real de los edificios. Para el cálculo de la demanda fue utilizada una composición de programas

informáticos (ARCHISUN, BALANÇ y LIDER), ajustados por un diferencial de consumo según las condiciones reales de uso y ocupación de los espacios y del rendimiento de las instalaciones.

A partir de los datos obtenidos por López Plazas (2006) se plantearon variables que permitiesen valorar la eficiencia o ineficiencia de los edificios y sistemas. En este sentido, la relación entre las dos variables (demanda ajustada  $D_a$  y consumo real  $C_r$ ) ha permitido encontrar el *Potencial de Ahorro* (Frاندولو, Cuchi i Burgos y López Plazas 2006) para cada uno de los edificios, conforme Tabla 4:

Tabla 4 Potencial de ahorro en el consumo de energía para calefacción en la UPC adaptado de Frاندولو, Cuchi i Burgos y López Plazas 2006, 6).

Tipología	Ubicación	Edificio	Da	Cr	Ct	PotAhorro
Edificio en Campus	Campus Nord	A6	70.568	108.465	94.460	33,81%
		C3	56.805	96.891	105.026	27,84%
		D4	65.461	123.321	106.867	52,40%
Edificio Autónomo	Campus Sud	EPSEB	405.086	751.265	992.704	55,84%
		ETSAB	312.761	626.412	822.658	57,84%
	Sant Cugat	ETSAV	270.860	1.024.448	997.130	75,40%

Este potencial de ahorro está basado en un escenario ideal de optimización de las instalaciones y de la ocupación, con una relación entre el consumo real ( $C_r$ ) y el consumo teórico ( $C_t$ ), según las ecuaciones presentadas en el Anexo X. Estos porcentuales, incluso han resultado distintos a los resultados obtenidos por López Plazas: en los edificios con demandas positivas, han sido menores, mientras que en aquellos con valores negativos han aumentado; la Tabla 51 del Anexo X presenta la totalidad de los datos y resultados.

Como se puede observar, el edificio de la ETSAV es el que presenta un potencial de ahorro más significativo en el escenario óptimo o ideal. A partir de estos resultados se ha propuesto un indicador de gestión de los recursos financieros, es decir, que permitiera reflejar un índice para la correspondencia en términos monetarios de la "ineficiencia energética".

Basados en el escenario ideal optimizado, con la propuesta de valores óptimos para el rendimiento de las instalaciones ( $\eta-o$ ) y para el factor de gestión ( $Ge-o$ ), se han encontrado los valores presentados en la Tabla 5:

Tabla 5 Correspondencia entre el consumo de energía y los costes para calefacción en la UPC (adaptado de Frاندولو, Cuchi i Burgos y López Plazas 2006, 6).

Edificio	$\eta$	$\eta-o$	Ge	Ge-o	Cgerente	Cusuario	Coste	Costeusuario
A6	0,72	0,90	0,90	0,95	102.642	5,37%	3.863,74	207,42
C3	0,74	0,90	0,78	0,95	79.950	17,48%	3.713,06	649,21
D4	0,68	0,90	0,77	0,95	100.111	18,82%	4.439,31	835,52
EPSEB	0,71	0,85	0,75	0,90	628.976	16,28%	21.659,72	3.525,70
ETSAB	0,64	0,85	0,77	0,90	537.113	14,26%	18.006,21	2.566,89
ETSAV	0,60	0,85	0,44	0,90	500.841	51,11%	28.995,98	14.820,16

Según las características específicas a los edificios, para la optimización del rendimiento de los sistemas López Plaza (2006, 109) estableció el promedio de 0,90 para edificios en campus, con la posibilidad de una mejoría por las

infraestructuras y mejores equipos, y 0,85 para edificios autónomos; ya para la optimización del factor de gestión: 0,95 para edificios en campus y 0,90 para edificios autónomos (López Plazas 2006, 111).

Estos datos representan la asignación de los costes con el consumo de energía para la gerencia de la Universidad (*Cgerente*), con base en la optimización solamente en el factor de gestión, manteniéndose el rendimiento de los sistemas reales, mostrándose con valores inferiores a los presentados en el consumo real (*Cr*) como se observa en la Tabla 5 y Tabla 51, es decir que la aplicación de ajustes en el factor de uso real (*Ge*) resultando en el valor optimizado (*Ge-o*), contribuye positivamente para la eficiencia energética.

La diferencia entre la energía que el edificio consume (*Cr*) y la que debería consumir (*Cgerente*), en dicha condición "ideal" puede ser evaluada en la columna *Cusuario*, es decir, el coste a asumir por las unidades usuarias de los edificios. Esto significa toda la energía desnecesaria, sea debido a problemas constructivos (falta de aislamiento, por ejemplo) o por la ineficiencia de la gestión, se presenta con un valor bajo en el caso del edificio A-6, con valores muy semejantes, alrededor del 15-20%, en los edificios C-3, D-4, EPSEB y ETSAB.

No obstante, en el edificio de la ETSAB la diferencia está en el orden de 51,11%, esto indica un gran potencial de ahorro energético, indicando la necesidad de inversiones en una gestión más eficiente de los recursos naturales y financieros.

Las columnas *Coste* y *Costeusuario* de la Tabla 5 presentan la correspondencia monetaria (en Euros): la primera, el coste total de energía para calefacción en el año de 2003<sup>21</sup>, la segunda, los valores equivalentes al consumo desnecesario o a la "ineficiencia" energética.

A partir de estas constataciones, la gerencia de la ETSAB identificó la importancia en cambiar la situación desfavorable, llevando a cabo el programa UPCO<sub>2</sub> de manera experimental en la Escuela de Arquitectura, con la obtención de resultados positivos para el periodo de aplicación - invierno 2006-2007 (Mata, López y Cuchi 2007; Mata Las Eras et al. 2007; Cuchi 2009), pero desafortunadamente sin continuidad, de acuerdo con las consideraciones del Apéndice C.2.

En el nivel general de la UPC, una importante contribución para el análisis y diagnosis del desempeño energético de los edificios están contemplados en las acciones del *Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic* y los Projectes d'Optimizació Energètica – POE<sup>22</sup> (Figura 23), también comentados con mayor detalle en el Apéndice C.2.

La metodología adoptada en la UPC para las evaluaciones energéticas, dentro de los ámbitos del *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* - PEER, tuvo la sistematización propuesta por Bosch González et al. (2006), Figura 148 - según las consideraciones del Apéndice C.2, donde se identifican 4 fases, además de una fase preliminar de definición del escenario (Fase 0):

- Fase 0: Pre-diagnosis;
- Fase 1: Inventario y levantamiento de datos;

---

<sup>21</sup> Se hicieron la referencia de costes del año 2003 según cada una de las facturas de energía contratadas, año base para los datos de las variables evaluadas, una equivalencia a 2012 supondría un aumento de alrededor de 128%, considerándose la evolución del coste medio de acceso de energía (CNE 2012, 5).

<sup>22</sup> Guía de ayuda para la preparación del POE disponible en: <https://www.upc.edu/gestiosostenible/recursos-i-formacio/eines-practiques-per-a-coordinadors-de-poe/guio-ajuda-poe/view>.

- Fase 2: Evaluación;
- Fase 3: Diagnósis y líneas de actuación;
- Fase 4: Propuestas de intervenció

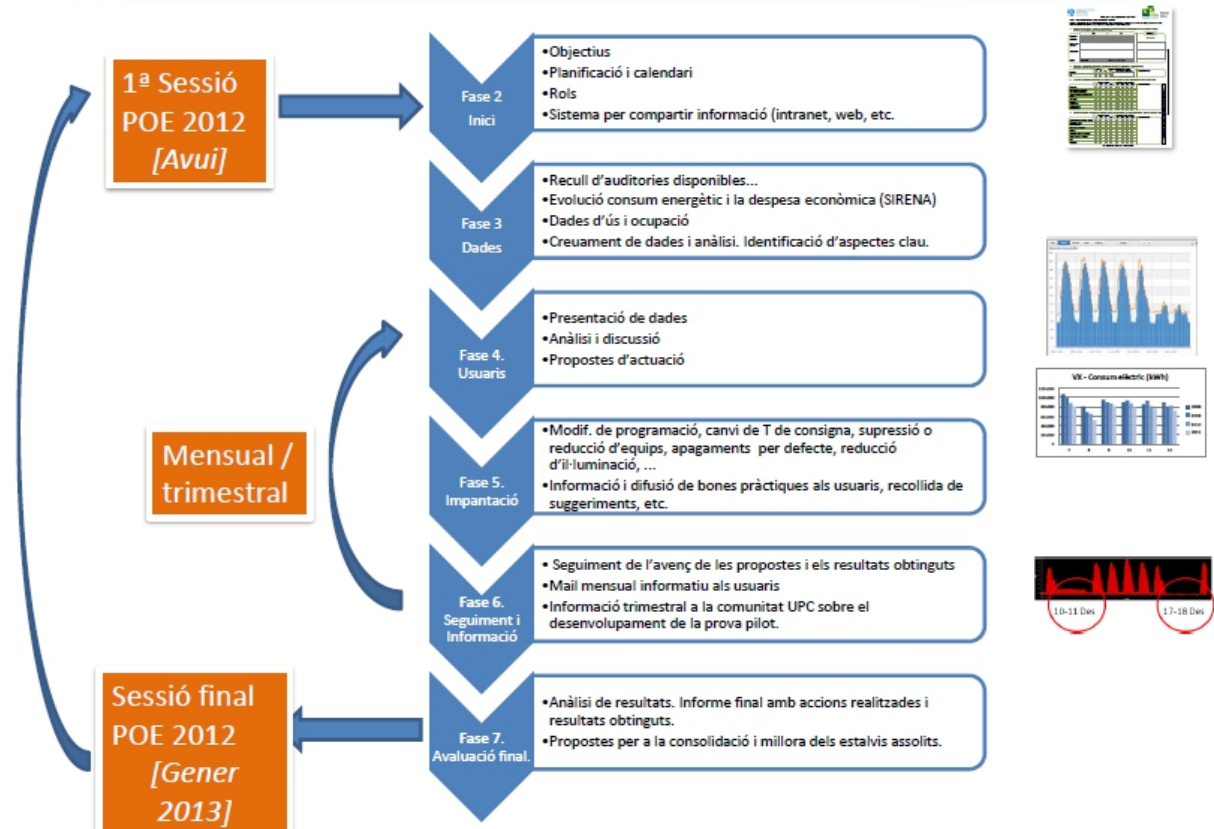


Figura 23 Metodología de los Proyectos d'Optimizació Energètica – POE (UPC 2012, 10).

### 3.2 Evaluación de la gestión energética y condiciones de confort en la UPF

Para el análisis del desempeño energético de los edificios de la Universidade de Passo Fundo se aplicó la metodología de Auditorías Energética, utilizada por las investigaciones precedentes en la Universitat Politècnica de Catalunya – UPC, dentro de las investigaciones del *Laboratori REAL*, como el proyecto “Factores llave para la integración de criterios ambientales en los edificios: experiencia de la UPC”, ya comentadas en el apartado 3.1 y ampliadas en el Apéndice C.2. Además, las experiencias de los POEs se constituyen un referencial para las acciones efectivas.

La implantación de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios, conforme Cuchí i Burgos (2009), tiene el objetivo de incidir en la manera de concebir, proyectar, construir y utilizar los edificios, que en el caso de un parque construido como el de la UPF cobra relevancia para la inclusión de la perspectiva de la sostenibilidad ambiental en sus políticas y acciones.

Para la Universidade de Passo Fundo se hicieron adaptaciones a la metodología de los PEGRs, de acuerdo con el

contexto específico, según comentado anteriormente, con la metodología presentada en la Figura 24 y detallada a continuación.

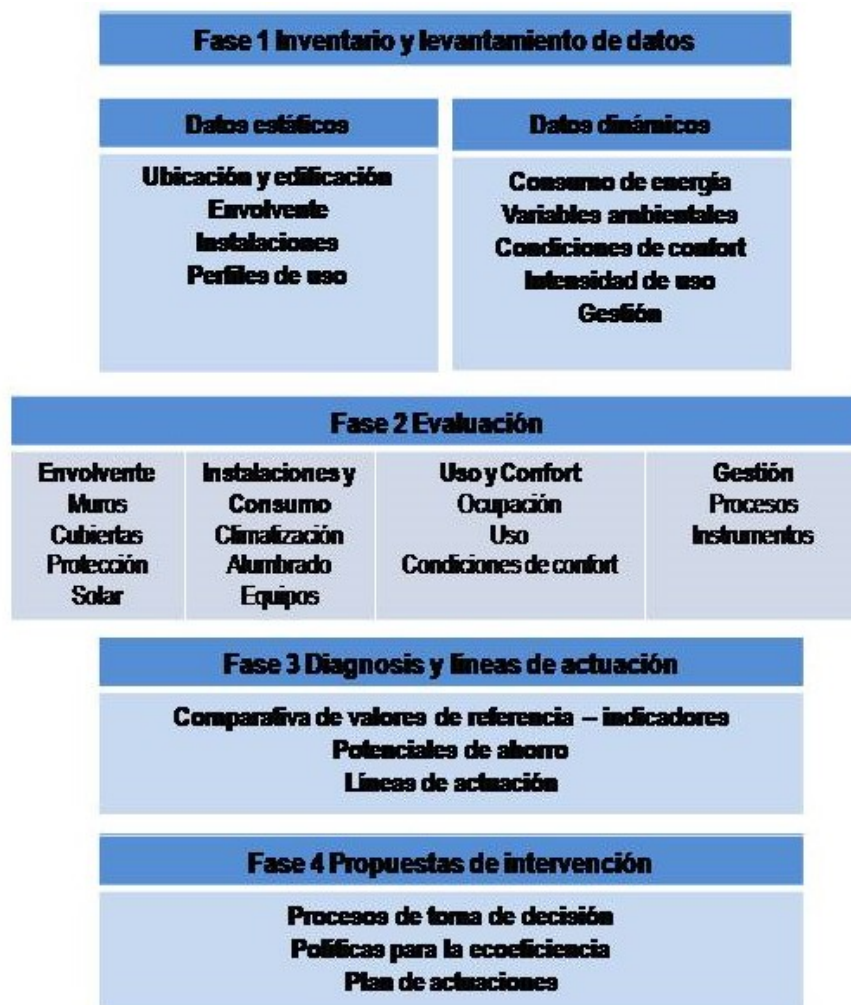


Figura 24 Metodología de evaluación energética de los edificios de la UPF.

En la Fase de Pre-diagnóstico (Fase 0), se consideró la caracterización general de la UPF – Apéndice C.3 , importante para obtener una referencia general del escenario de partida, descrita en el Capítulo 4, cuando se hizo una evaluación de la gestión medioambiental de la UPF, por medio de la aplicación de los criterios de la ISO 14001 (ABNT 2004) y del Sistema de Gestión Ambiental con base en los estudios de Tauchen (2006), Tauchen y Brandli (2006) y Brandli, Frandoloso y Tauchen (2011), por lo tanto se identificaron las acciones adoptadas en la Universidad en los diferentes sectores administrativos y de docencia.

En el ámbito de la docencia también se hizo la evaluación de los indicadores de sostenibilidad para universidades, adoptando la metodología AISHE - *Auditing Instrument for Sustainability in Higher Education* del DHO - Dutch National Foundation for Sustainable Higher Education (Roorda 2001; 2008; 2010), con la aplicación de herramientas para la evaluación de la Educación para la Sostenibilidad en 30 cursos de la UPF (Brandli et al. 2010; 2012; 2014 y Fraga 2011).

Para conocer el contexto del consumo de la energía en toda la Universidad se observaron indicadores fornecidos



por el *Setor de Conservação de Campús* (responsable por la gestión y mantenimiento de todos los *campi*) y del *Setor de Projetos*, con el levantamiento de los datos del parque construido en el Campus I y la relación con el consumo de energía eléctrica, además de los respectivos costes, para identificar los indicadores de consumo por superficie construida (kWh/m<sup>2</sup>) a lo largo de los últimos años, del 2004 hasta 2015, véase la Tabla 46 en el Apéndice C.2.

### **Definición de los edificios de investigación**

En referencia a la estructura física, a lo largo de la implantación del Campus I de UPF (véase el Apéndice D) han sido construidos edificios con características muy diversas, según las condiciones técnicas disponibles para su momento específico. En este sentido, las tipologías constructivas de los edificios de la UPF siguen una diferenciación cronológica: en un primer momento, hasta finales de la década de 1990, los edificios presentaban características sencillas, con el uso de estructura de hormigón y cerramientos en ladrillos cerámicos con 21 huecos redondos de media asta a vista (Figura 25) de bajo desempeño térmico, según los criterios presentados a continuación.



Figura 25 Tipologías de los edificios de UPF: Facultad de Agronomía; 1999 (Fotografía del autor 2006).

Figura 26 Tipologías de los edificios de UPF: Centro Administrativo y Rectorado. N R Arquitectos, 2002 (Fotografía del autor 2006).

En las edificaciones del siglo XXI, sean con proyectos de arquitectos contractados, o posteriormente, bajo la responsabilidad y autoría de los proyectos de un sector específico de la Universidad – Sector de Proyectos, el patrón constructivo utilizado son paredes dobles de ladrillos cerámicos y condiciones arquitectónicas más favorables, incluso con el uso de dispositivos externos de protección solar (Figura 26). Los edificios más recientes han diversificado algunas soluciones de composición arquitectónica, pero aun utilizando las anteriores tipologías constructivas y adoptando soluciones con amplios cerramientos acristalados, como se puede percibir en el Anexo IX: Figura 213 - aulario y laboratorios, y Figura 214 - centro de convivencia con tiendas, servicios y restauración.

De acuerdo con el parque construido existente, se seleccionaron dos edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FEAR): el edificio G1, edificio administrativo y de enseñanza de la FEAR – Figura 27a, y el edificio L1, del curso de Ingeniería de Alimentos y el Centro de Investigación Agroindustrial de la Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria (CEPA-FAMV), que cuenta con laboratorios y aulas – Figura 27b.



Figura 27 a. Edificio G1, fachada noroeste; b. Edificio L1, fachada nomoroeste (fotografías del autor).

La definición de estos dos edificios llevó en consideración las tipologías constructivas del Campus I: las construcciones desde la primera etapa de implantación hasta la década de 1990 (62,50%) representada por el Edificio G1 y las posteriores a 2000 (37,50%) por el Edificio L1. También el factor de uso y ocupación permite esta representatividad ya que la gran mayoría del parque construido está destinado a las actividades académicas con aularios y/o laboratorios, exceptuándose aquellos muy particulares como Rectorado, Biblioteca y Centro de Convivência.

Por las características del diseño urbanístico (véase la Figura 161 del Apéndice C.3), en lo que respecta a la orientación solar, la gran mayoría de los edificios – 58,33% - está implantada con las fachadas a la dirección NNO/SSE o aproximaciones, como el G1 y L1; un 25,00% con las mayores fachadas al Este/Oeste; y con menor representatividad - 16,67% - al NE/SO. En términos de la tendencia de expansión la orientación también obedecerá la predominancia por la NNO/SSE, como los edificios de la nueva FEAR actualmente en construcción.

Además, la selección de estos dos edificios está relacionada al hecho de ser utilizados por profesionales y alumnos de las áreas de la Arquitectura y de la tecnología de construcción y medio ambiente (Ingenierías Civil, Eléctrica, Mecánica y Ambiental), es decir, con una relación directa a los conocimientos de la ecoeficiencia, donde los edificios pueden ser utilizados como ejemplo de la aplicación de las buenas prácticas de la Educación para la Sostenibilidad y de la Construcción Sostenible.

En su aplicación para la UPF han sido observados también los requisitos normativos brasileños comentados en el Apéndice B.

### **Fase 1 - Inventario y levantamiento de datos**

Como parte de la auditoria energética fueron elaborados los inventarios de las características de los edificios: por un lado en sus datos estáticos (recopilación de planos, las características arquitectónicas y constructivas, la tipología e intensidad de uso y las características de los sistemas); por otro los datos dinámicos obtenidos con el trabajo de monitorización del consumo y el seguimiento de la ocupación del edificio.

Se considera fundamental analizar el desempeño energético de los edificios existentes con el fin de poder identificar los factores que determinan el consumo de recursos energéticos y valorar el peso y la incidencia de cada uno con el objetivo de poder definir políticas y objetivos de actuación.

## **Datos estáticos**

Los datos estáticos, o estadísticos según el PECR (Bosch González et al. 2006), se refieren a las informaciones que no presentan variaciones en el tiempo o tiene una variación lenta o controlable, como las características arquitectónicas y constructivas y de los sistemas e instalaciones.

Las informaciones se registraron por medio del uso de tablas y fichas de inventario, permitiendo la identificación de datos para cada uno de los locales en estudio, para las posteriores fases de análisis y diagnóstico de las condiciones de usos energéticos y de ocupación del edificio global.

## **Características de la ubicación y de la edificación**

A partir de la definición de los dos edificios para la evaluación, han sido identificados la orientación solar y los contextos de ubicación de cada uno de ellos dentro del campus, observándose las características del entorno y del microclima.

Las características arquitectónicas han sido obtenidas con el Sector de Proyectos, observándose los planos (plantas bajas, secciones y fachadas) y la verificación *as-built* con la finalidad de identificar los eventuales cambios en la construcción, los planos de los edificios están presentados en las Figura 28 y Figura 29. Además se hicieron visitas para identificar los usos de cada uno de los espacios, registrados en fichas específicas (Anexo XI).

Teniendo en cuenta que los edificios están construidos, las características constructivas de la envolvente obtenidas con las informaciones descriptivas, igualmente deben ser comparadas con las realmente ejecutadas, bajo los criterios incorporados a tanto en las normativas española (CTE) como las brasileñas (RTQ-C/RAC), descritos en el Apéndice B. En lo que respecta a los requisitos españoles, Pérez Cobo (2013, 49) indica que los modos de definición de las propiedades de las soluciones constructivas para las herramientas informáticas – CE3 o CE3X – son los siguientes:

- *Valores por defecto* vinculados a la tipología y año de construcción del edificio;
- *Valores estimados* vinculados a la tipología de cerramiento y la existencia o no de cámara de aire y/o aislamiento;
- *Valores conocidos o justificados*, a partir de base de datos de LIDER/CALENER.

Una de las maneras de verificarlas sería la “desconstrucción” de las superficies de la envolvente que inciden el desempeño térmico: cubiertas, suelos, muros y cerramientos transparentes. Sin embargo, este procedimiento implicaría en la intervención *in-situ* para la identificación de todos los componentes, cuanto a los tipos de materiales, dimensiones y características de aislamiento, capacidad de transmisión térmica, conductibilidad, densidad, y otras propiedades que presentan relación directa con la calidad de la envolvente y su interacción con el entorno. Además del efectivo hecho de retirada de material y, consecuentemente la necesidad de reparación, este procedimiento también implica en la necesidad de testes en laboratorio para la comprobación efectiva de las propiedades de los materiales.



Figura 28 Planos del edificio G1 a. subsuelo; b. planta baja; c. planta superior.



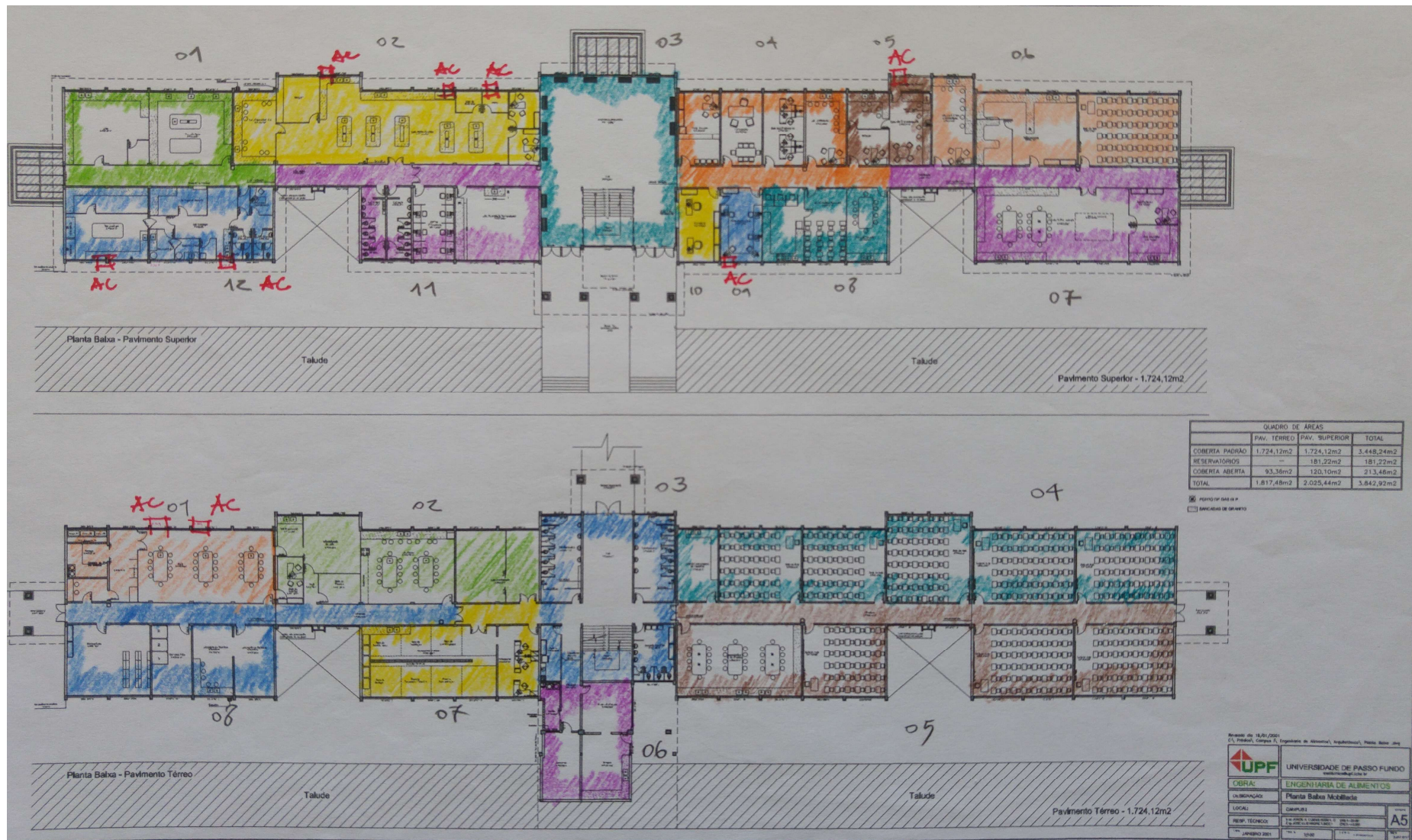


Figura 29 Plantas baja y superior del edificio L1.

Otra manera no destructiva, pero indirecta y más compleja, consiste en mediciones de temperaturas de las dos caras del cerramiento y el flujo de calor mediante sondas, según apunta Pérez Cobos (2013, 89-92) para la deducción de la transmitancia térmica  $U$  de los cerramientos, según las componentes de orientación solar y del factor solar para los huecos de fachada (ventanas y puertas) y los lucernarios.

Dichas metodologías presuponen el aporte de recursos técnicos y económicos, personal e instrumentos de medición y ensayos, además de tiempo.

Por otro lado, para la deducción de la composición de la envolvente térmica, las normativas permiten la aplicación práctica de una opción simplificada, basada en valores y características medias de base de datos para cada tipología constructiva de los cerramientos, que permite una recogida de datos más rápida, pero que igualmente tengan una correspondencia efectiva con el edificio a ser evaluado.

Por cuestiones de adecuación al contexto técnico de la UPF, esta es la metodología adoptada en este trabajo para la Fase 1: Inventario y levantamiento de datos, ya que permite un diagnóstico general del parque construido. Sin duda, para la Fase 4: Propuestas de intervención, las evaluaciones *in-situ* resultarían más eficientes y con resultados más positivos en la mejoría de la eficiencia energética de proyectos específicos e individualizados de *retrofitting*, en el caso de ser apuntados en la Fase 3: Diagnósis.

Para una uniformización de los datos de las propiedades físicas de cada uno de los materiales, se hizo imprescindible la adecuación a los requisitos definidos por las normativas brasileñas RTQ-C y RAC adoptadas como marco de referencia para las fases siguientes.

Estas adecuaciones se basan en la biblioteca de materiales de la NBR 15220 (ABNT 2005) y las referencias de la NBR 15575 (ABNT 2008; 2013), y, principalmente determinan la adopción de una metodología específica para definir las espesuras equivalentes de los muros exteriores e interiores, suelos y cubiertas. Los estudios desarrollados en el LabEEE-UFSC (Ordenes et al. 2003) contribuyen para la adecuación a los materiales y sistemas constructivos frecuentemente utilizados en Brasil, basados exclusivamente en los cálculos de las resistencias térmicas ( $m^2K/W$ ) de los componentes, al contrario de las variables del software *VisualDOE*, a que los estudios consideraron como referencia, que tratan también de las resistencias superficiales internas y externas.

El cálculo de la espesura equivalente para los elementos constructivos de configuración más compleja, incorpora los distintos materiales y consecuentemente distintas capas para los flujos de calor; por ejemplo, en la Figura 30 la componente original, un muro constituido de ladrillo cerámico con huecos y revoco en mortero en las superficies internas y externas, para la componente equivalente son consideradas espesuras para dos capas del mismo material cerámico (con las mismas propiedades térmicas de densidad, conductividad y calor específico) con una cámara de aire interior de 3cm ( $0,16m^2K/W$ ), según las ecuaciones 1 y 2 de la Figura 30.

Así, el estudio concluye que la adaptación de la biblioteca de materiales y componentes propuesta por el LABEEE-UFSC para el ambiente del *VisualDOE* es un apoyo importante para la simulación del desempeño termo-energético del edificio, en las situaciones encuadradas en el ambiente brasileño. La metodología, según los autores, permite la inclusión de nuevos materiales adaptables a situaciones específicas, sin obviamente olvidarse de los procedimientos definidos para el cálculo de la resistencia térmica  $R$  y la capacidad térmica  $C_t$ , y por consecuencia

la transmitancia térmica  $U$ , según la normativa NBR 15220-2005 y los datos reales del proyecto.

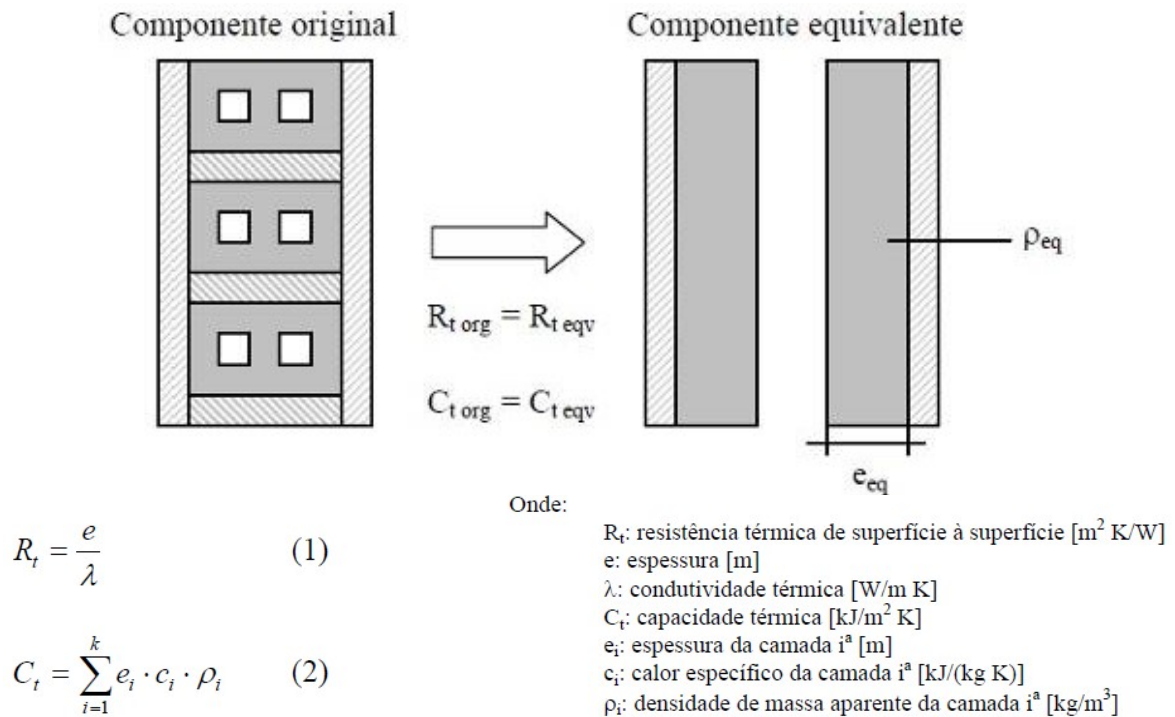


Figura 30 Componente original y componente equivalente de un muro (Ordenes et al. 2003, 6).

Las características generales de los edificios han sido recogidas en fichas específicas, conteniendo las informaciones planimétricas disponibles, la orientación, la superficie total, las proporciones de la piel (suelos, fachadas y cubiertas), los materiales interiores y los datos básicos de los sistemas y recursos energéticos según ejemplo de la Tabla 6.

En las fichas de recopilación y levantamiento de cada uno de los ambientes o espacios interiores, se ha registrado la caracterización de los sistemas de alumbrado (tipos de lámparas, potencias y líneas de encendido), acondicionamiento climático y fuerza (tipo y potencias), principalmente para identificar las características específicas de los diferentes laboratorios, de acuerdo con el ejemplo de Tabla 7.

### Datos dinámicos

Para los datos dinámicos, es decir, aquellos con variaciones temporales, es necesario un trabajo de seguimiento detallado de cómo se consume la energía en cada edificio y cómo varían las condiciones ocupacionales y funcionales durante el período de estudio.

La caracterización e intensidad de uso se obtuvo por medio de vistas aleatorias en diferentes horarios para identificar la ocupación del edificio y hacer las comparaciones con el consumo de energía informado por la herramienta informática de monitorización y caracterizar los *schedules* del programa de simulación *DesignBuilder*.

Tabla 6 Ejemplo de registro de las características generales de los edificios (adaptado de López Plazas 2006).

EDIFICIO: FEAR - L1 (ENG. ALIMENTOS)			Localização:	Campus I - Quadra L	Superfície:	3.842,92 m <sup>2</sup>	Volume:	12.241,25 m <sup>3</sup>	
<b>INFORMAÇÕES PLANIMÉTRICAS</b>									
Plano	Completos	Incompletos	Observações			Uso	Didático e Pesquisa		
Fachadas	OK					Usos principais	Lab. 76,18%		
Plantas baixas	OK						Aulas 23,82%		
Cortes	OK								
Instalações			NÃO DISPONIBILIZADOS			Usuários potenciais			
<b>ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO</b>									
Envolvente					Estrutura e interiores				
	Orientação	% Vazios	Sup. Total	Coef U	Materiais		Superfície	Materiais/ Características	
Fachada 1	SUL	49,85	783,07	1,12	TIJ. 21 F + TIJ MACIÇO	Lajes	1.724,12	CONCRETO	
Fachada 2	LESTE	6,11	120,24	1,12	TIJ. 21 F + TIJ MACIÇO	Paredes divisórias		TIJ 6 F (20 cm)	
Fachada 3	NORTE	52,38	783,07	1,12	TIJ. 21 F + TIJ MACIÇO	Divisórias leves		DIVILUX	
Fachada 4	OESTE	6,11	120,24	1,12	TIJ. 21 F + TIJ MACIÇO	Janelas		VD 4 mm (SIMPLES)	
Cobertura		2,90	1.724,12		LAJE C° - F°C° 8mm	Pisos S. Aulas		TACOS 43x43 cm MAD. IMBUIA	
Contrapiso			2.118,80		LAJE C°	Pisos Circul.-Sanit.		CER. 40x40 cm	
<b>RECURSOS ENERGÉTICOS</b>									
Eletricidade					Gás				
Contador	Tipo Individ/Conjunt o	Potencia Contratada	Nº Conta	Consumo anual Energia Ativa	Consumo anual Reativa/2006	Contador	Tipo Individ/Conjunto	Nº Conta	Consumo anual 2006
<b>Outros combustíveis</b>					<b>Água</b>				
Contador	Tipo Individ/Conjunt o	Tipo de combustível	Tipo de subministro	Nº Conta	Consumo anual 2006	Contador	Tipo Individ/Conjunto	Nº Conta	Consumo anual 2006
<b>CONDICIONAMENTO CLIMÁTICO</b>									
	Central	Tipo	Individual	Tipo		Central	Individual	Tipo	
Calefação			X	Split - Ciclo reverso		Refrigeração	X	Split	



Tabla 7 Ejemplo de registro de las características de los espacios: ocupación, uso e instalaciones (adaptado de López Plazas 2006).

## CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ESPAÇOS

<b>EDIFÍCIO:</b>	<b>G1- ARQUITETURA E URBANISMO</b>		
	Térreo		Data da visita dd/m/aaaa: 12/11/2009
<b>Espaço</b>		Uso do espaço:	Circulação Informática
Código N°:	S40	N° de Usuarios habituais:	2

CARACTERÍSTICAS DAS INSTALAÇÕES			
<b>1. ILUMINAÇÃO</b>			
Elemento	Quantidade	Potência (W)	Tipo/Modelo
a. Fluorescente (pequenas)	12	30	
(médias)			
(grandes)			
b. Incandescente			
c. Halógenas			
Potência total:		360,00W	
<b>3. CONDICIONAMENTO CLIMATICO - Geração de Calor</b>			
Elemento	Quantidade	Potência (W)	Tipo/Modelo
a. Radiadores			
b. Bomba de calor			
c. Fan Coil			
d. Difusor de equip. centralizado			
e. Equipamento autônomo			
f. Estufas			
Potência total:		0,00W	

<b>2. FORÇA</b>			
Elemento	Quantidade	Potência (W)	Tipo/Modelo
a. Computadores	2	600	
b. Impressoras, scanner	3	300	
c. Estabilizador	1	1 kVA=1000	
d. CD	11	15	
Potência total:		3.265,00W	
<b>3. CONDICIONAMENTO CLIMATICO - Refrigeração</b>			
Elemento	Quantidade	Potência (W)	Tipo/Modelo
a. Bomba de calor/frio			
b. Split	1	7.000BTU/h	
c. Fan Coil			
d. Difusor de equip. centralizado			
e. Equipo autônomo			
f. Ventiladores			
Potência total:		2.053,00W	

La determinación de la periodicidad de las visitas ha sido definida según una evaluación preliminar a partir de los datos de matrícula fornecidos por la Secretaria General de la Facultad, con la distribución del número de alumnos para cada una de las salas en cada franja horaria (mañana, tarde y noche). Para salas ocupadas con laboratorios o actividades administrativas, con menor variación de ocupación, se adoptó la misma definición que para las clases. Así, cada día de la semana y turno hubo por lo menos un registro a lo largo de los primeros meses del semestre lectivo, según el calendario de la Tabla 8:

Tabla 8 Fechas de levantamientos de la ocupación y uso de los espacios para los edificios G1 y L1 – semestre lectivo 2007/02.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
mañana	08/10/07	04/09/07	29/08/07	30/08/07	28/08/07	28/08/07	X
tarde	12/08/07	04/09/07	14/11/07	11/10/07	28/09/07	X	X
noche	12/11/07	20/11/07	29/08/07	30/08/07	26/10/07	X	X

No obstante, para la actualización de los datos se hicieron imprescindibles los seguimientos en la evolución de la ocupación, y de eventuales cambios de uso a largo del tiempo de recogida de las informaciones y de los análisis y resultados finales.

La Tabla 9 presenta un ejemplo de la plantilla utilizada para el registro de la ocupación de cada uno de los espacios por edificio, para cada una de las visitas, a ser contrastada con la ocupación teórica, es decir, la informada por las matrículas.

En la ocupación de los edificios de UPF, y en especial a los utilizados por la FEAR, hay una concentración de clases en los períodos de la tarde y principalmente nocturnos, según los cronogramas de los once cursos de grado, dos cursos de maestría y doctorado, además de distintos cursos *lato-sensu*. Los turnos de trabajo administrativo siguen el mismo perfil general.

Los perfiles de ocupación a lo largo del año académico siguen el régimen lectivo de marzo-junio y agosto-diciembre, las vacaciones colectivas ocurren en el mes de febrero; en este sentido, en los meses de enero y junio hay una ocupación y uso menos intensa. Las franjas de ocupación (*schedulles*) están caracterizadas en el Capítulo 4 y los respectivos resultados con más detalle están ilustrados en el Anexo XVII.

La función de cada espacio ha sido igualmente recogida, identificándose grupos de usos semejantes para la posterior clasificación según las zonas térmicas por usos y orientación solar.

En lo que respecta a los datos climáticos, de forma más amplia para todo el Campus I, el estudio de Quevedo et al. (2008) identifica las variables de temperatura, humedad relativa y velocidad de aire, adoptándose la herramienta *SURFER v.8*, la cual permite la distribución espacial de cada uno de los datos específicos, véase el Anexo IX.B. Cabe mencionar que la estación meteorológica existente está fuera de servicio desde hace algunos años, por falta de personal técnico responsable; lo que consecuentemente desencadenan problemas en mantenimiento de equipos e instrumentos de medición y almacenamiento de datos.

Para alcanzar los objetivos de la investigación, el periodo de tiempo evaluado es de por lo menos 12 meses, cubriendo las posibles diferencias temporales de los indicadores (los dos periodos lectivos, condiciones climáticas y estacionales: otoño-invierno/primavera-verano), incluso verificándose la ocurrencia de grandes eventos o

situaciones que puedan interferir en los análisis.

Tabla 9 Ejemplo de plantilla de registro del uso e intensidad de ocupación en los edificios (adaptado de López Plazas 2006).

### SEGUIMENTO DE OCUPAÇÃO E USO DOS ESPAÇOS

Localização	Espaço	Código Nº:	% on/off iluminação	% on/off equipamentos	nº ocupantes	Obs
Inferior	Banheiro Feminino	S 30	100	0	2	
Inferior	Vestiário Feminino	S11	0	0	0	
Inferior	Aula prática	S31	0	0	0	
Inferior	Sala moagem	S13	0	0	0	
Inferior	Sala de aula	S14	0	0	0	
Inferior	Sala de aula	S15	100	0	27	
Inferior	Sala de aula	S16	100	0	25	
Inferior	Sala de aula	S17	0	100	23	PROJETOR SLIDES
Inferior	Sala de aula	S18	100	0	21	
Inferior	Sala de aula	S 33	100	0	27	
Inferior	Sala de aula	S 34	100	0	25	
Inferior	Vestuário e banheiro	S12	0	0	0	
Inferior	Depósito	S26	0	0	0	
Inferior	Cozinha	S25	0	50	0	
Inferior	Moinho	S27/S28	0	0	0	
Inferior	Lab. Panificação	S10	0	0	0	
Inferior	Lab. Oper. Unitária	S23 /S24	0	0	0	
Inferior	Lab. Carnes	S9	0	0	0	
Inferior	Lab. Microgia do leite	S5/ S6/ S7/ S8	0	0	0	
Inferior	Sala de aula	S32	100	0	24	
Inferior	SARLE	S1/ S2/ S3/ S4	100	70	2	
Inferior	Lab. Tecnologia Leite	S21/ S22	100	50	0	
Inferior	Câmara Fria	S20	0	100	0	
Inferior	Almoxarifado	S19	0	0	0	
Inferior	Circulação	S35	100	0	1	
<b>TOTAL OCUPANTES</b>					<b>177</b>	

### Consumo de energía

Para la aplicación de la propuesta de metodología, inicialmente fue necesario ajustarla al contexto de la Universidade de Passo Fundo, con las dificultades específicas para la obtención de algunos datos e informaciones. En una primera etapa de los análisis han sido instalados medidores analógicos de energía activa (kWh) - Figura 215, con registrador del tipo ciclométrico y transformadores de corriente (200/5A y 250/5A), de acuerdo con los

disyuntores 175A en G1 y 225A en L1, conectados a las redes existentes; los datos han sido recogidos en tablas y ficheros con los consumos diarios, semanales y mensuales<sup>23</sup>.

En el segundo momento, a partir de junio de 2009 se implantó el sistema de controladores de energía eléctrica y utilidades multipuntos *SmartGateM* (Gestal 2009) - Figura 216 Anexo IX, según comentado en el Apéndice C.3, actuando como concentrador de las mediciones sectoriales sincronizadas con las mediciones de la concesionaria de energía, con resultados en línea, con conexión al Setor de Conservação do Campus, responsable por la gestión y mantenimiento de todo el campus, y al laboratorio que concentra esta investigación.

Como ejemplo de la formatación de los datos, en la Figura 31, se presentan los resultados de consumo activo diario para el mes de septiembre de 2009, donde se observa una reducción del consumo durante los fines de semana, aunque todavía con valores alrededor de 450kWh, teniendo en cuenta la permanencia de funcionamiento de parte de los equipos de laboratorio. Las líneas en verde claro y oscuro representan el consumo dentro de los límites definidos por la tarificación horo-estacional contratado, sin embargo, para la mayoría de los día útiles estos límites son superados en horarios punta, como demuestran las líneas rojas, incurriendo en costes extras.

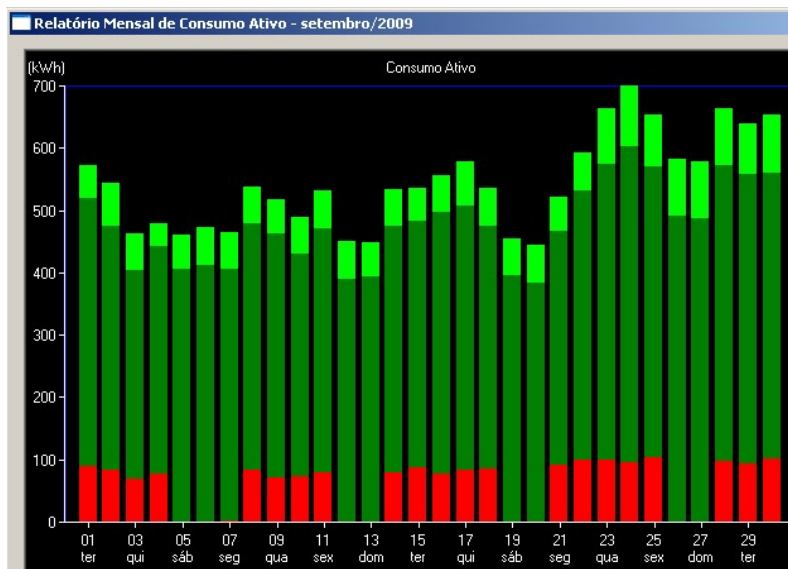


Figura 31 Gráfica de consumo diario edificio G1- septiembre/2009 – *SmartGateM*.

Los datos de fuentes analógicas y *SmartGateM* han sido confrontados para identificar los posibles desvíos, con la finalidad de evaluar la validez de los resultados obtenidos por medio del equipo analógico. Comparándose los datos obtenidos con las dos herramientas, se puede afirmar que los porcentuales de diferencia están en un nivel aceptable (alrededor de 2%), como, por ejemplo enseña la Tabla 10 con la comparativa para el mes de septiembre de 2009:

Tabla 10 Tabla comparativa entre consumo energético en las herramientas analógicas y *on-line*.

Edificio	Analógica (kW)	SmartGate M (kW)	Diferencia (%)
L1	48,47	49,28	1,64
G1	30,89	31,65	2,40

<sup>23</sup> Las prestaciones de todos los equipos y soportes técnicos utilizados en la investigación son presentados en los Anexos IX.D y XV.

De esta manera, para el periodo de enero a mayo de 2009 los datos han sido medidos con los equipos analógicos, y a partir de junio de 2009 hasta diciembre de 2012 por medio del sistema *on-line*, de acuerdo con los resultados discutidos en el Capítulo 4.

### **Variables ambientales**

El seguimiento de las variables ambientales de temperatura y humedad relativa ha sido obtenido con la utilización de equipos *data loggers* testo (testo AG 2006) modelos 175-T1 (sensores de temperatura) y 175-H2 (sensores de temperatura y humedad relativa), instalados en dos salas de diferentes orientaciones solares en cada uno de los dos edificios, con el control de los datos a lo largo del año de 2010 y 2011.

Este criterio ha sido determinado teniendo en cuenta la limitación técnica y económica para la instalación de más equipos, adquiridos con recursos propios en un primero momento, sin embargo para su selección han sido observados dos aspectos significativos: a. ubicación y orientación – fachadas opuestas Norte y Sur, o más aproximadas; b. usos diferenciados pero representativos de la tipología funcional de cada edificio. Además fueron evaluadas las condiciones de seguridad de cada sala, con la posibilidad de control de acceso y cerramiento con llave, con la finalidad de garantizar el mantenimiento y funcionamiento de los *data loggers* para evitar hurtos o depredaciones.

Los equipos cuyas prestaciones son presentadas en el Anexo XV, son conectados a través de interfaz USB a un ordenador - Figura 228, para el almacenamiento y análisis por medio de los *softwares* testo *ComSoft Basic v4.0* (testo AG 2009) y *Comfort Software Basic 5.0* (testo AG 2011a).

Las mediciones *in-loco* han llevado en cuenta la normativa ISO 7726 (ISO 1996): en el edificio G1 han sido instalados sensores en la Secretaría del Curso de Arquitectura y Urbanismo (Figura 231), de orientación NO, y en la Secretaría del Curso de Ingeniería Ambiental (Figura 233), de orientación SE; en el edificio L1 en el Laboratorio de Carnes (Figura 235), NNO, y en el Laboratorio de Prácticas, SSE (Figura 237). La definición de los ambientes ha sido determinada por la necesidad de garantizar la seguridad de los equipos; además de no haber acondicionamiento térmico artificial en el ambiente.

### **Condiciones de confort**

La investigación para la fase preliminar ha utilizado 3 instrumentos para la recogida de las condiciones de confort de los usuarios, pero todas relacionadas con los modelos de predicción del confort térmico y de la evaluación de la aceptabilidad térmica en los ambientes internos, normalizados a través de la ISO 7730 (ISO 2005; AENOR 2006). Los conceptos de la normativa están basados en los estudios de Fanger (1970), Fanger y Toftum (2002) y las adaptaciones para climas templados y calientes propuestas por Hwang et al. (2006), desarrollados en el Apéndice B.6. Los estudios han sido realizados en Dinamarca para cámaras climatizadas, reconocidos internacionalmente como modelo PMV/PPD, de acuerdo con la escala de Bedford (ASHRAE 2004): muy caluroso, caluroso, ligeramente caluroso, confort o neutro, ligeramente fresco, fresco y frío.

El PMV - *Predicted Mean Vote* (también denominado como Índice de Valoración Media - IVM o Voto Medio Previsto

o Estimado - VMP<sup>24</sup>, - la sensación analítica de confort térmico es obtenida a través del balance térmico entre el hombre y el ambiente, donde la generación del calor por el organismo debida a la ejecución de una actividad física debe ser disipada en igual proporción al ambiente, por medio de los mecanismos de trocas térmicas, es decir, por convección, radiación, evaporación y conducción (Mondelo et al. 1999; AENOR 2006), según la ecuación 1:

El IVM que manifiesta un colectivo, puede hallarse mediante la siguiente:

$$IVM = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6 - 0,42 [(M-W) - 58,15]] - 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,001 \cdot - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{clo} [ (t_{clo} + 273)^4 - (TRM + 273)^4 ] - f_{clo} h_c$$

donde

$$t_{clo} = 35,7 - 0,028 (M-W) - 0,155 I_{clo} [ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{clo} \{ (t_{clo} + 273)^4 - (TRM + 273)^4 \} +$$

$$h_c = 2,38 (t_{clo} - t_a)^{0,25} \text{ para } 2,38 (t_{clo} - t_a)^{0,25} > 12,$$

$$h_c = 12,1 v_{ar}^{0,5} \text{ para } 2,38 (t_{clo} - t_a)^{0,25} < 12,1 v_{ar}^{0,5} \quad (1)$$

Donde:

- $M$  es la tasa metabólica en  $W/m^2$ ;
- $W$  es la potencia mecánica efectiva en  $W/m^2$  (puede estimarse en 0);
- $I_{clo}$  es el aislamiento de la ropa en  $m^2K/W$ ;
- $f_{clo}$  es el factor de superficie de la ropa;
- $t_a$  es la temperatura del aire en  $^{\circ}C$ ;
- $TRM$  es la temperatura radiante media en  $^{\circ}C$ ;
- $v_a$  es la velocidad relativa del aire en  $m/s$ ;
- $p_a$  es la presión parcial del vapor de agua en  $Pa$ ;

$p_a = RH/100 \cdot \exp(16,6536 - 4030,183 / (t_a + 235))$  Donde:  $RH$  es la humedad relativa del aire medida en porcentaje;

- $h_c$  es el coeficiente de transmisión del calor por convección en  $W/(m^2K)$ ;
- $t_{clo}$  es la temperatura de la superficie de la ropa en  $^{\circ}C$ .

Basado en las normativas ISO 7730 (ISO 2005) y ASHRAE Standard 55 (ASHRAE 2004) los límites para las zonas de confort para verano e invierno (Figura 32) cubren los rangos de temperatura operativa y humedad relativa con velocidad del aire  $\leq 0,2m/s$  para personas con vestimenta con índices entre 1,0 y 0,5 $I_{clo}$ , durante actividad sedentaria ( $\leq 1,1met$ ).

<sup>24</sup> Para efectos de este trabajo se adoptan las iniciales en ingles, PMV - Predicted Mean Vote y PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied, teniendo en cuenta las diferencias de denominación en el Español (por ejemplo, Mondelo et al. 1999), pese a la Normalización de la UNE-EN ISO 7730:2006 (AENOR 2006) con la adopción las denominaciones Voto Medio Estimado y Porcentaje Estimado de Insatisfechos.

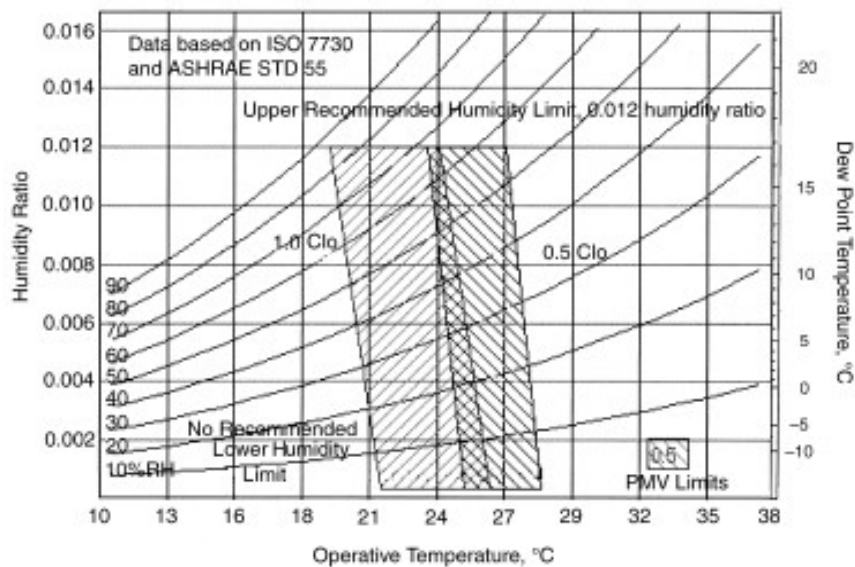


Figura 32 Zonas de confort para verano e invierno según ASHRAE Fundamentals 2009 (ASHRAE 2009, 9:12).

En la primera etapa de la evaluación (Frاندoloso et al. 2010; 2012) se aplicaron encuestas (Anexo XVI.A) a los usuarios de las clases y determinada la influencia del confort térmico en el desempeño académico de los universitarios con la caracterización de las condiciones ambientales según la escala de Bedford. Los ambientes interiores y exteriores se caracterizaron a partir de las mediciones de las variables ambientales (temperatura radiante media, temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) con el uso de data loggers y de termómetro de globo - Figura 225. De la misma forma, se consideraron las variables personales del tipo de vestimenta (índice *clo*) y de la actividad metabólica de los usuarios.

Con base en los resultados *in-loco* de las encuestas directas, se hicieron comparativas con los resultados de las condiciones de confort y del estrés térmico a partir de la herramienta *Analysis CST 2.1* (LabEEE-UFSC 2008), igualmente referenciados a los conceptos y algoritmos de la ISO 7730:1994, además de las normativas ASHRAE Standard 55:1992 y ISO-DIS 7726:1996. El *software* permite la inserción de los datos de las variables ambientales (recogidos en las evaluaciones *in-loco*) y de las condiciones metabólicas y de la vestimenta definidas por la ISO 8996:1990, ISO 9920:1995 y ASHRAE Fundamentals 1997, también recogidas de los resultados promedios de la aplicación de las encuestas.

El tercer instrumento preliminar es la herramienta de simulación *DesignBuilder*, por permitir una sistematización de los resultados con una visualización comparativa de todo el año, el *software* hace referencia a diferentes metodologías para la presentación de las condiciones de confort, de entre ellas el PMV de Fanger.

Sin embargo, como se profundiza en el Apéndice B.6, hay divergencias en la aplicabilidad del método PMV/PPD (Fanger 1970; Fanger y Toftun 2002), aunque sean los métodos más adoptados en todas las investigaciones. En este sentido, se han aplicado los conceptos de confort adaptativo, según investigaciones como las desarrolladas por Humphreys y Nicol (1998; 2002) y de Dear y Brager (1998; 2002), específicos para ambientes no acondicionados, refrendados por la ASHRAE 55 (ASHRAE 2004) y por la ASHRAE Fundamentals (ASHRAE 2009).

De acuerdo con estos estudios la temperatura operativa ( $T_o$ ) está relacionada a la temperatura mensual promedio

( $T_{ext}$ ), con los siguientes límites para 90% y 80% de aceptabilidad, de acuerdo con las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$T_o = 18,9^{\circ}\text{C} + 0,255 T_{ext} \text{ (2)}$$

$$T_o + 2,5^{\circ}\text{C} \text{ y } T_o - 2,2^{\circ}\text{C} \text{ (90\%)} \text{ (3)}$$

$$T_o + 3,5^{\circ}\text{C} \text{ y } T_o - 3,2^{\circ}\text{C} \text{ (80\%)} \text{ (4)}$$

Para la obtención de los resultados de las condiciones de confort se evalúan solamente las temperaturas, pues la ASHRAE 55 (2004, 10) dispensa las demás variables ambientales de HR y velocidad del aire, así como las adaptaciones personales para restablecer sus condiciones ideales, como cambiar la actividad metabólica o la vestimenta y las acciones adaptativas de abrir o cerrar ventanas, encender o apagar un ventilador de techo, etc. (Roaf, Crichton y Nicol 2009).

En los resultados de las condiciones de confort adaptativo se consideraron las horas efectivamente ocupadas, según la identificación de los perfiles de uso y ocupación de los edificios, zona térmica o ambiente aislado.

Teniendo en cuenta la mejor adecuación a los objetivos y contextos del presente estudio, en los espacios no acondicionados serán adoptados los resultados de la evaluación con base en el confort adaptativo como indicadores para las condiciones de confort, de acuerdo con los conceptos presentados en el Apéndice B.6.

La aplicación práctica en el Capítulo 4 utiliza plantillas de cálculo desarrolladas en el *Laboratório de Conforto Ambiental* de la Universidade Federal do Rio Grande do Norte - LabCon/UFRN (Negreiros 2010) y adaptadas en el *Laboratório de Conforto e Eficiência Energética* de la Universidade Federal de Pelotas - LabCEE-UFPel (Knop 2012).

La propuesta de Negreiros (2010) parte del presupuesto de las dificultades para la visualización de las condiciones de confort en otras herramientas, con una nueva representación gráfica de fácil utilización en los estudios para las etapas iniciales del proceso de diseño de los edificios.

La plantilla y gráfica correspondiente - Figura 33 - considera todas las 8.760 horas del año y las respectivas temperaturas medias según el archivo climático: las temperaturas resultantes de la simulación por el programa *DesignBuilder* ( $T_{average}$ ,  $T_{ar}$  y  $T_{rad}$ ); las temperaturas neutras o de confort calculadas con base en los criterios de la ASHRAE 55 (ecuación 4); la temperatura operativa definidas por la ISO 7730, de acuerdo con los comentarios anteriores; como resultado las condiciones de confort son obtenidas con la comparación entre la temperatura media del ambiente y los límites superiores (calor) e inferiores (frío), con la atribución de un indicador (numero 1).



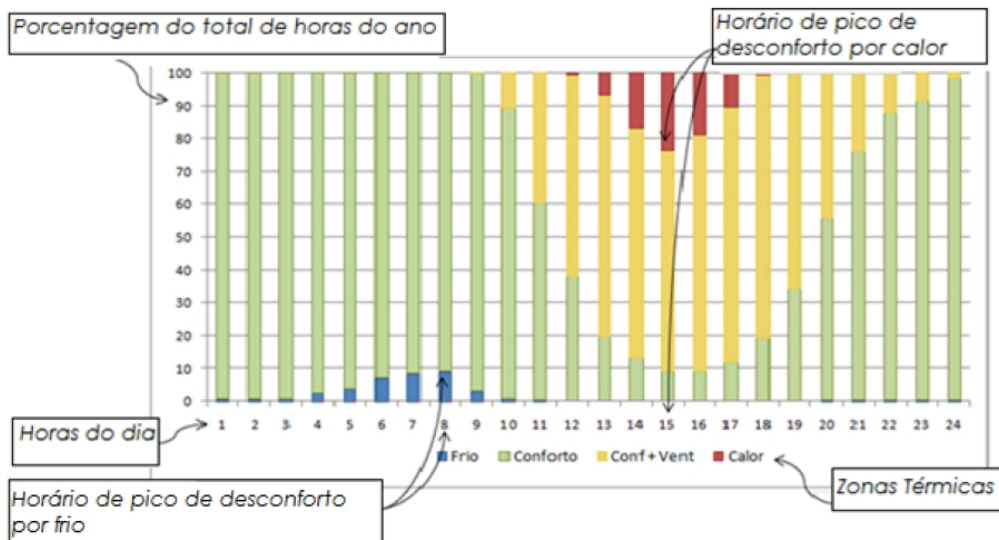
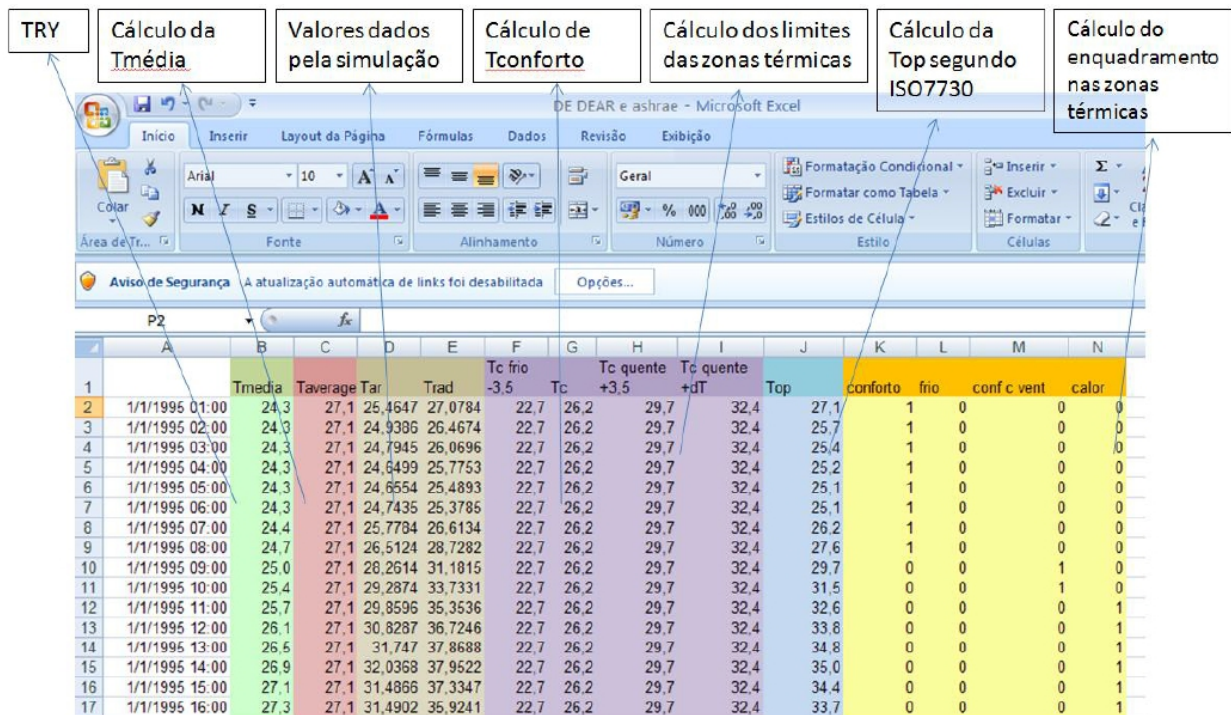


Figura 33 Explicación de los cálculos y representación gráfica de las condiciones de confort adaptativo (Negreiros 2010, 55).

Para la identificación de las condiciones de confort en espacios de uso no continuo, Knop (2012) presenta ajustes en las plantillas de cálculo para definir las franjas horarias efectivamente ocupadas. Teniendo en cuenta las actividades académicas y administrativas, en las evaluaciones de los edificios universitarios de la UPF este recorte se muestra significativo.

## Fase 2 - Evaluación

### Definición de la herramienta de evaluación

Para la evaluación de los datos obtenidos en la etapa anterior, se identificaron 4 grupos de conceptos (Bosch Gonzáles et al. 2006), añadiéndose uno más referente a los requisitos evaluados por las normativas brasileñas:

1. El desempeño de la envolvente;

2. La demanda energética para el acondicionamiento térmico y lumínico;
3. Los sistemas de climatización e iluminación para corresponder a las respectivas demandas;
4. Las condiciones de ocupación y funcionamiento, mantenimiento y gestión y de las condiciones de confort de los usuarios;
5. Los consumos de recursos energéticos de electricidad.

La normativa brasileña RTQ-C contiene los requisitos necesarios para la clasificación del nivel de eficiencia energética del edificio, mientras que el RAC (PROCEL 2010a; 2010b; 2012; Brasil 2013a) presenta el proceso de evaluación de sus características con el objetivo de la certificación y etiquetaje. Los reglamentos, según presentado en el Apéndice B.3, permiten que la evaluación energética sea por medio del método prescriptivo o por simulación.

Para la definición de las herramientas de modelización y simulación han sido evaluados diferentes programas informáticos:

a. el programa *LIDER* (Molina et al. 2004; AICIA 2005), por ser la referencia del CTE (España, Ministerio de Vivienda 2006), ha sido utilizado en un primer momento. Sin embargo, durante la modelización se encontraron problemas en el módulo matemático y otros ya comentados en el Apéndice B (Molina et al. 2004: Cuchi i Burgos 2009), aparte de las dificultades con el interfaz gráfica, por sistemas de coordenadas, y presentación final de las simulaciones (véase Figura 34a). También ha presentado limitaciones en el número máximo de zonas distintas; y especialmente cuanto a las características climáticas distintas de España y la contextualización para el Sur de Brasil. Estas limitaciones y restricciones han llevado a buscar alternativas para el uso de archivos climáticos específicos de Passo Fundo, aunque el programa permita adaptaciones para la determinación de la zona climática a partir de registros climáticos con base en las severidades de invierno y de verano - Apéndice D - HE1 (España, Ministerio de Vivienda 2006, 31-33), resultando en la clasificación como Zona Climática A2 o A3 (ANEXO XII);

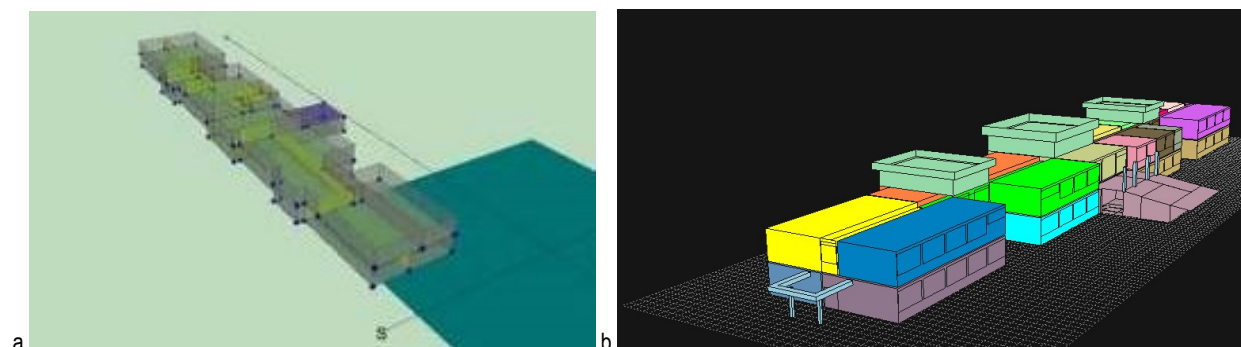


Figura 34 Modelizaciones preliminares del Edificio L1 en los programas LIDER (a) y ECOTECT (b).

b. el programa *Ecotect* (Marsh 2006), aunque permita una fácil utilización para la inserción de los datos geométricos de los edificios (véase la Figura 34b), por su interfaz gráfica a partir de un archivo gráfico *dwf* y con las herramientas para la especificación de las coordenadas de fácil utilización (Attia et al. 2009; 2012; Ibarra y Reinhart 2009) permite una modelización en multi-zonas. Sin embargo, según Delbin y Silva (2007) ha presentado igualmente problemas en el módulo matemático para el desempeño térmico y restricciones en la superficialidad en los patrones de ocupación y composiciones de la envolvente; aunque considerada una herramienta eficaz para las simulaciones de iluminación natural (Reinhart y Fitz 2006); las cuestiones comerciales, con cambios en el registro del software

actualmente de *Autodesk*, igualmente han determinado por no utilizarlo como herramienta de simulación;

c. finalmente se optó por la utilización del *DesignBuilder* (2008; 2011a), desarrollado específicamente en el ambiente del *EnergyPlus* (DOE-USA 2010, 2013), además de permitir una interfaz gráfica de fácil uso en la Arquitectura (Delbin y Silva 2007; Attia et al. 2009; 2012), presenta una practicidad en los *inputs* de las características geométricas de los edificios y zonas térmicas reales según sus especificidades de envolvente, uso, etc.; los resultados posibles de obtención con las simulaciones igualmente han sido considerados en esta opción final. Otro punto que ha contribuido para su elección ha sido que la herramienta está en aplicación en los proyectos de investigación de UPC interrelacionados con este trabajo.

En este sentido, el software *DesignBuilder* v.3 (DesignBuilder 2011b; 2011c) cumple totalmente los requisitos apuntados por los reglamentos brasileños, que en sus requisitos para que las herramientas de simulación sean reconocidas, establece que estén validadas por la ASHRAE Standard 140 - 2007 (ANSI/ASHRAE 2007)<sup>25</sup>, la normativa norteamericana que determina los procedimientos para las pruebas del desempeño térmico de la envolvente y de los sistemas de control. También hace referencia a que el *software* permita la simulación de las 8.760 horas del año y de los sistemas de aire acondicionado de acuerdo con la ASHRAE 90.1 (ASHRAE 2007).

La evaluación por las simulaciones con el programa considera los siguientes grupos principales de variables:

- balance térmico del edificio, con la identificación de las ganancias y pérdidas térmicas (véase el Apéndice B.5), en el nivel de las multi-zonas y del edificio integralmente;
- consumo energético mensual y anual, identificándose los usos finales;
- identificación de las fuentes energéticas y combustibles – “*fuel breakdown*”
- diseño de los sistemas de acondicionamiento (calefacción y refrigeración);
- condiciones de las variables climáticas interiores y exteriores y los respectivos índices de confort, como el PMV de Fanger (1970).

Como modelo de cálculo el *DesignBuilder* presenta 3 opciones: concentrado o *lumped model*, con el ingreso de datos generales para la ocupación y las ganancias como un único valor total, con el valor de *input* máximo de 80W/m<sup>2</sup>; rápido o *early model* con datos de las ganancias internas despejados en grupos para equipos de ordenadores, oficina, procesos, etc.; y el modelo detallado o *detailed model*, donde es posible la inserción de cada uno de los equipos y sus características individualizadas. Para la evaluación de este trabajo se adopta el modelo rápido (*early model*), pero con la necesidad de ajuste para ingreso de datos con el comando “*switch of the slider*”, permitiendo la inserción exacta digitándolos, al revés del modo *default* que permite el máximo de 60W/m<sup>2</sup> por grupo.

Para complementar, los análisis del desempeño térmico de la envolvente incluyeron imágenes de termografía obtenidas por cámara infra-roja, con equipo termovisor 881-1 testo (testo AG 2011b) y el *software* testo IIRSoft (testo AG 2012), según las características presentadas en la Tabla 59 y Figura 230 (Anexo XV).

En la termografía de edificios, esta tecnología está indicada para análisis rápidos y efectivos de las pérdidas de

---

<sup>25</sup> Comprobación del cumplimiento de la ASHRAE 140:2007 por el *DesignBuilder* disponible en: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/corporate/ns/qs\\_designbuilder\\_v3-0-0-097.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/corporate/ns/qs_designbuilder_v3-0-0-097.pdf)>.

energía en los sistemas de acondicionamiento (calefacción y refrigeración). Debido a la alta resolución de temperatura (<80mK), el equipo 881-1 permite la identificación de los puentes térmicos, defectos en el aislamiento o mismo problemas constructivos. Su aplicación en los equipamientos y motores eléctricos permite la evaluación de la distribución del calor en los componentes, permitiendo el reconocimiento precoz de defectos y, por consecuencia, definir medidas preventivas de mantenimiento y prevención de accidentes.

### **Archivo climático**

Después de la definición del programa informático a ser adoptado para las simulaciones de desempeño, ha sido necesario un análisis de los programas complementarios para la obtención de los datos climáticos de Passo Fundo. En este sentido, según el patrón de archivos tipo \*.epw solicitados por los programas *EnergyPlus* (DOE-USA 2008) y *DesignBuilder* (2011b), el archivo específico para la ciudad entonces disponible *Passo\_FuTM2.epw*, desarrollado por el LabEEE-UFSC (2006), no ha presentado inicialmente compatibilidad con los módulos matemáticos de los programas, lo que ha sido solucionado en las versiones actualizadas a partir del 2008<sup>26</sup>.

Como parte del grupo de investigación de la ANTAC - *Associação Brasileira de Tecnologia no Ambiente Construído*, con el objetivo de actualizar los datos climáticos y revisar el *Zoneamento Bioclimático* de Brasil - NBR 15220-3 (ABNT 2005), M. Roriz (2012a) desarrolló el estudio de los datos medidos por las estaciones del INMET - *Instituto Nacional de Meteorologia*, observando las informaciones de 2001 hasta 2010 y 8 variables: temperatura del aire, humedad relativa, temperatura de punto de rocío, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, pluviosidad e irradiación global sobre el plano horizontal.

A partir de la definición de que el formato de los archivos deberían estar adecuados al programa *EnergyPlus*, es decir, el mismo formato \*.epw del LabEEE-UFSC, pero con otras 27 variables, las cuales fueron estimadas por cálculos y conversiones descritos por Roriz (2012a).

Además, otro tratamiento a los datos fue la identificación del año climático de referencia para cada localidad, adoptado el TMY (*Typical Meteorological Year*), resumidamente constituido por la secuencia de datos históricos de varios años, excluidos para cada mes los años más calurosos y más fríos, hasta que quede solamente uno, considerado como el mes típico del lugar, seleccionándose, así, los 12 meses (Barnaby y Crawley 2011). Como subraya Roriz (2012a), desafortunadamente los datos disponibilizados por el INMET son reducidos, cubriendo desde el 2007 o 2008, lo que resulta en una baja representatividad estadística de las ocurrencias climáticas históricas, y apunta que seguramente deberán ser perfeccionadas, a medida que se dispongan de datos de periodos más largos de registro.

Aunque con dichas observaciones, el archivo climático determinado para adopción en las simulaciones en el *DesignBuilder*, fue el *RS\_PassoFundo.epw*, ya con las actualizaciones basadas en la metodología desarrollada por Roriz (2012a; 2012b), según las diferencias presentadas en la Tabla 11, comparándose ambos archivos disponibles.

Igualmente, con el uso del archivo *RS\_PassoFundo.epw*, se unifica la caracterización climática según Köppen

---

<sup>26</sup> DesignBuilder v.1.7.0.022 updated en 4 Nov. 2008 – EnergyPlus v.2.2 updated 22 April 2008; y la versión v.2.9.0002 ( 2011) integrada al EnergyPlus v.6.0.0. (updated 13 September 2011).

(Trewartha 1980) como *Cfa*, presentada en la página 302; la Figura 160 enseña la Carta Psicrométrica aplicada a Passo Fundo y las respectivas estrategias para el diseño bioclimático.

Tabla 11 Datos climáticos para Passo Fundo - Brasil (S 28° 17'; O 52° 24', altitud 684m)

Archivo Climático	Clasificación Climática <sup>3</sup>	GD cal (10°C)	GD ref (10°C)	GD cal (18°C)	GD ref (10°C)
Passo_FuTM2 <sup>1</sup>	Csa 4A	19	2726	773	561
RS_PassoFundo <sup>2</sup>	Cfa 3A	59	2730	776	526

1. Datos desarrollados por LabEEE–UFSC (2006);
2. Datos desarrollados por Roriz (2012b);
3. Clasificación climática según Köppen (Trewartha 1980) y ASHRAE (2007).

### Configuraciones de los modelos

De acuerdo con las normativas brasileñas RTQ-C y RAC (PROCEL 2010a; 2010b; 2012; Brasil 2013a), el método prescriptivo para la evaluación del desempeño de los edificios contiene ecuaciones y tablas que limitan los parámetros de la envolvente, iluminación y acondicionamiento térmico. De otra parte también establecen metodologías para la aplicación de simulaciones, de acuerdo con las consideraciones anteriormente apuntadas; igualmente establecen directrices para las configuraciones de los modelos, cuyos datos de referencia serán adoptados con base en los edificios reales y los requisitos definidos por el *software DesignBuilder* (2011a, 2014). Este método presupone la construcción de un modelo real y modelos de referencia ajustados según el desarrollo de los estudios, teniendo como soporte conceptual las consideraciones presentadas en el Apéndice B.3 y B.4.

De esta manera, el método de análisis por la simulación será el adoptado en esta etapa, así como en la etapa de diagnóstico de los resultados y de las propuestas de intervención para la mejora de los requisitos, por si acaso así lo sean identificadas.

Sin embargo, Claridge (2011) cuestiona como la calibración de las informaciones adoptadas para las simulaciones puede ser utilizada para la operación de los edificios, en aquel caso dirigida a los sistemas de acondicionamiento (ventilación, refrigeración y calentamiento), pero con la extensión a los demás criterios e indicadores para la evaluación de edificios preexistentes. En este sentido los modelos reales y de referencia fueron ajustados según las observaciones a partir de la aproximación a los perfiles de uso y ocupación de cada una de las multi-zonas térmicas.

Dicha calibración incluso permite la evaluación de los impactos generados por las altas densidades de potencia instalada para los equipamientos de los laboratorios especializados, no considerados en las normativas RTQ-C y RAC, pero de importancia para la tipología de edificaciones universitarias en estudio, sea directamente por el consumo energético, sea por los aportes a la generación de calor y consecuentemente su influencia en las condiciones de confort interiores.

### Fase 3 - Diagnósis y líneas de actuación

#### Resultados de las simulaciones y datos reales

A partir de los resultados obtenidos en las fases previas, en esta fase se presenta la compatibilización entre las demandas y consumos energéticos resultantes de la aplicación de los instrumentos y procedimientos para la obtención de los datos reales y mediciones *in-loco*, con los resultados de las simulaciones por el programa *DesignBuilder*:

- Balance térmico, con la identificación de los componentes de la piel o envolvente (muros, cubiertas, ventanas, etc.), equipos y ocupación;
- Indicadores de ecoeficiencia en el consumo energético (kWh/año) y las relaciones con las superficie construidas (kWh/m<sup>2</sup>) y ocupación (kWh/per cápita);
- Desglose de los usos energéticos (kWh/año): electricidad, gas, iluminación, energía auxiliar, generación de calor y refrigeración;
- Demanda de calefacción;
- Demanda de refrigeración;
- Condiciones de confort: índice PMV de Fanger (Fanger 1970; Fanger y Toftum 2002) y del confort adaptativo (Humphreys y Nicol 1998; 2002) y de Dear y Brager (1998; 2002).

Los cálculos de diseño de calefacción con el software *DesignBuilder* (2011c, 603-604) se llevaron a cabo para determinar el tamaño de los equipos de calefacción necesario para cumplir con el diseño de las condiciones climáticas más frías del invierno según el archivo climático adoptado – en este caso *RS\_PassoFundo.epw*. Estos cálculos de diseño se realizan tradicionalmente con métodos de régimen estacionario, como los ofrecidos por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) y CIBSE (*Chartered Institution of Building Services Engineers*); la utilización del *DesignBuilder* para llevar a cabo dichos cálculos adopta el motor de simulación térmica dinámica *EnergyPlus* (DOE 2013).

La simulación calcula la capacidad de calefacción necesaria para mantener los puntos de ajuste de temperatura en cada zona y muestra el desglose de la pérdida total de calor considerándose las siguientes características: acristalamiento, paredes exteriores, particiones internas, suelos continuos, techos, infiltración externa y la ventilación natural interna (es decir, el calor perdido a otros espacios adyacentes fríos a través de ventanas, rejillas de ventilación, puertas, agujeros).

Según el *DesignBuilder* la pérdida total de calor en cada zona se multiplica por un factor de seguridad *default* de 1,5, para dar una capacidad de diseño de calefacción recomendada.

Para los cálculos de diseño de enfriamiento o refrigeración (*DesignBuilder* 2011c, 608-609) se consideran la capacidad de los equipos de refrigeración mecánica necesarios para cumplir con las condiciones de diseño de verano más calurosos del archivo climático. Los cálculos de diseño de refrigeración considera el día 14 de enero, según el archivo climático adoptado.

En las zonas que no son refrigeradas mecánicamente las temperaturas que flotan libremente se calculan incluyendo los efectos de la ventilación natural o mecánica si estas opciones se seleccionan en la ficha de zona HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), en los *inputs* del programa. Estos cálculos de diseño se realizan con métodos de régimen estacionario periódicos tales como el ingreso y los métodos correspondientes factores de respuesta proporcionadas por CIBSE y ASHRAE, adoptándose los patrones y requisitos determinados por el motor de simulación térmica dinámica del *EnergyPlus* (DOE 2013).

La carga máxima de enfriamiento en cada zona se multiplica por un factor de seguridad (1,3 por defecto) para dar una capacidad de refrigeración de diseño. Esta capacidad de refrigeración de diseño se puede determinar directamente en los datos del modelo de capacidad de refrigeración en función de la configuración de la opción de modelo de dimensionamiento del sistema.

### **Modelos teóricos**

A partir de los resultados de la comparación entre el modelo de referencia simulados y los datos reales medidos para cada uno de los edificios analizados, fueron establecidos escenarios para los modelos teóricos:

- Modelo Teórico  $T_1$ : acondicionamiento de todos los espacios de actividades permanentes, para cubrir las demandas por mejoría de las condiciones de confort, bajo los criterios establecidos por las normativas brasileñas RTQ-C y RAC para la certificación en nivel A;
- Modelo Teórico  $T_2$ : además del acondicionamiento de los espacios, fueron evaluados los impactos de la ampliación del uso de ordenadores portátiles por los alumnos y cambios en la envolvente también según los criterios del RTQ-C y RAC;
- Modelo Teórico  $T_n$ : desarrollo de modelos alternativos combinándose resultados, si necesarios para atender las premisas de las evaluaciones previas;
- Modelo Teórico  $T_{ideal}$ : definición del modelo más adecuado a las condiciones y requisitos de la investigación.

Es decir, los modelos tienen como objetivo la mejora de la ecoeficiencia, sea por medio de los elementos de arquitectura (aislamiento y absorción de la envolvente, protección solar, cerramientos transparentes/ventanas), o por el mejor uso y gestión de los equipos y sistemas.

De acuerdo con la Figura 35, para lograr la definición del modelo teórico ideal  $T_{ideal}$  se hace la comparación con los resultados efectivamente ocurridos, según los procesos de medición por medio del sistema *SmartGate*. A partir de la identificación de los diferenciales  $\delta$  entre la situación de simulación (considerándose la ideal) y aquella que ocurre efectivamente medido, se obtiene la equivalencia al edificio real  $\Delta EdificioReal$  y por consecuencia la definición del modelo teórico final  $T_{final}$ .

El correspondiente desarrollo de los modelos en la Fase 3 del Capítulo 4, permite la identificación o la indicación de las soluciones más eficientes para el mejor desempeño energético, además de las mejores condiciones de confort interior.

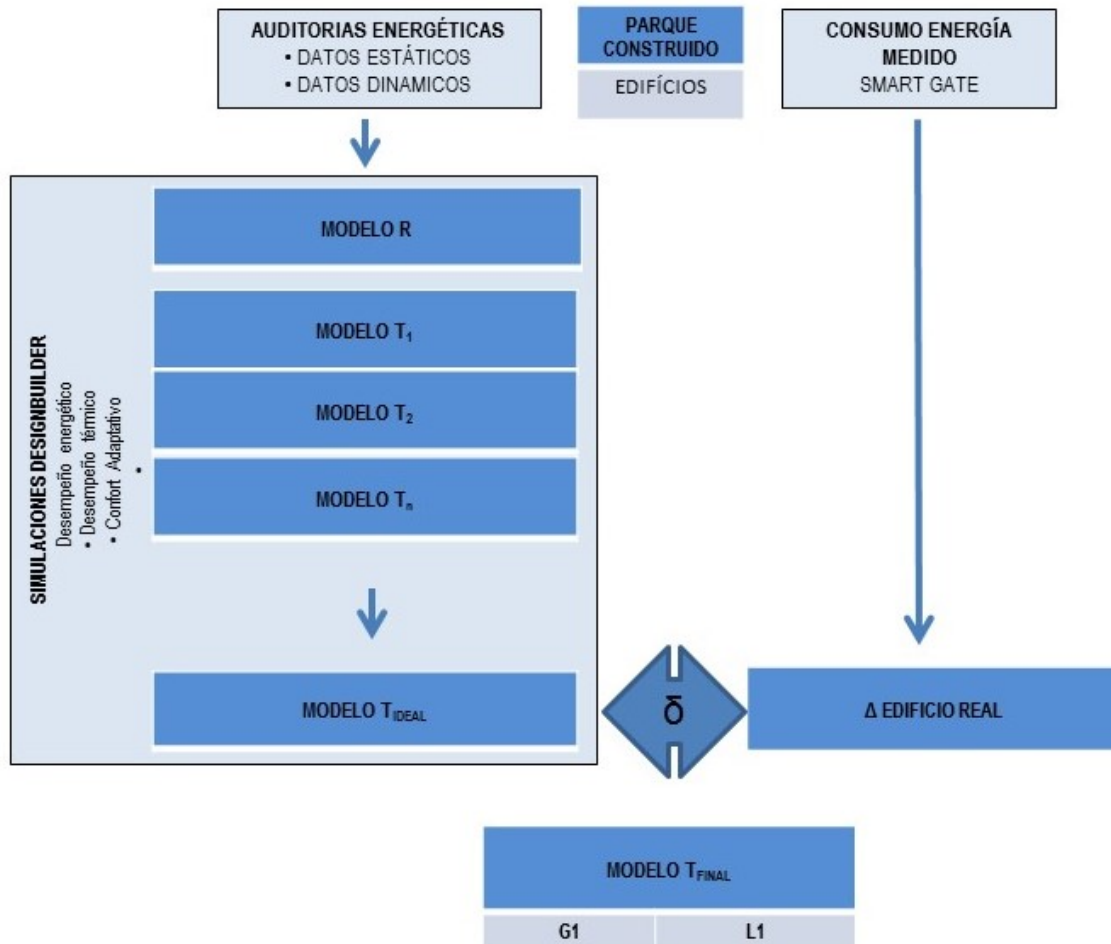


Figura 35 Los modelos de simulación y los datos reales.

La rehabilitación de los edificios para la mejora de las prestaciones en relación principalmente al aislamiento térmico y acústico, y la calificación energética, hace parte de las bases normativas comentadas en el Apéndice B, tanto al nivel europeo, sea por la Directiva Europea para la Eficiencia Energética - DEEE (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2002; 2012) y de la *Energy Performance of Buildings Directive* – EPBD (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2010) o del Código Técnico de la Edificación – CTE (España, Ministerio de Fomento 2013), cómo brasileño por la NBR 15575 (ABNT 2013) y por el RTQ-C (PROCEL 2012).

Las propuestas en este sentido no sólo están basadas en estos marcos normativos, pero en un amplio espectro de soluciones promocionado por el repertorio técnico de profesionales e innovación de materiales y sistemas constructivos, inherentes a la propia Arquitectura, con bases conceptuales y ejemplos prácticos abordados en el Apéndice A.

Dichas consideraciones también hacen parte de las prescripciones del manual propuesto por Cunha (2011) para las edificaciones de UPF, con los requisitos para atender a los niveles A o B del RTQ-C según los modelos predefinidos por la NBR 15220 (ABNT 2005) indicados para el zoneamiento bioclimático brasileño; no obstante, para las cubiertas los modelos referenciales de la normativa no presentan ningún ejemplo con configuración que atienda a los requisitos de nivel A, con el menor valor los modelos con  $U=0,62\text{W/m}^2\text{K}$ .



En las recientes actualizaciones del RTQ-C y RAC (Brasil 2013a; 2013b), nuevas tecnologías han sido incorporadas, además de composiciones de envolventes adecuadas a la Zona Bioclimática 2 donde está ubicado Passo Fundo, tanto para las cubiertas como para los muros exteriores, con modelos de configuración como los presentados en la Figura 36.

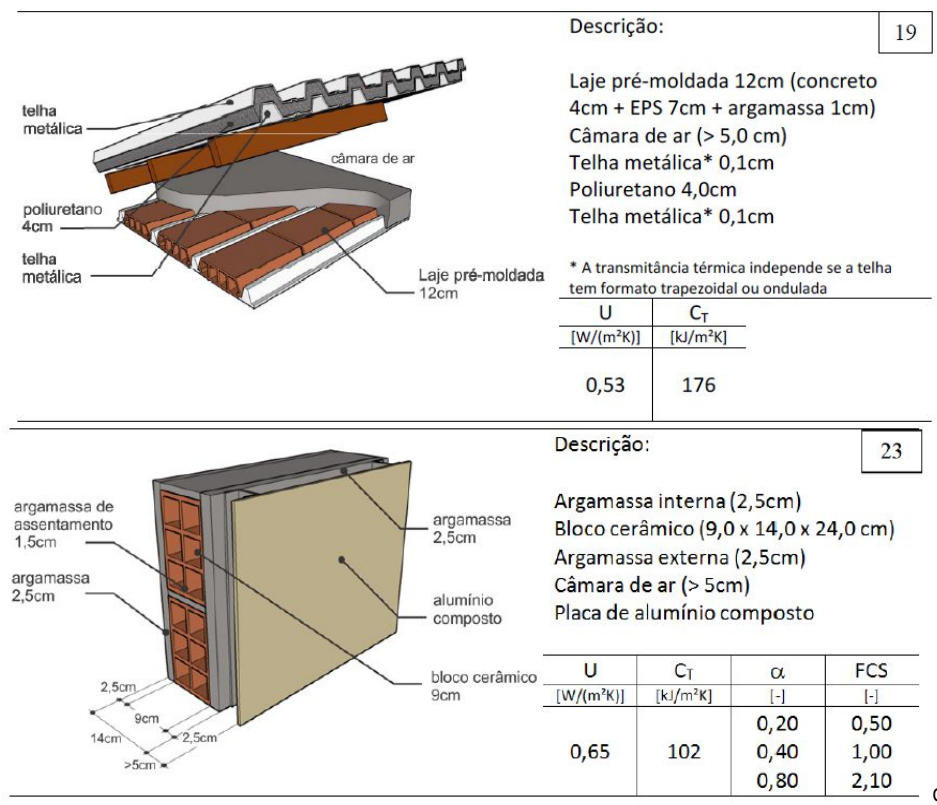


Figura 36 Catálogo de propiedades térmicas de cubiertas y muros exteriores (Brasil 2013b).

### Comparativa de valores de referencia - indicadores de eficiencia energética

Para valorar la eficiencia de los consumos de un determinado recurso, se hace necesario definir los indicadores adecuados que permiten medirla. Los indicadores permiten transformar los datos obtenidos de distintas fuentes en diferentes unidades y herramientas en valores unificados y comparables para ser trabajados y analizados (Cuchi i Burgos 2009, 109).

En este punto también hay que remarcar las diferencias entre la eficiencia y la eficacia en el uso y consumo de los recursos, discusiones presentadas en el Apéndice A.1: se trata de no solo atender las necesidades de manera eficaz, sino también conocer si es eficiente en utilizar los recursos que consume para lograrlo.

La unidad de consumo de energía relacionada con la superficie del edificio - kWh/m<sup>2</sup> es uno de los indicadores a ser adoptado como parámetro para evaluar el desempeño energético del parque construido de la UPF, es decir, el índice de referencia para el grado de ecoeficiencia de cada uno de los edificios; otro índice de referencia utiliza el consumo de energía por usuario (kWh per cápita).

Sin embargo, las limitaciones en la adopción de estos indicadores están indicadas para este estudio específico, donde los consumos son identificados con condiciones de usos similares. Para otros contextos habría que identificar

otros indicadores como kWh/crédito, con una relación directa entre el consumo y los indicadores académicos, o también el desglose más detallado de usos en kWh/hora de usuario, donde los consumos estarían ligados con las distintas actividades. Para esto también hay que evaluar la disponibilidad de las fuentes de obtención de datos y de la fiabilidad de las informaciones.

Además, la valoración de la eficiencia del consumo energético y la calidad del servicio, todavía según Cuchi i Burgos (2009, 109), puede afectar el confort de los usuarios de los edificios. En este sentido, también se valoran los impactos en las condiciones de las variables ambientales de los espacios, de acuerdo con la metodología presentada a continuación.

Se hace importante la discusión y definición del impacto de los factores de demanda, rendimiento y uso y gestión, contextualizados a las condiciones específicas.

A partir de este punto es posible establecer comparativas entre edificios de la UPC y los dos edificios de la UPF, de modo a identificar los indicadores de referencia para el parque construido de la Universidade de Passo Fundo. En este sentido son pertinentes las investigaciones desarrolladas en la UPC, objeto de las valoraciones en los ámbitos del PEGR – *Pla d’Eficiència en el Consum de Recursos* (Bosch Gonzàles et al. 2006) y del *LaboratoriREAL* (Cuchi 2004), presentadas en el apartado 3.2 y Apéndice C.2.

### **Potenciales de ahorro**

Los potenciales de ahorro energético y económico del parque construido universitario están basados en escenarios ideales de optimización de las instalaciones y de la ocupación, con una relación entre el consumo real ( $C_r$ ) y el consumo teórico ( $C_t$ ). Tienen como punto de referencia las investigaciones en el ámbito de la UPC, comentadas en el apartado 3.1 y Apéndice C.2.

Como referencia imprescindible a este estudio, hay que remarcar la tesis doctoral de López Plazas (2006) “Sobre el uso y la gestión como factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación: una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios”. En ella se define que cada uso energético el consumo de energía de un edificio estará relacionado con la demanda (necesidad), el rendimiento de los sistemas que atienden dicha demanda, y el perfil de uso y gestión que en el caso de nuevos edificios se prevea que tendrá el edificio, o en el caso de edificios existentes, que se pueda verificar.

Desarrollando los conceptos básicos iniciales, la investigación propuso una tríada para valorar el peso de cada uno de los factores que inciden en el consumo energético ( $CE$ ) de los edificios, representada por la ecuación 5:

$$CE = \frac{D}{\eta \times C_e} \quad (5)$$

Dónde:

- $D$  equivale a la demanda, resultado de las características de emplazamiento del edificio y de sus características físicas (materiales y técnicas constructivas) y de las condiciones climáticas externas e interiores;
- $\eta$  corresponde al rendimiento de las instalaciones y sistemas;

- y Ge corresponde a la gestión del uso de los espacios y los perfiles de ocupación, representado por las variables de intensidad, distribución espacial y distribución temporal.

La tesis presenta como objetivo la identificación de las relaciones entre los 3 factores de la ecuación, pero en especial, plantea que el factor de uso representa una incidencia determinante en el consumo final de energía, proponiendo una metodología que permita cuantificar, valorar y analizar dicha incidencia (López Plazas y Cuchi Burgos 2005; López Plazas 2006).

También según presentado en el apartado 3.1, se aplican los potenciales de ahorro resultantes de la investigación “Factor Claus per la integració dels criteris ambientals als edificis de la UPC” (Cuchi i Burgos, López Plazas y Leite Frandoloso 2006; Frandoloso 2006; Frandoloso, Cuchi i Burgos, López Plazas 2006).

En este sentido, se permitiría valorar la repercusión de cada uno de los factores de demanda, rendimiento y gestión de uso y sus factores asociados, con una aproximación en términos de recursos financieros, con la asignación de los costes correspondientes a cada uno de los agentes responsables por el coste total de consumo de energía, así como determinar la viabilidad de inversiones para su optimización.

Sin embargo, fueron valoradas las aportaciones de dichas investigaciones en el contexto de la Universidade de Passo Fundo, con la pertinencia, o no, de los requisitos y criterios de análisis y diagnosis para la evaluación de la eficiencia o ineficiencia de los edificios y sistemas.

Con referencia a la caracterización del consumo energético en la Universidade de Passo Fundo, el Apéndice C.3 describe las condiciones de seguimiento de la energía consumida en el Campus I y de los respectivos costes también asociándolos a la superficie construida, desde 2004 hasta 2015, véase la Tabla 46. Se observan las evoluciones de dichas variables, teniendo en cuenta dos situaciones: por un lado la puesta en marcha de equipo de generación de energía en 2006, por otro la gestión de los contratos de suministros por la concesionaria de energía; en algunas períodos correspondieron con importantes reducciones de consumo y recursos financieros.

### **Comparativa de valores de referencia - indicadores de confort**

A partir de la determinación de los parámetros de confort adaptativo obtenidos en la Fase 2, considerándose las características de los edificios G1 y L1, según el RTQ-C (PROCEL 2010a) hay que tener en cuenta la comprobación de las condiciones de confort en los ambientes naturalmente ventilados o no acondicionados, es decir, que las temperaturas se encuentren dentro de la zona de confort durante un porcentaje de horas ocupadas – POC. Dicha comprobación por el método de simulación debe especificar la hipótesis de confort adoptada sea la ASHRAE 55 (ASHRAE 2004) o la ISO 7730 (ISO 2005), pero igualmente permite otras metodologías, temas abordados en el Apéndice B.6.

En este sentido, la adopción del *software DesignBuilder v.3* (DesignBuilder 2011b), cumple con los presupuestos determinados por la ANSI/ASHRAE 140 (ASHRAE 2007), comentados anteriormente. Para la evaluación del POC igualmente la herramienta está adecuada, no solo por cumplir la ISO 7730, con la metodología de PMV de Fanger (1970) y la ASHRAE Handbook - Fundamentals (ASHRAE 2009) válidos para los ambientes acondicionados, pero sobretudo, permite la exportación de los resultados para la aplicación de los estudios de Humphreys y Nicol (1998) y

de Dear y Brager (1998; 2001; 2002), para el cálculo de las condiciones de confort por el modelo adaptativo, también referenciados en el Apéndice B.6, aplicable para los ambientes naturalmente ventilados o no acondicionados artificialmente.

Como anteriormente comentado, para la sistematización de los resultados para la evaluación de las condiciones de confort adaptativo fueron utilizadas las plantillas electrónicas (\*.xls) desarrolladas por el LabCon/UFRN (Negreiros 2010) y LabCEE/UFPel (Knop 2012).

Tabla 12 Equivalente numérico para ventilación natural - EqNumV (PROCEL 2010a, 79-80).

Porcentaje de Horas Ocupadas de Confort	EqNumV	Clasificación final
POC $\geq$ 80%	5	A
70% $\leq$ POC < 80%	4	B
60% $\leq$ POC < 70%	3	C
50% $\leq$ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

También para la sistematización de datos para los retos establecidos por este trabajo, se hacen evaluaciones de los dos edificios y de las multi-zonas específicas, monitorizadas con el seguimiento de las variables ambientales. Es decir, se establecen relaciones entre los resultados y las horas ocupadas – POC, pero sin los cálculos de equivalencia para una certificación de acuerdo con la Tabla 12, apuntada para estudios complementares futuros.

### Líneas de actuación

Por medio de la identificación de las relaciones entre cada factor incidente en el consumo energético del edificio, la presente tesis propone la formulación de una correspondencia entre los aspectos ambientales y económicos.

Estas inversiones pueden ser propuestas en paquetes de medidas con una indicación de prioridades conectadas con las propuestas de intervención y sus respectivos instrumentos y herramientas.

Para la definición de las prioridades se revela imprescindible la participación conjunta de toda la comunidad académica. Se hace referencia a la propuesta de los POE - *Projectes de Optimización Energètica* de la UPC (UPC 2012a; 2012b) con la formación de grupos de trabajo compuestos por personal clave en cada edificio, coordinados por el *Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic* (UPC 2013a; 2013b), comentado en el Apéndice C.2.

Según la presentación del funcionamiento de los POE's (UPC2012a; 2014) el programa es un proyecto de mejora e innovación de la gestión, en un trabajo abierto y desarrollado en equipos y red colaborativa. Como objetivos están la racionalización del uso de los edificios, la promoción de cambios de hábitos y rutinas, es decir, la creación de una "cultura de ahorro y aprovechamiento de los recursos". No obstante, no se considera como un plan de inversiones en la eficiencia energética o la creación de líneas de subvenciones, o tampoco una "faena de los del mantenimiento".

Las líneas de actuación pueden estar insertadas en procesos similares a lo que se propone en la NBR-ISO 50001 (ABNT 2011) con la operacionalización de un *Energy Management System* – EnMS, donde la propia institución establece sus políticas energéticas y respectivos objetivos, metas y acciones para alcanzarlos, comentados en el Apéndice B.2.

Son imprescindibles las consideraciones a los instrumentos normativos institucionales de la propia Universidade de Passo Fundo, principalmente al PDI - *Plano de Desenvolvimento Institucional UPF 2012-2016* (UPF 2012) y del *Manual do Sistema de Gestão Ambiental da UPF* (Assumpção, Peluso y Freschi 2011), comentados también el Apéndice D.

## **Fase 4 - Propuestas de intervención**

### **Procesos de toma de decisiones**

Con base en las experiencias efectivas de planeamiento de la UPC y UPF, identificadas en el Apéndice C, es posible evaluarlas y proponer ajustes en los procesos de toma de decisiones, principalmente para la inclusión de criterios ambientales para el parque construido existente o en futura construcción.

La valoración de los procesos administrativos a lo largo de la implementación de los planes ambientales y/o estratégicos de las dos IES, permitió identificar los puntos fuertes y débiles de cada uno de los contextos. En este sentido, la discusión de las aportaciones metodológicas entre ellas ayuda la construcción de las pautas y de los mecanismos necesarios para efectiva inserción de la ecoeficiencia en cada uno de los procesos donde sean imprescindibles una clara y definida responsabilidad de los agentes involucrados, es decir, toda la comunidad académica.

También se hace referencia al PDI de la Universidade de Passo Fundo y a la *Política de Responsabilidade Social 2013/2016* (Dalmolin y Moretto 2014), donde está definida la *Política Ambiental Institucional*, abordadas en el Apéndice D.

### **Políticas para la ecoeficiencia de edificios universitarios**

De modo a incluir la propuesta de criterios para la mejora de la ecoeficiencia del parque construido de la UPF, para la calificación de las infraestructuras (edificios y sistemas) se propuso el *Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energético para a Universidade de Passo Fundo*.

De acuerdo con lo ya comentado, este programa hace parte de la discusión del proceso de gestión institucional contenida en el PDI para el período 2012-2016 (UPF, 2012) y de la definición de la *Política de Responsabilidade Social 2013/2016* (Dalmolin e Moretto, 2014), instrumentos normativos todavía en estructuración de los mecanismos de acción, establecimiento de responsabilidades y plazos, donde hay un vínculo importante con los procesos de toma de decisiones.

### **Plan de actuaciones**

A partir de los resultados presentados se indican futuras acciones para la complementación de las diagnosis, para cada uno de los proyectos necesarios para el atendimento de las demandas térmicas y energéticas y/o de confort de los usuarios, tales como las certificaciones energéticas o los análisis económicos.

### **Certificaciones energéticas**

Para la consolidación del *Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética*, los edificios preexistentes o de nueva

construcción, las alternativas de propuestas de intervención podrán tener una herramienta complementar fiable cómo la certificación de los edificios según los procedimientos definidos por el RTQ-C y RAC (PROCEL 2010a; 2010b; Brasil 2012a), teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Cerramientos opacos y transparentes;
- Equipos y sistemas de iluminación y acondicionamiento;
- Condiciones de confort;
- Sistemas de agua caliente sanitaria;
- Motores y bombas;
- Gestión de los recursos: energía y costes.

### **Análisis económico**

En etapas posteriores, a partir de la aplicación de los instrumentos para la identificación de los potenciales de ahorro y de los resultados de las simulaciones de desempeño (*DesignBuilder* 2011), según las condiciones de confort adaptativo (de Dear y Brager 1998), a las alternativas denominadas como propuestas de MCE - medidas de conservación de energía, se podrán aplicar tres indicadores: el coste de la energía ahorrada (CEA), el coste del ciclo de vida (VPCCV) y el *pay-back* simples, indicadores estos con base en Carlo (2008) y Martinaitis, Rogoža y Bikmanienè (2004) y los estudios de aplicación de Vega, Cunha y Silva (2010).

Las propuestas de mejora, como cambios en la envolvente o en la distribución funcional de la programación arquitectónica, o en los sistemas y equipos de iluminación y climatización, podrán ser evaluados según el cálculo del CEA (Martinaitis, Rogoža y Bikmanienè 2004) para una alternativa compuesta de una o más MCE.

En el concepto del CEA, la comparación con un edificio-base permite valorar la economía proporcionada con la propuesta de MCE, donde el resultado del coste sea menor que 1 kWh (tarifa de energía), la inversión puede ser considerada como ventajosa. Es decir, los valores por debajo de la tarifa pueden ser considerados relevantes, según Carlo (2008) un valor para CEA próximo al de la tarifa, no significa que sea menos interesante que un valor próximo de cero, pues el potencial de ahorro podrá ser más alto, valorándose así, consumo y costes.

El coste del ciclo de vida (VPCCV) se considera como la suma de los costes para la implementación de la MCE con los costes para la construcción y energía consumida, no necesitando un caso-base. Sin embargo, para la evaluación hay que considerarse el período de ciclo de vida del edificio, en este caso, adoptándose 30 años, según McBride (1995, 4-5). A partir de estos cálculos es posible determinar los costes con consumo de energía (VPE) y posteriormente el retorno de las inversiones o sea, el *payback* simples.

El programa brasileño para la mejoría en la eficiencia energética en los edificios públicos hace parte de los *Recursos da Reserva Global de Reversão - RGR*, en el ámbito del *Programa de Eficiência Energética nos Prédios Públicos - Procel EPP*, con fondos para inversión de la ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A. Los recursos del programa son destinados a la aplicación en proyectos en los sistemas de alumbrado existentes, sistemas de acondicionamiento térmico, sistemas de fuerza y motores, mejoría de la envolvente del edificio y/o en la

reducción del consumo de energía en equipos incluso calderas eléctricas.

Como otra contribución para estudios futuros, la guía elaborada por Silva (2011, 35) propone la evaluación económica del proyecto por medio del Cálculo de la Relación Beneficio-Coste - RBC, de cada uso final, considerando los costes de los nuevos equipamientos, la vida útil y las inversiones económicas, comparadas con las previsiones de ahorro energético en términos de reducciones económicas y de demanda energética.

### **3.3 La metodología para la inserción de la eficiencia energética en los edificios universitarios**

A partir de las informaciones recogidas se establecen los indicadores que permitan reflejar las características específicas de cada uno de los edificios que compone el cuerpo de estudio, agrupados en 4 grupos: edificio, uso, consumo energético e impacto ambiental.

Para el análisis y el tratamiento de los datos, se utilizan como punto de partida los métodos presentados por López Plazas (2006), para la obtención de perfiles de uso y ocupación de cada compartimento de los edificios y de perfiles de consumo de energía. Este método resulta en una representación gráfica de un factor de gestión para cada edificio; de forma simplificada, este factor de gestión representa el grado de eficacia (o ineficacia) en el uso de los recursos energéticos.

Como continuación del diagnóstico anterior se elaboraron los instrumentos que permitieron establecer las bases de la metodología para la inserción de la eficiencia energética en edificaciones universitarias.

Con base en las nuevas referencias ambientales, determinadas por las evaluaciones precedentes, se desarrollaron propuestas de optimización de los resultados de cada uno de las edificaciones o tipologías de edificios del parque ya construido. De esta manera es posible valorar el desempeño de los factores (demanda, rendimiento y gestión de uso) y proponer las inversiones necesarias para alcanzar los niveles óptimos/deseados predeterminados y los indicadores de ecoeficiencia.

Para los edificios nuevos permitirá la simulación de su comportamiento futuro, considerando dichos perfiles deseados, y sobretodo viables, para cada uno de los factores, es decir, proponer además de las características espaciales y constructivas del edificio y de las instalaciones, las características de uso y ocupación que garanticen una eficiencia energética integrada. En este sentido, involucrando los proyectistas en todo el proceso de diseño, construcción y utilización.

A partir de la definición de los nuevos parámetros ambientales, se definen las estrategias para que los mismos sean viables. Es decir, se proponen los instrumentos teóricos que se generarán en la estructura organizativa de la universidad para garantizar su adopción y también proponer los respectivos mecanismos de control de los procesos.

En este sentido, el Capítulo 4 presenta los resultados de la aplicación de la metodología, ajustada para el contexto específico determinado por las diagnosis, es decir, la puesta en marcha de las cuatro fases propuestas ya descriptas: Fase 1: inventario y levantamiento de datos; Fase 2: evaluación; Fase 3: diagnosis y líneas de actuación y Fase 4: propuestas de intervención.

## 4 EVALUACIÓN Y DIAGNOSIS DE LA ECOEFICIENCIA EN LA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

En esta etapa del trabajo fue aplicada la evaluación energética en el parque construido de la Universidade de Passo Fundo, tomando en cuenta los parámetros e indicadores de la metodología general y las adecuaciones al contexto específico de la UPF, comentados en el Capítulo 3.

### Fase 1: Inventario y levantamiento de datos

En primer lugar se seleccionaron los edificios para objeto de estudio según las 2 tipologías encontradas en la UPF, según presentado en el Apéndice C.3, tanto por sus características constructivas como por las características funcionales y de ocupación.

En la Fase 1 se diferencian los datos estáticos y dinámicos, según explicado en el apartado 3.2. Cuanto a los datos estáticos, se hicieron una recogida de planos e informaciones descriptivas de los 2 edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FEAR).



Figura 37 Ubicación de los edificios L1 y G1 en el Campus I – UPF (adaptado de Google Earth 2017).

Respecto a las informaciones de ubicación e interrelación entre los edificios (véase Figura 37 y Anexo IX-A), así como el edificio G1 está ubicado en un contexto edificado en todas sus fachadas, el edificio L1 está construido aisladamente, cercado de áreas verdes y humedales.



Cuanto al microclima, el estudio de Quevedo Melo et al. (2007)<sup>27</sup> indica que en el entorno donde están ubicados los edificios las temperaturas son más bajas que el restante del área (Figura 210 del Anexo IX), ya que presenta un albedo más alto y superficies con mayor absorción de la radiación solar – predominantemente césped; cuanto a la humedad relativa encontrarse en la región con índices más altos, incluso por la proximidad al agua y humedales – Figura 211; la velocidad del viento en esta parte es la más alta del estudio, ya que la influencia de la vegetación es menor, sin barreras – Figura 212.

En relación a sus características generales los edificios presentan las siguientes configuraciones:

- Edificio G1: el edificio principal de la FEAR, donde están localizados los sectores administrativos de la unidad académica y las clases para los cursos de grado y postgrado, con construcción según los patrones adoptados en el segundo momento de implantación del campus y con reformas recientes, cuando se instalaron los protectores de radiación solar en las fachadas Noreste y Noroeste, con 3 plantas y área construida total de 2.791,42 m<sup>2</sup> - Figura 38;



Figura 38. Edificio G1: a. fachada principal noreste - NE; b. fachada noroeste - NO (fotografías del autor 2011).



Figura 39 Edificio L1: a. fachada principal sudsudeste - SSE; b. fachada noroeste - NNO (Fotografías del autor 2011).

- Edificio L1: edificio del Curso de Ingeniería de Alimentos y del CEPA (Centro de Investigaciones Agropecuarias), una edificación según los sistemas constructivos actualmente adoptados, pero sin ninguna protección solar en las ventanas, según se puede observar en la Figura 39, incluso con la utilización de soluciones emergenciales para la protección a la radiación solar – Figura 40, con dos plantas y área construida de 3.842,92m<sup>2</sup>.

<sup>27</sup> Han sido colectados datos con anemómetros, higrómetro y termómetro en 80 puntos distribuidos en el campus, con análisis estadístico con el programa SURFER v.8, según los resultados gráficos presentados en el Anexo IX.B.



Figura 40 Solución emergencial para protección solar en una ventana de orientación Noroeste, edificio L1 (Fotografía del autor 2011).

### Características de la envolvente

De acuerdo con las premisas presentadas en el Apéndice B, para la definición de las características de la envolvente ha sido adoptada una metodología basada en referencias a base de datos, según la normativa brasileña, también referenciada en las normativas españolas del CTE y considerada de entre las metodologías de deducción no destructivas apuntadas por Pérez Cobos (2013).

Sobre los aspectos constructivos el edificio G1 fue ejecutado con paredes con 14cm de espesor, en ladrillos cerámicos de 21 huecos verticales (Figura 42a) aparentes externamente y con revoco de mortero interior, la estructura de pilares de hormigón prefabricados y jácenas de hormigón moldados in-loc, con techos de poliestireno expandido 15mm en la planta superior.

Ya el L1 se construyó con paredes de 24cm de espesor, constituidas de ladrillos como descrito para el G1 y más una capa de ladrillo macizo interior, externamente aparentes y con revoco de mortero interior (Figura 42b); ya los forjados son de losas macizas de hormigón, con revestimiento interior en revoco de mortero. La Figura 41 presenta la caracterización general de sendos edificios.

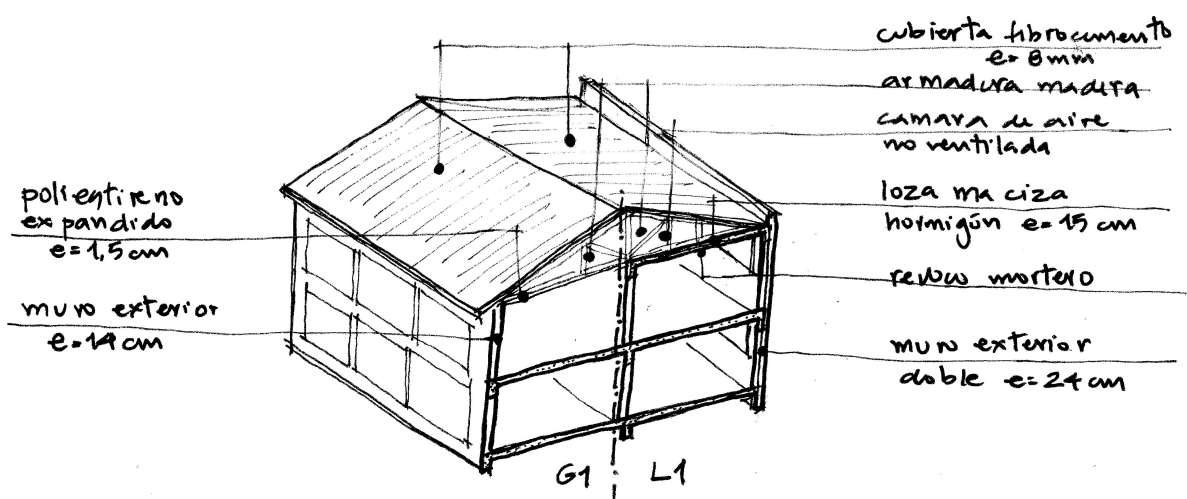


Figura 41 Croquis de la caracterización constructiva de las envolventes de los edificios G1 y L1.

Para las cubiertas de los dos edificios se utilizaron tejas de fibrocemento 8mm, con armadura en madera, este sistema es el más común empleado en las construcciones brasileñas. Las cámaras de aire entre tejas y techos no

permiten una abertura de ventilación, aunque en el caso del edificio G1 diversos problemas de mantenimiento hacen con que los paneles de poliestireno expandido estén sueltos o incluso con brechas, causando el ingreso de aire frío o caliente directamente en los ambientes y pérdidas o ganancias térmicas no deseadas para la garantía del confort interior.

Para la obtención de valores para las propiedades físicas de los materiales adecuados a la realidad tecnológica de Brasil<sup>28</sup>, ha sido adoptada la biblioteca *LIB nacional.DDF* desarrollada a partir de las investigaciones del LabEEE-UFSC (Ordenes et al. 2003) e incorporadas en las normativas NBR 15220 (ABNT 2005), NBR 15575 (ABNT 2013a) y los requisitos básicos para el RTQ-C (PROCEL 2010a; 2013b) y RAC (PROCEL 2010b).

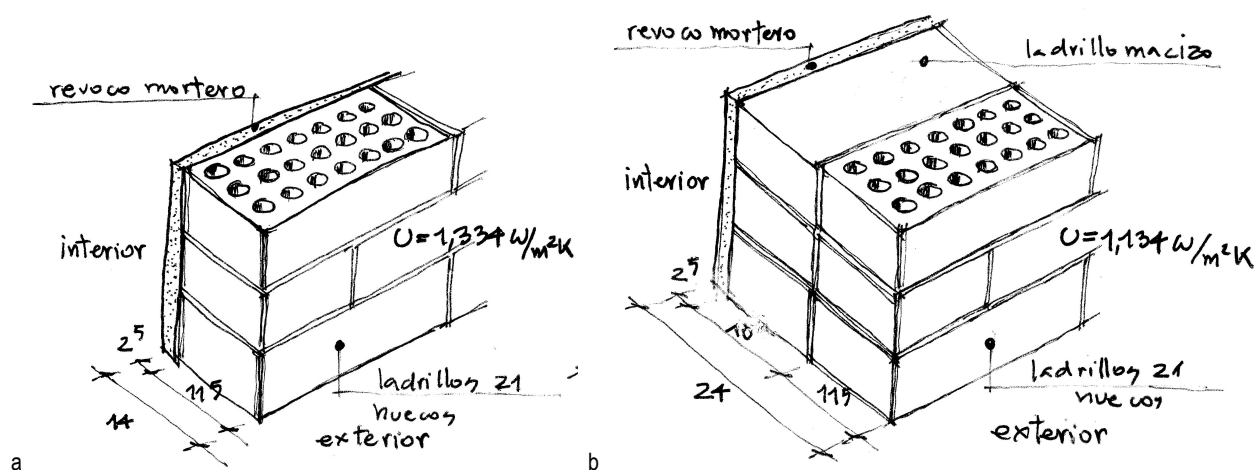


Figura 42 Representación de la construcción de los muros exteriores de los edificios G1(a) y L1 (b).

Con base en estas adaptaciones regionales, incorporadas a los cálculos del *DesignBuilder* (2011a), resultaron los siguientes coeficientes de transmisión térmica  $U$ , Tabla 13:

Tabla 13 Coeficientes  $U$  de la envolvente de los edificios G1 y L1.

Edificio	Cubierta	Muros Exteriores
G1	$U=2,212W/m^2K$	$U=1,334W/m^2K$
L1	$U=2,167W/m^2K$	$U=1,134W/m^2K$

Por otra parte, según la metodología del RTQ-C (PROCEL 2013b, 24), adoptada para las evaluaciones de la envolvente, para obtener el Nivel A en la ZB2 (Zona Bioclimática 2) para las cubiertas los valores del coeficiente  $U$  admisibles son de  $0,50W/m^2K$  para ambientes acondicionados artificialmente y  $1,00W/m^2K$  para ambientes no acondicionados; para los muros exteriores el valor admisible es de  $U \leq 1,00W/m^2K$ . Para los demás niveles los valores admisibles están presentados en la Tabla 14, con una diferenciación para las cubiertas en los ambientes acondicionados artificialmente y aquellos no acondicionados o acondicionados naturalmente.

Una evaluación preliminar clasifica en el nivel B con relación tanto a los muros en el edificio L1 como en el G1; para las cubiertas los coeficientes  $U$  están consideradas en un bajo nivel de calidad (C o D). Estos datos son mejor analizados en la Fase 2, integrándolos con las demás variables, sin embargo las peores características son

<sup>28</sup> Las características de los materiales y sistemas constructivos, además de los cálculos de las propiedades térmicas están presentados en el Anexo XIII.

presentadas por las cubiertas.

Tabla 14 Coeficientes U admisibles según los niveles de calidad RTQ-C para la ZB2.

Nivel de Calidad	Cubiertas		Muros Exteriores
	Acondicionados	No acondicionados	
<b>A</b>	$U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
<b>B</b>	$U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (G1 y L1)
<b>C y D</b>	$U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (G1 y L1)		$U \leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Una evaluación a cerca de la eficiencia energética del edificio G1 por Teixeira, Schiffel y Cunha (2011)<sup>29</sup>, clasifica la envolvente como nivel C, con base en el método prescriptivo del RTQ-C y RAC, según los diferentes parámetros de cálculo, según la Figura 43 y el Anexo XXI.

Índices		Equivalente Numérico
AU	Área útil (m <sup>2</sup> )	2629,21
A <sub>TOT</sub>	Área total de piso (m <sup>2</sup> )	2832,28
A <sub>PCOB</sub>	Área de projeção de cobertura (m <sup>2</sup> )	1223,45
A <sub>ENV</sub>	Área da envoltória (m <sup>2</sup> )	2749,96
V <sub>TOT</sub>	Volume total da edificação (m <sup>3</sup> )	27614,73
PAF <sub>T</sub>	Percentual de área de abertura de fachada (%)	0,32
AVS	Ângulo vertical de sombreamento	37,64
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento	21,82
FS	Fator solar	0,87
Q <sub>PAR</sub>	Absortância solar da parede	0,65
α <sub>COB</sub>	Absortância solar da cobertura	0,75
U	Transmitância térmica da parede	3,4
U	Transmitância térmica da cobertura	1,32
IC <sub>mín</sub>	Indicador de consumo mínimo	23,24
IC <sub>máx</sub>	Indicador de consumo máximo	49,93
<b>IC<sub>env</sub></b>	<b>Indicador de consumo da envoltória</b>	<b>26,4</b>

\*considerado: Zona Bioclimática 2; Ape >500 m<sup>2</sup>

Figura 43 Análisis de la envolvente del edificio G1 según RTQ-C (Teixeira y Cunha 2010, 4).

## Instalaciones y equipamientos

A partir de la caracterización de cada uno de los espacios (Anexo XIV.A), con la identificación de los usos energéticos, tales como acondicionamiento, alumbrado, equipos, etc., ha sido posible caracterizar los datos estáticos de sendos edificios. Los resultados generales están presentados en la Tabla 15, en la cual se percibe que las superficies acondicionadas correspondían a solamente un 12,72% en el edificio G1 y un 29,17% en el L1, por otra parte la potencia instalada para acondicionamiento era de 20,54% y 29,28%, respectivamente.

<sup>29</sup> Véanse los resultados de los análisis coordinados por Cunha (Teixeira y Cunha 2011; Teixeira, Schiffel y Cunha 2011) en el Anexo XXI.A, cuyos datos del inventario de referencia fueron proporcionados por esta investigación. Las diferencias entre los coeficientes U calculados por el método prescriptivo del RTQ y NBR 15220:2005 utilizados por los investigadores y de los calculados en el software *DesignBuilder* adoptados en este trabajo, se deben a la utilización de distintas metodologías sin considerar las adaptaciones desarrolladas por Ordenes et. al (2003) y los ajustes en las propiedades de los materiales según la biblioteca LIBnacional.ddf.

De modo a cumplir los requisitos para la evaluación de los sistemas de iluminación y de aire acondicionado por el RTQ-C, en el Anexo XIV.B son detallados cada uno de ellos.

Con relación al edificio G1, la existencia del Laboratorio de Informática para todos los cursos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura determinaba que un 66,18% de la potencia instalada estaba destinada para equipos (como ordenadores e impresoras); de construcción más antigua, son todavía utilizadas bombillas de gran consumo y bajo rendimiento (110W) lo que resultaba un 13,28% para alumbrado. Además, la distribución de los aparatos de iluminación artificial no permiten una utilización eficiente, integrada con la luz natural suplementar, es decir, no ha sido proyectada para que permita el encendido de áreas más lejanas a las ventanas cuando la luz natural sea suficiente para iluminar los planos de trabajo en las superficies más cercanas.

Tabla 15 Caracterización de los datos estáticos y demanda teórica de energía, 2009.

Ed.	Área útil (m <sup>2</sup> )	Ocupación teórica	Sup.Acondic. (m <sup>2</sup> )	Potencia Acondic. (%)	Potencia Equipos (%)	Potencia Alumbrado (%)	Pot. total (W)	Densidad (W/m <sup>2</sup> )
G1	2.696,56	859	343,03	20,54	66,18	13,28	283.150	105,00
L1	3.389,77	645	988,70	29,28	63,67	7,05	539.660	159,21

Cuanto a los equipos es evidente que el L1, por tratarse de laboratorios con una alta densidad, presente una carga instalada equivalente a 63,67%, y con una pequeña parte relativa al alumbrado (7,05%). Cabe decir que en este edificio, de construcción más reciente, los reactores y lámparas son más eficientes (32W), cuando comparadas a las instalaciones de iluminación del G1.

Consecuentemente, los datos globales representaban una densidad instalada de 159,21W/m<sup>2</sup> en el L1, mientras que en el G1 es de 105,00W/m<sup>2</sup>.

Sin embargo, para la demanda de equipamientos fueron adoptados los factores de demanda o de uso. Para los equipos de cocinas y laboratorios en general la *ASHRAE Fundamentals* (2009b, Ch. 18) indica la utilización de factores de uso (*usage factor - F<sub>u</sub>*) según diversas tablas a partir de los estudios de Swierczyna et al. (2008; 2009) y Hosni, Jones y Xu (1999), con valores asociados también a los factores radiantes (*radiation factor - F<sub>r</sub>*) de las aportaciones de calor sensible al ambiente.

Para ordenadores y equipos de oficinas, el concepto indicado es el de la diversidad (ASHRAE 2009b, 18.9). La relación entre la carga eléctrica pico medido en el equipo y la suma de la carga eléctrica máxima de cada elemento individual del equipo es la diversidad de uso. La contribución de ganancia de calor al espacio en áreas mayores, con densidades de equipos más elevadas, como las que se observan en los laboratorios y clases de los edificios estudiados, fueron estudiadas por Wilkins y Hosni (2000) con los factores de carga presentados en la Figura 44, adoptados para el desarrollo de los modelos de simulación.

**various types of offices**

<b>Load Density of Office</b>	<b>Load Factor, W/m<sup>2</sup></b>	<b>Description</b>
Light	5.4	Assumes 15.5 m <sup>2</sup> /workstation (6.5 wc 100 m <sup>2</sup> ) with computer and monitor a printer and fax. Computer, monitor, at 0.67, printer diversity 0.33.
Medium	10.8	Assumes 11.6 m <sup>2</sup> /workstation (8.5 wc 100 m <sup>2</sup> ) with computer and monitor a printer and fax. Computer, monitor, at 0.75, printer diversity 0.50.
Medium/ Heavy	16.1	Assumes 9.3 m <sup>2</sup> /workstation (11 work 100 m <sup>2</sup> ) with computer and monitor a printer and fax. Computer and monitor printer and fax diversity 0.50.

Figura 44 Factores de carga recomendados para varios tipos de oficinas (Wilkins y Hosni, 2000 apud ASHRAE 2009, 18.13).

Según las directrices para las instalaciones eléctricas definidas por la compañía suministradora (CEEE 2012), para escuelas y usos semejantes la carga mínima de cálculo es 30W/m<sup>2</sup>. Los factores de demandas para las instalaciones de fuerza y alumbrado son de 86% para los primeros 12kW y 50% para lo exceda dicho límite; estos factores fueron aplicados a los equipos de procesos en los laboratorios.

Con base en el inventario desarrollado por esta investigación, según la evaluación coordinada por Cunha (Teixeira, Schiffel y Cunha, 2011) aplicándose el método prescriptivo del RTQ-C, el edificio G1 fue clasificado como nivel de eficiencia energética *D* para los sistemas de iluminación, mientras que los sistemas de aire acondicionado obtuvieron la clasificación *B*<sup>30</sup>.

En la actualización de los datos para la demanda de energía eléctrica en 2012 se observó que no hubo cambios significativos en los equipos fijos, especialmente para laboratorios, o en la iluminación. Igualmente en el edificio L1 no hubo cambios en la superficie acondicionada y tampoco en la potencia de los equipamientos de aire acondicionado; por otra parte en el edificio G2, se instaló un sistema de aire acondicionado *Split* en el Auditorio (48.000Btu/h) y puntualmente en las clases destinadas al postgrado con baja potencia (12.000Btu/h), en este sentido la superficie acondicionada fue ampliada para 624,11m<sup>2</sup> (23,16% del total del edificio), presentando algunos cambios en los datos - Tabla 16, donde la potencia para acondicionamiento sube para 25,56% del total, y la densidad total pasa a ser de 113,06W/m<sup>2</sup>.

Tabla 16 Caracterización de los datos estáticos y demanda teórica de energía, 2012.

<b>Ed.</b>	<b>área útil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ocupación teórica</b>	<b>Sup.Acondic. (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencia Acondic. (%)</b>	<b>Potencia Equipos (%)</b>	<b>Potencia Alumbrado (%)</b>	<b>Pot. total (W)</b>	<b>Densidad (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>G1</b>	2.696,56	863	624,11	25,56	62,10	12,34	304.668,39	113,06
<b>L1</b>	3.389,77	645	988,70	29,28	63,67	7,05	539.660	159,21

Con el objetivo de minimizar los efectos del calor y de la falta de una buena ventilación cruzada, en los últimos años

<sup>30</sup> Véanse los resultados de la investigación de Cunha et al. en el Anexo XXI.B.



se instalaron en las clases, ventiladores con tensión nominal de 127 o 220V, en número de 2 a 4 por sala, según sus superficies y necesidades funcionales para oficina y despachos o clases. De acuerdo con la certificación por el INMETRO<sup>31</sup>, los equipos certificados de la marca TRON presentan nivel de eficiencia A.

Sin embargo, aunque sea un mecanismo de adaptación para el confort (Apéndice B.6), la eficiencia del uso de la ventilación mecánica para las características climáticas de Passo Fundo es restricta; según las directrices definidas por la Carta Psicrométrica (Givoni 1969) está recomendada para 9,0% de las horas del año (786 horas) - véase la Figura 160 del Apéndice C.3, situadas principalmente en el período del verano, o sea, sin actividades académicas.

### Perfiles de uso

Los análisis de los usos de cada uno de los ambientes, según los planos presentados en las Figura 28 y Figura 29, permitieron la caracterización de las multi-zonas térmicas de acuerdo con las denominaciones y patrones del *DesignBuilder*.

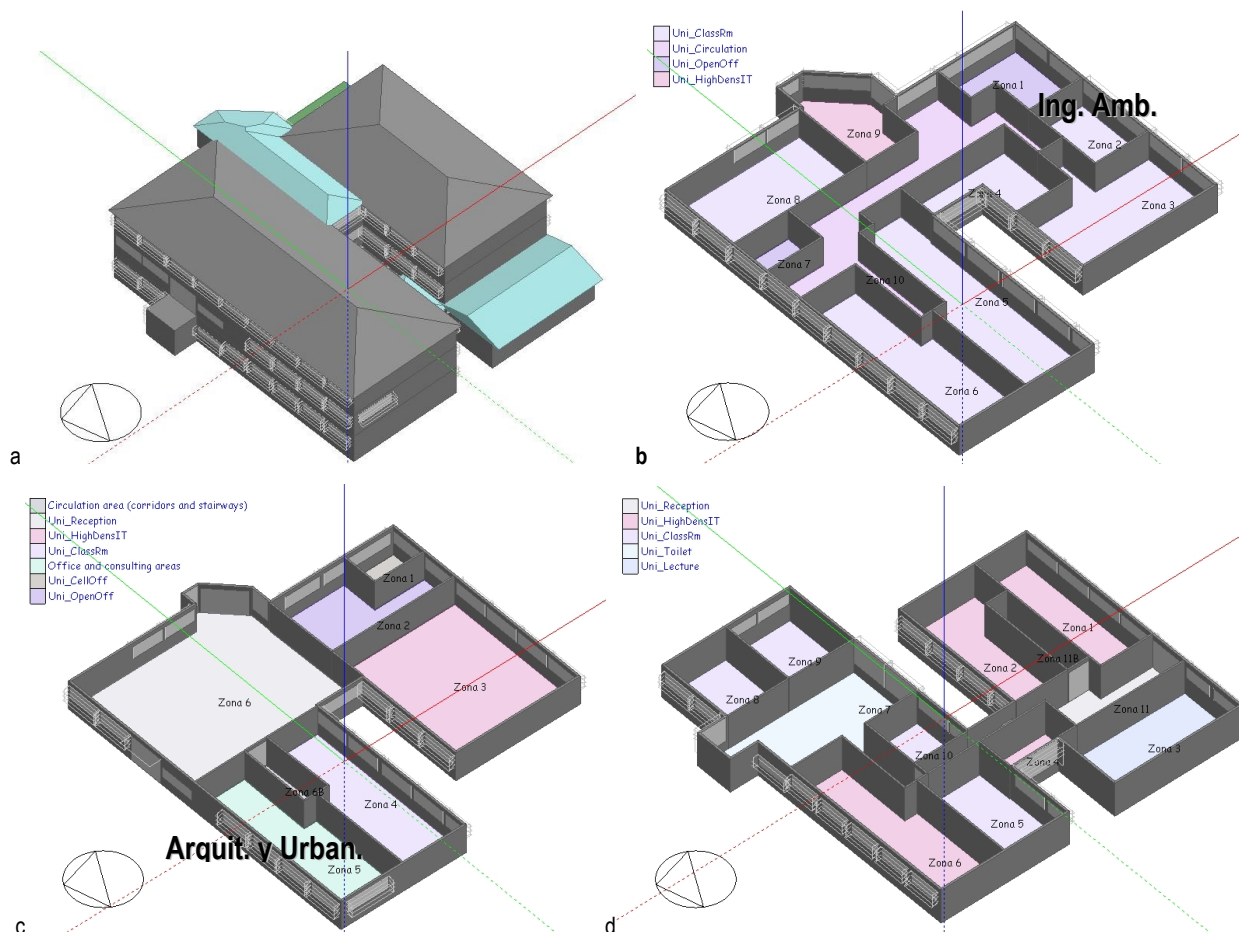


Figura 45 a. Modelización del edificio G1 (*DesignBuilder*) - multi-zonas térmica; b. planta superior.; c. planta baja; d. subsuelo.

Las diferencias básicas entre los usos de los 2 edificios son que mientras en el G1, predomina el uso administrativo

<sup>31</sup> La clasificación de la eficiencia de los ventiladores de techo está referenciada por el Selo PROCEL del Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO, comentado en el Apéndice B, disponible en [http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ventiladores\\_de\\_teto\\_220v.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ventiladores_de_teto_220v.pdf).

y de aulario; en el L1 predominan laboratorios especializados (*Uni\_HighDensIT* y *Uni\_Lab*) y despachos (76,18%), con un 23,82% para clases (*Uni\_ClassRm*). La Figura 252 – G1 - y la Figura 253 – L1 - muestran las configuraciones de las multi-zonas de acuerdo con el *DesignBuilder* (2011a); la representación de todas las plantas y los respectivos usos está presentada en el Anexo XVII-A.

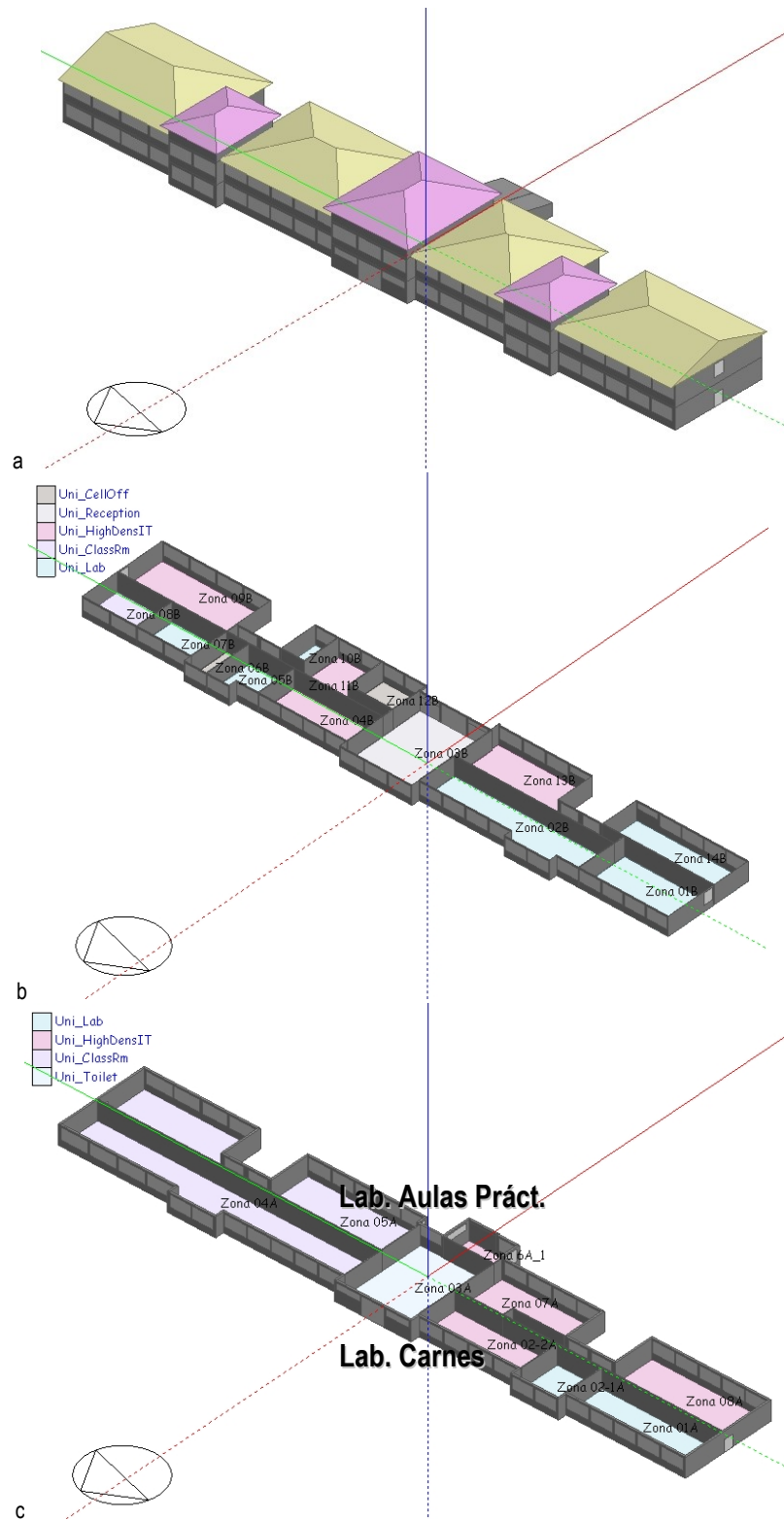


Figura 46 a. Modelización del edificio L1 (*DesignBuilder*) - multi-zonas térmicas; b. planta baja; c. subsuelo.



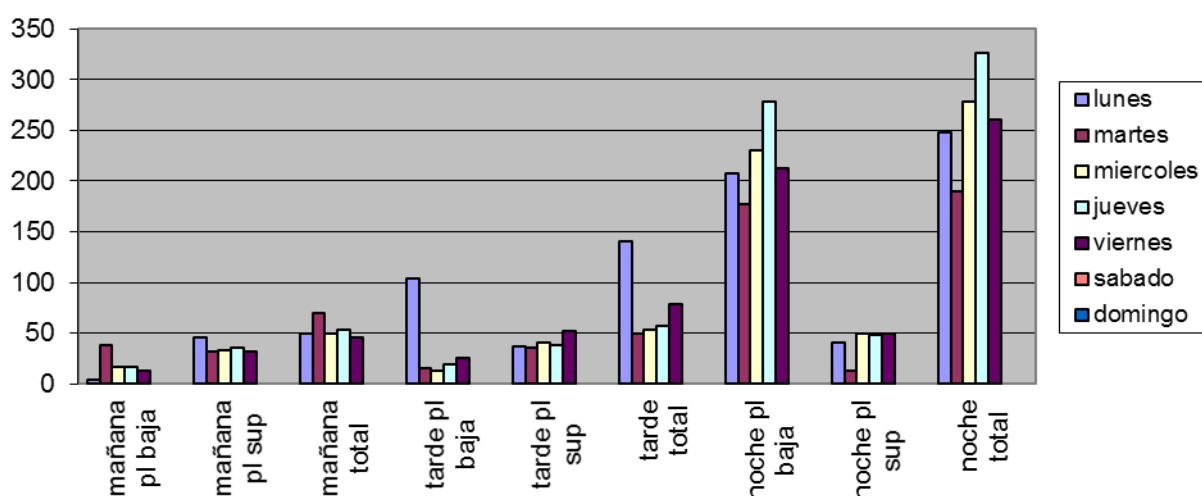
En el edificio G1 (Figura 45) las 3 plantas han sido agrupadas según las especificidades funcionales, percibiéndose en el sótano las salas de aula en la orientación NO y laboratorios y salas de profesores en las demás y un pequeño auditorio; en la planta baja el espacio de acceso (cuadrante nordeste), sectores administrativos (cuadrante sudeste) y laboratorio de informática (cuadrante sudoeste), en el cuadrante nordeste están ubicadas las salas de aulas y la Secretaría del Curso de Arquitectura y Urbanismo, donde está instalado el equipo de monitorización de las variables ambientales (Figura 45c y Figura 231); en la segunda planta predominan los sectores de clases, con la ubicación de otro punto de control, la Secretaría del Curso de Ingeniería Ambiental (Figura 45b y Figura 233).

Por otro lado, en el edificio L1 (Figura 46) se percibe la ocupación predominante de laboratorios y algunas salas de aulas: en el ala oeste de la planta baja están ubicados los diversos laboratorios, y en el ala leste salas de aula, en esta planta se localizan los puntos de las variables ambientales (Laboratorios de Carnes - Figura 235, y de Aulas Prácticas - Figura 237), apuntados en la Figura 46c; en la planta alta de acceso principal, están localizados algunos ambientes administrativos, pero los laboratorios son los usos mayoritarios.

### Seguimiento de la intensidad de uso

El perfil de uso para clases en la Universidade de Passo Fundo se desarrolla en tres períodos: mañana entre las 08:00 y 11:35; tarde entre 14:00 y 17:35 y noche, entre 19:20 y 22:35. Las actividades administrativas transcurren generalmente por las mañanas y tardes, excepto aquellas con vinculación directa a las actividades académicas (secretarías de facultades y cursos). En los sábados por la mañana hay actividades de clases y de secretarías en algunos cursos. Estas franjas horarias han determinado los *schedules*, según la Figura 254 del Anexo XVII.B, para las simulaciones presentadas a continuación.

Además del estudio de los perfiles de uso, los levantamientos de la ocupación han identificado una ocupación teórica de 859 (G1) y 645 usuarios (L1), con base en la capacidad máxima de las clases por turnos y laboratorios prácticos (informática y aulas) y en la ocupación real de los laboratorios especializados del L1.



Mañana: 08:00/11:35; Tarde: 14:00/17:35; Noche: 19:20/22:35.

Figura 47 Ocupación (número de usuarios) de los espacios del edificio L1 – ago.-nov 2008.

Sin embargo, el seguimiento de la efectiva ocupación del edificio L1 por turnos y la distribución en las plantas baja y superior (Figura 47) demuestra que la mayor ocupación está concentrada en el periodo nocturno, por las características de los cursos que utilizan las aulas. El período diurno, en especial por las mañanas, el uso es esencialmente de los laboratorios que disponen de servicios externos a la universidad (análisis de calidad de la leche, por ejemplo), con equipos con funcionamiento permanente.

La Figura 48 presenta la evolución del número de alumnos matriculados en la FEAR a partir de 2003, donde se percibe una ampliación estable entre 2003 y 2006, incluso con pequeños decrecimientos entre semestres de un mismo año, sin embargo en 2007 el número de plazas disponibles, además de la oferta de otros cursos<sup>32</sup> desencadenó un aumento importante; en el análisis del período entre 2003-2014 hubo un aumento de alrededor de 118%: de 1.144 pasó a 3.430 estudiantes. El reflejo de esta ampliación ha sido percibido en la ocupación de todo el espacio físico disponible, con aumento también del número de alumnos por clase (Frاندoloso et al. 2013).

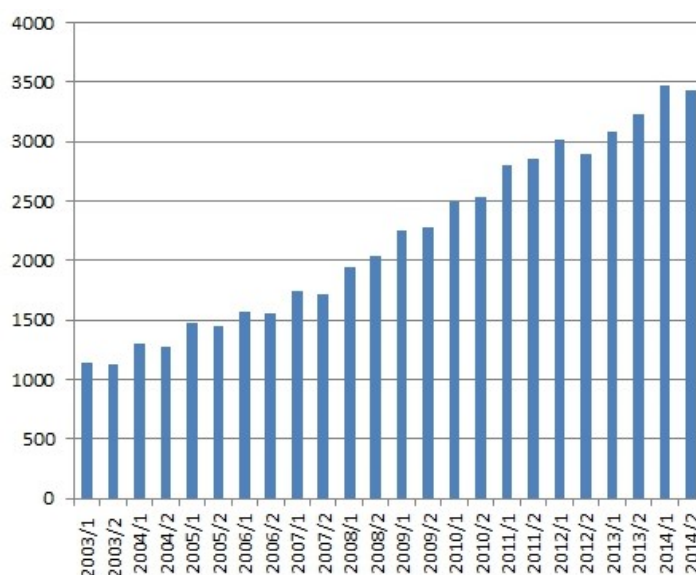


Figura 48 Evolución del número de alumnos en la FEAR-UPF 2003-2014 (datos proporcionados por la Dirección FEAR).

A partir de este aumento en la demanda de los cursos, para facilitar la gestión de los espacios de aulas en los edificios de la Facultad, la dirección está haciendo un control detallado del número de matrículas de las asignaturas para definición de las salas según su capacidad.

A partir de las plantillas de recogida de datos de cada uno de los ambientes - Tabla 8 - del Capítulo 3 – se puede evaluar la ocupación de cada una de las clases; por las características de cada uno de los cursos se percibe en la Figura 49 las diferencias de ocupación entre los períodos del día, con la concentración de actividades por las tardes y noches.

En números absolutos en el edificio G1 por las mañanas 730 alumnos ocupan las salas, 1.191 por las tardes y 1.846 por las noches, mientras que en el L1 la ocupación por las mañanas es un poco mayor que en el G1, 830

<sup>32</sup> La Facultad de Ingeniería y Arquitectura - FEAR, concentra 11 cursos de graduación en Arquitectura y Urbanismo, Ingeniería Civil, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Ambiental, Ingeniería de Alimentos, Ingeniería Química, Ingeniería de Producción Mecánica, Tecnología en Design de Producto, Tecnología en Fabricación Mecánica, además de 2 programas de maestría y doctorado en Ingeniería Civil y Ambiental y Proyecto y Proceso de Fabricación, y una serie de cursos de especialización.

alumnos, pero por la tarde y noche son menores, 720 y 1.551 alumnos, generando la totalidad de 3.767 en el G1 y 3.101 en el L1.

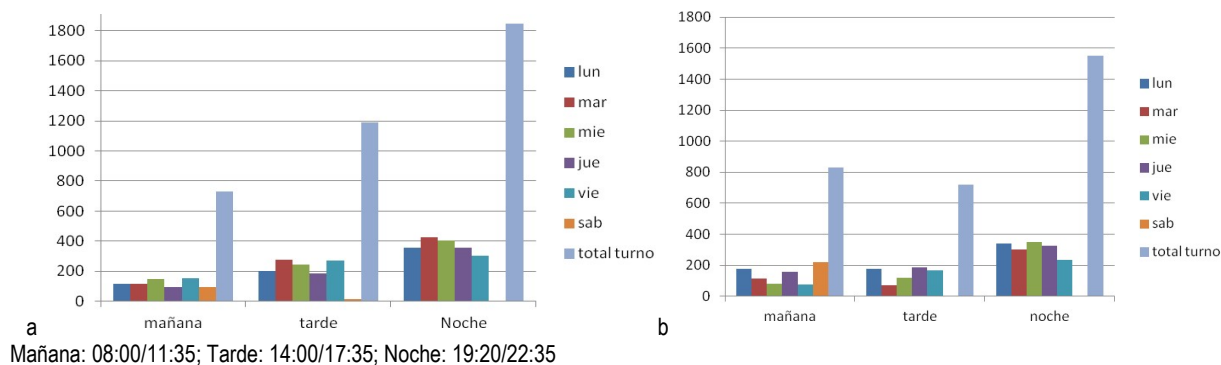


Figura 49 Ocupación de las clases en los edificios G1 y L1.

En este sentido, algunas clases no presentan una regularidad en la ocupación, generando espacios con baja ocupación a lo largo de la semana; los cambios para la compatibilización de la estructura física están directamente vinculados a concepción del funcionamiento de los once cursos de la FEAR, con ofrecimiento de plazas nocturnas para atender las demandas.

Observándose las graficas resultantes de la distribución del uso y ocupación de los espacios en los edificios, la mayoría está concentrada en el periodo nocturno, coincidiendo con la franja de mayor coste del horario punta entre las 18:00 y 21:00 horas. Además de sobrecostes e incluso multas por exceder a la tarifa contractada, este fato decorre en la puesta en marcha de la autogeneración por generador a diésel, comentada en el Apéndice C.3.

Estas mismas diferenciaciones fueron adoptadas para la configuración de cada una de las zonas térmicas, considerándose igualmente las diferenciaciones de orientación solar.

### Seguimiento del consumo de energía

A partir de los datos recogidos con las 2 herramientas se pudo identificar el consumo de energía para los años de 2009 hasta 2012. Hay que señalar que los meses de diciembre, enero, febrero y julio el régimen de ocupación se presenta diferenciado con vacaciones para alumnos, profesores y empleados; en dichos períodos las actividades son reducidas a las administrativas, con clases especiales ocasionales.

Los análisis del consumo mensual de sendos edificios para los años de 2009 hasta 2012 - Tabla 17 y Figura 50, evidencian la interferencia del uso y ocupación de cada uno de los edificios, especialmente en los meses de verano, ya que aún las actividades académicas estén reducidas a las actividades básicamente administrativas, el edificio L1 sigue con un alto consumo debido a los laboratorios con funcionamiento continuo - SARLE, además de la necesidad de mayor aporte energético para las instalaciones de aire acondicionado de estos mismos laboratorios en los períodos de calor y mayor radiación solar.

Con estos resultados de los edificios fue posible hacer una relación con sus correspondencias con el consumo total de energía en el Campus I: para el edificio G1 entre un 5 y 6%, mientras que en el L1 representan entre un 6 y 7%.

Para los totales de consumo anual, el edificio G1 presentó una variación de 12,99% entre 2009 y 2010, pasando de 176MWh/año para 199MWh/año, mientras que para el período 2010-2011 hubo una disminución de 4,16% (191MWh/año) y volviendo a aumentar en el período entre 2011-2012 (13,55% - 217MWh/año). Sin embargo, con valores nominales mayores, el edificio L1 tuvo una variación menor (8,51%) para 2009-2010, pasando de 226MWh/año para 254MWh/año, el año de 2011 representó un pequeño crecimiento en el consumo energético (2,17% - 251MWh/año) volviendo a aumentar con el porcentaje de 6,40% en 2012 (267MWh/año), conforme presentado en la Figura 51.

Tabla 17 Consumo energético edificios G1 y L1 entre 2009-2012 (kWh)<sup>33</sup>.

	G1				L1			
	2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012
Ene	10.720,00	10.201,50	10.201,50	12.956,10	18.300,00	18.300,00	18.300,00	16.823,80
Feb	6.160,00	15.725,30	12.772,80	12.961,74	16.450,00	16.450,00	14.999,04	15.124,27
Mar	13.440,00	16.632,60	10.949,28	11.938,40	10.400,00	24.714,50	18.869,76	12.010,00
Abr	14.520,00	15.891,10	17.667,36	21.007,86	21.400,00	21.791,90	21.418,32	24.745,14
May	12.880,00	14.116,00	17.307,36	22.759,92	20.550,00	14.707,00	21.127,68	26.635,49
Jun	16.218,50	19.444,50	19.491,84	22.983,12	17.625,80	21.559,80	20.611,92	26.945,03
Jul	17.297,00	15.928,30	15.928,30	21.817,38	20.268,00	16.279,30	16.279,30	25.625,74
Ago	17.926,50	20.106,50	19.720,20	15.562,50	20.266,80	23.011,50	23.034,06	27.089,16
Sep	16.315,80	18.654,00	21.669,96	21.669,96	21.207,80	21.437,30	25.285,05	24.868,48
Oct	19.083,30	20.224,80	15.411,54	22.940,34	22.180,00	25.480,30	25.651,01	26.714,66
Nov	16.664,30	17.228,30	15.254,46	15.677,34	19.550,00	23.710,50	24.060,61	19.107,34
Dec	15.239,80	15.239,80	14.722,80	14.722,80	18.000,00	18.000,00	21.128,59	21.128,59
Total	176.465,20	199.392,70	191.097,40	216.997,46	226.198,40	245.442,10	250.765,34	266.817,70

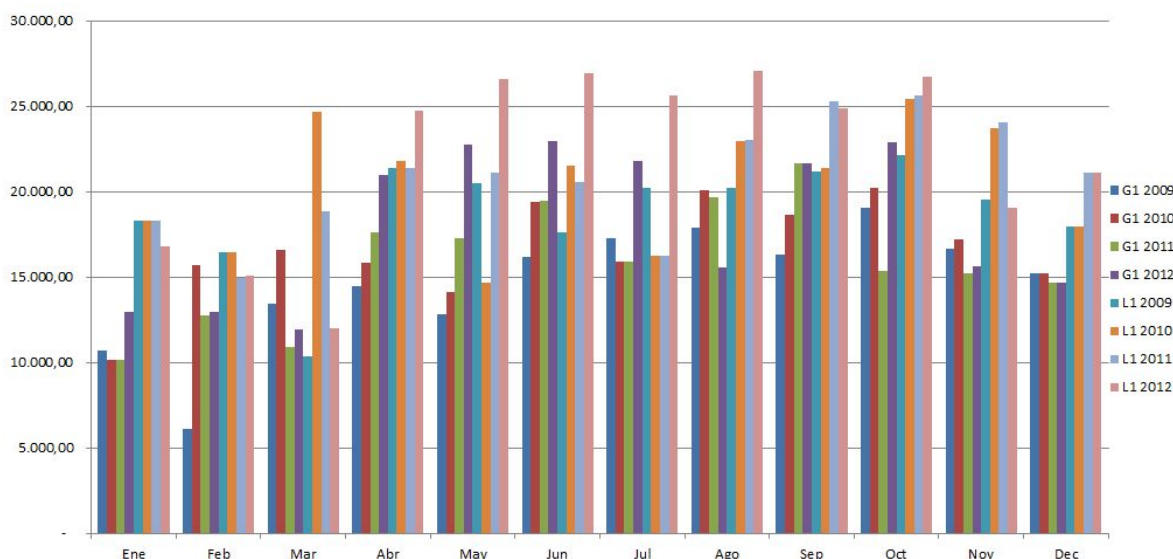


Figura 50 Gráfica comparativa del consumo mensual de energía en para los edificios G1 y L1 entre 2009-2012 (kWh).

El análisis del desempeño energético mensual enseñado en la Figura 50, permite decir que en algunos meses (de

<sup>33</sup> Datos medidos según los procedimientos presentados en el apartado 3.4. Para los meses de enero a mayo de 2009 (en color azul claro) se utilizaron los datos a partir de los medidores analógicos, con la validación para los datos del *SmartGateM* según presentado en el apartado 3.4; informaciones complementares presentadas en el Anexo XIV. En períodos con datos inexistentes (en color rosado) por fallos en el registro por el sistema *SmartGateM* (Gestal 2009), fueron considerados iguales al mismo período del año anterior.

abril a junio y octubre de 2012) las diferencias inicialmente observadas entre el consumo en el edificio G1 y L1 han disminuido, prácticamente igualándose.

La comparación entre el período de 2009-2012 - Figura 51, enseña las alteraciones en el consumo de energía con un aumento de 22,97% en el edificio G1 y 17,96% en el L1. En el Anexo XIV.C están representadas tablas y graficas complementares, comparándose el consumo de cada uno de los edificios individualmente.

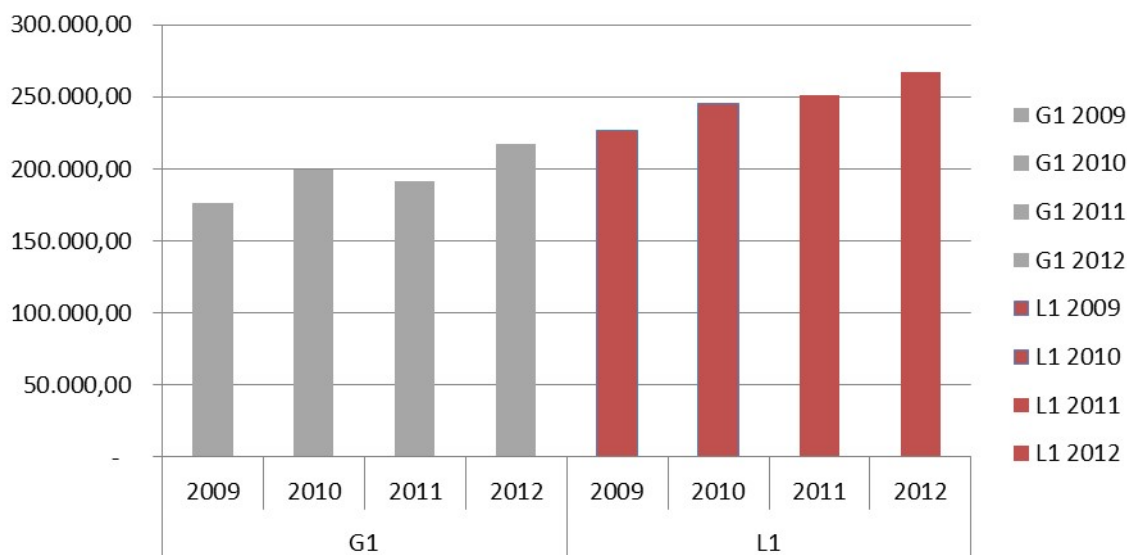


Figura 51 Comparativa del consumo de energía anual G1 y L1 (2009-2012).

Otra vez se percibe la influencia del patrón de uso y ocupación de los ambientes en el consumo de energía, pues en el G1 el aumento del uso de ordenadores portátiles es evidente en las clases (uso predominante en el edificio), pasando a ser utilizado por los profesores y la gran mayoría de los alumnos, en virtud de su adopción en larga escala tanto como herramienta didáctica como en la informatización de la producción académica, especialmente por los programas para proyectos como *CAD*, *REVIT*, etc.



Figura 52 Clase de proyectos y conflicto con las instalaciones eléctricas para notebooks (fotografía del autor 2011).

Dicho aumento en la demanda incluso ha generado conflictos entre las instalaciones eléctricas existentes y el número de equipos por clase - Figura 52, actualmente resuelto parcialmente, ya que el *lay-out* de las salas,

constituido por mesas individuales convencionales, debería ser totalmente readecuado a estas nuevas configuraciones y demandas de infraestructuras.

En la hipótesis de que cada uno de los alumnos utilice un ordenador portátil encendido, el consumo representa 17Wh<sup>34</sup> por notebook, en modo activo (Sousa, Schembeck y Andrade 2011). Estos valores en un primero análisis no parecen significativos, pero al considerarse la totalidad de turmas y alumnos por semana, con los ordenadores encendidos (en modo activo) por 2 horas en cada uno de los 3 turnos, el consumo sería de 316,30kWh en el edificio L1 y 384,23kWh en el G1<sup>35</sup>.

El impacto de la utilización de ordenadores para las actividades didácticas, fueron objeto de simulaciones en los modelos teóricos, desarrollados en la Fase 4.

### Seguimiento de las variables ambientales

Inicialmente haciendo una referencia al estudio previo desarrollado por Cunha y de Negri (2007) y Cunha et al. (2007), las mediciones de las variables ambientales indicaron diferencias de cerca de 5°C entre clases con misma orientación solar Norte en los 2 edificios: sala 27 (G1) y Laboratorio de Carnes (LabCar) y sala 103 (L1), según presenta la Tabla 18, con las temperaturas de bulbo seco y humedad relativa (HR) obtenidas por mediciones puntuales.

Además de los coeficientes *U* de la envolvente, la principal diferencia entre las salas es la ganancia térmica por la radiación solar: mientras la sala 27 presenta protectores solares exterior e interior (Figura 38), ya las salas del L1 no presentan ninguna protección exterior (Figura 39).

Tabla 18 Variables ambientales en salas de G1 y L1 por estación del año (adaptado de Cunha y de Negri 2007).

sala	Sala 27		LabCar		Sala 103	
estación	Temp. (°C)	HR (%)	Temp. (°C)	HR (%)	Temp.(°C)	HR (%)
primavera	22.2	51.8	23.9	49.5	25.5	45.6
verano	23.5	53.3	28.5	48.6	28.4	49.3
otoño	21.2	57.0	25.5	47.3	25.8	46.1
invierno	20.6	39.2	24.2	46.2	25.1	44.0

En el ámbito de este trabajo, las mediciones de temperaturas internas y de la humedad relativa (HR)<sup>36</sup> efectuadas fueron registrados a lo largo de 12 meses (21 de enero de 2010 hasta el 28 de enero de 2011), con los *data loggers* testo 175-T1 y 175-H2 (AG testo 2006; 2009; 2011a) según las características y prestaciones presentadas en el Anexo XV.

Los datos permiten identificar una gran amplitud térmica en cada una de las salas, característica del clima local (subtropical húmedo), que determinan situaciones diversificadas para garantizar las condiciones ideales de

<sup>34</sup> En estudio de Sousa, Schembeck y Andrade (2011) los notebooks consumen un promedio de 17Wh en modo activo y 6Wh en stand-by, generando 99,36MW/año para mil unidades, con 12 h en modo activo y 12h en espera diários (Notebooks HP Pavilion DV5 y Dell Vostro 1015, P3).

<sup>35</sup> Considerándose el número de alumnos del primero semestre lectivo de 2013: 3101 en el L1 y 3767 en el G1, según presentado adelante, en el seguimiento de la intensidad de uso.

<sup>36</sup> Por cuestiones técnicas de falta de equipos específicos en las variables ambientales no se hicieron mediciones de la cantidad de CO<sub>2</sub> en el aire interior.

habitabilidad de los ambientes interiores. Dichos datos (Frاندoloso y Brandli 2015) ratifican la influencia de las características arquitectónicas de ambos edificios: para el L1, sin protectores solares, las temperaturas máximas han sido superiores a aquellas observadas en el G1, con protectores solares; en la Tabla 19 están evidenciados los valores máximos y mínimos.

Tabla 19 Mediciones de las variables ambientales (21/01/2010 hasta 28/01/2011).

Edificio	Ambiente/orientación	Variable ambiental	Mín.	Fecha	Máx.	Fecha
G1	Sec. Arquitectura y Urbanismo (NO)	HR (%)	20,0	9/dic	87,1	22/mar
		temp. interna (°C)	10,8	21/jul	36,7	5/feb
	Sec. Ingeniería Ambiental (SE)	temp. interna (°C)	9,7	16/jul	33,9	7/feb
L1	Laboratorio de Carnes (NNO)	HR (%)	20,2	13/jul	84,7	19/jul
		temp. interna (°C)	13,4	20/jul	39,0	3/abr
	Laboratorio de Aulas Prácticas (SSE)	temp. interna (°C)	10,5	4/ago	40,3	26/dic

En el Anexo XV están presentados todos los datos del seguimiento de las variables ambientales, ampliándose el período de evaluación para finales del año de 2012. En la comparación de las condiciones extremas de temperatura entre los 2 períodos se observan diferencias de hasta -2°C en las mínimas y +4°C en las máximas, registradas en la Secretaría de Ingeniería Ambiental.

### Condiciones de confort: investigación directa con los usuarios

La primera etapa de la investigación (Frاندoloso 2012; Frاندoloso et al., 2010; Frاندoloso, Brandli y Pedroso 2012<sup>37</sup>) buscó evaluar las condiciones de los usuarios directamente envueltos, con la aplicación de encuestas – Anexo XVI.A - a través del PMV (Fanger 1970; Fanger y Toftum 2002), caracterizándose el ambiente interno y externo a partir de mediciones de las variables de temperatura radiante, humedad relativa, velocidad de aire y las temperaturas de bulbo seco y húmedo (termómetro de globo).

La aplicación de estas encuestas en salas predefinidas permitió también evaluar la influencia del confort térmico en el desempeño académico de los universitarios, con la caracterización de las sensaciones según la escala de siete niveles de Bedford (ASHRAE 2004; Mondelo et al. 1999). Para lo tanto, también se consideraron las variables personales del tipo de vestimenta (índice *clo*) y de la actividad metabólica de los usuarios, según las ecuaciones de la normativa ISO 7730 (ISO 2005; AENOR 2006) presentadas en el apartado 3.2.

En los resultados presentados en el Anexo XVI.B, para los usuarios del Laboratorio de Aulas Prácticas, la Figura 239 demuestra que el PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) de para los alumnos del sexo masculino con relación a las condiciones ambientales es la siguientes: 54,55% presentaron sensación de ligeramente caluroso (+1), 27,27% caluroso (+2) y 9,09% muy caluroso (+3).

Para el sexo femenino, la Figura 240 demuestra los respectivos PPD: 16,67% describieron sensación térmica de confort o neutro, no sienten calor o frío; 50% presentaron sensación de ligeramente caluroso (+1) y 27,78% caluroso (+2).

<sup>37</sup> Algunas de las publicaciones relacionadas a la difusión del conocimiento y análisis parciales de la investigación está presentadas en el Anexo XXIII.

La Figura 241 hace referencia al estudio realizado en el edificio G1<sup>38</sup> para el PPD de los alumnos del sexo masculino: 12,5% presentaron sensación de ligeramente frío (-1), 37,5% describieron sensación térmica en confort, 25% ligeramente caluroso (+1) y 25% caluroso (+2). En la Figura 242 para el sexo femenino las sensaciones de desconfort relacionadas con el calor fueron preponderantes.

### **Condiciones de confort: aplicación del software Analysis CST**

La investigación preliminar de Cunha y de Negri (2007) y Cunha et al. (2007), con base en el PMV/PPD de Fanger (1970) y Ruas (1999, 45-60), ha evaluado que el porcentual de los usuarios satisfechos e insatisfechos cuanto al calor o al frío. Las diferencias entre el grado de insatisfacción (PPD) en relación al calor, comparándose la sala 27 - G1 con las salas y laboratorios del edificio L1 llegaron a un 23%. Este valor se revela significativo, mientras que 25% de los alumnos sienten calor en las salas del L1, solamente un 2% están en la misma situación en la sala 27. El mayor PPD está relacionado con las diferencias de temperaturas interiores y de las configuraciones tipológicas ya comentadas, que en el estudio para el verano es de alrededor de 5°C.

Aún según Cunha y de Negri (2007), los datos para el invierno enseñan un mayor PPD en la sala 27, en consecuencia a las menores temperaturas interiores, en la franja de 3°C en los casos más extremos y 1,5°C en las mejores situaciones. Sin embargo, las diferencias de temperaturas y de PPD para el invierno son más homogéneas a lo que se refiere a la configuración de ventanas y sistemas de protección solar.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, a partir de los modelos de Fanger (1970), el *software Analysis CST* (LabEEE-UFSC 2008) fue utilizado en un segundo momento para la investigación de las condiciones de confort y estrés térmico a que están sometidos los estudiantes, considerándose las variables ambientales, metabólicas y de la vestimenta de los usuarios ya recogidas en las encuestas y mediciones *in-loco*, realizadas en la metodología anterior.

En la tarde del día 31/03/2010, cuando se aplicaron las encuestas en la sala 102 del edificio L1, ubicada en la misma orientación SE del Laboratorio de Aulas Prácticas, el *data logger* registró la temperatura mínima de 24,4°C y máxima de 25,7°C, mientras que los registros obtenidos en la aula ocupada por los alumnos fueron de 26,6°C como mínimo y 28,8°C de máximo; es decir, comparándose los datos la variación fue la misma (2,2°C) pero más elevada por su ocupación.

Los usuarios (masculinos y femeninos) de la sala 102 presentaron el PPD de 6,15%; en la escala de sensación térmica de Fanger situase en 0,24, es decir con una ligera tendencia para la sensación de calor, según presentado en la Figura 243<sup>39</sup>; los resultados son iguales debido a los semejantes índices *clo* (0,458 para los hombres y 0,464 para las mujeres).

Por otro lado, cuando aplicadas las encuestas en la sala 11/L1, de orientación NO como la secretaria de Arquitectura y Urbanismo, en la tarde del día 30/03/2010, el *data logger* registró la temperatura mínima 26,8°C y máxima 29,7°C. Los registros obtenidos en la clase fueron 25,8°C (mínimo) y 27,6°C (máxima). Observase que las

---

<sup>38</sup> Las encuestas en el edificio G1 fueron aplicadas a una clase en diferentes turnos y condiciones climáticas exteriores, con mayor número de usuarios, y no a los ambientes evaluados en los demás criterios, de uso administrativo.

<sup>39</sup> Las gráficas de los resultados de la valoración del confort térmico según los cálculos y software están presentadas en el Anexo XVI.B.



temperaturas en la sala 11, ocupada por los alumnos en actividad sedentaria fueron menor que las registrada en el despacho, el motivo para dicha variación se debe al mayor aislamiento térmico da la sala y la menor radiación solar por estar ubicada en la planta de subsuelo.

Los usuarios masculinos presentaron PPD promedio de 13,41%; en la escala de sensación térmica (PMV) el resultado es de -0,63, es decir, con una ligera sensación de desconfort por el frío -

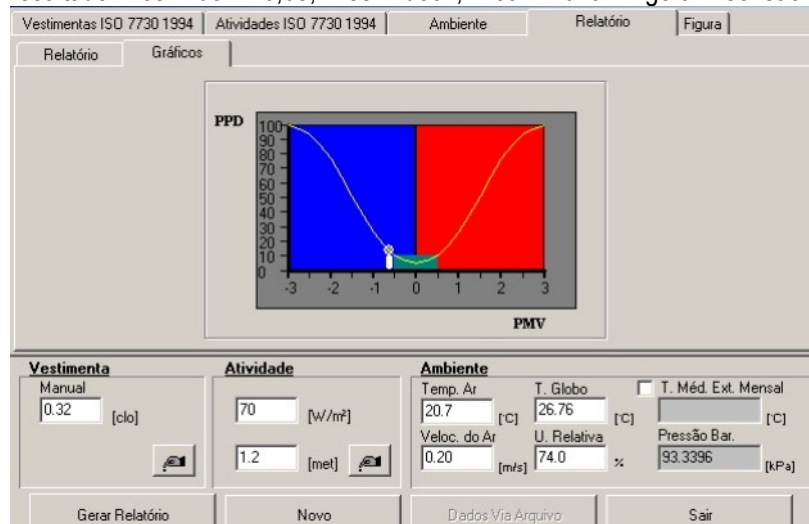


Figura 244. Las alumnas de la sala 11 presentaron PPD promedio de 5,74%; con el PMV de -0,19 igualmente con una ligera sensación de frío, según presenta la Figura 245.

En la comparación de los resultados de las dos metodologías, las simulaciones confirman las respuestas directas de los usuarios, pero las encuestas además permiten separar las sensaciones térmicas por sexo.

El abordaje de las herramientas para la evaluación de las condiciones de confort según la ASHRAE Standard 55 (ASHRAE 2004) y la metodología del PMV (Fanger 1970, Fanger y Toftun 2002; ISO 2005), y especialmente del Confort Adaptativo (Humphrey y Nicol, 1998; de Dear y Berger 1998; ASHRAE 2009a), fueron desarrolladas a continuación en la Fase 2.

### Seguimiento de la gestión

La gestión de los recursos energéticos está bajo la responsabilidad del *Setor Elétrico, Dados e Alarmes* de la *Seção de Conservação do Campus* vinculado a la *Vice Reitoria Administrativa*. El sector acompaña el consumo energético de cada una de los puntos de consumo, a partir de 2009 con la implantación del sistema *SmartGateM* (Gestal 2009), según comentado en el Apéndice C.3, tanto respecto a la energía contratada con la concesionaria RGE (Rio Grande Energia) como con la generación propia por el generador a diesel de 1,45MW, instalado en 2005.

No obstante, todavía no se han realizados estudios profundizados relacionado la autogeneración y las emisiones a los gases de efecto invernadero asociados. En Brasil la falta de control de los impactos de la implantación de generadores con fuentes no renovables en amplia escala por grandes consumidores, impide el control de las emisiones. Aunque diferentes estudios buscan definir los patrones de desempeño para los motogeneradores (por ejemplo Piamba Tulcan 2009) hace falta la elaboración de una base de datos con la participación de los órganos ambientales, compañías suministradoras y las municipalidades para evaluar y controlar los impactos

medioambientales.

En el caso específico de la UPF, los análisis presentados en el Apéndice C.3. incluso apuntan la necesidad de alternativas para la ampliación del parque construido y, consecuentemente de la demanda energética, que además de evaluar las condiciones actuales del sistema de generación y distribución, debería también considerar las fuentes renovables de energía.

Según los estudios de monitorización de la calidad del aire del campus I, Korf et al. (2015) identifican que todavía las emisiones de gases poluentes (concentraciones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_x$ ) están por debajo de los límites máximos. Sin embargo, los autores igualmente indican que hacen falta acciones para la disminución de la circulación de vehículos y la generación propia de energía, uno de los puntos de evaluación del estudio, cuyos resultados están comentados también en el Apéndice C.3.

Uno de los resultados positivos del trabajo del sector fue el ajuste y reencuadramiento tarifario, véase el Apéndice C.3, que impacta directamente en los costes financieros. Además, en conjunto con el *Setor de Projetos*, se adoptaron medidas de racionalización del uso de energía, con la sustitución de bombillas y reactores de los edificios antiguos, por equipos más eficientes, criterios estos ya incluidos en los nuevos edificios. Se implantaron también campañas de concienciación de los usuarios de toda la comunidad universitaria sobre el uso racional de energía eléctrica, a través del proyecto “*Zé Cidadão*” por los *Grupos de Excelência em Prestação de Serviços* (GEPS).

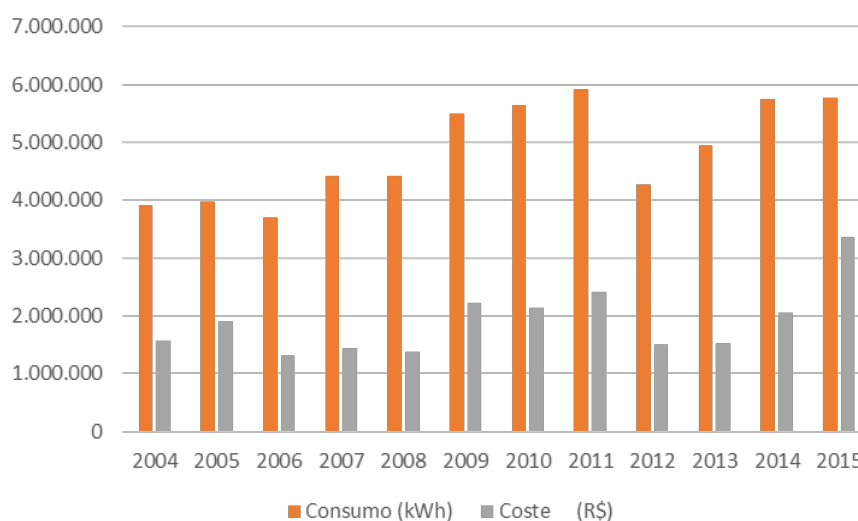


Figura 53. Evolución del consumo energético y costes en el Campus I – 2004/2015.

Sobre el perfil de consumo energético de la UPF hay que señalar que el período lectivo comprende los meses de marzo a diciembre, pero con actividades administrativas en el mes de enero. El mes de febrero coincide con las vacaciones colectivas de verano, con un período de receso para las festividades navideñas, con una importante reducción en las demandas. El receso de invierno (mes de julio) prácticamente no es significativo en el perfil de consumo.

Por medio del seguimiento individualizado del consumo proporcionado por el sistema controlador *SmartGate*, conociendo el perfil de consumo de cada edificio o unidad académica, el sector propuso desligamientos

compulsorios a partir de la carga establecida para la franja horaria, para evitar el pago de multas; dicha medida no fue bien recibida, con aplicación solamente por un período corto.

La experiencia inicial en la implantación de la gestión energética puede ser considerada eficaz, resultando en ahorro financiero, no obstante, cabe todavía la evaluación de los costes económicos y medioambientales de la generación por equipamiento con uso de combustible fósil, no renovable, para las franjas horarias de sustitución a la energía fornecida por la concesionaria.

Sin embargo, en la segunda mitad de 2014, la reestructuración de personal técnico responsable por el seguimiento y gestión de los patrones de consumo de energía ha sido desactivado. En este sentido, desafortunadamente, las informaciones obtenidas por el sistema *SmartGate* están desactualizadas, manteniéndose solamente el control general de consumo y costes en todo el campus, tanto el consumido como el de generación propia, de acuerdo a lo que presenta la Tabla 44 y comentarios en el Apéndice C.3.

Actualmente está en evaluación la sustitución de las lámparas por sistemas LED, de mejor rendimiento lumínico y de consumo. De acuerdo con el estudio de Fauth (2014) el patrón actual de lámparas fluorescentes es de 32W (TLD32W840NG Philips), que con el reactor suman 44W por unidad, con flujo lumínico de 3.200lm y una eficiencia luminosa de 72,73lm/W. La propuesta es de la sustitución por lámparas LED con 22W (ZL-2810), 2080lm y 82,48lm/W. La medición *in-loco* obtuvo un flujo lumínico real de 3.627,60lm. Cabe decir que la NBR ISO/CIE (ABNT 2013d) determina el nivel luminoso de 300Lux para clases de escuelas primarias y secundarias y 500Lux para clases nocturnas y para adultos.



Figura 54 Sala 15 – H2 con lámparas LED 22W ZL-2810 (fotografías del autor 2014).

Para los análisis fueron instalados en la sala 15-H2 6 conjuntos de luminarias con 2 lámparas cada, según presenta la Figura 54. Las mediciones utilizaron equipos Lutron – LX-101. La Tabla 20 presenta la evaluación de las condiciones reales, mientras que en la Tabla 20 fueron extrapoladas las características de la ZL-2810 para las demás salas, sin disminuir el nivel luminoso. En el análisis comparativo de las dos tablas, Fauth concluye que con la utilización de las lámparas LED habría una reducción de 47% en el consumo de energía, además de mejorar el nivel de iluminancia.

Tabla 20 Evaluación con las condiciones actuales (adaptado de Fauth 2014).

Sala	Nº Luminarias	Nº Lámparas	Iluminancia	Flujo lum.	Pot.Total
22 – H2	12	24	463,56 Lux	76800 lm	0,96 kW
24 – H2	12	24	444,57 Lux	76800 lm	0,96 kW

15 – H2	6	12	365,3 Lux	38400 lm	0,528 kW
11 – H2	9	18	486,76 Lux	57600 lm	0,792 kW
101 – L1	16	32	422,62 Lux	102400 lm	1,408 kW

Tabla 21 Resultados con la utilización de las lámparas LED (adaptado de Fauth 2014).

Sala	Nº Luminarias	Nº Lámparas	Iluminancia	Flujo lum.	Pot.Total
22 – H2	12	24	634,87 Lux	76800 lm	0,528 kW
24 – H2	12	24	608,88 Lux	76800 lm	0,528 kW
<b>15 – H2</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>500,30 Lux</b>	<b>38400 lm</b>	<b>0,280 kW</b>
11 – H2	9	18	660,66 Lux	57600 lm	0,396 kW
101 – L1	16	32	578,82 Lux	102400 lm	0,704 kW

## Fase 2: Evaluación

Según la metodología adoptada para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios G1 y L1, desarrollada en el Capítulo 3, la modelización llevó en consideración las premisas determinadas por la normativa brasileña RTQ-C (PROCEL 2010a, 72-80; Brasil 2012) y de las documentaciones complementarias del RAC (PROCEL 2010b, 20-23) y del manual para aplicación (PROCEL 2010c, 148-162), inicialmente para la construcción del modelo para el edificio real.

En los *inputs* iniciales de la ubicación, se utilizó el archivo climático específico para Passo Fundo *RS\_Passo\_Fundo.epw* (Roriz 2012), con base en el expuesto en el Capítulo 3. Para definición de la envolvente se observaron las consideraciones ya comentadas (ABNT 2005; ABNT 2013b; Ordenes et al. 2003) y las características recogidas en la Fase 1.

Todavía, a cerca de los datos iniciales para la simulación se establecieron criterios para los dos edificios:

- temperatura de *setpoint* para calentamiento: 22°C indicada para las Zonas Bioclimáticas 1 a 4 (ABNT 2005) y temperatura de *setpoint* para refrigeración: 24°C para todas las Zonas Bioclimáticas, según los valores determinados por el RTQ-R (Brasil 2012, 73-74), véase Apéndice B.6;
- temperatura de *setpoint* de ventilación: 25°C (Martins et al. 2009), referenciándose a los experimentos a partir del método PMV de Fanger en la aplicación al contexto regional;
- temperatura del suelo mensual: considerase -2°C de la media mensual de la temperatura interior, de acuerdo con la recomendación del *DesignBuilder* (2011b, 160);
- las actividades de cada zona térmica se definieron según las existentes, adaptándolas a los *templates* del programa (tasas metabólicas, vestimenta, etc.), con la ocupación obtenida en la Fase 1;
- las potencias instaladas para iluminación ( $W/m^2$ ) también según los datos de la Fase 1, recogidos en 2009;
- los Coeficientes de Performance CoP (W/W) de cada uno de los equipamientos de aire acondicionado definidos por el sistema ENCE - *Etiqueta Nacional de Conservação de Energia*, y *Selo PROCEL de Economia de Energia* (INMETRO 2013a; 2013b), ya con la actualización para 2013 (PROCEL 2013a) y 2016 (PROCEL 2016);
- la programación del uso (*schedules*) observándose el calendario académico de la UPF: períodos lectivos

entre marzo y diciembre (*UPFletivo*), el mes de enero para actividades solamente administrativas (*UPFadministrativo*) y el mes de febrero con receso y vacaciones generales, excepto para algunos laboratorios especializados del edificio L1 (*UPFlab*), con utilización durante todo el año, de acuerdo con las tablas y figuras de la Figura 254 del Anexo XVII.B;

- la potencia instalada para los equipos de informática y de los laboratorios especializados, aunque en la evaluación del RTQ-C este punto no sea considerado para la clasificación de la eficiencia energética;
- las cubiertas fueron configuradas como *flat roof* (cubierta plana) según las simplificaciones permitidas por la NBR 15220 (ABNT 2005), con sus geometrías reales solamente representadas a modo de visualización - Figura 45a y Figura 46a.

De acuerdo con las prestaciones del *DesignBuilder*, el modo de cálculo elegido ha sido el rápido o *early model*, lo cual permite especificar las características de la ocupación y de los grupos de equipos, según su utilización (ordenadores, procesos, oficina, etc.).

### **Evaluación de la demanda térmica**

La evaluación ha sido basada en la modelización y simulación de los edificios con el uso del programa *DesignBuilder* (2011a), la definición de las zonas térmicas considera las condiciones similares de uso y de orientación, identificando las áreas acondicionadas, comentadas anteriormente. A partir de la caracterización del uso de cada uno de los espacios según la plantilla presentada en la Tabla 6, se identificaron las coincidencias para componer las multi-zonas (Tabla 53 y Tabla 55) con las correspondencias gráficas de las Figura 252 y Figura 253 (Anexo XVII.C).

Las tipologías arquitectónicas de los dos edificios son distintas, una compacta otra lineal, con orientación Este-Oeste<sup>40</sup>, generando condiciones de ganancias térmicas igualmente distintas e importantes.

Para las ganancias internas definidas por el *DesignBuilder* (2011b, 620) fue adoptado el modo de cálculo *early model*. Para la inserción de datos referentes a las potencias de los grupos de equipos, como los edificios evaluados presentan una concentración elevada de potencia en ordenadores y procesos, se hace necesario utilizar *inputs* digitables (comando *switch of the slider*), pues los límites máximos prefijados son de 60W/m<sup>2</sup> para cada uno de los grupos.

---

<sup>40</sup> Orientación respecto al norte de 60° en edificio G1 y 74° en el L1.

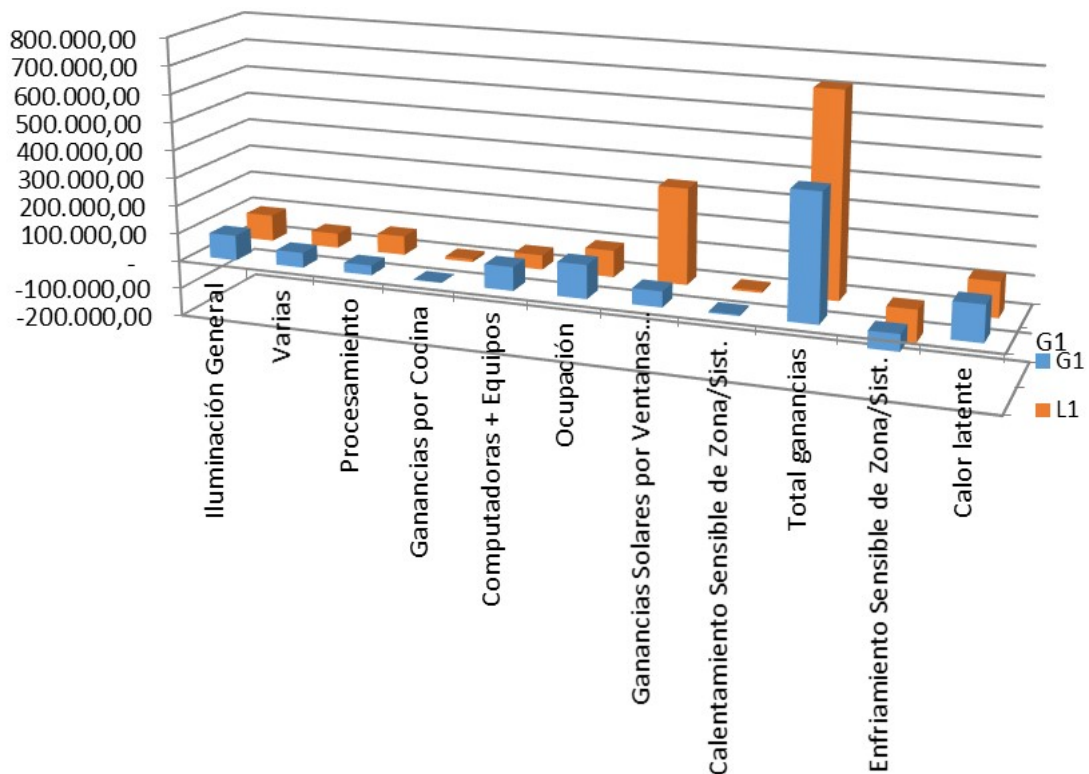


Figura 55 Comparación entre las ganancias térmicas internas en los edificios L1 y G1, modelos de referencia R.

En este sentido, los resultados de las simulaciones de desempeño con el *DesignBuilder* (Figura 55) enseñan que las ganancias térmicas internas están íntimamente relacionados con las tipologías arquitectónicas y constructivas, es decir, mientras que en el edificio G1 las ganancias por la radiación solar directa por las ventanas representan un 12,52% (55.199,13kWh/año) en el edificio L1 representan un 47,23% (93.945,54kWh/año).

Estas diferencias se deben a que el L1 presenta una tipología lineal Este-Oeste, con grandes aperturas en las fachadas NNO y SSE sin protección solar, según se ha presentado anteriormente; en el mes de diciembre, por ejemplo, la irradiancia global en la fachada NNO alcanza alrededor de 800W/m<sup>2</sup>. Mientras tanto, las ventanas del G1 están protegidas por quebra-soles y con planta compacta. Las diferencias entre las ganancias internas en valores absolutos pueden ser comparadas en la Tabla 60 y la Figura 255, del Anexo XVII.C.

Además, las Figura 256.a/d y Figura 257.a/d enseñan los resultados gráficos de las ganancias internas, donde la influencia de la radiación solar resultan en el gran aporte de calor por las ventanas, especialmente en el Laboratorio de Carnes, fachada NNO del edificio L1.

Con las imágenes de termografía<sup>41</sup> - Figura 56, obtenidas por cámara de imágenes infra-rojas en un día de invierno (tarde del 02 de julio) las diferencias pueden ser comprobadas con los datos de temperaturas máximas: 44,6°C en la fachada NNO del L1 y 36,8°C en el detalle de los protectores solares en las fachadas NO y SO del G1 (Frاندoloso et al. 2013; Frاندoloso y Brandli 2015). Los datos recogidos de los ambientes y zonas térmicas evaluadas están presentados en el Anexo XVII.D, comparándose también con imágenes obtenidas en finales de primavera (tarde del 13 de diciembre), en las cuales se percibe la influencia de las masas de vegetación y del albedo de las superficies externas.

<sup>41</sup> Estudio de termografía con el equipo termovisor 881-1 testo (testo AG 2011b) y el software testo IRSoft (testo AG 2012)

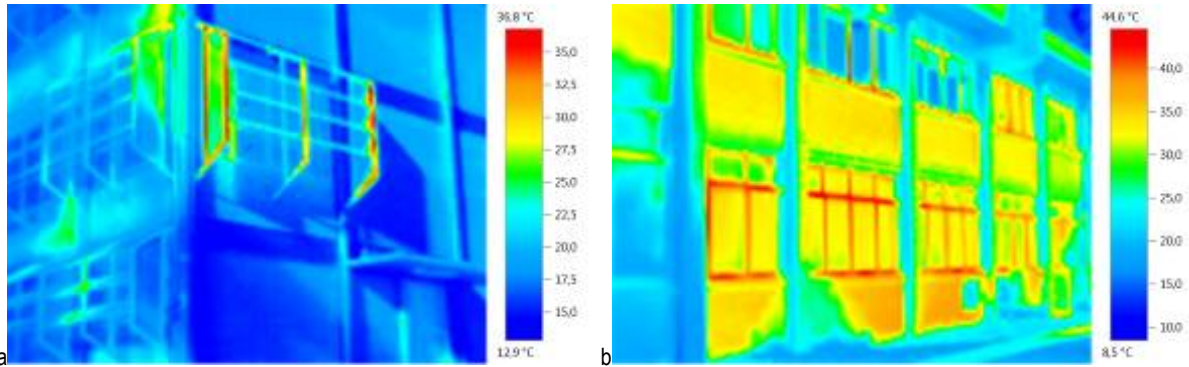


Figura 56 Termografía exterior testo 881-1 IRSoft, mes de julio: a. G1 – fachadas NE/SO; b. L1 – fachada NNO.

En el Anexo XVII.D también se presentan los datos de la radiación solar en las fachadas ubicadas en los acimuts - 30°/+120° y -16°/+106° equivalentes a los edificios G1 y L1, respectivamente. Los datos anuales y mensuales para los solsticios de invierno y verano, calculados a partir del *software Radiasol2* (Krenzinger y Bugs 2010) confirman que a pesar de la pequeña diferencia de acimut, la irradiación global se presenta más elevada cuanto más la fachada esté orientada al oeste.

Además, la componente directa de la irradiación en el mes de diciembre en la fachada orientada a SSE del L1 alcanza los 400W/m<sup>2</sup>, según representado en la Figura 57; son igualmente relevantes las componentes inclinada y difusa, alcanzando casi los 800W/m<sup>2</sup> en la irradiación global horizontal diaria.

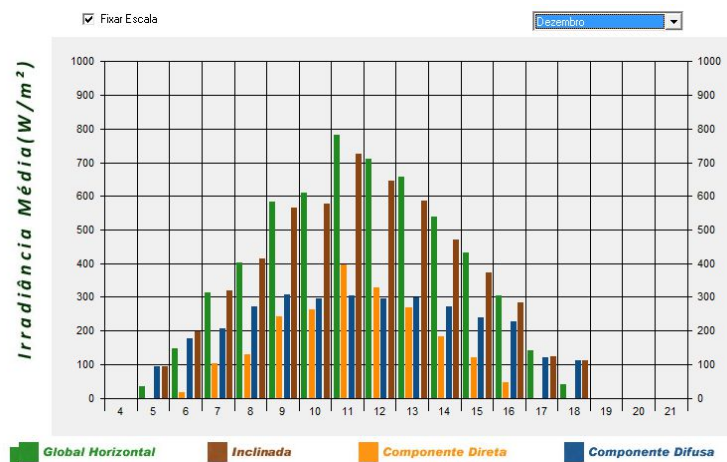


Figura 57 Irradiación media (W/m<sup>2</sup>) en la orientación SSE/azimut +150 - Edificio L1, mes de diciembre, Radiasol2 (Krenzinger y Bugs 2010).

Todavía a cerca del desempeño térmico y ganancias internas, en lo que refiere a los equipamientos, un 18,95% están relacionados con los ordenadores en el G1, de un total de 39,27% para todos los equipos, ya en el L1 todos los equipos corresponden a un 25,35%, con un destaque para los procesos de laboratorios (18,19%), confirmando los datos de estáticos de la potencia instalada - Tabla 15.

Otro factor a ser comentado es la ocupación, que se revela importante para el G1, correspondiente a un 26,82% del total de las ganancias internas, y en el L1 la ocupación es menos significativa (13,15%). Para la iluminación el aporte de calor representa 20,28% en el edificio G1; ya para el L1 teniendo en cuenta el gran impacto de otros equipos, la importancia es un poco menor, 13,22%.



Consecuentemente, a partir de las ganancias internas, las temperaturas internas en el edificio L1 son superiores a las encontradas en G1, por un lado este fato es de importancia para el acondicionamiento durante el invierno, sin embargo debido a las necesidades de control de temperatura en los laboratorios revierte en un mayor consumo de energía, con mayores complicaciones en los períodos calurosos.

Cabe recordar que en el edificio L1 hubo la necesidad de medidas alternativas para reducir la radiación solar incidente (véase la Figura 40), lo que demuestra que, además de la insatisfacción a lo que se refiere al confort térmico, los propios usuarios han tomado iniciativas para solucionar problemas de proyecto y construcción.

### **Evaluación de la demanda energética**

Las evaluaciones preliminares del consumo de energía en los edificios por las simulaciones (modelos de referencia  $R_0$ ) con el software *DesignBuilder* (2014; 2015a), resultaron distintas de aquellos consumos obtenidos por el seguimiento del consumo real, con el sistema *SmartGateM*, utilizándose como referencia los años de 2009 y 2012<sup>42</sup>. Dichas diferencias ocurrieron especialmente por la simplificación característica de la metodología de evaluación por simulación<sup>43</sup>, principalmente cuanto a la previsión del uso de los equipamientos, ya que para iluminación y equipos

---

## **42 Gráficas con los datos en la Figura 224, ANEXO XV INSTRUMENTOS DE CONTROL Y MEDICIONES DE LAS VARIABLES AMBIENTALES**



Figura 225 Instrumentos de medición de las variables ambientales - termómetro de globo (Fotografía del autor).



**Figura 226**, Figura 227 y Tabla 57 del Anexo XIV.

<sup>43</sup> Según la observación de Robison (2008, apud Hensen y Lamberts, 2011, 10) "en general, el objetivo debe ser mantener el modelo lo más simple posible para cumplir los objetivos del estudio de simulación".



de aire acondicionado, las simulaciones presentan variables más controlables y mensurables.

Para la aplicación de la metodología estos datos serán denominados como consumo real ( $C_R$ ) y consumo de referencia ( $C_0$ ).

Las diferencias entre los resultados generales de consumo de energía reales de cada uno de los edificios, coinciden con las observaciones de Hensen y Lamberts (2011, 10) y Hensen (2012) teniendo en cuenta que el consumo real y el previsto dependen de incertezas del régimen de ocupación y comportamiento de los usuarios.

Con el objetivo de ajustar dichas diferencias, las simulaciones fueron realizadas con distintos escenarios:

- escenario de consumo de referencia ( $C_0$ ): considerándose la potencia total instalada de los equipamientos de laboratorios y ordenadores, basado en las programaciones de ocupación obtenidas en la Fase 1;
- escenario de consumo ajustado ( $C_a$ ): comparación con los perfiles de consumo reales ( $C_R$ ) obtenidos por el sistema *SmartGateM*, que permiten la evaluación en los niveles diarios y semanales, es decir, con la calibración y aproximación de la utilización real de los espacios e instalaciones con la simulación por el *DesignBuilder*.

La identificación de la dispersión entre el teórico y real hizo parte de los planteamientos de López Plazas (2006, 84), para "conocer la variación del perfil teórico de uso y gestión considerado en el análisis de la demanda y de la evaluación del rendimiento de los sistemas, respecto a las condiciones reales de funcionamiento del edificio", traducidos por el factor de gestión ( $G_e$ ) de la ecuación propuesta por el autor.

Sin embargo, diferentemente de la investigación de López Plazas que aplica la metodología en la evaluación y diagnóstico del uso de energía para la climatización y en especial para calefacción, uso principal en el contexto de la UPC, la evaluación de los edificios de la UPF considera no solamente los usos de acondicionamiento (aire acondicionado frío y calor), pero todos los equipamientos y los sistemas de iluminación.

En este sentido la ecuación del factor de gestión ( $G_e$ ) planteado por López Plazas (2006, 84-88), considera los diferenciales de los perfiles de consumo energético de climatización y de la ocupación para un día tipo, identificando la ocurrencia de desvíos en el consumo en franjas horarias sin ocupación del edificio.

En los edificios de la UPF, se identificaron igualmente estas diferencias entre el consumo diario y semanal, constatándose los datos reales obtenidos con el sistema *SmartGateM* y la ocupación; este "consumo de fondo" está relacionado con el funcionamiento continuo de algunos de los equipamientos especializados.

El objetivo de ajustar el  $C_0$  y el  $C_R$  para la calibración de los modelos de simulación, con relación al  $C_a$  (consumo ajustado) y los perfiles de uso (*schedules*) resultó también en ajustes en las programaciones y la caracterización efectiva de la ocupación de cada uno de los espacios y multi-zonas térmicas.

Teniendo en cuenta las divergencias entre los resultados obtenidos para el edificio G1, ya comentadas, se hicieron ajustes para aproximarlos, generándose varios modelos de referencia:

- Modelo de referencia inicial ( $R_0$ ), donde se consideraron las demandas energéticas de las clases con uso de ordenadores solamente para el profesor, según los datos obtenidos en la fase de inventario, además de

las potencias máximas permitidas *default* por el programa *DesignBuilder* de 60W/m<sup>2</sup>;

- Modelo de referencia ajustado (*R*), donde se consideraron las demandas bajo todos los ajustes descritos anteriormente con inputs digitables, considerado para los análisis de esta Fase.

Para los modelos de simulación de referencia final – modelos *R*, en el edificio L1, según la Figura 58, para el mes de febrero con uso y ocupación reducidos teniendo en cuenta las vacaciones académicas, los resultados del seguimiento del consumo real y las simulaciones con el modelo de referencia (*R*) fueron semejantes, sin embargo, se observan diferencias importantes para los períodos lectivos. Por otro lado, los resultados fueron muy distintos para el edificio G1 - Figura 59.

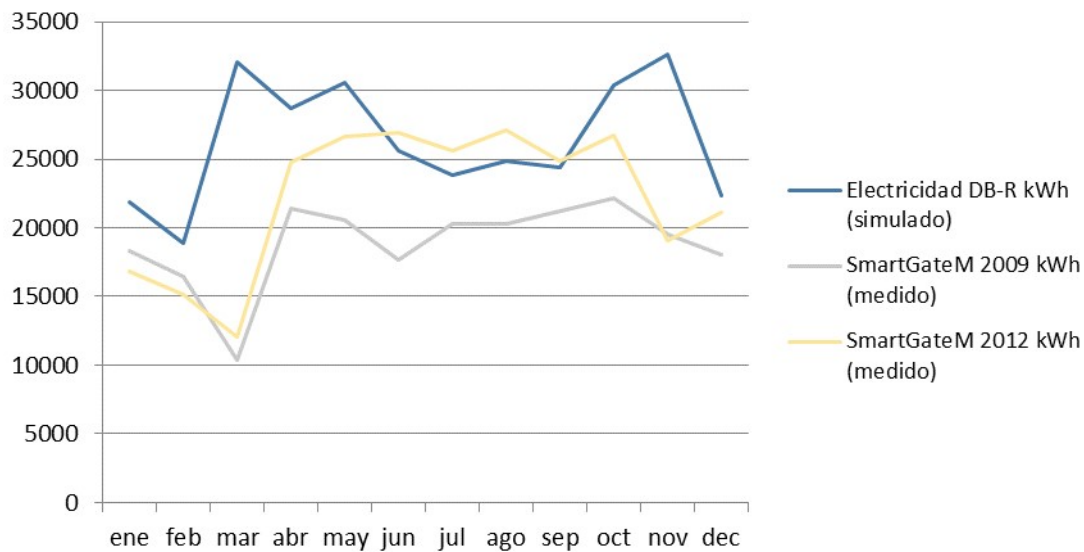


Figura 58 Consumo energético real (medido) y simulado de referencia (*R*) - edificio L1.

En la Tabla 63 y Tabla 64 (Anexo XVII.C) están representados los valores nominales, así como la diferencia entre los resultados mensuales, aplicándose el promedio anual de las diferencias para el año de 2012<sup>44</sup>: en el edificio L1 los valores serían de 26,61% menores, incluso con meses entre junio y septiembre con datos de consumo reales superiores a aquellos de la simulación.

Mientras tanto, para el edificio G1 la diferencia resultaría en 27,77% también a menos para los resultados de consumo reales medidos, desconsiderándose el mes de febrero. Este mes presenta el consumo energético muy por debajo de los demás, debido a la caracterización de los perfiles de uso y ocupación como aulario, en un mes de vacaciones, que estaría en una primera concepción, prácticamente sin uso, pero según los datos reales informa un consumo de "fondo" importante, indicando una posible la ocurrencia de equipos de refrigeración de la cafetería antiguos y con muy baja eficiencia<sup>45</sup>.

Cabe subrayar que la relevancia del consumo de fondo identificado en el edificio G1 en los períodos de menor uso y ocupación, entre los meses de febrero y marzo, según los cronogramas académicos de inicio del periodo lectivo,

<sup>44</sup> Comparándose las simulaciones - modelos *R* - con los datos medidos en 2009 las diferencias serían mayores, teniendo en cuenta que el consumo total ha sido menor que el observado en 2012, año de referencia para las evaluaciones a continuación: la relación de +13,24% para el G1 y +17,53% para el L1.

<sup>45</sup> Los equipamientos de refrigeración de la cafetería fueron sustituidos por nuevos al final de 2012, con etiqueta PROCEL.

representa también impacto a lo largo de toda el año. Sin embargo, de acuerdo con las herramientas de monitorización utilizadas habría que desglosar los factores de demanda y rendimiento, sino también de la gestión y el uso de todos los sistemas, con la finalidad de verificar con detalle las razones y fuentes de este consumo.

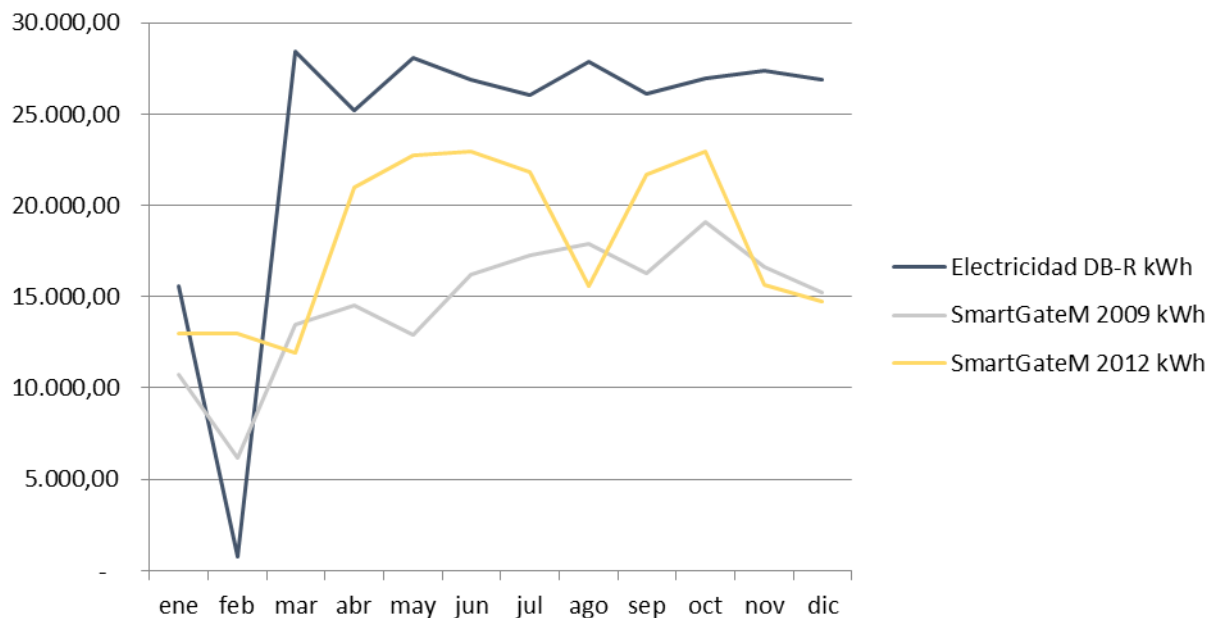


Figura 59 Consumo energético real (medido) y simulado de referencia R - edificio G1<sup>46</sup>.

### Condiciones de confort con la aplicación del software *DesignBuilder*

Aunque fueran adoptados otros dos instrumentos para la evaluación de las condiciones de confort térmico, para una sistematización de las informaciones y permitir una visualización gráfica general, se utilizó el programa *DesignBuilder* (2011a), donde son presentadas las simulaciones de las condiciones ambientales interna y externas del edificio como un todo, así como las condiciones de confort, igualmente según los modelos de Fanger (1970).

En la Figura 60 están presentadas las variables ambientales de los dos edificios, además de la representación de los límites de confort térmico definidos por Givoni (1992) para los países “en desarrollo”: entre 17°C y 27°C para el invierno (cuadro azul claro) y entre 20°C-29°C para el verano (cuadro rojo); las temperaturas exteriores están representadas en líneas azul oscuro, y las condiciones internas en los demás colores. Se percibe que las temperaturas externas quedan por debajo de los límites de confort prácticamente en todo el año. La representación de la humedad relativa enseña valores promedios de 75,65% para el G1 y 58,90% para el L1.

Las horas de desconfort para los usuarios con vestimenta ligera (verano)<sup>47</sup> apuntó 2.356,80 horas para el edificio G1 y 1.977,31 horas para el L1, por otro lado, para las situaciones con vestimenta de invierno fueron 1.977,31 horas para el G1 mientras que para el L1 1.833,91 horas. En la presentación de la variación mensual de las horas de desconfort, las líneas azules son para la vestimenta de verano, en verde para el invierno y en rojo para todas las

<sup>46</sup> Para el mes de septiembre de 2012 el consumo fue parcial debido a fallos en el registro por el sistema *SmartGateM* (Gestal 2009).

<sup>47</sup> En las horas de desconfort están considerados los períodos cuando la combinación de las tasas de humedad y de temperatura operativa se ubican fuera de las zonas de confort por la ASHRAE 55 (2004), sea para la vestimenta de verano, invierno e invierno y verano – *all clothing* (DesignBuilder 2011b, 618, 625-626).

demás situaciones, con el resultado anual de 2050,28 horas para el edificio G1 y para el L1 1562,31 horas anuales, equivalente a 23,41% y 17,83% de las 8760 horas posibles, respectivamente. Las condiciones de confort según los períodos de ocupación efectiva son presentadas adelante, según la metodología de confort adaptativo.

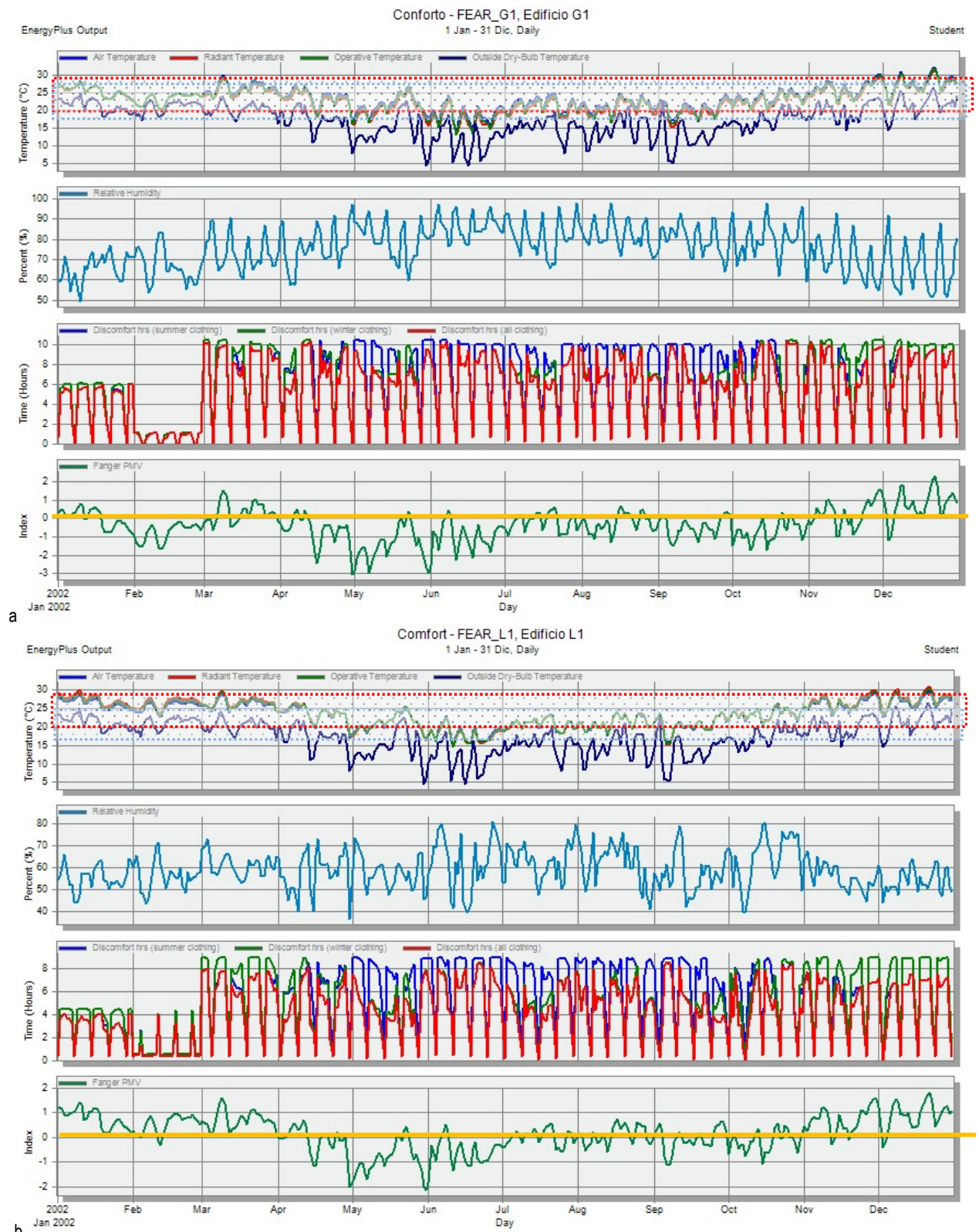


Figura 60 Simulaciones anuales de las variables ambientales diarias (temperatura y humedad relativa), horas de desconfort mensuales y del índice PMV de Fanger diarios: a. Edificio G1; b. Edificio L1.

La grafica inferior de la Figura 60 presenta los índices de PMV, donde los índices negativos son de situaciones de desconfort en relación al frío y los positivos referentes al calor, según los conceptos ya comentados. Para el edificio G1 (a), las sensaciones acompañan las estaciones, con valores entre +1 y -1, pero igualmente con valores extremos (entre +2 y -3), con índice PMV anual de -0,33 (tendencia a ligeramente frío). Ya para el L1 se percibe la predominancia de las sensaciones de desconfort al calor para el edificio L1 (b), con el índice anual de +0,15, ratificando los resultados de los otros instrumentos aplicados, los límites extremos se sitúan entre +/-2.

Las gráficas comparativas de los resultados para las cuatro zonas térmicas con monitorización de las variables climáticas (*Terreo Zona 5* en la Secretaria del curso de Arquitectura y Urbanismo, *Superior Zona 1* en la Secretaria del curso de Ingeniería Ambiental, la *Terreo Zona 2\_2A* en el Laboratorio de Carnes y *Terreo Zona 5A* en el Laboratorio de Aulas Prácticas) están presentadas en el Anexo XVII.E. Sin embargo, los valores del índice PMV anual para las zonas térmicas siguen el mismo patrón, es decir, los espacios del edificio G1 presentan sensaciones próximas al -1 (ligeramente frío) en la escala de Bedford, mientras que en el L1 los índices son positivos (calor), como se puede observar en la Tabla 22. Se percibe que el desconfort al calor en el Laboratorio de Carnes es más sensible, teniendo en cuenta que las ganancias térmicas sumadas con los equipos de cocción (véase Figura 257).

Tabla 22 Condiciones de confort en las zonas térmicas, simulaciones con el *DesignBuilder*.

Edificio	Ambiente/ orientación	Desconfort	Desconfort	Desconfort	
		verano (h)	invierno (h)	todas vestim. (h)	PMV anual
G1	Sec. Arquit. y Urb. (NO)	1958,00	1465,00	929,50	-1,067
	Sec. Ing. Ambiental (SE)	2592,00	2592,00	2592,00	-0,847
L1	Laboratorio de Carnes (NNO)	3395,25	3176,00	2968,00	+0,567
	Lab. Aulas Prácticas (SSE)	2481,5	2374,25	2363,5	+0,224

Con el desarrollo de los dos modelos de simulación  $T$ , considerándose el acondicionamiento de todos los espacios de uso efectivo y prolongado, los índices PMV de Fanger se aproximaron del valor de confort o neutro: de +0,15 para -0,46 en el L1, todavía con una ligera condición de frío, mientras que en el G1 pasó de +0,33 para +0,82.

### Evaluación del confort adaptativo

De acuerdo con las consideraciones metodológicas previamente comentadas en el Capítulo 3, por las características de las instalaciones en los edificios, en los cuales las superficies acondicionadas mecánicamente son muy reducidas, correspondiente a un 23,15% en el edificio G1 y un 29,17% en el L1, se optó por adoptar la metodología de confort adaptativo (Humpheys y Nicol 1998; Nicol y Humpheys 2002; de Dear y Brager, 1998; 2002), referenciados en la ASHRAE Handbook - Fundamentals (ASHRAE 2009a).

Así a partir de las temperaturas externas determinados por el archivo climático, fue generado el valor de la temperatura operativa o neutra ( $T_o$ ) como el promedio de la las temperaturas exteriores ( $T_{ext}$ ), es decir, la aplicación de la ecuación 8 (Apéndice B.6) resulta en:

$$T_o = 18,9^{\circ}\text{C} + 0,255 * T_{av} = 18,9^{\circ}\text{C} + 0,255 * 21,4^{\circ}\text{C} = 24,4^{\circ}\text{C}$$

Aplicándose los límites presentados por de Dear y Brager (2002) en +3,5°C como condiciones de sensaciones de

calor y  $-3,2^{\circ}\text{C}$  para frío los límites de confort se situarían entre  $21,2^{\circ}\text{C}$  y  $27,9^{\circ}\text{C}$  con 80% de aceptabilidad por los usuarios.

La grafica resultante de las plantillas propuestas por Negreiros (2010) - Figura 61 - presenta el porcentaje de las horas del año en el eje vertical y la ocurrencia de las sensaciones de confort a lo largo de las 24 horas del día. Se percibe que para el edificio G1 las condiciones de calor concentranse el los períodos vespertinos y de frío por las mañanas, también apunta una zona de confort contándose también las estrategias de ventilación con 8,54% del Porcentaje de Horas Ocupadas en Confort - POC.

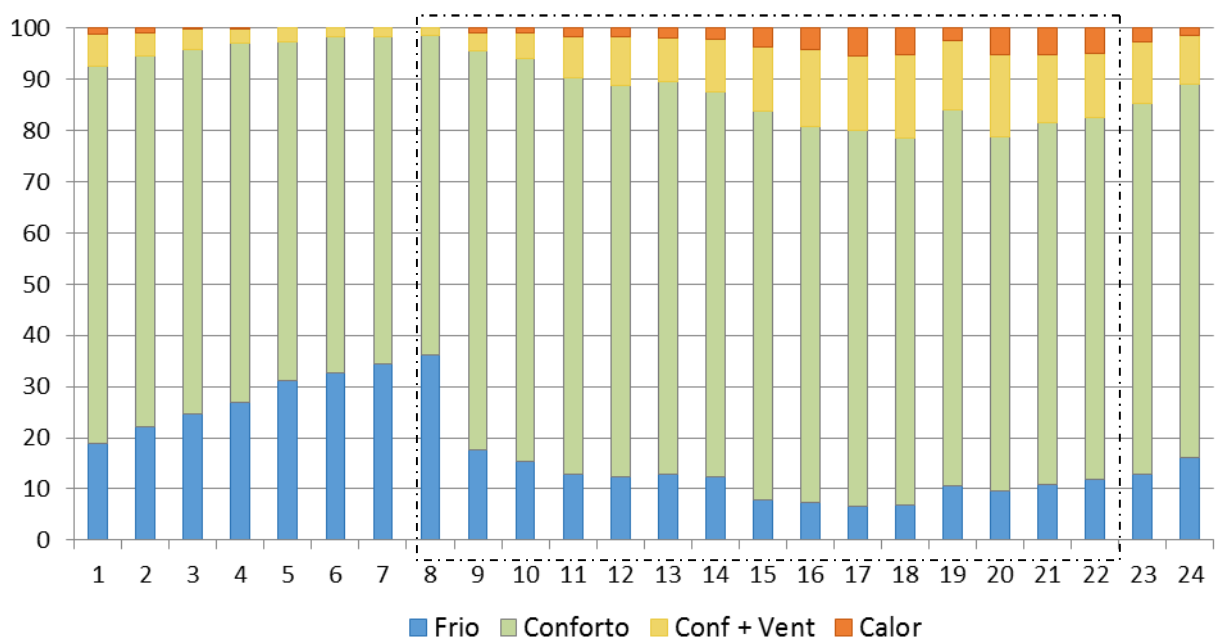


Figura 61 Representación gráfica de las condiciones de confort adaptativo para el edificio G1.

Teniendo en cuenta las horas ocupadas - POC, configuradas según los perfiles de uso pero de manera simplificada entre las 8:00 y 22:30, hay una predominancia por las sensaciones de confort, con 73,46% de las horas en el edificio G1. Las condiciones de calor superan ligeramente a las de frío, 15,10% y 11,44% respectivamente, según presenta la Figura 62.

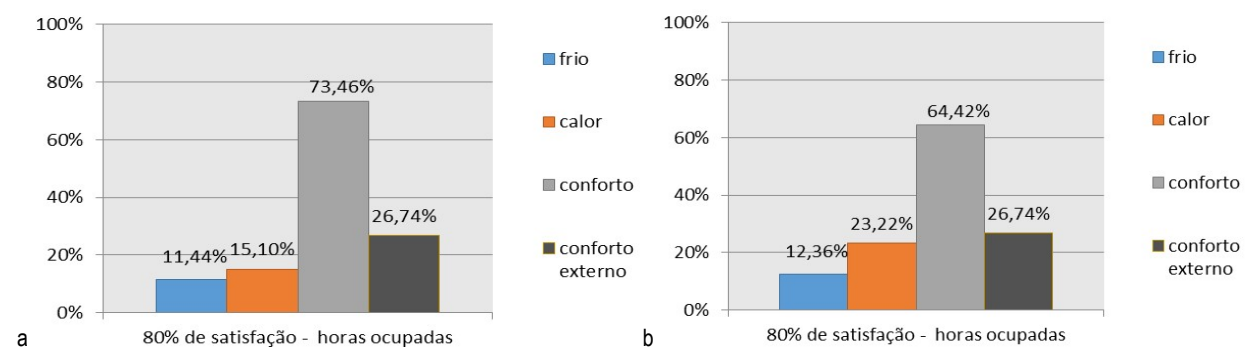


Figura 62 Condiciones de confort adaptativo en las horas ocupadas en el edificio G1(a) y L1 (b).

De acuerdo con los resultados de las aportaciones térmicas por la radiación solar, en el edificio L1 hay una



disminución de las horas de confort, 64,42%, en comparación con el G1, ya que las sensaciones de calor se amplían para 23,22%. La Figura 63 demuestra la gráfica de la distribución a lo largo de las horas del día y los porcentuales de ocurrencia, se percibe una adaptabilidad mayor para lograr sensaciones de confort con la ventilación natural, en 14,44% del POC.

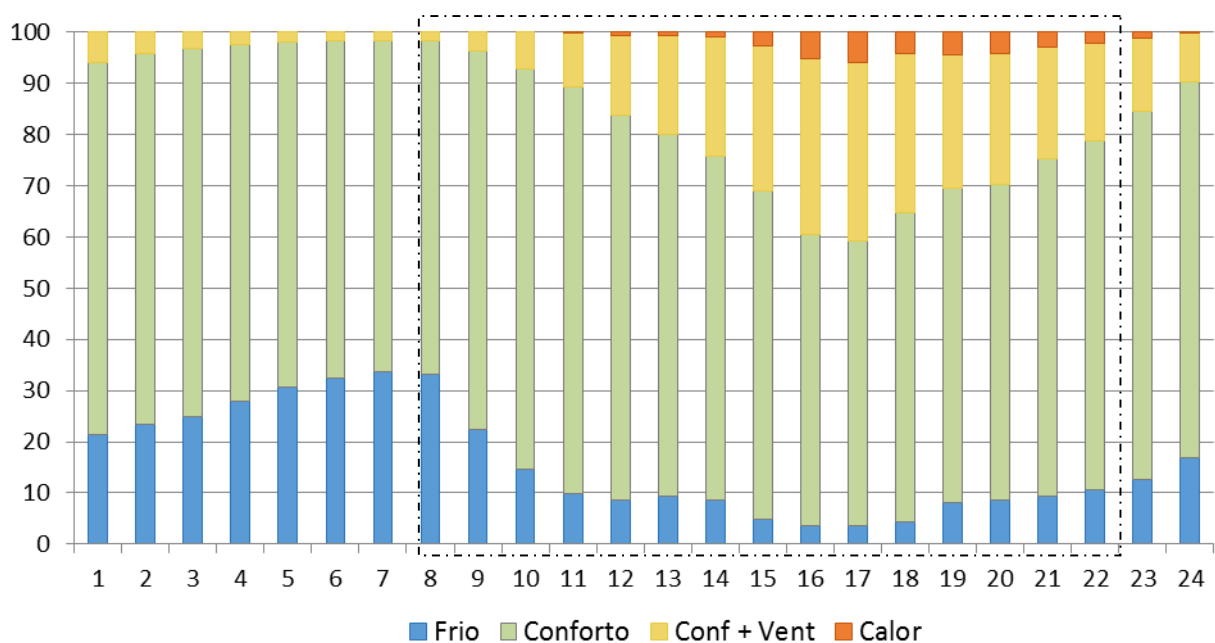


Figura 63 Representación gráfica de las condiciones de confort adaptativo para el edificio L1.

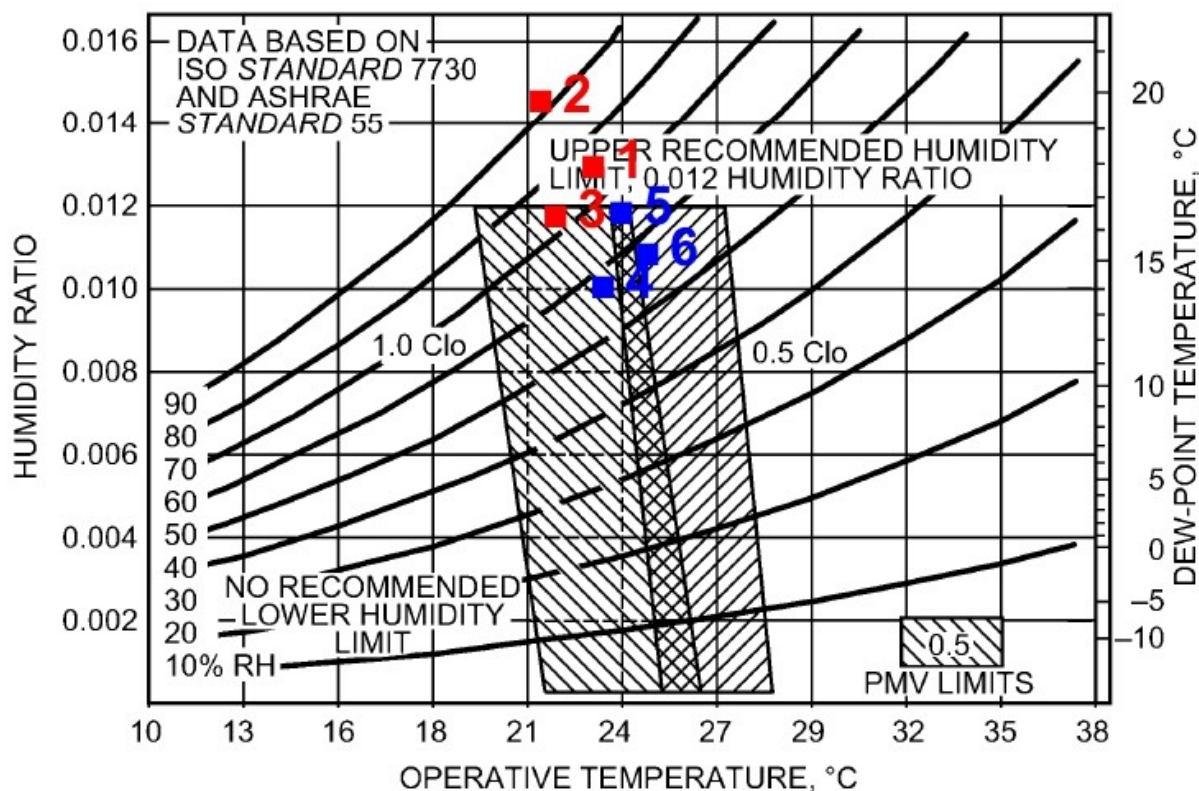
En el Anexo XVI.C se presentan los resultados para las zonas monitorizadas en los dos edificios, de acuerdo con las consideraciones ya comentadas. Cabe comentar que en los ambientes del edificio G1 en la Secretaría de Ingeniería Ambiental se obtiene un desconfort para el frío de 44,83% de las horas ocupadas, considerándose la orientación solar SE desfavorecida además del bajo aislamiento de la cubierta, y las condiciones de calor representan un 9,12%. Mientras tanto, para la Secretaría de Arquitectura y Urbanismo el frío equivale a un 20,10% y el calor 8,84%. En este sentido, las horas de confort son más considerables en los ambientes orientados para NE: 71,06% comparados a los 46,05% de la Secretaría de Ingeniería Ambiental; también considerándose la ventilación como factor de obtención de confort - Figura 246 hasta la Figura 248, aunque con menores impactos generales.

Para el edificio L1 – véase Figura 249 hasta la Figura 251 - se perciben mayores índices para las sensaciones de calor: entre 34,18% (Aulas Prácticas – orientación SSE) y 39,49% (Laboratorio de Carnes – orientación NNE): por otra parte las condiciones de confort equivalen a 55,63% y 51,75% de las horas ocupadas, respectivamente.

En todas las situaciones la sensación de frío son relativamente baja, según los resultados de simulaciones, exceptuándose la Secretaría de Ingeniería Ambiental, ubicada en la fachada SE. Hay que tener en cuenta que la ocurrencia de temperaturas bajas esta predominantemente por las noche, sin ocupación.

En este sentido, según las zonas de confort adaptativo propuestas por la ASHRAE Fundamentals (ASHRAE 2009a), los resultados obtenidos por los cálculos de las simulaciones por el *DesignBuilder* pueden ser observados en la Figura 64. Considerándose los límites de temperaturas de confort entre 21,2°C y 27,9°C resultantes de la aplicación

de la ecuación propuesta por de Dear y Brager (2002), los datos anuales generales de los edificios y multi-zonas térmicas de los ambientes monitorizados se encuadrarían en dichos límites, no fuera por los altos indicadores de humedad relativa en los puntos 1 y 2 (edificio G1).



Obs.: (1) G1; (2) G1\_IngAmb; (3) G1\_Arq; (4) L1; (5) L1\_APract; (6) L1\_LabCarnes.

Figura 64 Zonas de confort para verano e invierno según ASHRAE Fundamentals 2009 (ASHRAE 2009a, 9:12), aplicadas el estudio.

Este razonamiento indica la validez de las acciones de adaptabilidad por los usuarios para alcanzar o restablecer sus propias sensaciones de confort térmico (Roaf, Crichton y Nicol 2009)<sup>48</sup>, por ejemplo por la ventilación con la apertura o cierre de ventanas o por la vestimenta, estrategias a ser desarrolladas en las fases siguientes de la metodología.

### Fase 3: Diagnósis y líneas de actuación

#### Comparativas entre las demandas y consumos energéticos reales y las simulaciones

Cuanto a los resultados del desempeño energético y de las condiciones de confort se hicieron análisis en lo que se refiere a la compatibilización de las demandas real y teórica resultante de las simulaciones con los escenarios posibles, o sea, adecuar el consumo a los criterios de la ecoeficiencia, lo que incluye el análisis de impactos ambientales y costes como factores de evaluación de la eficiencia administrativa de instituciones o empresas.

La simulación de consumo energético por el *DesignBuilder* confirma las diferencias presentadas en la Fase 2 y los

<sup>48</sup> El tema del confort adaptativo esta profundizado en el Apartado B.6, en conjunto con los parámetros de confort ambiental.



resultados del Anexo XV: la energía total necesaria para el G1 es de 313MWh, mientras que para el L1 es de 386MWh – véase la Tabla 23, considerándose el atendimento de todos los usos de sendos edificios.

Los efectos de todos los componentes de las ganancias de calor, de los equipos y de la ocupación, reflejen directamente en el desempeño energético de cada uno de los edificios; el consumo de electricidad según las simulaciones es de 113,93kWh/m<sup>2</sup> en el L1, mientras que en el G1 es de 106,15kWh/m<sup>2</sup>.

Tabla 23 Índices de ecoeficiencia para el consumo energético de los edificios G1 y L1 – modelos de referencia (R).

<i>DesignBuilder</i>	kWh/año	kWh/m <sup>2</sup> año	área (m <sup>2</sup> )	ocupación diaria	kWh per cápita/año	kWh per cápita/día <sup>49</sup>
<b>G1</b>	286.234,80	106,15	2.696,56	863	331,67	1,32
<b>L1</b>	386.209,50	113,93	3.389,77	645	598,77	2,39
<i>SmartGateM</i> <sup>50</sup>	kWh/año	kWh/m <sup>2</sup> año	área (m <sup>2</sup> )	ocupación diaria	kWh per cápita/año	kWh per cápita/día
<b>G1</b>	216.997,46	80,47	2.696,56	863	251,45	1,00
<b>L1</b>	266.817,70	78,71	3.389,77	645	413,67	1,65

La Tabla 23 también presenta los datos utilizándose las simulaciones y los valores de consumo obtenidos con la medición por el sistema *SmartGateM* para el año de 2012; verificándose valores de consumo energético simulados (kWh/año) superiores a los reales. Sin embargo, se observa que los índices de consumo de energía nominal son mayores en el L1, así como el consumo per cápita.

Al relacionar los valores de consumo anuales reales con las superficies de los edificios los indicadores se presentan aproximados a los 100kWh/m<sup>2</sup>: 80,47kWh/m<sup>2</sup> (G1) y 78,71kWh/m<sup>2</sup> (L1). Con estos indicadores se percibe que la proporción es mayor en el edificio G1 por su concentración de equipamientos de informática y de la ocupación máxima en las clases, especialmente en el turno nocturno, de acuerdo con la evaluación del seguimiento de la intensidad de uso, representada en la Figura 49.

Por consecuencia, los indicadores de la relación entre el consumo y los ocupantes presentan diferencias significativas: 1,32 y 2,39kWh per cápita/día útil en las simulaciones del *DesignBuilder*, mientras que los datos reales por el *SmartGateM* caen para 1,00 y 1,65kWh per cápita/día útil, respectivamente para el edificio G1 y L1.

Según los datos del informe de eficiencia energética para las Instituciones de Educación Superior (IES) en Brasil (PROCEL 2008), el consumo medio mensual por alumno era de 28KWh/alumno, mientras que la media del consumo por personal era de alrededor de 579kWh/mes, lo que enseña un bajo consumo por los estudiantes.

Tabla 24 Comparación indicadores de consumo en instituciones de enseñanza.

Indicador	PROCEL (2008)	Campus I UPF (2012)	UPF L1 (2012)	UPF G1 (2012)
consumo/alumno	28kWh/alumnoxmes	328,7kWh/usarioxaño	49,44kWh/usuarioxmes	30,05kWh/usuarioxmes
	579kWh/personalxmes			
Consumo/área const.		49,97kWh/m <sup>2</sup>	78,71kWh/m <sup>2</sup>	80,47kWh/m <sup>2</sup>

Según presentado en la Tabla 24, comparativamente los indicadores para los edificios G1 y L1 están muy por

<sup>49</sup> Fueron considerando los 251 días útiles del año de 2012 en Brasil.

<sup>50</sup> Datos referentes al año 2012.

encima del indicador de informe de PROCEL (2008) para los alumnos. Para el cálculo se consideró la ocupación total diaria de usuarios (alumnos y funcionarios), en este sentido los indicadores son semejantes al patrón del informe de PROCEL en términos del edificio G1, predominantemente educacional, mientras que para el L1, de laboratorios, el índice es casi el doble.

Cabe también referenciar a otros datos del informe brasileño (PROCEL 2008) que, en general, solamente un 6,7% de las instituciones de educación fundamental investigadas informaron poseer equipamientos que utilizaban la electricidad para la producción de calor en sus instalaciones. Dentro de esa categoría de equipamientos se incluyen hornos, estufa y calentadores, con la potencia media instalada de 19,3kW. La calefacción eléctrica era realizada con la utilización de resistencia en todas las instituciones de enseñanza que adoptan equipamientos de electrotermia.

La potencia instalada en iluminación se situaba predominantemente en la franja de 10 a 50kW para 51,1% de las instituciones investigadas, y entre 5 a 10kW y 50 a 100kW, para el 12,8% de las instituciones. La media de potencia instalada en iluminación era de alrededor de 80kW para las escuelas de educación superior y de 26kW para la enseñanza fundamental. La participación de la carga de iluminación en relación con la demanda máxima de las instalaciones situase en la media de las respuestas en un 33,7% para las IES y un 18,1% para las escuelas de educación fundamental.

Las simulaciones con el *DesignBuilder* (2011b, 622) permiten hacer el desglose de energía según los usos finales de cada uno de los edificios - Tabla 25. Los mayores porcentajes de sendos edificios están destinados a la electricidad de manera general, es decir, los equipamientos y ordenadores, excluyéndose la iluminación, aplicándose los factores de uso y factores radiantes comentados anteriormente. El seguimiento del consumo real por el sistema *SmatGateM*, por ser general, no permite esta misma evaluación, y por consecuencia, las comparativas entre la demanda simulada y la que ocurre efectivamente.

Tabla 25 Desglose de la demanda energética según los usos y respectivos porcentajes modelos de referencia (R).

Edificio	Electricidad kWh	Iluminación kWh	Energía Auxiliar kWh	Generación de Calor (Electricidad) kWh	Refrigeración (Electricidad) kWh	Total energía kWh
G1	171.296,30	89.421,18	142,75	1.573,62	23.800,87	286.234,73
L1	181.070,30	94.410,45		2.195,18	38.533,61	316.209,54
G1	59,84%	31,24%	0,05%	0,55%	8,32%	
L1	57,26%	29,86%	0,00%	0,69%	12,19%	

La diagnosis de los usos finales apunta también la importancia de la iluminación para el consumo en los edificios, y en tercer puesto la refrigeración.

En los perfiles mensuales de consumo energético simulados - Figura 272 Anexo XVII, las condiciones de uso y ocupación una vez más condicionan la distribución según los periodos lectivos, con reducciones importantes en el mes de febrero para el edificio G1.

### **Demandas de acondicionamiento – calefacción y refrigeración**

La demanda teórica para el acondicionamiento térmico resultante de las simulaciones presenta los datos de la Tabla

26, considerándose el atendimento a las necesidades para confort de los usuarios, pero todavía según los datos de superficies acondicionadas reales y respectivas potencias<sup>51</sup>. Una vez más, la demanda por refrigeración en el edificio L1 (113,97W/m<sup>2</sup>) es muy superior al G1 (19,90W/m<sup>2</sup>); como contrapunto, se percibe igualmente que las demandas por calefacción son más bajas, con ratios por la superficie de sendos edificios semejantes (entre 34,75 y 47,66W/m<sup>2</sup>):

Tabla 26 Simulaciones de la demanda para acondicionamiento térmico edificios L1 y G1 – modelos R.

edificio	calefacción		refrigeración	
G1_R	128,51kW	47,66W/m <sup>2</sup>	53,65kW	19,90W/m <sup>2</sup>
L1_R	117,79kW	34,75W/m <sup>2</sup>	386,33kW	113,97W/m <sup>2</sup>

El *DesignBuilder* (2011b, 606) presenta el desglose de las pérdidas de calor en “estado estable” (*steady-state*), con los resultados de la planificación de calefacción según los cálculos de salida de *EnergyPlus* (DOE 2013). En la Figura 66 están representados los resultados para el diseño de las instalaciones de calefacción en los dos edificios, con el balance térmico considerándose todas las superficies.

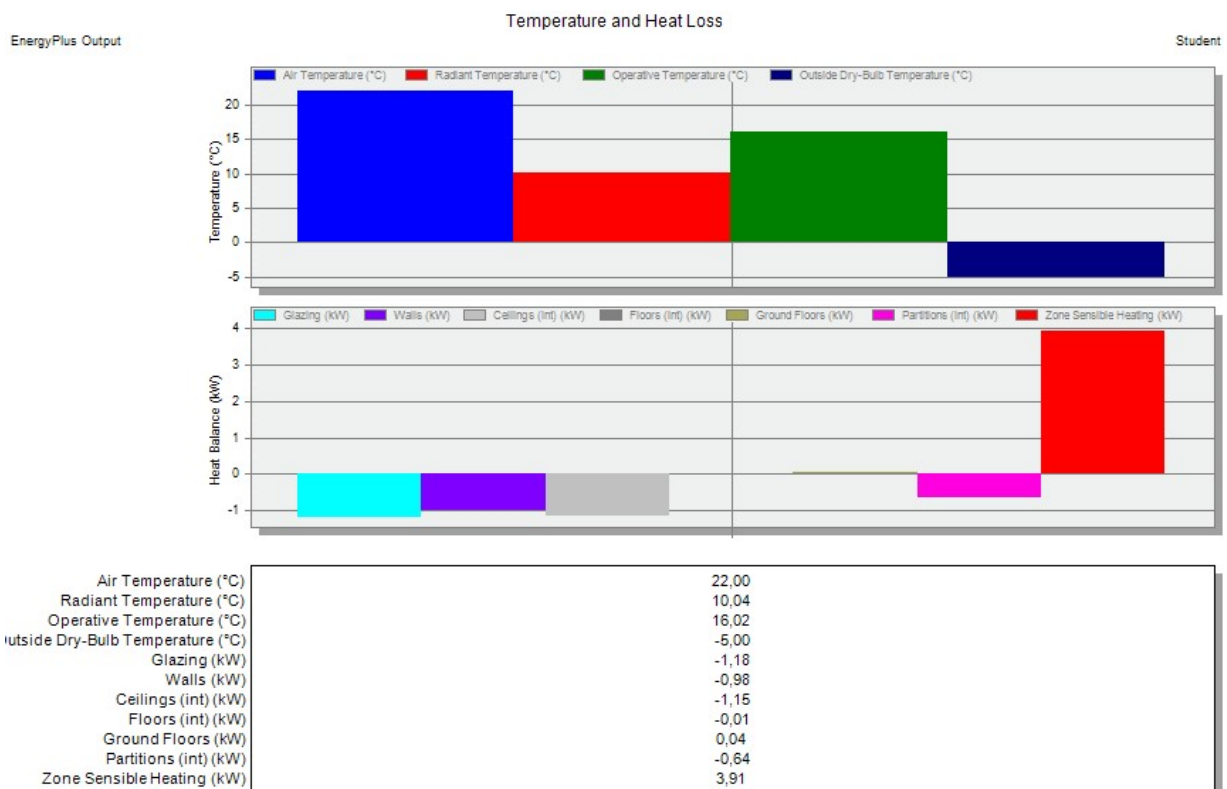


Figura 65 Resultados de simulaciones para calefacción Edificio G1, modelos R.

En este sentido, las características de la envolvente influyen directamente en los resultados: por un lado las mayores pérdidas por las superficies acristaladas en el L1, mientras que para los muros y cubiertas, el G1 (con menores resistencias térmicas) presenta valores mayores. La tipología de los edificios, por otro lado influye en la superficie de contacto con el suelo, con valores de ganancias mayores en el L1 con planta baja de mayor área, además de

<sup>51</sup> Los resultados de las simulaciones para calefacción y refrigeración para cada una de las multi-zonas térmicas, están presentados en el Anexo XVII.E.

presentar dos plantas al revés del G1 con tres niveles.

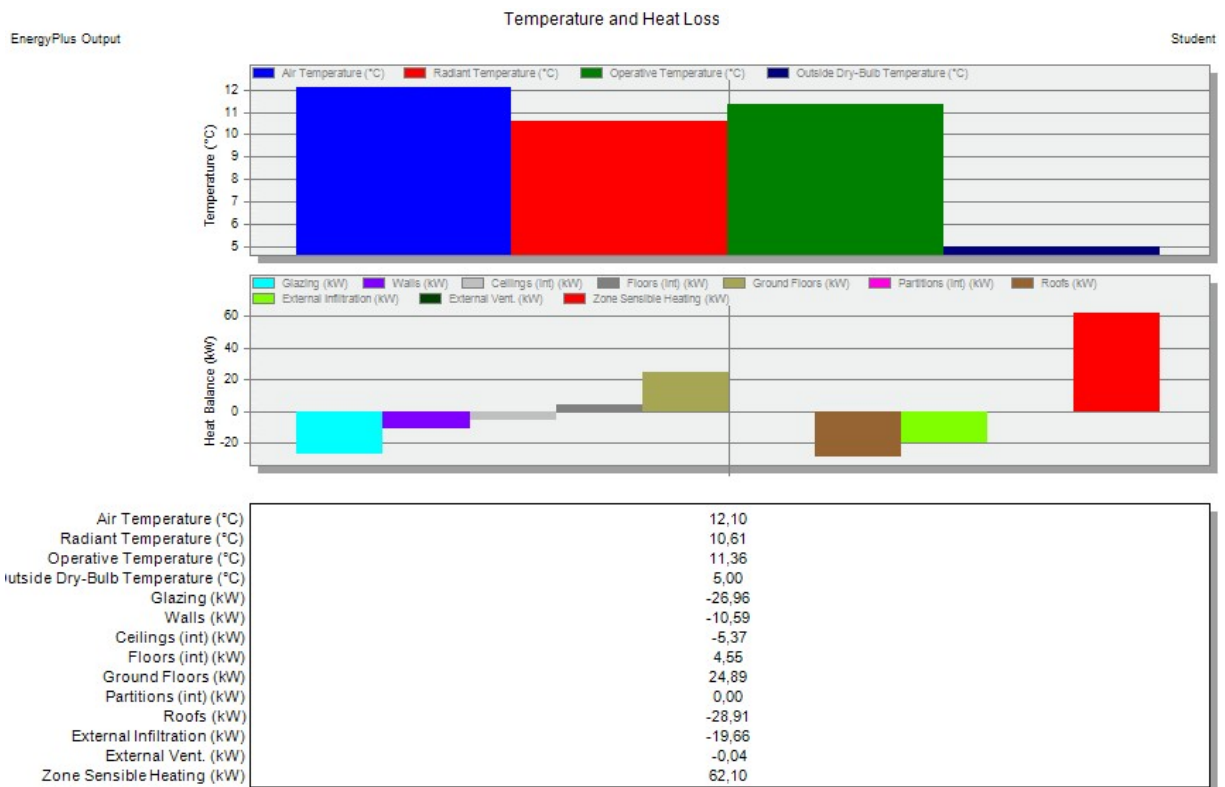


Figura 66 Resultados de simulaciones para calefacción Edificio L1, modelos R.

Las tablas del resumen del diseño de la calefacción (Tabla 67 y Tabla 68 del Anexo XVII.E) muestran la temperatura de confort, la constante pérdida de calor del estado y la capacidad de calefacción de diseño (DesignBuilder 2011b, 606):

- Temperatura de confort - la media del aire interno y temperaturas radiantes (también conocida como la temperatura "operativa");
- La pérdida de calor en estado estacionario - lo mismo que "calefacción entregada" en los resultados de estado estacionario (*steady-state*) - calor suministrado para mantener la temperatura de diseño de calefacción;
- Capacidad de diseño - es la pérdida de calor en estado estacionario multiplicado por el margen de diseño para proporcionar la capacidad de calefacción de diseño del equipo.

En la Figura 273 – Anexo XVII.E están presentados las condiciones y resultados para el diseño de las instalaciones de refrigeración, basadas en el día típico de 14 de enero. Además de las variables climáticas, las diferencias entre las características de la envolvente igualmente influyen en los resultados para cada uno de los edificios.

Las Tabla 65 y Tabla 66 (Anexo XVII.E) resumen del diseño de refrigeración, y muestran las cargas de refrigeración de diseño y caudales de cada zona, además de otros datos relacionados (DesignBuilder 2011b, 614-615).

A partir de los resultados del diseño de acondicionamiento, especialmente en los modelos decurrentes de los ajustes para aproximar las demandas reales y las demandas simuladas, anteriormente comentados, los modelos *T*

proponen una mejora en las condiciones de confort térmico con la extensión de la superficie con aporte energético para refrigeración y calefacción.

Según los algoritmos y de los requisitos propios del programa *DesignBuilder*, ya mencionados, los resultados para cada una de las multi-zonas térmicas pueden ser evaluados aisladamente o bien del edificio de manera integral.

A partir de los resultados de los modelos de simulación reales y teóricos, desarrollados a continuación, se comparan las cargas de diseño de refrigeración y calefacción de cada uno de estos modelos.

### Modelos teóricos ideales

Los modelos teóricos ideales ( $T_n$ ) fueron desarrollados con la premisa de proporcionar condiciones de confort para todas las multi-zonas de ocupación permanente, o sea, excluyéndose los espacios de servicio y lavabos. En este sentido, los espacios actualmente no servidos por equipos de aire acondicionado fueron simulados teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Redistribución de la configuración de la Zona 3 del edificio G1 – Laboratorio de Informática FEAR, con la subdivisión en 5 multi-zonas, individualizadas según orientación solar e instalaciones de acondicionamiento preexistentes - Figura 274 Anexo XVIII;
- Calefacción: según el RTQ-C (PROCEL 2010a, 50; 2013b, 138) para calefacción por acondicionadores de aire de ciclo reverso los equipamientos deben presentar un CoP (coeficiente de performance) mayor o igual a 3,0W/W según la normativa AHRI340/360<sup>52</sup>;
- Refrigeración: utilización de equipos reglamentados por el INMETRO con Selo PROCEL<sup>53</sup>, referenciados igualmente por el RTQ-C (PROCEL 2010a, 52; 2013b, 146-148; 2016); para la clase de eficiencia energética A con CEE – coeficiente de eficiencia energética, mayor que 3,23W/W, considerándose las nuevas exigencias de evaluación (Brasil 2011; Brasil 2013b), de acuerdo con la Figura 67.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		
A	3,23	<CEE	
B	3,02	<CEE ≤	3,23
C	2,81	<CEE ≤	3,02
D	2,60	≤CEE ≤	2,81

Figura 67 Niveles de eficiencia de acondicionadores de aire tipo “split”: requisitos para vigencia a partir de agosto de 2014 (PROCEL 2016).

Hay que comentar que la acción de “instalar gradualmente y progresivamente acondicionadores de aire en todas las salas de aula y otros sectores de la universidad” está insertada en los procesos de desarrollo institucional de la UPF – PDI 2012-2016, con la previsión inicial de la conclusión de este objetivo hasta el final de 2016.

<sup>52</sup> AHRI – Air-conditioning, Heating and Refrigeration Institute. ANSI/AHRI Standard 340/360 – 2007: Performance rating of commercial and industrial unitary air-conditioning and heat pump equipment.

<sup>53</sup> Adopción de las tablas de clasificación ENCE del PBE/INMETRO disponibles en <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>, considerándose las últimas versiones publicadas, además de los requisitos de evaluación definidos por la Portaria INMETRO 007/2011 (Brasil 2011), con publicación de revisión según las nuevas exigencias por la Portaria INMETRO 410/2013 (Brasil 2013b).

Aunque para el edificio L1 las diferencias entre los datos medidos y simulados no presentaron divergencias significativas, se procedió la simulación del modelo de referencia  $R$  y modelo teórico ideal  $T_1$ , con el acondicionamiento de los espacios de utilización prolongada, bajo dichos criterios ya comentados.

En las comparativas considerándose los modelos  $R$  y  $T_1$ , la demanda energética global presentó aumentos alrededor de 3,36% para el edificio G1 y 22,17% para el edificio L1 y, enseñando que el impacto del acondicionamiento sería más significativo en el segundo; los valores nominales equivalentes están representados en la Tabla 27:

Tabla 27 Desglose de la demanda energética según los usos para los modelos de referencia ( $R$ ) y teórico ( $T_1$ )

Edificio	Electricidad kWh	Iluminación kWh	Energía Auxiliar kWh	Generación de Calor (Electricidad) kWh	Refrigeración (Electricidad)~kWh	Total energía kWh
G1_R	171.296,30	89.421,18	142,75	1.573,62	23.800,87	286.234,73
G1_T1	137.466,50	126.605,30	142,75	3.814,53	27.825,29	295.854,38
L1_R	181.070,30	94.410,45		2.195,18	38.533,61	316.209,54
L1_T1	188.957,80	94.410,45		13.729,18	89.203,15	386.300,58

La comparativa entre los perfiles mensuales de consumo energético global, enseñan que mientras las diferencias entre los modelos  $R$  y  $T_1$  en el edificio G1 sean muy similares - Figura 68; en el edificio L1 - Figura 69 - son más perceptibles, coincidiendo con los comentarios anteriores sobre la mayor aporte para acondicionamiento.

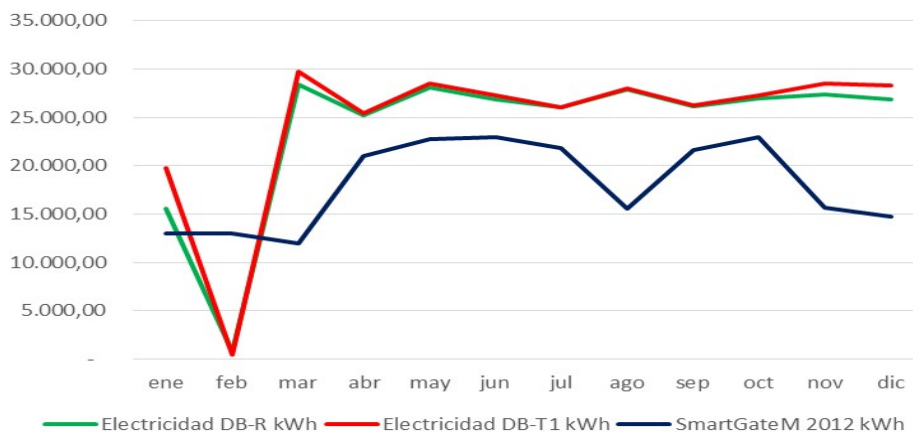


Figura 68 Edificio G1: consumo energético real 2012 y modelos simulados de referencia  $R$  y teórico ideal  $T_1$ .

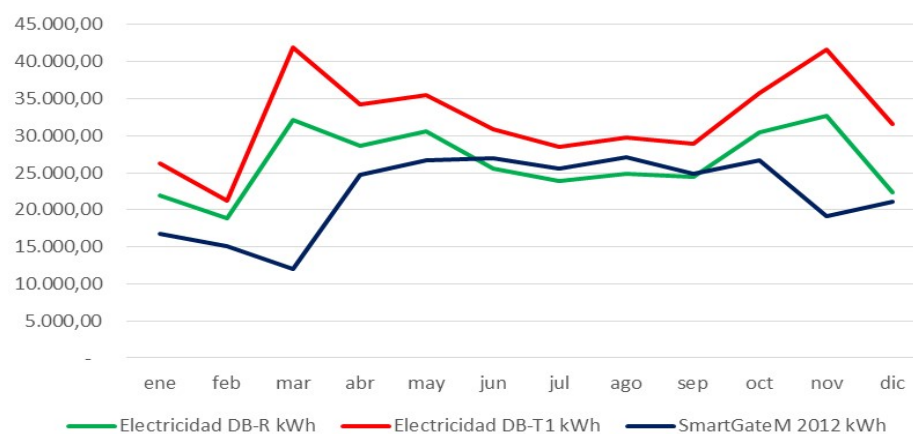


Figura 69 Edificio L1: consumo energético real 2012 y modelos simulados de referencia  $R$  y teórico ideal  $T_1$ .

Las propuestas de ajustes en los modelos  $T_1$ , con la ampliación de la superficie acondicionada generaron alteraciones en la potencia y demanda energética en los datos de las características de los espacios y multi-zonas térmicas, según la Tabla 69 para el edificio G1 y la Tabla 72 para el edificio L1. Dichas alteraciones serán desarrolladas a continuación, referente a la diagnosis y las propuestas de líneas de actuación, con la proposición de los indicadores  $C_{ideal}$  (consumo ideal).

Para la evaluación de la ampliación de las condiciones de confort, a partir de la instalación de equipos de acondicionamiento artificial en las zonas térmicas actualmente no acondicionadas, los modelos de simulación teóricos ( $T_1$ ) configurados bajo los criterios presentados a continuación, resultan con acrecimientos, obviamente, en la demanda de acondicionamiento: de 182,16kW para 324,35kW en el G1  $R$  y  $T_1$ , respectivamente; de 504,12kW para 1.091,87kW en los modelos del L1, de acuerdo con las gráficas comparativas de la Figura 279.

Es decir, la necesidad de ampliación de la potencia para acondicionamiento es superior en L1 (variación de un 236,63%) a la del G1 (78,06%). Los resultados en números absolutos y la representación gráfica de los indicadores para la demanda de acondicionamiento están evaluados a continuación, considerándose todos los modelos de simulación y la comparativa con la demanda actual instalada efectivamente – edificio real.

Los modelos teóricos ideales  $T_n$ , además de incluir el acondicionamiento de los espacios (modelos  $T_1$ ), se ajustan las características de la envolvente según la evaluación de las propiedades térmicas, en especial de los coeficientes de transmisión térmica  $U$  que se han demostrado con bajo desempeño y nivel de calidad según el RTQ-C (PROCEL 2013b) y el RAC (Brasil 2013a), según la Tabla 13 y Tabla 14, de acuerdo con los criterios:

- Edificio G1 – rehabilitación en la cubierta para ambientes acondicionados (actualmente con nivel  $C/D$  para ambientes no acondicionados) y muros exteriores, actualmente con nivel  $B$ ;
- Edificio L1 – protección solar de ventanas; intervención en la cubierta, actualmente con nivel  $C/D$  para espacios no acondicionados y ajustes en los muros exteriores, actualmente con nivel  $B$ .

En este sentido, los retos para las características y respectivos coeficientes  $U$ , deben estar por debajo de los indicadores apuntados en la Tabla 28:

Tabla 28 Coeficientes  $U$  de la envolvente de los edificios G1 y L1 existentes y pretendidos.

Edificio	Existente		Nivel A RTQ-C – ZB2	
	Cubierta	Muros Exteriores	Cubierta (Acondicionados)	Muros Exteriores
G1	$U=2,212W/m^2K$	$U=1,334W/m^2K$	$U\leq 0,5W/m^2K$	$U\leq 1,0W/m^2K$
L1	$U=2,167W/m^2K$	$U=1,134W/m^2K$	$U\leq 0,5W/m^2K$	$U\leq 1,0W/m^2K$

Sin embargo, se presentan dificultades para la rehabilitación de los muros, con una reconfiguración de materiales y procesos constructivos, cabiendo así, propuestas de mejoría de aislamientos con paneles. El repertorio de soluciones es muy amplio, sin embargo Richarz, Schulz y Zeitler (2007) y Richarz y Schulz (2013) presentan ejemplos de *retrofitting* para edificios, donde queda importante la remoción de los puentes térmicos que empeoran

el comportamiento térmico de los cerramientos, otra cuestión deficiente en los procesos constructivos convencionalmente adoptados en Brasil, y por extensión al parque construido de la UPF.

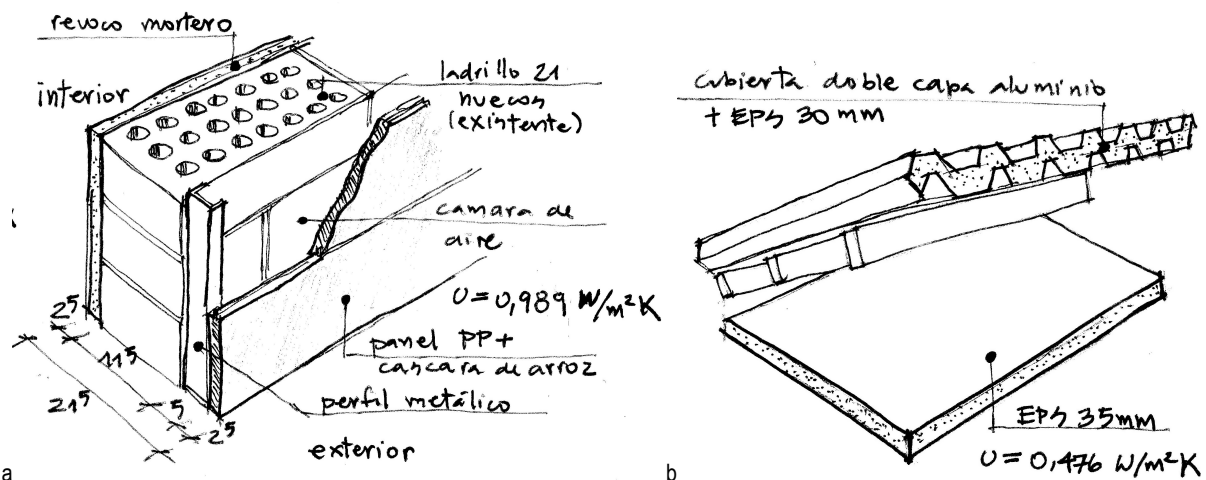


Figura 70 Representación de los componentes de la envolvente Ed. G1 - modelo T<sub>2</sub>: a. muros exteriores; b. cubierta.

En los muros exteriores del edificio G1 (Figura 70), para facilitar el proceso de rehabilitación fue propuesto la aplicación de paneles exteriores de 20mm de espesor en polipropileno (PP) resultante de reciclaje con la utilización de 20% de cascara de arroz, con encajes macho-hembra, fijados con montantes de perfiles metálicos, generando una cámara de aire con los muros existentes; el cálculo de la transmitancia térmica obtiene  $U=0,989\text{W/m}^2\text{K}$ . En la cubierta se propuso el cambio del tejado por chapas duplas de aluminio "termoacústico" con EPS de 30mm de espesor y la sustitución del techo también por paneles de EPS  $e=35\text{mm}$ , alcanzando el coeficiente  $U=0,476\text{W/m}^2\text{K}$ .

Con estos resultados son atendidos los límites prescriptos por la normativa brasileña, cuyos datos de cálculo están relatados en el Anexo XVI - Figura 280 y Figura 281. No se proponen alteraciones en el acristalamiento, pero habría que ser desarrollada la mejora del funcionamiento de las carpinterías para promover la ventilación natural.

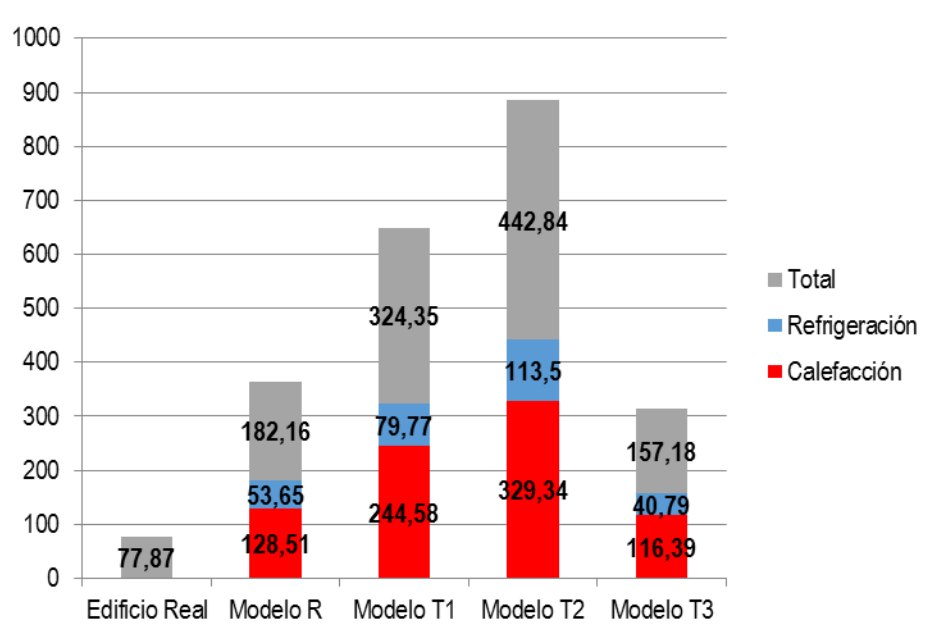
Para contribuir con la elección del sistema de cubierta, el estudio de Dias (2011, 68) indica que la presencia de material aislante resistivo en la composición del tejado "termoacústico" aumenta la capacidad térmica indicada para edificios ubicados en lugares de climas fríos. En comparativas desarrolladas por Canepelle et al. (2013) esta solución constructiva puede reducir en un 31% en el consumo de energía total del edificio objeto de la investigación, en comparación con la chapa de aluminio de capa única o la chapa única con una manta aislante; en términos de los costes de la rehabilitación la relación *coste versus beneficio* fue obtenida por la eficiencia energética.

En el caso del edificio administrativo y de aulas de la FEAR – G1, la potencia instalada para acondicionamiento real es de 77,87kW, cubriendo una superficie de solamente 23,16% y correspondiente a un 25,56% de la potencia total instalada. Ya con la simulación del modelo R por el *DesignBuilder*, la capacidad de diseño de calefacción es de 128,51kW (Tabla 67) y de refrigeración 53,65kW (Tabla 65), totalizando 182,66kW; estos datos representan una variación de 133,93% en relación a la existente.

Sin embargo, el modelo T<sub>1</sub>, considera la ampliación del acondicionamiento a todos los espacios de uso prolongado para 74,30% de la superficie total. Con esto, la demanda de calefacción teórica ideal, sería de 244,58kW (Tabla 70),



mientras que para refrigeración sería de 79,77kW (Tabla 71), con el sumatorio de 324,35kW y equivalente a un aumento de 219,08%. En la Figura 71 se perciben dichas variaciones, además de informaciones adicionales presentadas en los Anexos XVII y XVIII.



Modelo R – referencia; Modelo  $T_1$ : ampliación de la superficie acondicionada; Modelo  $T_2$ : ampliación de la superficie acondicionada + cambios sistemas VRF + mejora de la envolvente; Modelo  $T_3$ : ampliación de la demanda de ordenadores portátiles.

Figura 71 Variaciones en la demanda para acondicionamiento para el edificio G1 (kW).

Con la rehabilitación de la envolvente, muros exteriores y cubierta, el modelo  $T_2$  – todavía con la representación gráfica en la Figura 71 - la capacidad de diseño de calefacción y refrigeración presentan un incremento, pese el aumento del nivel de calidad para el RTQ-C, con valores de los coeficientes  $U$  por debajo de los 0,5W/m<sup>2</sup>K indicados.

Para evaluar los resultados del desempeño energético, en el modelo  $T_2$  fue también propuesto el cambio de los equipos de acondicionamiento con mayores impactos (laboratorio de informática y auditorio) por sistemas VRF (*Variable Refrigerant Flow*) que amplían el  $CoP$  para 3,87 o 4,80<sup>54</sup>, es decir, con mejores rendimientos que los actualmente instalados. Según la Portaria nº299/2013 (Brasil 2013a) se incluyen en las normativas nacionales las condiciones para los sistemas VRF para la clasificación A de equipos de ciclo reverso,  $CoP$  3,81 para instalaciones con menos de 19kW y 3,22 $CoP$ /3,78 $CoP$  para entre 19kW y 40kW, indicadas según los resultados del diseño de acondicionamiento<sup>55</sup> – Tablas del Anexo XVII y XVIII.

Los análisis de los resultados aquí presentados están basados en el desempeño energético, pues hay que cotejarlos con el desempeño de confort de cada uno de los modelos, desarrollados a continuación.

<sup>54</sup> Simulación adaptándose a los de coeficientes de los sistemas VRF, como por ejemplo HI  $CoP$  -  $CoP$  3,87y HI Efficiency -  $CoP$ 4,8 ([http://www.hitachiapb.com.br/static/site/files/Cat\\_Set\\_Free\\_STF1504\\_JAN\\_2014.pdf](http://www.hitachiapb.com.br/static/site/files/Cat_Set_Free_STF1504_JAN_2014.pdf)).

<sup>55</sup> Cabe mencionar que el software DesingBuilder, hasta la versión 4.2 (DesignBuilder 2014) no permitía las simulaciones de sistemas VRF, sin embargo, la versión 4.5 (Cocking 2015; DesignBuilder 2015a; 2015b) ya permite su incorporación, según los parámetros del EnergyPlus.

Para la piel de los modelos del edificio L1, en las fachadas se indicó el revestimiento con chapas de polipropileno (PP) y cascara de arroz ya adoptadas para las fachadas del edificio G1, alcanzando la transmitancia térmica de  $0,879\text{W/m}^2\text{K}$ . Para las cubiertas, con bajo nivel de calidad según las prescripciones del RTQ-C, la rehabilitación necesita un cambio de materiales, con tejado “termoacústico” en chapa metálica exterior y espuma de poliuretano (PU) con 30mm de espesor, revestido en la capa inferior con film de PVC, garantizando un coeficiente  $U=0,497\text{W/m}^2\text{K}$ , según las configuraciones y cálculos presentados en el Anexo XVIII.B - Figura 282 y Figura 283.

Específicamente para la reducción de las aportaciones térmica por la radiación solar en el edificio L1, se podría optar por un sistema eficaz que es la utilización de protectores solares externos a la edificación, teniendo en cuenta que la actual protección interna, con cortinas y persianas, o incluso papeles pegados por los propios usuarios, no resulta eficiente.

En este sentido, fue planteado a los estudiantes becarios de la investigación estudiar propuestas alternativas; los becarios (Wildner et al. 2011, Couto et al. 2012; Dias et al. 2012) identificaron que una vez que la radiación solar entra en contacto directo con la superficie acristalada (cerramiento transparente) de las ventanas, el calor es transmitido para dentro del ambiente para en seguida ser bloqueado por la protección interna, cuando encuentra dificultades para salir, el calor queda acumulado en el ambiente interior, causando el fenómeno conocido como “efecto vidriera”.

En los estudios de la incidencia solar de la carta solar y de los diagramas de horarios de insolación (Frota y Schiffer 1995; Olgyay 1998), según las características de orientación y dimensiones de las ventanas, así como de las necesidades y requisitos de uso de cada uno de los ambientes (Figura 286), indicaron la aplicación de los protectores con distintas configuraciones constructivas - Figura 72 y detalles en la Figura 287 del Anexo XVIII.C.

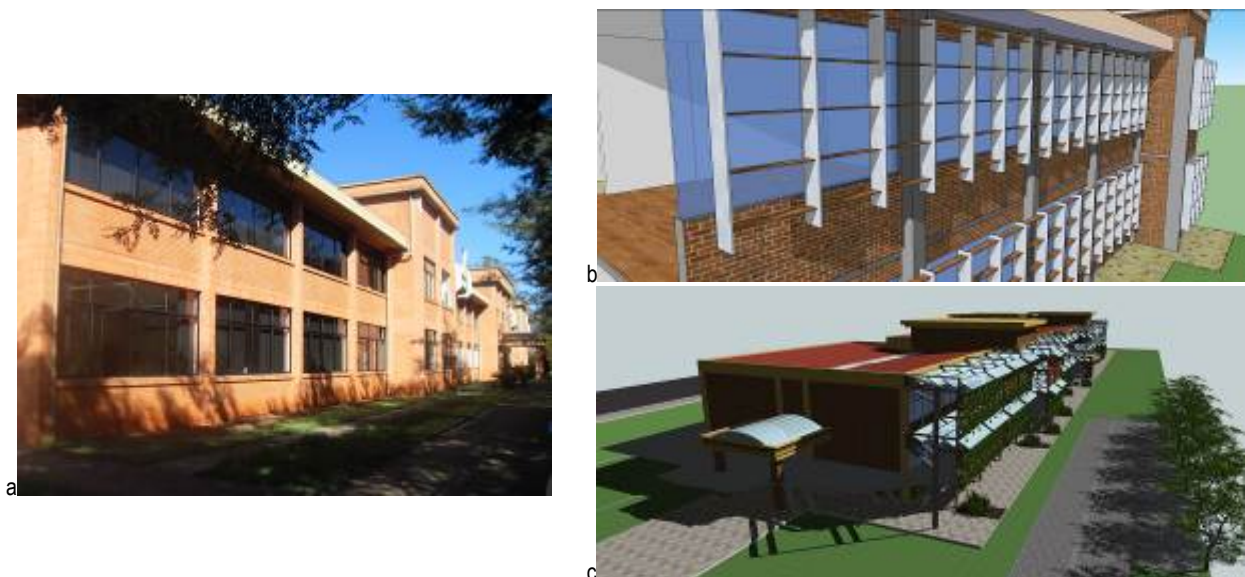


Figura 72 a. Fachada NNO actual edificio L1; b. protección horizontal y vertical (Wildner et al. 2011; Dias et al. 2012); c. sistema de protectores horizontales y vegetación caducifolia (Couto et al. 2012).

Para la fachada SSE, donde se localiza la Sala de Aulas Prácticas, los protectores indicados son los verticales o mixtos, como se pueden observar la Figura 284 – Anexo XVIII, protectores que ya fueron incorporados en algunos

edificios de la UPF (Facultad de Odontología, Facultad de Derecho y el Edificio G1 - FEAR). Los protectores horizontales son indicados para los ambientes ubicados en la fachada de orientación norte, según la Figura 285; para las orientaciones en los cuadrantes este y oeste, se indican sistemas mixtos.

La eficiencia de las soluciones desarrolladas por los académicos podría también ser evaluada de manera cuantitativa con base en el estudio de Medeiros (2012) bajo los criterios del reglamento brasileño RTQ-C. Sin embargo, en los criterios cualitativos, la reducción de la incidencia de la radiación sobre las superficies acristalada es evidente, incluso permitiendo otras adaptaciones por los usuarios para la obtención de confort térmico - confort adaptativo - en los días de temperaturas elevadas, como la apertura de las ventanas para ventilación, actualmente incompatibles sin la simultánea apertura de las cortinas y persianas.

Para efectos de la simulación del modelo  $T_3$  se utiliza la concepción formal de Dias et al. (2012), con ajustes a las características de diseño de simulación, utilizándose también lamas horizontales en PP y cascara de arroz, con largura de 20cm, de acuerdo con observaciones del Anexo XVIII.C.

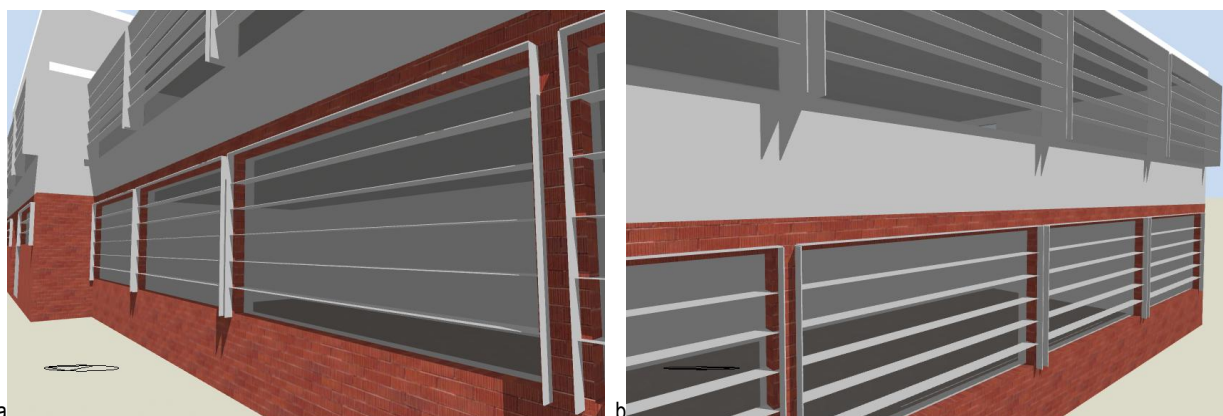


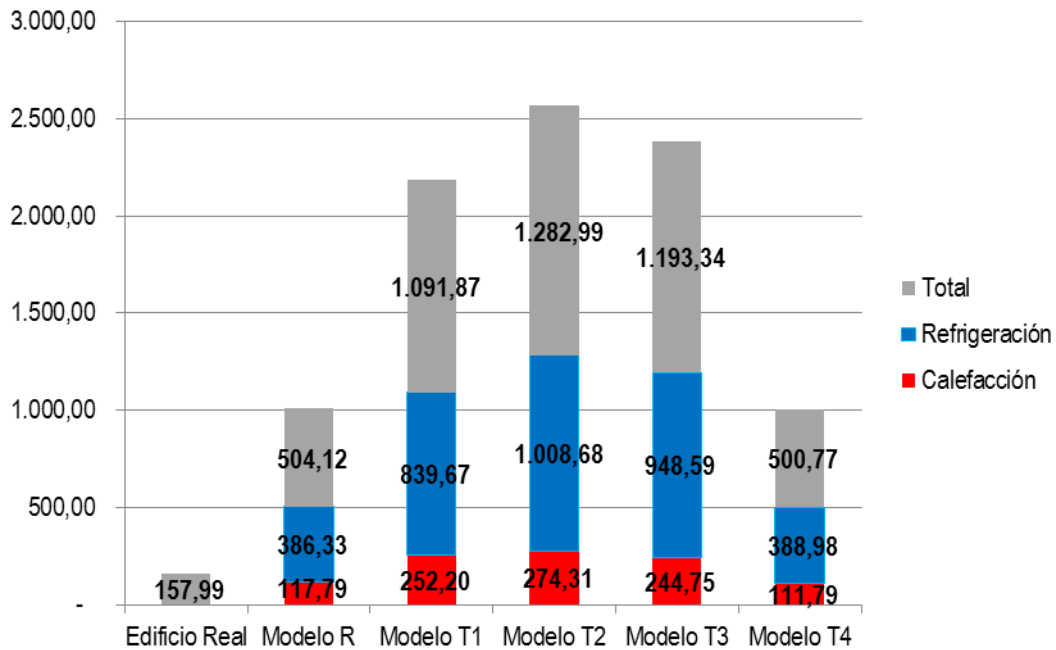
Figura 73 Protección solar en la fachada NNO: a. solsticio de verano, 14:00 horas; b. equinoccios 14:00 horas.

En la Figura 73 se demuestra el resultado de la sombra en la fachada NNO, en el solsticio de verano y equinoccios a las 14 horas; en la Figura 288 se muestra el resultado para el solsticio de invierno, con la incidencia de radiación para calentamiento pasivo de los ambientes. No obstante, para la fachada SSE también hay la aplicación de los protectores teniendo en cuenta el recorrido solar, con incidencia por las tardes de los equinoccios y el solsticio de verano, como se ha comentado anteriormente – véase la Figura 289.

En términos de resultados para el acondicionamiento para el edificio L1, la capacidad de calefacción en el modelo  $R$  corresponde 117,79kW y para refrigeración 386,33kW, según los cálculos de diseño de acondicionamiento presentados en la Tabla 66 y Tabla 68.

Considerándose la baja densidad de la superficie acondicionada, cubriendo un 29,17% en el modelo  $R$ , para los modelos  $T$  se propuso la ampliación para todos los ambientes de uso prolongado, pasando para 84,59%.

Los ajustes propuestos para el modelo teórico  $T_1$  (Tabla 72), significan una relevante ampliación: 252,20kW para calefacción según la Tabla 73, y 839,67kW para la refrigeración (Tabla 74), es decir, un total de 1.091,87kW el comprometimiento con el acondicionamiento; en términos de consumo esto representa el 26,65% de toda la energía para el edificio, superior a los 12,88% del modelo  $R$ .



Modelo R – referencia; Modelo  $T_1$ : ampliación de la superficie acondicionada; Modelo  $T_2$ : ampliación de la superficie acondicionada + mejora envolvente; Modelo  $T_3$ : ampliación de la superficie acondicionada/VRF + mejora envolvente + protección solar ventanas; Modelo  $T_4$ :  $T_3$  + ampliación de la demanda de ordenadores portátiles.

Figura 74 Variaciones en la demanda para acondicionamiento para el edificio L1 (kW).

En la comparativa entre las capacidades de diseño de refrigeración y calefacción de los modelos simulados, con la potencia instalada actual – véase la Figura 74, las diferencias son evidentes, especialmente en se tratando de refrigeración, el punto débil demostrado por la evaluación del desempeño general del edificio L1. La promoción de condiciones de confort adecuadas para los usuarios significarían un importante impacto en el consumo energético de acondicionamiento: el edificio real (consumo medido) representa un 69,07% del total para el modelo ideal  $T_1$ .

También en Figura 74 los resultados para el modelo  $T_2$ , con todavía con la mejora de la envolvente, para atender a la normativa, apuntan un aumento tanto de la capacidad para calefacción como para refrigeración, teniendo en cuenta la ampliación de las condiciones de confort, desarrolladas en la evaluación de los indicadores de confort.

En este modelo no han sido propuestos cambios en los sistemas de acondicionamiento, pues los ambientes con mayores cargas térmicas y con necesidad de mayor capacidad de diseño ya presentan  $CoP$  entre 3,47 o 3,69; para la ampliación de la superficie acondicionada fueron propuestos equipos VRF. Sin embargo el resultado del desglose final de energía apunta una reducción total de 17,12% para la suma de calefacción y refrigeración, de acuerdo con lo que enseña la Tabla 29, comentada a continuación.

Ya con la inserción de protecciones solares en las ventanas, sumada al aislamiento de muros exteriores – modelo  $T_3$  el desempeño del conjunto edificio y sistema presenta un mejor desempeño, con una reducción del consumo energético, así como en las capacidades de diseño tanto para la calefacción como para la refrigeración, a partir de la sustitución de los equipos de mayor capacidad de acondicionamiento por sistemas VRF, igualmente aplicados a los modelos  $T_2$ . Los efectos en la iluminancia de los espacios pueden ser verificados en el Anexo XVIII.C, con la reducción de la luz natural con los protectores solares, véase la Figura 290.

Tabla 29 Resultados de desglose de la demanda de energía eléctrica en los modelos de simulación *DesignBuilder* y comparativas con datos reales *SmartGateM*.

Edificio	Electricidad (kWh)	Iluminación (kWh)	Energía Auxiliar (kWh)	Generación de Calor (kWh)	Refrigeración (kWh)	Total energía (kWh)	Ed. Real 2012 kWh	$\Delta_{2012}$	Total Acond.	% Acond.	
G1_R	171.296,30	89.421,18	142,75	1.573,62	23.800,87	<b>286.234,73</b>	216.997,46	<b>-69.237,27</b>	<b>31,91%</b>	25.374,49	8,86%
G1_T1	137.466,50	126.605,30	142,75	3.814,53	27.825,29	295.854,38	216.997,46	-78.856,92	36,34%	31.639,82	10,69%
G1_T2	139.699,20	126.605,30	142,75	5.203,25	21.752,29	<b>293.402,80</b>	216.997,46	<b>-76.405,34</b>	<b>35,21%</b>	26.955,54	9,19%
G1_T3	294.888,30	126.605,30	142,75	902,86	35.123,85	457.663,07	216.997,46	-240.665,61	110,91%	36.026,71	7,87%
L1_R	181.070,30	94.410,45		2.195,18	38.533,61	<b>316.209,54</b>	266.817,70	<b>-49.391,84</b>	<b>18,51%</b>	40.728,79	12,88%
L1_T1	188.957,80	94.410,45		13.729,18	89.203,15	386.300,58	266.817,70	-119.482,88	44,78%	102.932,33	26,65%
L1_T2	198.241,60	94.410,45		8.115,70	77.193,61	377.961,36	266.817,70	-111.143,66	41,66%	85.309,31	22,57%
L1_T3	186.212,40	94.410,45		8.711,17	64.022,88	<b>353.356,90</b>	266.817,70	<b>-86.539,20</b>	<b>32,43%</b>	72.734,05	20,58%
L1_T4	212.803,80	94.410,45		2.143,79	38.833,52	348.191,56	266.817,70	-81.373,86	30,50%	40.977,31	11,77%

**Edificio G1:** Modelo R – referencia; Modelo T1: ampliación de la superficie acondicionada; Modelo T2: ampliación de la superficie acondicionada + sustitución equipos VRF + mejora envolvente; Modelo T3: ampliación de la demanda por ordenadores portátiles.

**Edificio L1:** Modelo R – referencia; Modelo T1: ampliación de la superficie acondicionada; Modelo T2: ampliación de la superficie acondicionada + mejora envolvente; Modelo T3: ampliación de la superficie acondicionada/VRF + mejora envolvente + protección solar ventanas; Modelo T4: T3 + ampliación de la demanda por ordenadores portátiles.

$\Delta_{2012}$ : comparativa entre el total simulado y datos de SmartGateM 2012.

Tabla 30. Correspondencia entre la demanda para los usos de energía eléctrica en los modelos de simulación *DesignBuilder* y los diferenciales reales ( $\delta$ ) medidos *SmartGateM*. -  $\Delta_{2012}$ .

Edificio	Simulación DesignBuilder					$\Delta$ Edificio Real SmatGateM 2012										
	Elec	Ilum	EneAux.	GenCalor	Ref	$\delta$ Elec	$\delta$ Ilum	$\delta$ EneAux	$\delta$ GenCalor	$\delta$ Ref	Elec	Ilum	EneAux	GenCalor	Refr	Total
G1_R	59,84%	31,24%	0,05%	0,55%	8,32%	19,09%	9,97%	0,02%	0,18%	2,65%	41.434,83	21.630,07	34,53	380,64	5.757,19	<b>69.237,27</b>
G1_T2	47,61%	43,15%	0,05%	1,77%	7,41%	16,76%	15,19%	0,02%	0,62%	2,61%	36.379,22	32.969,42	37,17	1.354,98	5.664,54	<b>76.405,34</b>
L1_R	57,26%	29,86%		0,69%	12,19%	10,60%	5,53%	0,00%	0,13%	2,26%	28.283,13	14.746,89	0,00	342,89	6.018,94	<b>49.391,84</b>
L1_T3	52,70%	26,72%		2,47%	18,12%	17,09%	8,67%	0,00%	0,80%	5,88%	45.604,52	23.121,68	0,00	2.133,42	15.679,58	<b>86.539,20</b>

Finalmente se desarrollaron modelos complementarios para evaluar la influencia de la ampliación en el uso de ordenadores portátiles en el consumo energético, observado en la Fase 1, según las consideraciones respecto al seguimiento del consumo de energía y de los estudios de Sousa, Schembeck y Andrade (2011) que consideran el promedio de 17Wh por notebook en modo activo.

Como criterio de cálculo se observaron los usos y capacidades de las salas y zonas térmicas, entre aulas teóricas (con el uso de 30% de la capacidad de ocupación) y las aulas prácticas y laboratorios (con 100% de la ocupación), según la intensidad de uso con 2 horas en modo activo por ordenador por turno, es decir en la aulas 6 horas (mañana, tarde y noche) y 4 horas en los laboratorios (mañana y tarde). Para los despachos el uso de portátiles es muy poco usual, desconsiderándolos en los cálculos.

Sin embargo, para efectos de ajustes en los modelos de simulación por el DesignBuilder  $G1T_3$  y  $L1T_4$ , fueron aplicados los factores de demanda y uso, ya adoptados para los demás modelos. Para las clases con gran densidad de uso y ocupación fueron considerados  $21,5W/m^2$ , los espacios con mediana densidad  $10,8W/m^2$  y  $5,4W/m^2$  para ambientes de baja densidad - Figura 44 (ASHRAE 2009, 18.13; Wilkins y Hosni 2000).

En la ampliación de la demanda de referencia en el edificio G1 es de 37,60kWh, caracterizado por una mayor concentración de aulas mientras que en el L1 alcanza 18,48kWh con predominancia de laboratorios, de acuerdo con las plantillas presentadas en el Anexo XVIII.D.

Para los modelos  $G1T_3$  y  $L1T_4$ , con solamente la ampliación de la demanda de los ordenadores portátiles no hubieron cambios significativos en el diseño de acondicionamiento en relación al modelo  $R$ , debido al aporte de calor radiante. El impacto en electricidad, véase la Tabla 29, respecto a los modelos de referencia  $R$ , resulta en un aumento importante de 72,15% para el G1 y para el L1 solamente un 17,53%.

En este sentido, la comparativa en números absolutos entre las demandas de acondicionamiento (kW) y respectivos indicadores para la superficie acondicionada ( $W/m^2$ ) puede ser sintetizada por la Tabla 31; los mayores valores corresponden al L1, en especial para la refrigeración de modo a comprobar los análisis ya comentados.

Tabla 31 Síntesis comparativa de la capacidad de diseño para acondicionamiento – edificios reales y modelos de simulación  $R$  y  $T_n$ .

edificio	calefacción		refrigeración		total	
	kW	W/m <sup>2</sup>	kW	W/m <sup>2</sup>	kW	W/m <sup>2</sup>
<b>G1</b>					77,87	28,88
<b>G1_R</b>	128,51	47,66	53,65	19,90	182,16	67,55
<b>G1_T1</b>	244,58	90,70	79,77	29,58	324,35	120,28
<b>G1_T2</b>	329,34	122,13	113,5	42,09	442,84	164,22
<b>G1_T3</b>	116,39	43,16	40,79	15,13	157,18	58,29
<b>L1</b>					157,99	46,61
<b>L1_R</b>	117,79	43,68	386,33	113,97	504,12	157,65
<b>L1_T1</b>	252,2	93,53	839,67	247,71	1.091,87	341,23
<b>L1_T2</b>	274,31	101,73	1008,68	297,57	1.282,99	399,29
<b>L1_T3</b>	244,75	90,76	948,59	279,84	1.193,34	370,60
<b>L1_T4</b>	111,79	41,46	388,98	114,75	500,77	156,21



De manera a expresar gráficamente, la Figura 75 y Figura 76 enseñan la comparación de las demandas de energía mensuales para cada uno de los modelos de simulaciones reales y teóricas, así como la correspondencia con los datos medidos en 2012. Los valores nominales mensuales de cada uno de los modelos están presentados en el Anexo XVIII, Tabla 76.

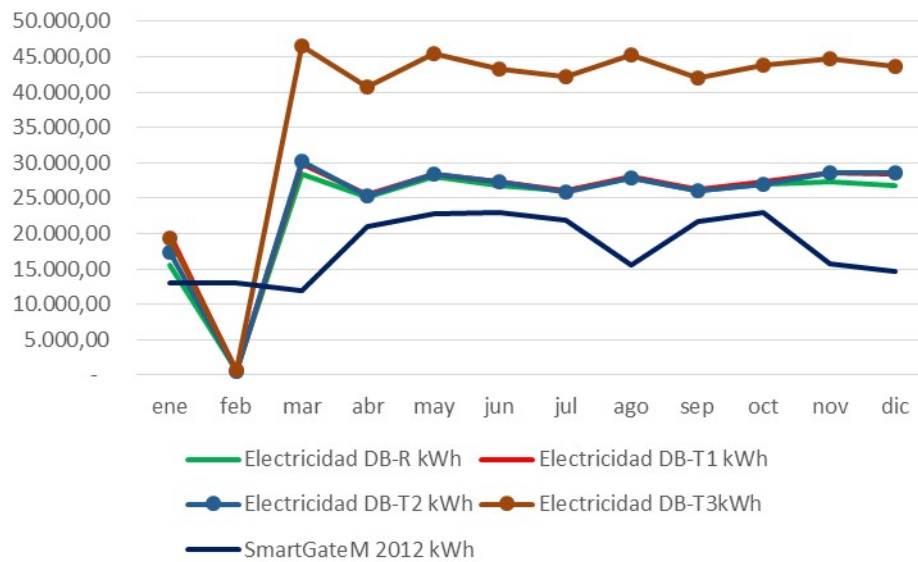


Figura 75 Modelos de simulación  $R$  y  $T_n$  y correspondencia a los datos medidos 2012: Edificio G1.

Para los análisis finales, se consideró el 2012 como año de referencia, con datos más ecualizados para el consumo energético que el año de 2009. Para 2012 los datos dinámicos de la caracterización de los equipos no sufrió cambios, así como en los usos y ocupación de los edificios G1 y L1 se han estabilizados, muy similares a los actuales, pese a cambios al nivel general de otros edificios del Campus I.

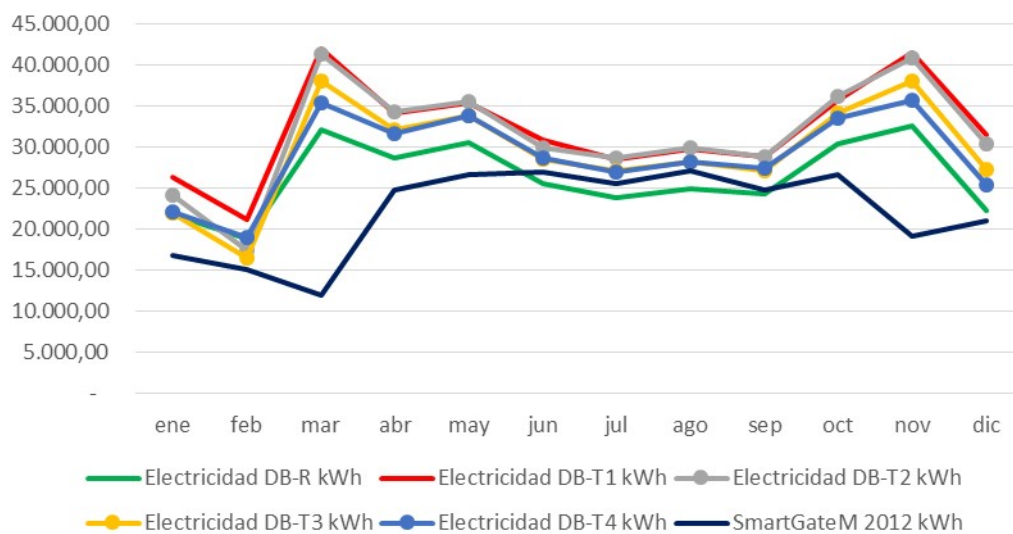


Figura 76 Modelos de simulación  $R$  y  $T_n$  y correspondencia a los datos medidos 2012: Edificio L1.

### Comparativa de valores de referencia – indicadores de eficiencia energética

A partir de los análisis de los resultados de los escenarios planteados para los modelos de simulaciones y su comparación con los datos reales obtenidos por el sistema *SmartGateM* – Gestal para 2012, la Tabla 29 presenta una síntesis de los resultados del desglose por usos; para los usos de iluminación se mantuvieron bajo las mismas características del sistema de alumbrado existente.

Sin embargo, para cada uno de los modelos con los escenarios de mejoras los cambios para generación de calor y refrigeración son equivalentes a las alteraciones ya comentadas. Los valores negativos para  $\Delta_{2012}$  representan que los resultados de las simulaciones superan a los datos medidos.

En este sentido, bajo la perspectiva de comparación con los datos efectivamente medidos (consumo) para el año de 2012 se percibe en la gráfica de la Figura 77 que la equivalencia de la electricidad para los equipos y sobre todo las TIC's - Tecnologías de la Información y Comunicación – es importante para todos los modelos con representatividad entre alrededor de 46% y 64%; la iluminación también presenta equivalencias entre 27,66% y 43,15%. Para la energía auxiliar los porcentuales son muy bajos para la representación de manera significativa, además de una pequeña representatividad de la generación de calor y el uso para la iluminación.

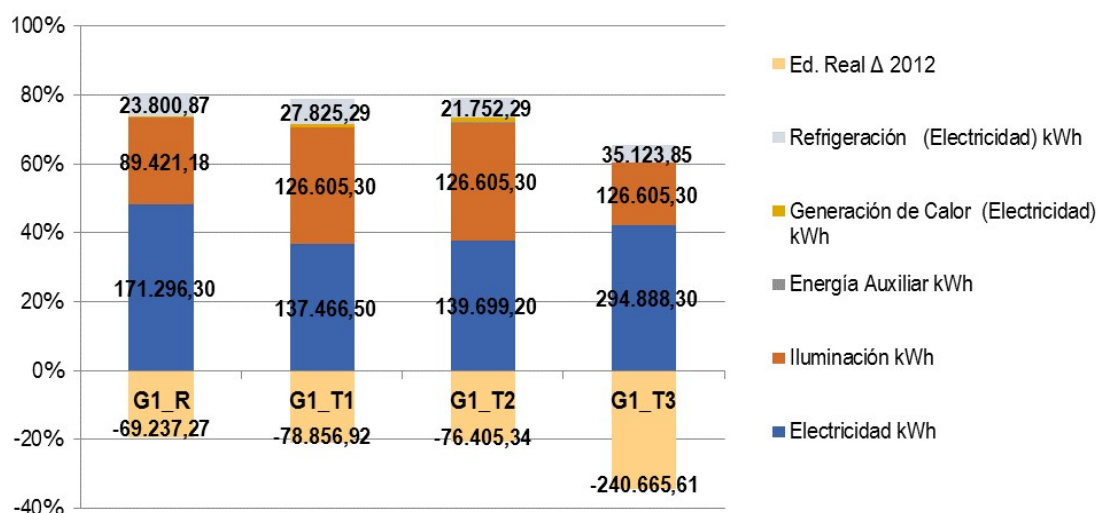


Figura 77 Modelos de simulación y correspondencia a los datos medidos 2012 – Edificio G1.

De otra parte, las diferencias con los resultados efectivos, es decir, medidos (2012), representan entre 31,91% para el modelo *G1\_R* y 35,21% para el modelo *G1\_T2*. Los valores para el modelo *G1\_T4* representaría el escenario de la ampliación del uso de ordenadores, con valores muy superiores, por encima de 100%.

Para el edificio L1 -



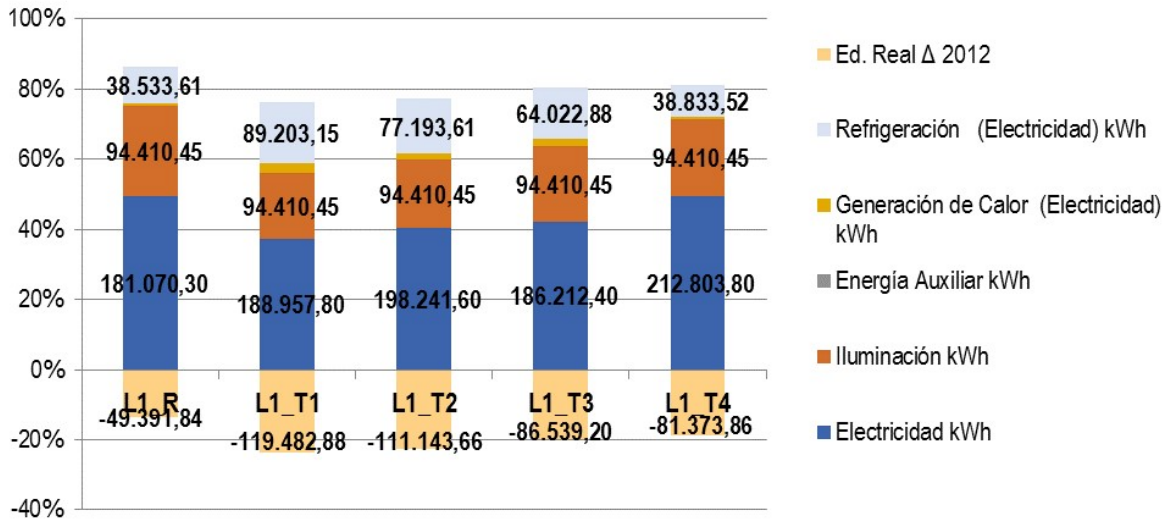


Figura 78 - el impacto de la energía eléctrica para los equipos de laboratorios y TIC's representa una importancia significativa, equivalentes a valores entre 48,91% y 61,12%, este último con la ampliación de la utilización de ordenadores portátiles; para la refrigeración las diferencias están entre 12,19% (modelo  $L1\_R$ ) y 23,09% para el modelo  $L1\_T_2$ , donde hubo la ampliación de la superficie de acondicionamiento y la mejora de la envolvente, pero sin la protección solar. La iluminación se mantuvo constante teniendo en cuenta que no hubo cambios en el sistema.

Se observa que la diferencia entre los consumos simulados y el consumo real es mayor que para el edificio G1: 31,58% para el modelo  $L1\_R$  y 49,05% para el  $L1\_T_2$ .

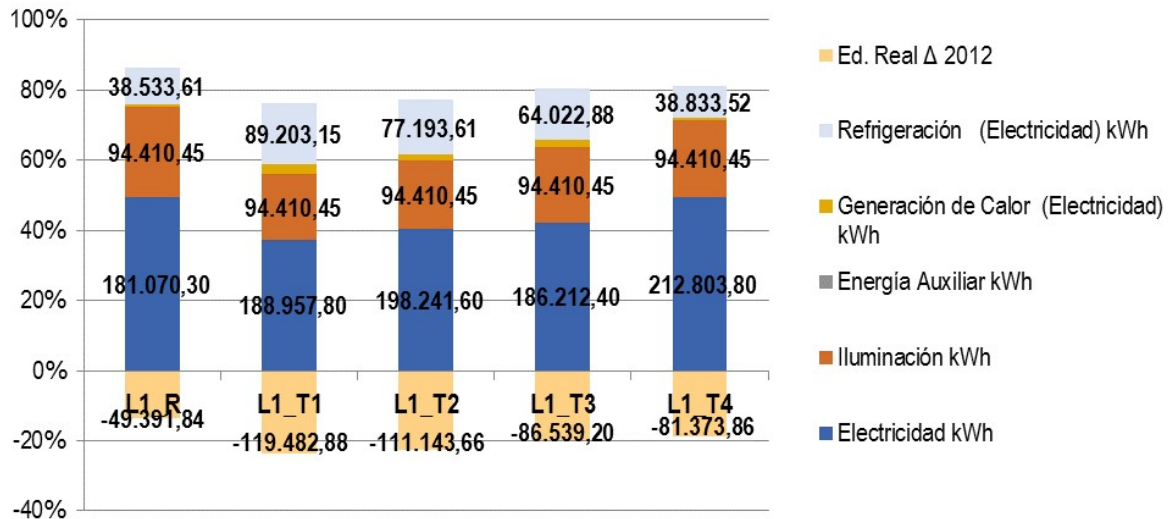


Figura 78 Modelos de simulación y correspondencia a los datos medidos – Edificio L1.

Por consiguiente, se identificaron las diferencias ( $\Delta$ ) entre los resultados de los modelos simulados ( $C_{DB}$ ) y los datos medidos ( $C_R$ ) para el año de referencia y su equivalencia en porcentuales, con su representación en la Tabla 29, según la ecuación básica (6):

$$\Delta = C_{DB} - C_R^{2012} \quad (6)$$

Sin embargo, a cerca de la aplicación de la normativa brasileña RTQ-C (Brasil 2013) por el método prescriptivo, Brandalise (2015) desarrolló estudios comparativos para ambientes de oficinas con alta densidad de carga interna (DCI), pertinentes a las características de los edificios aquí evaluados. La investigación indica que el aumento de la DCI provoca un incremento en el calor interno y la correspondencia con la envolvente con mejor transmitancia térmica, no representa directamente efectos positivos; en este sentido, para la envolvente con mayor aislamiento según la calificación A algunos edificios necesitaran del aporte de energía para el acondicionamiento de enfriamiento (Brandalise et al., 2014).

Tabla 32 Parques construidos e indicadores de consumo de electricidad en UPF, UPC y UFPEL (2014).

<b>Campus</b>	<b>Superficie construida (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Electricidad 2014 (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Consumo Electricidad 2014 (kWh)</b>	<b>Variación 2014-2013</b>
UPF Campus I	114.928	50	5.758.720	+14,10
Total UPC	384.172	121	46.397.824	+13,79
Barcelona Nord	140.534	57	7.966.145	-11,68
Barcelona Sud	96.738	57	5.516.664	-3,05
Terrassa	69.054	45	3.082.449	-24,08
Castelldefels	36.070	61	2.199.638	-11,19
Sant Cugat del Vallès	8.750	39	339.351	-11,97
UFPEL Campus Anglo <sup>56</sup>	9.695	101	981.400	n/d

En la Tabla 32 están representados datos comparativos entre las superficies construidas y los respectivos indicadores de consumo de energía primaria (electricidad) para el Campus I de UPF, el total de UPC y algunos de sus campi, además de otra universidad brasileña – la Universidade Federal de Pelotas – UFPel, con el nuevo campus Anglo. Se percibe que para la UPF con 50kWh/m<sup>2</sup> el indicador es inferior a los *campi* de UPC, pero hubo un aumento de 14,10% en el consumo comparándose con el año anterior; la Tabla 46 del Apéndice C.3 presenta la totalidad de datos observados para el periodo 2004-2015.

Hay que señalar que para el total de UPC el impacto del *Barcelona Supercomputing Centre* es muy significativo, véase comentarios en el Apéndice C.2; para Sant Cugat del Vallès el valor está relacionado a casi a una unidad autónoma o edificio aislado – ETSAV y Residencia Universitaria.

Para el campus Anglo de la UFPEL el indicador para el consumo energético por superficie construida presenta un valor alto (101kWh/m<sup>2</sup>), el mayor desconsiderándose el Campus Nord de la UPC (121kWh/m<sup>2</sup>).

En la comparativa de consumo de electricidad entre 2014 y 2013, se observa un aumento muy semejante para la totalidad de la UPC (13,7%) y del Campus I de UPF (14,10%); sin embargo, los *campi* de UPC en su gran mayoría alcanzaron reducciones relevantes.

Una cuestión importante para la comparación, bajo otras perspectivas, sin duda son los distintos regímenes de uso de los edificios, mientras en la UPF son distribuidos en tres turnos (mañana, tarde y noche), en la UPC son predominantemente diurnos, así como en la UFPEL.

También en las comparaciones hay que considerar que para Passo Fundo las condiciones climáticas definen 776

<sup>56</sup> Para la UFPEL los datos se refieren al año de 2013 (PROBEN 2015).

grados-día de calefacción con base en 18°C y para refrigeración 526 grados-día, según las características del archivo climático adoptado. Para Pelotas la severidad climática está relacionada con la refrigeración, 1.144 grados-día, con 579 grados-día para calefacción. Mientras tanto, para Barcelona con base en 20°C los grados-día de calefacción son 1.707 y de refrigeración 454 (IDAE 2010, 40), con la severidad climática importante para la calefacción, ya comentada en el Capítulo 3.

La unidad de comparación entre el consumo de energía y la superficie del edificio (kW/m<sup>2</sup>) indica el grado de ecoeficiencia de cada uno de los edificios evaluados, según la Tabla 33.

En los edificios de la UPF evaluados, inicialmente hay que remarcar que la energía eléctrica es responsable por casi la totalidad de fuentes de energía primaria, para los diferentes usos (equipos y acondicionamiento), en este sentido presentan los indicadores más altos para el consumo: 80,47kWh/m<sup>2</sup> para el edificio G1, con su gran densidad de ordenadores con funcionamiento en los tres períodos del día, y 78,71kWh/m<sup>2</sup> para el L1, con una gran potencia instalada en laboratorios, pero con funcionamiento más distribuido a lo largo de la semana, según las consideraciones ya presentadas.

Diferentemente del contexto brasileño, una parcela de los usos energéticos para la UPC está relacionada con la electricidad, con una parcela también de consumo de gas, principalmente para acondicionamiento térmico. El análisis del consumo por superficie construida de algunos edificios de UPC enseñan una disminución entre 2012 y 2014, con diferencias entre el 27,12% para el aula C-3, ubicado en el Campus Nord, y 69,78% la ESAB – Escuela Superior d’Agricultura de Barcelona, ubicado en el Campus de Castelldefels. La Figura 205, Anexo VIII.G, presenta la distribución diaria del indicador para estos dos edificios<sup>57</sup>. Con estos resultados positivos se percibe la validez de los programas y acciones impulsados por la gestión energética de la UPC, como los POEs.

Tabla 33 Indicadores de consumo en edificios de UPF (*SmartGateM* – 2012), UPC 2012/2014 (SIRENA<sup>58</sup>) y UPFpel (PROBEN 2015).

Universidad	Campus	Edificio	Electricidad 2012 (kWh/m <sup>2</sup> )	Electricidad 2014 (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>UPF</b>	Passo Fundo - Campus I	G1	80,47	n/d
	Passo Fundo - Campus I	L1	78,71	n/d
<b>UPC</b>	Barcelona Nord	C-3	27,94	23,02
	Barcelona Nord	BRGF	76,83	66,30
	Barcelona Nord	Vértex	45,04	39,57
	Barcelona Sud	ETSAB	48,99	43,18
	Sant Cugat del Vallés	ETSAV	43,33	36,62
	Castelldefels	ESAB	70,52	52,03
<b>UFPEL</b>	Campus Anglo	ADM SUP	n/d	61,17
		CENG	n/d	79,39
		FAT	n/d	96,90

<sup>57</sup> Fueron considerados edificios significativos resultantes de las investigaciones en el ámbito de la UPC referenciados en el Apéndice C.2. El Aula C-3 tuvo el mejor desempeño energético en el estudio de López Plazas (2006) y la ESAB todavía presenta uno de los indicadores de consumo más altos. BRGF: Biblioteca Rector Gabriel Ferrater; ETSAB – Escola Técnica Superior d’Arquitectura de Barcelona; ETSAV – Escola Técnica Superior d’Arquitectura del Vallés; Vértex – edificio de oficinas.

<sup>58</sup> Datos obtenidos en el sistema SIRENA 3.3.64; disponible en: [http://sirenaupc.dexcell.com/l\\_12535/analysis/consumption/display.htm#](http://sirenaupc.dexcell.com/l_12535/analysis/consumption/display.htm#) (UPC 2015).

De manera a complementar la caracterización de edificios universitarios brasileños, en la UFPEL – Universidade Federal de Pelotas, el edificio administrativo del nuevo Campus Anglo<sup>59</sup> presenta 61,17kWh/m<sup>2</sup> mientras las unidades académicas entre 50,96kWh/m<sup>2</sup> en la Faculdade de Nutrição - FN, 79,39kWh/m<sup>2</sup> en el Centro de Engenharias - CENG - y 96,90kWh/m<sup>2</sup> en la Faculdade de Administração e Turismo - FAT, de entre los demás centros académicos con los resultados presentados en la Tabla 78 del Anexo XXII. La observación de que la fuente energética proviene esencialmente de la electricidad en los edificios de la UPF es también válida para la UFPEL.

En general, comparándose los edificios de UPF y UFPel presentan desempeños similares, a ser reguardadas las diagnósis específicas para evaluar cada una de las prestaciones atendidas con el consumo de energía, desempeño térmico y las condiciones de confort de los usuarios.

### Potenciales de ahorro

La eficiencia en el consumo de recursos energéticos está asociada al concepto de rendimiento, es decir el cociente entre la energía consumida y la energía realmente utilizada, según las características de los sistemas y equipos o de las condiciones de funcionamiento (ATECYR 1999 apud López Plazas 2006, 18). López Plazas (2006, 18) subraya que es fundamental promover la correspondencia entre el recurso energético empleado y el uso que se le da en la edificación, con el objetivo de no potencializar la ineficiencia ya incorporada en los recursos sea en las pérdidas en la generación, transmisión, conversión o distribución.

En los estudios de López Plazas (2006) para los edificios de la UPC, referenciados en el Apéndice C y apartado 3.2, el impacto de la calefacción y refrigeración son fácilmente identificados, y consecuentemente permitieron la evaluación del rendimiento de los sistemas sea por los valores de documentación técnica de referencia (como del RITE o normas de la ASHRAE) o por herramientas informáticas de calificación energética, en este caso aplicándose el CALENER.

En especial la metodología desarrollada por el López Plazas apuntó que a partir de valores de referencia no se evalúa el comportamiento de los sistemas en condiciones de funcionamiento, considerado el la aplicación de la ecuación comentada en el Apéndice C.2. Adopta así el CALENER, por permitir valorar el rendimiento global e integrado del sistema y, sobretudo, en función del perfil de uso y funcionamiento del edificio, lo que López Plazas (2006, 80-83) considera fundamental en los análisis que propuso. Cabe destacar que se identificaron bajos valores de rendimiento global, pese la utilización de sistemas centralizados. En la Tabla 34 se referencian los rendimientos adoptados para los modelos de optimización, diferenciados por edificios ubicados en campus y edificios autónomos<sup>60</sup>:

Tabla 34 Coeficientes de rendimiento para las instalaciones en los edificios de la UPC (López Plazas 2006, 94; 109).

	Rendimiento CALENER	Rendimiento Optimizado ( $\eta - o$ )
--	---------------------	---------------------------------------

<sup>59</sup> Campus ubicado en la ciudad de Pelotas - Rio Grande do Sul - actualmente es el principal campus de la estructura, donde están ubicados la Rectoría y 11 unidades académicas. Ocupa un conjunto de edificios de interés del patrimonio histórico, después de intervenciones de retrofit en edificio del principio del siglo XX, antiguo matadero y producción de carnes *Frigorífico Anglo*, según imágenes del Anexo XXII.

<sup>60</sup> Edificios en el Campus Nord: C-3, D-4, A-6; Edificios autónomos: EPSEB, ETSAB y ETSAV.

	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
<b>Edificios en campus</b>	0,75 – 0,69 – 0,72	1,30 – 2,00 – 1,00	0,90	2,25
<b>Edificios autónomos</b>	0,72 – 0,65 – 0,60	2,00	0,85	2,25

Según comentado en el apartado 3.2, para la optimización del factor de gestión López Plazas (2006, 111) estableció el valor promedio de 0,95 para los edificios ubicados en campus, mientras que para los autónomos 0,90.

También, todavía considerando las observaciones de López Plazas (2006, 87-88), “desafortunadamente la gran mayoría de las herramientas de análisis de la demanda, no ofrecen una relación de la cantidad de energía aportada en dicho período...” (hora a hora), sino que expresan la cantidad de energía a aportar por meses o períodos. Esta razón llevó a que el autor considerara el factor de gestión solamente para el período de invierno, o sea para calefacción.

Embazado en dichos coeficientes de optimización, con la investigación en el ámbito del *LaboratoriREAL*<sup>61</sup> de UPC (Frاندoloso, Cuchi i Burgos y López Plazas 2006) se hizo la asignación de la porción del consumo de energía que sería de responsabilidad por la gerencia de la Universidad ( $C_{gerente}$ ) y el respectivo porcentual a ser asumido por la unidad académica usuaria ( $C_{usuario}$ ) I- Tabla 5, referenciándose igualmente a los *Potenciales de Ahorro* - Tabla 4 y Anexo X - Tabla 51. El resultado apuntó también la correspondencia en términos monetarios de la “ineficiencia energética”, sea por deficiencias en la envolvente, por el bajo rendimiento de los sistemas o por las dificultades de la gestión y mantenimiento ( $Coste_{usuario}$ ).

Teniendo en cuenta esta metodología y los objetivos de este trabajo de evaluar su aplicabilidad para el parque construido de la Universidade de Passo Fundo, hay que referenciar que en los edificios estudiados de la UPF el rendimiento de los sistemas presenta situaciones diferenciadas:

- Sistemas de acondicionamiento con equipos de aire acondicionado de ciclo reverso (calefacción y refrigeración) de tipo *split*, individualizados por ambientes o zonas térmicas;
- Deficiencias en la calidad y en el aislamiento de la envolvente;
- Puentes térmicos estructurales e infiltraciones por ventanas y puertas;
- Falta de coordinación de gestión integrada;
- Falta de sistemas de regulación y control de temperaturas límites.

Por las normativas brasileñas del RTQ-C (Brasil 2013b, 2) el coeficiente de eficiencia energética – CEE o CoP - para el rendimiento de los equipos de acondicionamiento del tipo *split*, véase la Figura 67, es de  $CEE \leq 3,23W/W$  para la calificación en el nivel A. Dichas referencias se revelan muy bajas en comparación con los niveles exigidos por la Comunidad Europea y otros países de contextos climáticos similares, como Australia e Indonesia - Figura 79.

<sup>61</sup> Proyecto proyecto “Factor Claus per la integració dels criteris ambientals als edificis de la UPC” (Cuchi i Burgos, López Plazas y Leite Frاندoloso 2006).

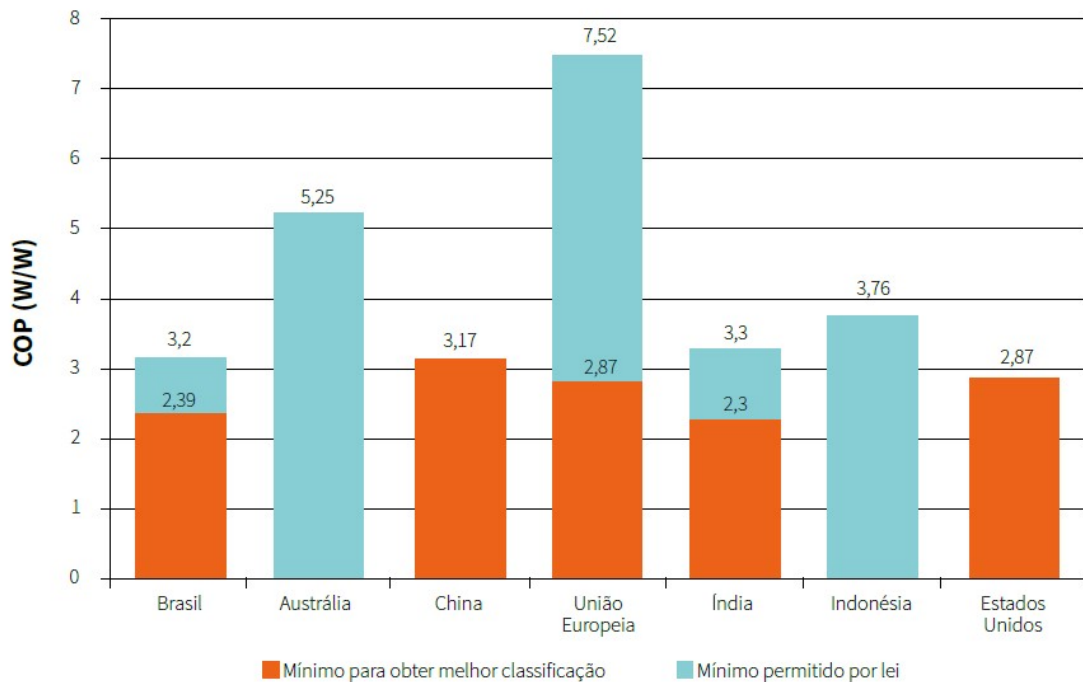


Figura 79 Niveles internacionales de eficiencia energética en los sistemas de aire acondicionado tipo split (CBCS 2014, 67).

Bajo la premisa de la integración entre los factores de la demanda, rendimiento y gestión del proyecto “*Factor Claus per la integració dels criteris ambientals als edificis de la UPC*” (Cuchi i Burgos, López Plazas y Leite Frandoloso 2006), la cuestión a ser contestada es ¿cómo hacer la identificación de sus correspondencias con los usos energéticos de los edificios de UPF? De acuerdo con las configuraciones de los modelos de simulación por *DesignBuilder* los usos energéticos están desglosados en electricidad, iluminación, energía auxiliar, generación de calor y refrigeración.

Aunque las características de cada uno de estos usos estén directamente alimentados por los *inputs* reales, según las tablas de recogida de datos dinámicos de la Fase 1: inventario y levantamiento de datos, la herramienta de seguimiento y control *SmartGateM* (Gestal 2009) presenta solamente datos globales de consumo energético real del edificio.

En este sentido, para definirse la correspondencia de la demanda por electricidad simulada y el consumo real total se hizo una ponderación, de acuerdo con la Tabla 30. Según las constataciones anteriores, el principal impacto es de la electricidad, con aproximadamente 70%, y en segundo plano la iluminación para el edificio G1, mientras que para el L1 la refrigeración presenta porcentuales significativos. Para las valoraciones de referencia de la eficiencia energética fueron aplicadas a los modelos reales *R* y a los modelos teóricos ideales, considerándose las mejoras del acondicionamiento, de la envolvente y en la protección solar *G1\_T2* y *L1\_T3*.

Para la aplicabilidad de la metodología adoptada en las investigaciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, el rendimiento para los usos energéticos en la Universidade de Passo Fundo, los factores de gestión y rendimiento estarían asociados a los diferenciales  $\delta$  entre la situación de simulación (considerándose la ideal) y aquella que ocurre efectivamente, con los resultados enseñados en la Tabla 30.

Por ejemplo, para el modelo *G1\_R* la correspondencia a la electricidad es de 171.296,30kWh, o sea, representa un

59,84% del total de energía; la extrapolación para a la diferencia entre la simulación y el consumo real medido  $\Delta_{2012}$  (69237,27kWh) significa el diferencial  $\delta$  de 19,09%, equivalente a 41434,63kWh.

Según la representación gráfica de los procedimientos de simulación enseñados en la Figura 35 del Capítulo 3, a partir de las correlaciones entre los pesos de cada uno de los usos energéticos de los modelos teóricos simulados, se extrapolan al respectivo desglose para los resultados medidos ( $R_{ef}$ ) - Tabla 35. Así, también según los resultados de las simulaciones, se llega al perfil de uso de energía para el modelo  $T_{ideal}$  para cada uno de los edificios  $T_{final}$ , de acuerdo con los siguientes planteamientos (Ecuación 7):

$$R_{ef} = C_R^{2012}$$

$$T_{ideal} = C_R^{2012} + \delta$$

$$T_{final} = R_{ef} + \Delta T_{ideal} \quad (7)$$

Donde:

$R_{ef}$  = edificio de referencia, obtenido con el desglose desarrollado en los modelos de simulación  $T_n$  aplicados al edificio real  $C_R^{2012}$ ;

$T_{ideal}$  = resultado de la suma entre el edificio real ( $C_R^{2012}$ ) y la diferencia correspondiente ( $\delta$ ) a la correlación a los diferenciales  $\Delta_{2012}$ , para cada uno de los modelos teóricos  $T_n$ ;

$T_{final} = R_{ef} + \Delta T_{ideal}$ .

Tabla 35 Desglose de la demanda para los usos energéticos (kWh) de los modelos de simulación según el consumo real 2012 – *SmartGateM* ( $R_{ef}$ ) y los modelos ideales  $T_{final}$ .

Edificio	Electricidad	Iluminación	Energía Auxiliar	Generación de Calor	Refrigeración	Total Energía
G1 $R_{ef}$	129.861,47	67.791,11	108,22	1.192,98	18.043,68	216.997,46
G1 $T_{final}$	98.264,37	104.975,23	108,22	4.822,61	15.995,10	224.165,53
L1 $R_{ef}$	152.787,17	79.663,56	0,00	1.852,29	32.514,67	266.817,70
L1 $T_{final}$	157.929,27	79.663,56	0,00	8.368,28	58.003,94	303.965,06

Los resultados para los edificios teóricos  $T_{final}$  son desarrollados en la Tabla 77 del Anexo XVIII; de manera resumida los impactos energéticos de las propuestas indican:

- G1 – la ampliación de la superficie acondicionada, cambios en los sistemas de aire acondicionado y con la mejora de la envolvente (ajustes del modelo  $G1\_T_2$ ), supone un aumento en 3,30%;
- L1 – además de la ampliación de la superficie acondicionada y de la mejora de la envolvente, se indica la protección solar en las ventanas (modelo  $L1\_T_3$ ), con un aumento de 13,92% en el consumo energético.

Considerándose dichos apuntamientos, se podría decir que para promover las condiciones de confort, es decir, mejoras en la envolvente y el acondicionamiento de los espacios de uso permanente, hay que hacer inversiones integradas, no solamente la instalación de sistemas de aire acondicionado según las propuestas de la administración de la UPF. Cada una de las acciones concretas debe ser contextualizada, cotejando igualmente los resultados económicos a largo plazo. Los escenarios de los modelos teóricos presentan apenas un punto de referencia.

En este sentido, las inversiones en aire acondicionado de manera aislada seguramente amplían el uso de los

recursos energéticos y consecuentemente, financieros, pero no significan la mejoría eficiente de los ambientes, de los edificios y de las condiciones de uso. Para tanto, a continuación se indican las pautas y líneas de actuación.

### Comparativa de valores de referencia – indicadores de confort

Según los resultados de confort adaptativo para las temperaturas externas, 26,74% de las horas ocupadas se encuentran en condiciones confortables, según las Figura 61, Figura 62 y Figura 63.

Según los resultados anteriormente comentados, para las simulaciones los indicadores según el PMV/VME de Fanger se mantuvieron próximos a las sensaciones neutras, con una tendencia al calor para el edificio G1, igualmente correspondientes con sensaciones de calor por el método del confort adaptativo, según demuestra la Tabla 36. Los modelos  $G1_{T_3}$  y  $L1_{T_4}$ , como no hubo cambios de sistemas o de la envolvente, las condiciones quedarían más desconfortables.

Tabla 36 Resultados del PMV/VME Fanger y confort adaptativo – modelos de simulación  $R$  y  $T_n$ .

edificio	PMV/VME	% Horas Confort	% Horas Frío	% Horas calor
G1_R	-0,33	73,46	11,44	15,10
G1_T1	+0,82	76,81	2,50	20,69
G1_T2	-0,18	78,88	2,32	18,80
G1_T3	+0,54	51,55	0,89	47,56
L1_R	-0,15	64,42	12,36	23,22
L1_T1	-0,46	87,02	10,34	2,63
L1_T2	-0,46	84,37	8,53	7,10
L1_T3	-0,16	88,30	10,42	1,28
L1_T4	0,20	63,12	11,50	25,34

A partir de los mejores resultados para el desempeño energético, los modelos que presentaron mejores desempeños para el confort adaptativo coincidieron con los modelos  $G1T_2$  y  $L1T_3$ .

En el edificio L1 las propuestas de mejora indican alcanzar resultados positivos, tanto por el PMV como con el porcentaje de las horas ocupadas en confort - POC - que pasan de los 64,42% en el modelo de referencia  $R$  para más de 80% en aquellos modelos donde hubo la mejora de la envolvente. Cuando consideradas las adaptaciones con la ventilación (16,23%), la gráfica presentada en la Figura 80, las condiciones confortables se amplían a casi la totalidad del periodo de ocupación del edificio en el modelo de simulación  $T_3$ , donde se contemplan la mejoría en la envolvente, la protección solar y el acondicionamiento artificial.



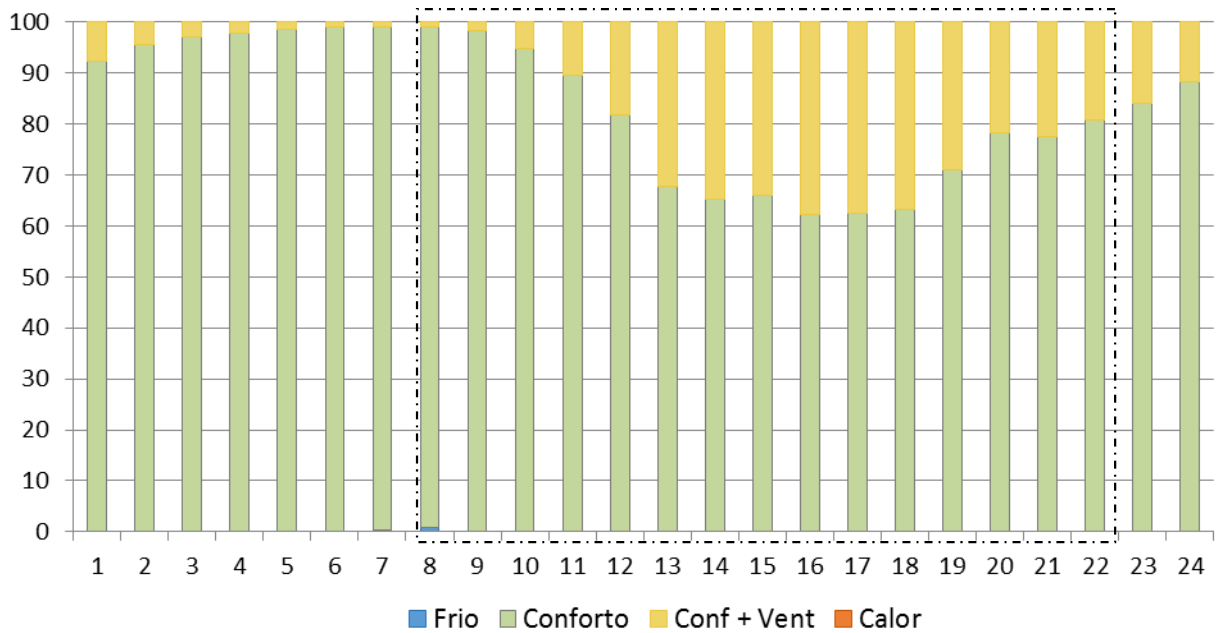


Figura 80 Representación gráfica de las condiciones de confort adaptativo para el edificio L1\_modelo T<sub>3</sub>.

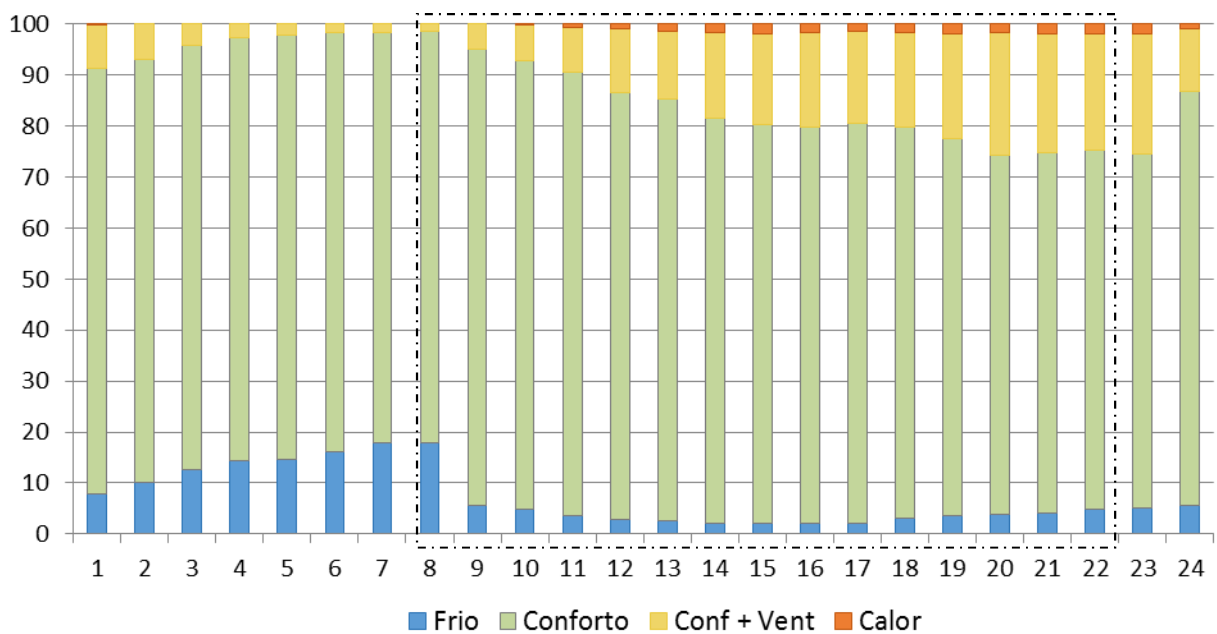


Figura 81 Representación gráfica de las condiciones de confort adaptativo para el edificio G1\_modelo T<sub>2</sub>.

Para el edificio G2\_T<sub>2</sub>, también con la mejora de la envolvente, la representación gráfica de la Figura 81 demuestra un 2,32% de horas con sensaciones de frío, mientras que el confort adaptativo por la ventilación alcanza un 12,17% del POC. Podría decirse que el sistema aislado y puntual de *splits* habría que ser revisado y considerado de manera integrada a la envolvente y la gestión, no indicando ser eficiente la solución propuesta por la administración de la Universidad de instalación de equipamientos de aire acondicionado en todos los espacios de actividades docentes, de acuerdo con el PDI - *Plano de Desenvolvimento Institucional UPF 2012-2016* (UPF 2012), comentado en los Apéndices C.3 y D.

## Líneas de acción

En los apartados anteriores fueron presentados los resultados de las evaluaciones de las demandas de acondicionamiento, de los indicadores de eficiencia energética y de confort. En los distintos modelos de simulación fueron desarrollados escenarios de mejora en el desempeño de los sistemas y de la piel o envolvente.

Según comentado en el apartado de los Potenciales de Ahorro, la contextualización de la metodología propuesta por López Plazas (2006) con el desglose del consumo en los tres factores: demanda, gestión y rendimiento, para la UPF fueron asociados de manera incorporada a los diferenciales  $\delta$  entre las situaciones presentadas por los modelos de simulación y los datos reales.

De manera a resumir los resultados de distintas unidades y variables (kWh, m<sup>2</sup>, horas y W/m<sup>2</sup>K) en la Tabla 37 se presentan los valores para comparación:

Tabla 37 Resultados de los indicadores para los modelos de simulación  $R$  y  $T_n$ .

Edificio	Electricidad	Calefacción	Refrigeración	Sup Acond	H confort	Piel Muro	Piel Cubierta
G1_R	0,000	0,000	0,000	0,232	0,735	-0,334	-1,712
G1_T <sub>1</sub>	0,013	1,424	0,169	0,743	0,768	0,011	0,024
G1_T <sub>2</sub>	0,021	2,307	-0,086	0,743	0,789	0,011	0,024
G1_T <sub>3</sub>	0,616	-0,426	0,476	0,232	0,516	-0,334	-1,712
<b>G1_T<sub>ideal</sub></b>	<b>-0,220</b>	<b>2,065</b>	<b>-0,328</b>	<b>0,743</b>	<b>0,789</b>	<b>0,011</b>	<b>0,024</b>
L1_R	0,000	0,000	0,000	0,292	0,644	-0,134	-1,717
L1_T <sub>1</sub>	0,029	5,254	1,315	0,846	0,870	0,121	0,003
L1_T <sub>2</sub>	0,062	2,697	1,003	0,846	0,844	0,121	0,003
L1_T <sub>3</sub>	0,019	2,968	0,661	0,846	0,883	0,121	0,003
L1_T <sub>4</sub>	0,115	-0,023	0,008	0,846	0,631	0,121	0,003
<b>L1_T<sub>ideal</sub></b>	<b>-0,138</b>	<b>2,812</b>	<b>0,505</b>	<b>0,846</b>	<b>0,883</b>	<b>0,121</b>	<b>0,003</b>

Donde:

- electricidad (iluminación, equipos y ordenadores), calefacción y refrigeración fueron relacionados con el modelo  $R$ , expresándose en %;
- superficie acondicionada expresada en % del edificio;
- horas de confort en % de las horas ocupadas (POC);
- piel de los muros y cubiertas con las diferencias al  $U$  mínimo para el nivel  $A$  según el RTQ-C.

De manera a permitir una comparación entre los datos, la Figura 82 enseña la dispersión entre los resultados de los modelos y las relaciones con las mejoras para el edificio G1. Para el modelo  $T_{ideal}$  se percibe que para lograr el mayor nivel de confort en las horas ocupadas POC (0,789) además de la ampliación de la superficie acondicionada (0,743), hace falta un correspondiente aumento de consumo energético para calefacción (2,065). Mientras tanto, los demás fines de la electricidad estarían por debajo del modelo referencial  $R$ : -0,220 para la electricidad general y -0,328 para la refrigeración. En este resultado incide la mejora de la piel del edificio, en especial para la cubierta con un bajo desempeño en la situación existente actual (-1,712).

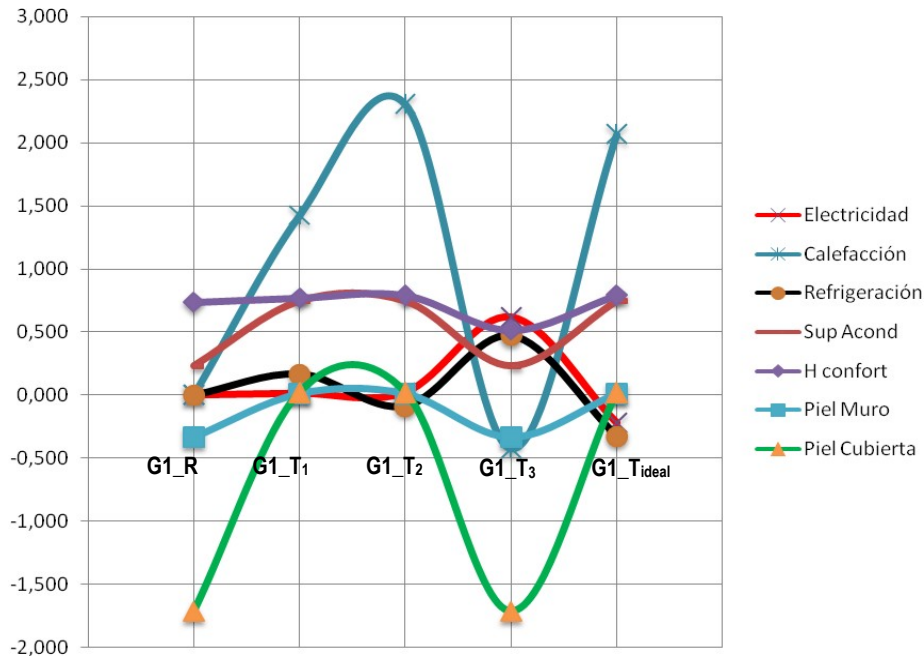


Figura 82 Dispersión de los resultados para los modelos del edificio G1.

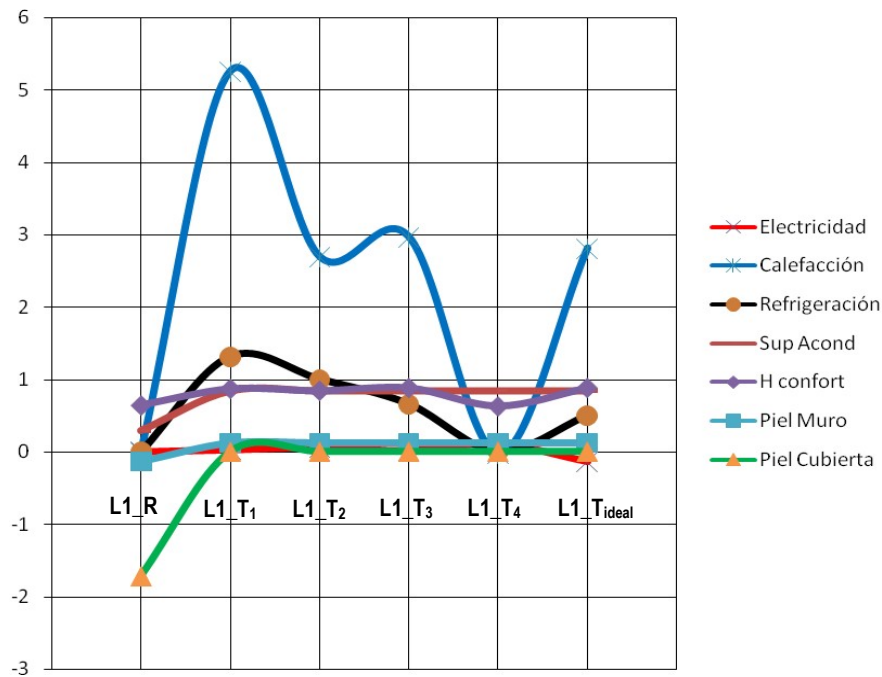


Figura 83 Dispersión de los resultados para los modelos del edificio L1.

Para el edificio L1, los resultados de la dispersión - Figura 83 - para el modelo ideal  $T_{ideal}$  enseñan que para lograr el aumento del POC (0,883) y respectiva ampliación de la superficie acondicionada (0,846), hacen falta aportes para la refrigeración (0,505) y, en un nivel más alto, para la calefacción (2,810). Igualmente, la mejora en la envolvente tiene un impacto mayor para la rehabilitación de la cubierta, con un índice de -1,717 para la situación actual.

Con los resultados finales, obviamente hay una cuestión importante: los respectivos aumentos del consumo y costes con la energía eléctrica. En este sentido, la valoración de la relevancia de las inversiones en los cambios de sistemas y de la envolvente, tendrá que estar cotejada con una variable no mensurable en términos financieros, que

son las condiciones de confort para el uso adecuado de los ambientes académicos, sean clases o trabajo (aulas, despachos, laboratorios, etc.), aun que esta pauta ya conste en los planes estratégicos de la UPF, anteriormente comentado.

No solo la demanda, pero la gestión y el rendimiento están incorporados en los resultados. Teniendo en cuenta los escenarios ideales de los modelos teóricos  $T_n$  es posible la indicación de paquetes de medidas y prioridades de implantación, integrándose los tres factores:

1. Ajustes de los perfiles de uso y ocupación, con el atendimento de por lo menos 80% de confort en las horas ocupadas POC;
2. Mejora del desempeño de las fachadas, adecuándose a los valores mínimos indicados de  $U \leq 1,00 \text{W/m}^2\text{K}$ , según el nivel A del RTQ-C<sup>62</sup>;
3. Mejora de la calidad de la piel por la rehabilitación de las cubiertas, con  $U \leq 0,50 \text{W/m}^2\text{K}$  para edificios acondicionados y  $U \leq 1,00 \text{W/m}^2\text{K}$  para los no acondicionados, igualmente según el nivel A del RTQ-C;
4. Introducción de protectores solares en el edificio L1;
5. Adopción de estrategias para garantizar la ventilación natural, según los parámetros de 0,19m/s en verano y 0,16m/s en invierno<sup>63</sup>, con renovaciones del aire  $> 27 \text{m}^3/\text{hora/persona}$ <sup>64</sup>;
6. Flexibilizar las acciones individuales para la obtención de condiciones de confort según los criterios adaptativos (Nicol y Humphreys 2002);
7. Mantenimiento continuo de los sistemas de acondicionamiento existentes;
8. Adopción de las temperaturas *setpoint* de calefacción de 20°C y 26°C para refrigeración, ampliándose los límites normativos por el RTQ-C actuales de 22°C y 24°C, respectivamente;
9. Implantación (o sustitución gradual) de sistemas de acondicionamiento según criterios de desempeño energético, preferencialmente sistemas VRF con la clasificación A (RTQ-C) de equipos de ciclo reverso: *CoP* 3,81 para instalaciones con menos de 19kW y 3,22*CoP*/3,78*CoP* para entre 19kW y 40kW;
10. Retrofitting de los sistemas de iluminación, con potencial de ahorro de aproximadamente un 47%<sup>65</sup>;
11. Ajustes en los rendimientos de equipos de informática y de laboratorios, así como las condiciones y perfiles de utilización, teniendo en cuenta su importancia para el consumo en los edificios estudiados;
12. Identificación y reducción del consumo de fondo, identificado en los períodos de menor ocupación y utilización.

Obviamente estos “paquetes” estarán conectados con los instrumentos que consoliden el proceso de toma de decisiones y de las políticas para la ecoeficiencia, desarrollados a continuación.

---

<sup>62</sup> Para el nivel B del RTQ-C las recomendaciones mínimas están presentadas en la Tabla 14.

<sup>63</sup> Según los parámetros indicados por la NTP770 (INSHT 2007, 5) comentada en el Apéndice B.6.

<sup>64</sup> Patrones referenciales de la calidad del aire interior indicados por la Resolução RE nº9 (ANVISA 2003), también comentados en el Apéndice B.6.

<sup>65</sup> Potencial de ahorro energético apuntado por estudio de Fauth (2014), atendiendo el nivel luminoso de 500lux indicado por la NBR ISO/CIE (ABNT 2013d).

De acuerdo con la metodología de los *Projectes d'Optimització Energètica* – POE (UPC 2012a) y del documento *Guiò per a la preparació del POE* (UPC 2012b; 2012c)<sup>66</sup>, a los grupos de trabajo compete las siguientes etapas, la primera de modo preparatorio de recogida de informaciones y la segunda en sesiones de discusión colectiva:

- Parte 1 - Autoanálisis (equipos, datos, comunidad y edificio):
  - definición de la equipe de mejora, identificación de las personas implicadas;
  - consumo: información energética disponible;
  - usuarios: identificación de la tipología de usuarios y relevancia en el consumo final;
  - espacios: identificación de la tipología de los espacios y la respectiva relevancia en el consumo final;
  - actuaciones: enumeración de las actuaciones prioritarias según una valoración de inversiones (sin inversiones, baja y mediana o alta);
  - Barreras y oportunidades.
- Parte 2: trabajo colaborativo: presentación de los resultados de autoanálisis, compartidas en sesiones colectivas y colaborativas de.
  - Intercambio de experiencias positivas y negativas, barreras y oportunidades;
  - Indicación de acciones sin necesidad de inversiones: ¿Qué? ¿Quién? ¿Cuándo?
  - Indicación de posibles acciones e inversiones, baja y media/alta: ¿Qué? ¿Quién? ¿Cuándo? ¿Cuánto?

La valoración positiva por el *Grup de Treball d'Eficiencia i Estalvi Energètic* de los resultados obtenidos<sup>67</sup> permite una aportación al contexto de la Universidad de Passo Fundo, a ser discutida en los ámbitos de planeamiento del PDI - *Plano de Desenvolvemento Institucional UPF 2012-2016* (UPF 2012) y de la Política de Responsabilidad Social 2013/2016 (Dalmolin y Moretto 2014), todavía con pautas abiertas en el tema de la “elaboración de un programa de gestión medioambiental sostenible y de promoción de la ecoeficiencia”, según ya comentado en el Apéndice C.3 y desarrollado también en el Apéndice D.

Con referencia a los sistemas de acondicionamiento ambiental Marques, Haddad y Guardial (2007, 131-132) consideran diversos aspectos para la reducción del consumo de energía, sean para nueva construcción o *retrofit*, pero en líneas generales hay que buscar:

- Seleccionar componentes y sistemas que resulten en instalaciones económica y energéticamente eficientes;
- Monitorizar y controlar efectivamente las condiciones internas de la edificación, manteniendo la temperatura y humedad dentro de los límites requeridos;

---

<sup>66</sup> Disponible en: <<https://www.upc.edu/gestiosostenible/recursos-i-formacio/eines-practiques-per-a-coordinadors-de-poe/guiò-ajuda-poe/view>>.

<sup>67</sup> Resultados de la *6a Sessió de treball POE "Connexions Energètiques"*, de noviembre de 2014 disponible en: <<http://www.upc.edu/gestiosostenible/projectes-i-equipos/projectes-doptimitzacio-energetica-poe/sessions-de-treball-poe/6a-sessio-de-treball-poe-connexions-energetiques>>. El Informe Final de marzo de 2014 (UPC 2014) también presenta los resultados positivos.

- Fornecer la cantidad adecuada de aire exterior para la renovación, de manera a mantener la calidad del aire interior;
- Utilizar equipamientos y sistema con baja relación kW/TR;
- Minimizar la liberación de sustancias que agreden la capa de ozono o contribuyan para el calentamiento global;
- Establecer programas de mantenimiento adecuados, de modo que las condiciones de los equipos y sistemas permanezcan próximos a las condiciones de proyecto.

Además, Marques, Haddad y Guardial (2007, 131-189) presentan estudios de casos brasileños para la mejora de los sistemas de acondicionamiento, en tres clases de intervención: proyecto, operación y mantenimiento. Los casos son una referencia avalada por el PROCEL para la difusión del conocimiento y su aplicabilidad práctica, también en otros sistemas de los edificios como alumbrado y motores.

La muy reciente *Guia para a Eficientização Energética nas Edificações Públicas* (CEPEL 2014) también contribuye con casos para la mejoría de los aspectos de envolvente, cubierta, ventanas y puertas, muros, alumbrado y acondicionamiento térmico, sistemas de supervisión, control y obtención de datos (SCADA), ascensores y sistemas de tracción. Dichos aspectos se reportan a las normativas de certificación energética brasileñas, ya comentadas (Brasil 2013a) y aplicadas de modo obligatorio para los edificios públicos (Brasil 2014); este tema está presentado con mayor detalle en el Apéndice B.2.

## **Fase 4: Propuestas de intervención**

### **Proceso de toma de decisiones**

La energía es fundamental para la organización de los esfuerzos de sostenibilidad en el campus universitario. Para Tomashow (2014, 11-12) las cuestiones relacionadas con el uso y la gestión de la energía en las actividades, considerándola como más que el suministro de lo edificio, sino la conexión directa entre el campus y la biosfera. Hace parte de “los nueve elementos del campus sostenible”, en conjunto con la alimentación, los flujos materiales, la gobernabilidad, las inversiones, el bienestar, los currículos, la interpretación y la estética.

Según dicho autor, estos elementos informan las decisiones de la comunidad, y con la implementación integrada de ellos, permite generar lideranzas y resultados efectivos para la transformación del campus, sus agentes y la comunidad a que la Universidad tiene el papel de fomentar el *ethos* sostenible; además, el campus sirve como una nueva manera de pensar la educación superior.

Para la obtención de resultados positivos, es imprescindible que los procesos de toma de decisiones sean inclusivos y participativos. El consumo de energía puede ser reducido con mayor eficiencia y eficacia cuando apoyado por los cambios en la escala humana. Todavía según Tomashow (2014, 31), las conductas de consumo de energía son más propensos a cambiar cuando hay una infraestructura adecuada que afecta e influye en el comportamiento de los usuarios: estudiantes, profesores, personal administrativo, directivos y la comunidad externa.

De la misma manera que con la UPC, son imprescindibles los mecanismos para la inclusión de la metodología para la eficiencia energética o de una manera más amplia, la ecoeficiencia, en la estructura organizativa de la

Universidade de Passo Fundo.

Para esto, se identificaron la actual estructura y las propuestas de cambios en estudio para su perfeccionamiento, con la base inicial en el proyecto de planeamiento estratégico para la revisión del PDI – UPF. Igualmente deberá ser propuesto un sistema de control de la aplicabilidad y de evaluación sistemática del proceso.

Un punto importante para el éxito de estos procedimientos se relaciona con decisiones administrativas para la estructuración de un sector específico para la Gestión Energética, considerando que desde hace algún tiempo el *Setor de Conservação do Campus* no cuenta con técnico habilitado – Ingeniero Electricista, y las intenciones de gestión de años anteriores comentadas en la Fase 1, no han sido puestas en marcha, y actualmente el sistema *SmartGateM* no está operativo<sup>68</sup>. Una aportación significativa es que el control de gastos con energía eléctrica apunta de manera preliminar que para el año de 2016 los gastos serán muy superiores al 2015, por los cambios de tarifas aplicados por el gobierno federal, considerándose las características de la matriz energética nacional presentada en el Capítulo 1.

Como comentado en el momento de la construcción de los modelos teóricos de simulación, la acción de acondicionamiento en todas las salas de aula y otros sectores de la universidad hace parte del Plan de Desarrollo Institucional de la UPF PDI 2012-2016 - punto 3.1.6 (UPF 2012; 2013), con plazo de ejecución para el final de 2016 – Tabla 49 del Anexo IX.F.

Otras dos acciones del PDI en el ámbito del “Objetivo 3.1: Calificar las condiciones del ambiente de estudio y trabajo”:

- 3.1.8. “Implantar campañas permanentes de concienciación y racionalización de uso de los recursos”, estaría en proceso de ejecución con fecha de cierre en el plazo de abril de 2013;
- 3.1.11. “Elaboración de un programa institucional de gestión ambiental sostenible y de promoción de la ecoeficiencia”, estaría con el programa elaborado bajo responsabilidad de la Rectoría, con plazo de diciembre de 2013.

El status de la ejecución de 2015 (UPF 2015) apuntaba que mientras el acondicionamiento estuviera “en ejecución”, las campañas de concienciación estaban “en espera” y el programa de gestión “en elaboración”. El PDI está en proceso de actualización para los próximos períodos administrativos, momento para la verificación de la situación de las metas programadas.

Aunque el programa haya sido elaborado (Mistura et al. 2013), fueron establecidos dos ejes temáticos: a. eficiencia energética y b. planeamiento, urbanización y ocupación de los espacios. A partir de las directrices para cada uno de ellos, fueron delineados principios y metas, pero no están considerados las respectivas responsabilidades y plazos de ejecución. Es decir, el proceso de toma de decisiones efectivo todavía está abierto; tampoco se indicaron las metodologías o indicadores para alcanzar los retos establecidos. La Tabla 38 presenta el planteamiento para el eje de eficiencia energética, mientras que en la Tabla 47 – Apéndice D – se muestra el conjunto de la propuesta.

Tabla 38 Principios y metas para la eficiencia energética (adaptado de Mistura et al. 2013).

<sup>68</sup> Hasta este momento el sistema sigue sin operación, por cuestiones de las adaptaciones en los sistemas de información, lo que permitiría la retomada del control y puesta en marcha de mecanismos de gestión.

eje temático	principios	metas
eficiencia energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eficiencia energética en todos los sectores;</li> <li>• gestión y minimización de los desperdicios de energía;</li> <li>• búsqueda por nuevas fuentes de energía no convencional y sostenible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optimizar el uso de energía;</li> <li>• implementación de un programa integrado y medidas de combate al desperdicio de energía;</li> <li>• reducir los costes relacionados al consumo de energía;</li> <li>• incentivar investigaciones volcadas a la generación sostenible de energía.</li> </ul>

De acuerdo con los contenidos de la ISO 50001 (ISO 2011; ABNT 2011) que presenta la posibilidad de adoptarse el Energy Management System – EnMS el interfaz y la compatibilidad con el proceso PDCA del Sistema de Gestión Medioambiental o EMS - ISO 14001 (ABNT 2004) - podrá generar resultados positivos en la implementación del *Manual do Sistema de Gestão Ambiental da UPF* (Assumpção, Peluso y Freschi 2011), concebido con un carácter muy abierto y generalista.

En el ámbito normativo y regulador cabe subrayar que el funcionamiento de las actividades de la Universidad está condicionado al permiso o *Licenciamento Ambiental* a ser objeto de renovación en el 2016, comentado en los Apéndices C.3 y D.

### **Políticas para la ecoeficiencia y planes de acciones: criterios para la mejora de la ecoeficiencia del parque construido de la UPF**

A partir de las fases anteriores, los resultados de la aplicación de la metodología permiten establecer pautas para la calificación y, en consecuencia, una mayor ecoeficiencia del parque construido en la UPF, tanto en los edificios existentes como aquellos de nueva construcción, a ser incluidos en el “*Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética para a Universidade de Passo Fundo*”<sup>69</sup> teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Análisis de la vida útil del edificio y la aplicación de los principios de la construcción sostenible;
- Revisión de los parámetros de construcción para los edificios nuevos, con el uso de envolvente con masa térmica adecuada según los parámetros mínimos de  $U$  indicados por el RTQ-C apuntados en el apartado de las Líneas de Acción, y aislamiento de los puentes térmicos;
- Adopción de criterios para la definición de orientación solar adecuada a las restricciones de habitabilidad de los diferentes sectores de la programación arquitectónica: como los laboratorios con acondicionamiento artificial para direcciones entre SO y SE con menores aportes de radiación; las aulas y despachos con permanencia prolongada preferentemente para orientaciones entre NNO y E;
- Programas de *retrofit*, con la implementación de mejores condiciones de confort térmico, por lo menos de 80% de las horas ocupadas, que correspondan a las condiciones climáticas complejas locales (caliente/húmedo en verano y frío/húmedo en invierno);
- Acondicionamiento artificial con temperaturas *setpoint* máximas de 20°C en invierno y mínimas de 24°C en verano;

<sup>69</sup> El Programa está desarrollado también en el Apéndice D, escrito en la lengua portuguesa.



- Uso de estrategias pasivas de refrigeración y calefacción, adecuados a las características climáticas locales, representados en la Carta Psicrométrica (Figura 160 Apéndice C.3), que a partir de la relación entre la humedad relativa y la temperatura de cada 8.760 horas del año, presenta estrategias para obtener las condiciones de confort razonables en los edificios especificadas a continuación, ya que en 20,50% de las horas del año se registran situaciones confortables;
- Aplicación de sistemas de ventilación mecánica (si necesario de acuerdo con los usos) o de ventilación cruzada natural, según los indicadores ya apuntados, las directrices de la Carta Psicrométrica y resultados de evaluación del confort adaptativo;
- Adopción de un diseño de ventanas con protección solar exterior para garantizar la reducción efectiva de las ganancias solares, asociadas con las estrategias de calefacción pasiva;
- Ampliar y mejorar los sistemas de medición y monitorización (actualmente utilizado el sistema *Gesta/SmartGateM*), integrados a redes inteligentes o *smart grids* para control y gestión de informaciones, con tecnologías *demand side response* – tecnologías que permiten control automatizado de los equipamientos de los usuarios según la demanda instantánea en la red eléctrica. Con esto se reducen los picos de tensión y agregando el control automatizado de los usuarios de los equipos de acuerdo a la demanda instantánea en la red eléctrica, y la adición de un beneficio financiero en la relación entre concesionaria de generación y distribución con la consumidora – UPF;
- Identificar las fuentes de generación de los consumos de fondo y proponer límites de consumo en horas-punta para las unidades consumidoras o unidades académicas;
- Fomentar e implementar el uso eficiente de los recursos naturales (agua, materiales, movilidad y emisiones de CO<sub>2</sub>, residuos sólidos, etc.) y reducción de los impactos ambientales asociados, según la Política de Responsabilidad Socioambiental.

Este listado de pautas fue incorporado a la programación arquitectónica del nuevo edificio que será construido por la Universidad de ampliar y cualificar el espacio físico de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura - FEAR, con previsión de construcción de aproximadamente 15 mil metros cuadrados, distribuidos en 4 bloques, uno de ellos concluido en 2015<sup>70</sup>. Estos criterios de planificación y el uso, Anexo XIX, se pretendía que fueran incorporados en todos los otros proyectos desarrollados por el sector responsable de nuevas construcciones y renovaciones, lo que indica que esta investigación comienza a dar sus resultados operativos reales.

---

<sup>70</sup> El edificio V2, primer módulo del conjunto de la Nova FEAR, está en utilización con clases y laboratorios desde marzo de 2015– véase el Anexo XIX.

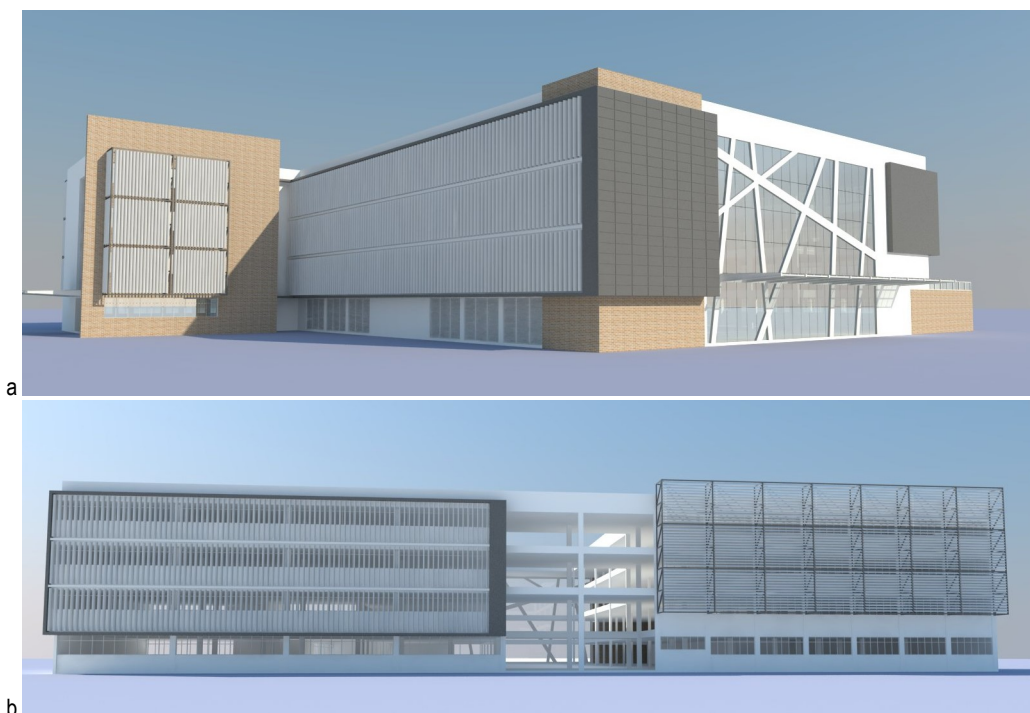


Figura 84 Aplicación de sistemas de protección solar en los nuevos edificios para la FEAR - estudios iniciales del bloque principal. a. vista Sur; b. fachada Norte – Setor de Projetos UPF 2014.

Para edificios de nueva construcción en la UPF, a partir de la investigación desarrollada en paralelo a la tesis<sup>71</sup>, las directrices para la inclusión de sistemas de control de radiación solar directa han sido observadas en el proyecto de las nuevas instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura – FEAR. En este sentido, según presentado en la Figura 84, los protectores solares proporcionarán una disminución de las ganancias térmicas, y consecuentemente, la necesidad de aportación de energía para la climatización artificial de enfriamiento, además de permitir un mejor aprovechamiento de la luz natural sin perjuicios a la ventilación natural.

La concepción integrada del edificio, basada en los criterios apuntados en el Anexo XIX, es un punto de redireccionamiento hacia la ecoeficiencia en los edificios de la Universidad de Passo Fundo, incorporando estrategias para la minimización de costes de construcción y operación, además de igualmente cumplir los criterios estéticos y funcionales, intrínsecos a la Arquitectura.

En la Figura 293 está representada la situación de los criterios generales a ser insertados en los procesos de diseño de los edificios; el análisis, sin embargo, apunta un atendimento parcial. Según la evaluación de la envolvente bajo los criterios del RTQ-C, el edificio V2 presenta un nivel de eficiencia A para la cubierta, sin embargo para los muros exteriores está todavía con un nivel C o D (Rebelatto, Frandoloso y Fritsch 2016).

Los resultados deben ser analizados teniendo en cuenta todos los factores que influyen en el rendimiento térmico y la energía, especialmente en relación al uso y la ocupación de los espacios y el rendimiento de los equipos, tanto para la iluminación, acondicionamiento y otros equipamientos que forman parte de los sistemas de cada uno de los edificios.

<sup>71</sup> Investigación institucionalizada en la UPF, con aporte de recursos del CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, y FAPERGS – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado, comentada en los Apêndices C.3 y D.

En este sentido, los análisis sistémicos indican, a priori, que para satisfacer las necesidades reales de los usuarios, el consumo de energía debe ser mayor, ya que no existen las condiciones de habitabilidad y confort ideales en el interior de ambos edificios estudiados, especialmente para los períodos más fríos. Por otro lado la aplicación de criterios de gestión para el uso de equipos presenta un potencial para reducir el consumo.

Vale la pena señalar que el rendimiento académico de los estudiantes está directamente vinculado a las condiciones de confort sean en las clases como otros ambientes académicos, comentado en el Apéndice B.6 con los estudios desarrollados en el EPA (2000; 2003a; 2003b) y autores como Jurado et al. (2014) o Satish et al. (2012). Es de responsabilidad de las universidades ofrecer ambientes adecuadamente preparados como la iluminación y el confort térmico, garantizando la satisfacción de todos los usuarios que se reflejan en el reconocimiento externo de la universidad.

Las estrategias para alcanzar los requisitos de confort térmico a partir de la metodología propuesta por Givoni (1969) con la Carta Psicrométrica, consideran el confort adaptativo y las directrices definidas, enseñadas en la Figura 160, por medio de la aplicación del software *Climate Consultant* (Liggett y Milne 2012). Además de Passo Fundo, permite la ampliación de su aplicación al clima subtropical húmedo de altitud y, de manera general, a la Zona Bioclimática 2 definida por la normativa NBR 15220 (ABNT 2005). Las prescripciones<sup>72</sup> pueden ser resumidas en los siguientes puntos:

- Masa térmica para calentamiento: almacenamiento en la envolvente de la radiación diurna y transmisión del calor por conducción al interior del edificio durante los períodos más fríos, generalmente por la noche; adopción de cerramientos opacos de alta inercia térmica, con la prevención de pérdidas por las superficies transparentes, por medio de la disminución del área y aumento de la exposición a las orientaciones más favorables; aplicable en 6,1% de las situaciones anuales, es decir, 535 horas;
- Calentamiento solar pasivo: las diversas posibilidades de tipologías y tecnologías para el aprovechamiento de las condiciones favorables de radiación solar están prescritas para 3,1% (271 horas), pero al considerarse la masa térmica, ya comentada con 6,1%, y las ganancias internas (48% - 4.205 horas), las estrategias relacionadas con la arquitectura solar pasiva para calentamiento suman 57,2% de las horas del año.
- Protección solar: la indicación de sombra en las ventanas en los períodos calurosos responde a 13,2% (1152 horas), a ser considerada en conjunto con las estrategias de calentamiento;
- Ventilación: las estrategias de confort adaptativo están indicadas para 16,5% (1.443 horas), mientras que el enfriamiento por ventilación mecánica está indicado para 9,0% del año (786 horas);
- Enfriamiento: las estrategias para enfriamiento por alta masa térmica está indicada para 15,6%, con la utilización de muros y cubiertas aisladas y materiales con alto calor específico, alta densidad y baja (aunque no sea excesivamente baja) conductividad térmica, como por ejemplo adobe, tierra, hormigón, agua y piedra. Además, para el enfriamiento evaporativo las indicaciones son más puntuales (5,8%);

---

<sup>72</sup> Distintos autores comentados en el apartado 2.2 y los Apéndice A y B presentan criterios y soluciones arquitectónicas y tecnológicas para el empleo de la arquitectura bioclimática y solar pasiva, como por ejemplo Szokolay (1983), Givoni (1998), Serra Florensa y Coch Roura (1995, 297-360), Olgay (1998), Serra Florensa (1999), THERMIE Programme (2007), Roaf, Fuentes y Thomas (2009), solamente para destacar algunas referencias.

- Calefacción: indicada para 20% de las horas, es decir 1.752 horas.

En la misma línea de estudios, Fauth (2014) evalúa el potencial de ahorro de energía y la mejora de la calidad lumínica de clases en la UPF, referenciada a la NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT 2013d). De acuerdo con el informe ya comentado en la Fase 1 de inventario y levantamiento de datos, en la comparación del rendimiento de las lámparas fluorescentes utilizadas actualmente (32W) y las lámparas LED (22W) en evaluación presenta una disminución de un 47% en la potencia de consumo, debido a que el rendimiento luminoso sería de 82,48lm/W, por encima de los 72,73lm/W actualmente instalados (Tabla 20 y Tabla 21).

Habrá que evaluarse las cuestiones económicas, pero hay una constante necesidad de sustitución normal por la quema de lámparas o reactores, que justificarían la gradual implantación de sistemas de alumbrado más eficientes, dentro de un programa institucionalizado como el propuesto también en el Apéndice D.3.

Para la consolidación del Programa, una herramienta complementar fiable será la certificación de los edificios según los procedimientos definidos por el RTQ-C y RAC (PROCEL 2010a; 2010b; 2010c; Brasil 2013a; 2013b). La metodología y los procedimientos para lograr la certificación están comentados en el Apéndice B.3, indicándose la adopción del método de simulación.

Otro referencial general es el *Manual de Eficiência Energética para as Novas Edificações da UPF* (Cunha 2011) relaciona las directrices bajo dichas normativas del RTQ-C y las normativas de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); la conformidad y el nivel de eficiencia de los edificios siguen las descripciones comentadas en el Apéndice B.

El manual está dividido en cinco partes: los prerrequisitos generales, las bonificaciones, eficiencia y sistemas de aire acondicionado, sistema de iluminación artificial y estrategias para mejorar la envolvente.

Con referencia a los aspectos económicos, también caben todavía futuros análisis sobre la compatibilización de las demandas energéticas con los escenarios posibles o modelos teóricos ideales, es decir, adecuar las condiciones ambientales mínimas y el consumo energético a los criterios de la ecoeficiencia, donde se incluye el análisis de los impactos medioambientales y los respectivos costes como factores de la evaluación también de la eficiencia y/o eficacia administrativa de las instituciones de educación superior – IES o de empresas.

Aunque este trabajo no incluya los análisis de costos, las referencias descritas en el Capítulo 3 indican la aplicación de tres indicadores: el coste de la energía ahorrada (CEA), el coste del ciclo de vida (VPCCV) y el *payback* simples (Carlo 2008; Martinaitis, Rogoża y Bikmanienè 2004; Vega, Cunha y Silva 2010; Silva 2011), además de otras metodologías de cálculo adecuadas a las necesidades de cada uno de los futuros proyectos de acción específicos.

También puede contribuir con la definición de las intervenciones, el reciente estudio del CBCS (2014) con la presentación de subsidios para la promoción de la construcción sostenible en los temas de agua, energía y materiales, comentados a lo largo de este trabajo. En el campo específico de la energía, la matriz de evaluación de políticas considera acciones institucionales de planeamiento y gestión, sensibilización y capacitación profesional y tecnológicas, y sus respectivos impactos; las tablas resumen hacen parte del Anexo XX - Figura 301, Figura 302 y Figura 303.

Como tema para la continuidad de las evaluaciones del parque construido de la Universidad, de acuerdo con la metodología aplicada a los edificios G1 y L1 aquí presentada, dichos estudios pueden representar una acción eficiente para el desarrollo de las auditorías energéticas en el ámbito académico. Estas investigaciones pueden integrar los alumnos, profesores y personal técnico de los cursos de Ingeniería Civil, Mecánica y Eléctrica (Trabajos de Fin de Carrera - TCCs/TFGs) y de Arquitectura y Urbanismo (Conforto IV), constituyéndose una integración de conocimientos inter y multidisciplinar, así como un ejemplo de buenas prácticas para la vida profesional, según las experiencias positivas obtenidas por los PECCR – *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* - da UPC (Bosch González et al. 2006), reportados en el Apéndice C.2.

## CONCLUSIONES

El objetivo central de investigación es **proponer procesos y métodos de aplicación de criterios de la ecoeficiencia energética en el parque construido de la Universidade de Passo Fundo.**

La cuestión impulsora de la investigación presenta resultados que permitieron establecer los criterios para la calificación y, en consecuencia, el aumento de la ecoeficiencia del parque construido de la UPF, tanto de los edificios existentes como a los de nueva construcción.

Para lograr este reto general fueron desarrollados objetivos subsidiarios para la transformación de una metodología como instrumento operativo, de ayuda a la toma de decisión que permita valorar las repercusiones de los factores incidentes en el consumo energético y las condiciones de confort térmico. Para tanto, fueron propuestas cinco pautas:

### **a. Análisis de los factores incidentes en el consumo de los recursos energéticos en los edificios universitarios - experiencias académicas y administrativas de la UPC:**

La metodología empleada, con base en el conocimiento generado por las investigaciones del Programa de Doctorado *Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura* (actualmente denominado *Arquitectura, Energia i Medi Ambient*) de la ETSAB-UPC, contiene importantes pautas, con el reto de incorporar los criterios medioambientales en la Arquitectura, de una manera integrada e integral.

Los estudios en sus distintos programas y proyectos cumplieron un factor importante para los cuestionamientos del papel de la calidad de los edificios en términos de los impactos generados en todas las fases de su vida útil. A estos estudios hay que enmarcar la fundamental aportación de las investigaciones de López Plazas, teniendo en cuenta que consiste en el punto de partida de la presente investigación, donde la demanda energética es el resultado de las características de emplazamiento del edificio y sus características físicas de los materiales y técnicas constructivas de la envolvente, así como de las condiciones climáticas externas e interiores.

Las premisas de la integración de los factores de la demanda, la gestión del uso de los espacios y los perfiles de ocupación y rendimiento de las instalaciones y de los sistemas propuestas por López Plaza, consideraron las condiciones de los edificios y acondicionamiento del parque construido de la UPC, aplicándose a la gestión y rendimiento a los sistemas de calefacción.

También dicha premisa fue adoptada en las investigaciones posteriores, para la identificación de los Potenciales de Ahorro, y la respectiva asignación y responsabilidad de los costes con las posibles ineficiencias en consumo por encima de los límites prefijados.

En este punto, esta investigación encontró características distintas en el contexto brasileño, y por consiguiente local.

Por lo que se propusieron ajustes, considerándose la gestión y el rendimiento para el consumo de electricidad del conjunto de la demanda, siendo aplicado de la misma forma a los equipos de acondicionamiento, en general de aire acondicionado, los coeficientes de performance *CoP* mínimos establecidos por las normativas nacionales.

Otra importante aportación de las investigaciones de UPC fueron los PEER – *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos*, definiendo metodologías de recogida de datos para las auditorías energéticas y soportes de análisis y diagnóstico, y los POE – *Projectes de Optimització Energètica*, estos últimos insertados en las recientes políticas de eficiencia en el uso de los recursos naturales y consecuentemente, en los recursos económicos. Dichas aportaciones incluso son plenamente aplicables a otros contextos universitarios, obviamente con la aplicación de los ajustes a sus propias especificidades.

En este sentido, la experiencia de la UPC aquí relatada y analizada ha logrado identificar los factores incidentes en el consumo de los recursos energéticos, además de permitir el reconocimiento de los problemas y las potencialidades de las políticas desarrolladas a lo largo de un período de más de veinte años, y sus repercusiones en los procesos de toma de decisión.

**b. Diagnósis del contexto de la Universidade de Passo Fundo en los temas de la ecoeficiencia, con énfasis en los aspectos del uso de los recursos energéticos en su parque construido:**

En los aspectos específicos de la gestión de la energía en los edificios de la Universidade de Passo Fundo, se observaron grandes cambios en los perfiles de consumo a lo largo del período de seguimiento de los dos edificios evaluados – G1 y L1, sea por el aumento en la demanda por los diferentes cursos universitarios de la Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEAR, o por la utilización en larga escala de ordenadores y equipos de laboratorios.

A este impacto en el número de ocupantes y densidad los equipos, se adicionan la propuesta de instalación de equipos de aire acondicionado en todos los ambientes de enseñanza, para cumplir lo dispuesto en el *Plano de Desenvolvimento Institucional UPF 2012-2016*.

Bajo estas perspectivas, el trabajo presenta la diagnóstico del contexto normativo de la Universidad, identificando la evolución de los procesos de inserción de la ecoeficiencia en sus documentos y prácticas administrativas cotidianas. Con respecto a esto, la UPF hizo elecciones de prioridades a partir de 2012, lo que indica su responsabilidad ambiental y social, pero los instrumentos normativos siguen sin establecer un plan de acciones concretas con criterios, indicadores y plazos definidos.

Sin embargo, los procesos de toma de decisiones para las diferentes etapas de la vida útil de los edificios pueden ser simplificados en el análisis del nuevo complejo de espacios educativos de la FEAR (aularios, laboratorios y sectores administrativos), actualmente en implantación. La etapa de establecimiento de criterios para la programación funcional, también identificó directrices para alcanzar los criterios de construcción sostenible y de eficiencia energética.

Como se puede observar en el resultado de la aplicación efectiva de dichos criterios, varios de ellos fueron parciales, con recortes en las fases de ejecución teniendo en cuenta aspectos de reducción de los costes iniciales, pero sin evaluar el impacto de los mismos a lo largo de la fase de operación y de los respectivos *pay-back* de las inversiones.

**c. Evaluación de las condiciones de confort en los espacios académicos y valoración de los correspondientes desempeños de las variables arquitectónicas y de los sistemas en los edificios:**

La evaluación de las condiciones de confort por las distintas metodologías aplicadas en la investigación, enseña la validez de los conceptos del confort adaptativo propuesto por de Dear y Brager, en especial por considerar las acciones de los usuarios para la adaptación a una situación de mejor confort (ventilación, vestimenta, etc.) y de mayor calidad ambiental, sin la aportación ineficiente de recursos energéticos.

Para tanto, la calidad de la envolvente (cerramientos y ventanas) debe ser proporcionada por una Arquitectura también eficiente, aprovechando los conocimientos técnicos y científicos disponibles.

De las variables arquitectónicas y de los sistemas evaluados se puede concluir los siguientes tópicos:

1. En las evaluaciones de la envolvente de los dos edificios, significativos de la caracterización de la tipología constructiva del campus, se observa que los métodos y materiales de construcción adoptados siguen los procedimientos corrientes en el sector de la construcción civil regional, y en este caso, los edificios educativos están condicionados a los criterios económicos para la elección de materiales y técnicas, sobreponiéndose a los aspectos de las condiciones de confort de los usuarios adecuadas al contexto climático regional;
2. Las propiedades térmicas necesarias para la promoción de condiciones de confort de verano y de invierno, en un clima complejo como de Sur de Brasil<sup>73</sup>, con una amplitud térmica muy alta incluso en un mismo día o semana, no están incorporadas a la tradición arquitectónica regional, llevando a la instalación de sistemas puntuales de acondicionamiento artificial, en algunos pocos casos, y principalmente con la adopción de equipos de aire acondicionado de ciclo normal, no reverso, en algunas situaciones con rendimientos por debajo de los recomendables en las normativas;
3. Los encuadramientos genéricos de los edificios analizados, por el método prescriptivo según la normativa RTQ-C, indican nivel *B* para los muros exteriores y *C* o *D* para las cubiertas, es decir, con baja eficiencia de la envolvente;
4. Las superficies acristaladas del edificio L1 generan una grande aportación de radiación solar, favorable de cierta manera para el calentamiento solar pasivo en invierno, pero con ganancias solares importantes a lo largo del año; no solo se observa que la falta de protección solar adecuadamente diseñada pero también los criterios de localización de laboratorios y ambientes en orientaciones equivocadas llevan al imprescindible uso de sistemas artificiales de refrigeración;
5. El diseño de ventanas podría incorporar sistemas de ventilación cruzada natural, así como una calificación de las condiciones lumínicas, sea por la alumbramiento excesivo o por dificultades en el uso diurno de equipos de proyección;
6. Respecto a los sistemas se observa una baja densidad de espacios acondicionados en los edificios G1 y

---

<sup>73</sup> Según la caracterización climática de Köppen y Trewarta está considerado como *Cfa* – subtropical húmedo; también cabe señalar que con la aplicación de la Carta Psicrométrica de Givoni, 20,5% de las horas del año están en condiciones de confort.



L1, pese sus indicaciones para lograr zonas de confort según la caracterización climática, es decir hace falta ampliar la superficie de espacios acondicionados para los ambientes de uso prolongado.

**d. Propuesta de criterios para la toma de decisiones respecto a la ecoeficiencia energética, según los factores de demanda, rendimiento y gestión de uso:**

Una de las premisas de esta investigación es la evaluación de las variables incidentes en el consumo energético de los edificios: demanda, rendimiento y gestión de uso.

Los estudios llevados a cabo revelan que las siguientes situaciones respecto a la ecoeficiencia energética en los edificios G1 y L1:

1. Los perfiles de uso y ocupación indican una distribución desequilibrada: ambientes con poca utilización diurna y sobrecarga de espacios en el periodo nocturno, y por consiguiente, no solo se concentra la demanda por clases, sino también utiliza la franja horaria de consumo de mayor coste – horario punta entre las 18:00 y 21:00 horas;
2. Se observan consumos energéticos de fondo importantes, por equipos de funcionamiento continuo a lo largo de todo el año, hace falta la identificación y la minimización por parte del sector administrativo responsable;
3. Para compensar el aumento de la demanda energética en la horas punta, la utilización de la autogeneración por diesel con potencia de 1.45MW instalada en 2004, todavía no ha sido evaluada respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero asociados;
4. Para la gestión también se indican algunas consideraciones, pese a la instalación del sistema de monitorización *on-line*, los resultados son parciales y discontinuos, basado en el registro de consumo y costes, muy relevante para la administración da la Universidad, pero con potenciales de implantar un sistema de control y gestión eficiente, como el sistema *SIRENA* de UPC, por ejemplo.
5. A partir de la premisa de que la aplicación de los conceptos de la construcción sostenible y el análisis de la vida útil de los edificios son esenciales para esta mejora de procesos, un resultado positivo de la investigación fue la inclusión de este tema en los instrumentos de planificación de la institución - *Plano de Desenvolvimento Institucional* - PDI - UPF 2012-2016, y en la formulación de la *Política de Responsabilidade Social e Ambiental* de la Universidad.

En este sentido, los estudios permitieron establecer los criterios para la calificación y el aumento de la ecoeficiencia del parque construido en la UPF, tanto de los edificios existentes y la nueva construcción, con la proposición de las pautas del *Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética para a Universidade de Passo Fundo*.

Como meta de la tesis, esta metodología también puede ser adoptada como referencia a otras universidades brasileñas, según una contextualización adecuada a cada una de sus características específicas.

**e. Evaluación de las condiciones reales de los edificios y confrontación con modelos teóricos “ideales” para lograr la mejora de la calidad ambiental de los espacios por medio de la envolvente y/o de los sistemas:**

La aplicación de las simulaciones con el *DesignBuilder* para la mejora del desempeño térmico y energético de los edificios estudiados, apuntó la posibilidad de presentar los distintos escenarios y permitir ajustes en todos los factores del edificio y del uso, para de esta manera, componer los índices para el grado de ecoeficiencia de cada uno de los modelos teóricos, comparados con los modelos de referencia o reales.

Igualmente, los modelos desarrollados evaluaron las condiciones de confort interior, incluyendo simulaciones de las mejoras en el desempeño térmico de las envolventes (muros y cubiertas), apuntadas como deficientes en las comparaciones con los parámetros normativos brasileños, integradas con la utilización del acondicionamiento térmico propuesta en los instrumentos institucionales da UPF, así como en las prescripciones indicadas por las herramientas de evaluación del contexto climático.

En respecto a la compatibilización entre la demanda, rendimiento, gestión y condiciones de confort, se concluye:

1. Las características actuales de los edificios G1 y L1 no atienden a las condiciones adecuadas de confort de los usuarios, sean a partir de estrategias pasivas o activas;
2. El planteamiento de promover confort a por lo menos 80% de las horas ocupadas (POC) resulta en la consecuente ampliación de la demanda energética, con una imprescindible rehabilitación de la piel de los edificios: muros exteriores, cubierta y protección solar;
3. Esta compatibilización debe integrar, así, todos los tópicos comentados anteriormente;
4. La evaluación de costes decurrentes de las mejoras en el desempeño térmico y energético, presentan como contrapunto una variable no mensurable que es la evaluación económicas de las mejoras de las condiciones de confort;
5. Los modelos indican una metodología de trabajo, a ser adoptada como estrategia para cumplir requisitos específicos en los planes de acción concretos.

### **Reflexiones generales**

Para contestar las cuestiones planteadas en la justificativa, inicialmente hay que considerar los dos distintos contextos de la investigación, UPC y UPF, así como también el contexto de España y Brasil, íntimamente conectados en términos de las normativas que regulan las edificaciones, el consumo de energía y el control de los impactos medioambientales y la Sostenibilidad.

Una situación idéntica de las normativas al nivel nacional brasileño, ocurre para las Universidades, aunque varias experiencias prácticas han sido impulsadas por el contexto de la Sostenibilidad en la Educación y en las acciones efectivas para el control de los recursos naturales, especialmente en este caso la energía. Todavía las investigaciones teóricas no han resultado en la inserción de metodologías concretas en los procesos de toma de decisiones y en los reglamentos académicos en la mayoría de las Instituciones de Educación Superior – IES.

Es decir, así como ha pasado con algunas experiencias de la UPC, como el *Proceso ACA2* y el *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels*, el conocimiento y las tecnologías aplicadas en las fases de diseño para un mejor desempeño (o calidad) ambiental, no encuentran generalmente su continuidad en la fase de construcción, inviabilizando o disminuyendo sus efectos reales en los resultados de la fase de operación.

En los términos del planeamiento de la UPF, según el estudio, la visión de la Universidad en la sostenibilidad se encuentra todavía en proceso de implementación, identificando los procedimientos institucionales para la inclusión de la política ambiental y social en los reglamentos académicos. No obstante, hay que reforzar la estructura que genera esta nueva visión proporcionada en por la traducción en metas y acciones que deben ser cumplidas, teniendo en cuenta los objetivos ya formulados, pero a ser efectivamente implementados y revisados en un proceso de retroalimentación continua.

Sin embargo, el principal punto a destacar es el resultado de la aglutinación de acciones aisladas que son desarrollados por grupos educativos y de investigación, ya sea por sectores administrativos responsables de la gestión de la universidad. Dichas acciones deben convergir en la unión de esfuerzos, pero sobre todo con la integración de todos los actores: estudiantes, profesores, personal técnico y administrativo y directivos.

Nuevas investigaciones podrán ser desencadenadas a partir de este trabajo, sean a nivel de estudios académicos en asignaturas de conclusión de cursos como Arquitectura o Ingeniería, evaluando otros edificios del parque construido de la UPF, así como de estudios de postgrado para lograr la compatibilización entre los costes económicos y los beneficios de la satisfacción de las necesidades de confort.

La construcción de la política social y el medio ambiente, indica señales de un cambio de paradigma dentro de UPF, sin embargo, es esencial que se establezcan procedimientos eficaces para la inclusión de la sostenibilidad en la Universidad en todos los ámbitos, pero con compromiso y responsabilidad en cada etapa de toma de decisiones.

La comunicación de la Universidad con la sociedad en la que actúa es fundamental, sobre todo para el carácter filantrópico y comunitario de la institución, esto significa ampliar su papel en la promoción de la educación y la sostenibilidad regional.

## CONCLUSÕES

O objetivo central desta pesquisa é **propor processos e métodos de aplicação de critérios da ecoeficiência energética no parque construído da Universidade de Passo Fundo.**

A questão impulsora desta pesquisa apresenta resultados que permitiram estabelecer os critérios para a qualificação e, por consequência, o aumento da ecoeficiência do parque construído da UPF, tanto para as edificações existentes como para os de nova construção.

Para alcançar este objetivo geral foram desenvolvidos objetivos subsidiários para a transformação de uma metodologia como instrumento operativo, de ajuda à tomada de decisões que permita valorar as repercussões dos fatores incidentes no consumo energético e das condições de conforto térmicos. Para tanto foram propostas cinco pautas:

### **a. Análise dos fatores incidentes no consumo dos recursos energéticos nos edifícios universitários - experiências acadêmicas e administrativas da UPC:**

A metodologia adotada, com base no conhecimento gerado pelas pesquisas no Programa de Doutorado *Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura* (atualmente denominado *Arquitectura, Energia i Medi Ambient*) da ETSAB-UPC, contém importantes pautas, com o objetivo de incorporar os critérios meio-ambientais na Arquitetura, de maneira integrada e integral.

Os estudos e projetos cumpriram um fator importante para os questionamentos sobre o papel da qualidade dos edifícios, quanto aos impactos gerados em todas as fases da de sua vida útil. A tais estudos deve ser salientada a contribuição fundamental das pesquisas de López Plazas, considerando-se como ponto de partida ao presente estudo, na qual a demanda energética é o resultado das características de situação do edifício e de suas características físicas de materiais e técnicas construtivas da envoltória, bem como das condições climáticas externas e interiores.

As premissas da integração dos fatores de demanda, gestão do uso dos espaço e perfis de ocupação e do rendimento das instalações e dos sistemas propostos por López Plaza no Apêndice C, consideraram as condições das edificações e condicionamento do parque construído da UPC, aplicando-se à gestão e rendimento dos sistemas de aquecimento.

Também tal premissa foi adotada em estudos posteriores, para a identificação dos Potenciais de Economia, e a respectiva assinação da responsabilidade dos custos com as possíveis ineficiências no consumo acima dos limites pré-fixados.

Neste ponto, esta pesquisa encontrou características distintas no contexto brasileiro, e conseqüentemente local.

Assim, foram propostos ajustes considerando-se a gestão e o rendimento para o consumo de eletricidade para o conjunto da demanda, aplicado igualmente para os sistemas de condicionamento térmico. Cabe comentar que em geral estes sistemas são constituído por aparelhos de ar condicionado, com os coeficientes de desempenho *CoP* mínimos estabelecidos pelas normativas nacionais.

Outra importante aportação das pesquisas na UPC foram os PEER – *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos*, definindo metodologias de coleta de dados para as auditorias energéticas e suportes de análises e diagnósticos, bem como os POE – *Projectes de Optimizació Energètica*, estes últimos inseridos nas recentes políticas de eficiência no uso dos recursos naturais e, por consequência, nos recursos econômicos. Ditas contribuições inclusive são plenamente aplicáveis a outros contextos universitários, obviamente com aplicação de ajustes as suas próprias especificidades.

Desta forma, a experiência da UPC aqui relatada e analisada obteve êxito em identificar os fatores incidentes no consumo dos recursos energéticos, além de permitir o reconhecimento de problemas e potencialidades das políticas desenvolvidas ao longo de um período de mais de vinte anos, e suas repercursões nos processos de tomada de decisão.

**b. Diagnósticos do contexto da Universidade de Passo Fundo nos temas da ecoeficiência, com ênfase nos aspectos do uso dos recursos energéticos em seu parque construído:**

Nos aspectos específicos da gestão energética nos edifícios da Universidade de Passo Fundo, se observam grandes mudanças nos perfis de consumo ao longo de período de seguimento de ambos os edifícios avaliados – G1 e L1, sejam pelo aumento da demanda pelos diferentes cursos universitários da Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEAR, ou pela utilização em larga de computadores e equipamentos de laboratórios.

A este impacto no número de ocupantes e da densidade de equipamentos, se adiciona a proposta de instalação de aparelhos de ar condicionado em todos os ambientes de ensino, a fim de cumprir as disposições do Plano de Desenvolvimento Institucional UPF 2013-2016.

Sob estas perspectivas, o trabalho apresneto o diagnóstico do contexto normativo da Universidade, identificando a evolução dos processos de inserção da ecoeficiência em seus documentos normativos e práticas administrativas cotidianas.

No entanto, os processos de tomada de decisões para as diferentes etapas da vida útil dos edifícios podem ser simplificados na análise do novo complexo de espaços educativos da FEAR – Faculdade de Engenharia e Arquitetura (salas de aulas, laboratórios e setores administrativos), atualmente em implantação. A etapa de estabelecimento de critérios para a programação funcional, também indicou diretrizes para alcançar os critérios de construção sustentável e de eficiência energética.

Como se pode observar no resultado da situação da aplicação efetiva de ditos critérios, vários deles foram parciais, com recortes nas fases de execução levando-se em conta aspectos de redução de custos iniciais, porém sem avaliar-se o impacto dos mesmos ao longo da fase de operação e dos respectivos *pay-back* dos investimentos.

**c. Avaliação das condições de conforto nos ambientes acadêmicos e valoração dos correspondentes**

### **desempenhos das variáveis arquitetônicas e dos sistemas nos edifícios:**

A avaliação das condições de conforto por meio das distintas metodologias aplicadas na pesquisa, mostraram a validade dos conceitos de conforto adaptativo proposto por de Dear e Brager, especialmente por considerar as ações dos usuários para a adaptação a uma situação de melhor conforto (ventilação, vestimenta, etc.) e de maior qualidade ambiental, sem o aporte ineficiente de recursos energéticos.

Para tanto, a qualidade da envoltória (vedações e janelas) deve ser proporcionada por uma Arquitetura também eficiente, aproveitando-se os conhecimentos técnicos e científicos disponíveis.

Das variáveis arquitetônicas e dos sistemas avaliados se pôde concluir os seguintes aspectos

1. Nas avaliações da envoltória de ambas as edificações, significativas da caracterização da tipologia construtiva do Campus, se observa que os métodos e materiais de construção adotados seguem os procedimentos comuns ao setor da construção civil regional, e neste caso, os edifícios com fins educativos estão condicionados a critérios econômicos para definição de materiais e técnicas, sobrepondo-se aos aspectos e requisitos das condições de conforto dos usuários, adequadas ao contexto climático regional;
2. As propriedades térmicas necessárias para a promoção destas condições de conforto para verão e inverno, em um clima complexo como do sul do Brasil<sup>74</sup>, com uma amplitude térmica muito alta inclusive em um mesmo dia ou semana, não estão incorporadas à tradição arquitetônica regional, levando à instalação de sistemas pontuais de condicionamento artificial, em alguns poucos casos, e principalmente com a adoção de aparelhos de ar condicionado de ciclo normal, não reverso, as quais em algumas situações apresentam rendimentos abaixo das recomendações das normativas;
3. Com a aplicação dos enquadramentos genéricos pelo método prescritivo aos edifícios de acordo com o RTQ-C indicam nível *B* para as paredes externas e *C* ou *D* para as coberturas, ou seja, com baixa eficiência;
4. As superfícies transparentes do edifício L1 geram um grande aporte de radiação solar, favoráveis de certa maneira para o aquecimento solar passivo no inverno, porém com ganhos solares importantes ao longo do ano; se observa não somente a falta de proteção solar adequadamente projetada, mas também os critérios de localização de laboratórios e ambientes em orientações equivocadas levam ao imprescindível uso de sistemas artificiais de refrigeração;
5. O desenho das esquadrias de janelas poderia incorporar sistemas de ventilação cruzada natural, assim como uma qualificação das condições lumínicas, seja pela iluminação excessiva e ofuscamento ou pelas dificuldades no uso diurno de equipamentos de projeção;
6. Com relação aos sistemas se observa uma baixa densidade de ambientes condicionados nos edifícios G1 e L1, embora suas indicações para alcançar as zonas de conforto de acordo com a caracterização climática, ou seja, seria necessária a ampliação da superfície condicionada para os ambientes de uso

---

<sup>74</sup> Conforme a caracterização climática de Köppen e Trewarta foi considerada como *Cfa* – subtropical úmido; cabe assinalar que com a aplicação da Carta Psicrométrica de Givoni, 20,5% das horas do ano estão em condições de conforto.

prolongado.

**d. Proposta de critérios para a tomada de decisões com relação à ecoeficiência energética, de acordo com os fatores de demanda, rendimento e gestão de uso:**

Uma das premissas deste trabalho é a avaliação das variáveis incidentes no consumo energético dos edifícios: demanda, rendimento e gestão de uso.

Os estudos desenvolvidos revelam que as seguintes situações quanto à ecoeficiência nos edifícios G1 e L1:

1. Os perfis de uso e ocupação indicam uma distribuição desequilibrada: ambientes com pouca utilização diurna e sobrecarga de espaços no período noturno, e, por conseguinte, não apenas se concentra a demanda por salas de aulas, mas também utiliza a faixa horária de consumo de maior custo – horário-pico 18:00 e 21:00 horas;
2. Se observam consumos de fundo relevantes, por equipamentos de funcionamento contínuo ao longo de todo o ano; é imprescindível a identificação e minimização por parte do setor administrativo responsável;
3. Para compensar o aumento da demanda energética na faixa de horário-pico, a utilização por geração própria movida a diesel com potência de 1.45MW instalada em 2004, carece de avaliações específicas com relação às emissões de CO<sub>2</sub> e outros poluentes de efeito estufa decorrentes de seu uso;
4. Para a gestão também se indicam algumas considerações, pese a instalação do sistema de monitoramento *on-line*, os resultados são parciais e descontínuos, baseado no registro de consumo e custos, de grande relevância para a administração da Universidade, porém potenciais de implantar um sistema de controle e gestão eficiente, como o sistema *SIRENA* da UPC, por exemplo;
5. A partir da premissa de que a aplicação dos conceitos da construção sustentável e a análise da vida útil dos edifícios são essenciais para esta melhora de processos, de maneira que um resultado positivo da investigação foi a inclusão deste tema nos instrumentos de planejamento da instituição por meio do Plano de Desenvolvimento Institucional - PDI-UPF 2012-2016, e na formulação da Política de Responsabilidade Social e Ambiental da Universidade.

Desta forma, os estudos permitiram estabelecer os critérios para a qualificação e o aumento da ecoeficiência do parque construído da UPF, tanto dos edifícios existentes como os de nova construção, com a proposição do Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética para a Universidade de Passo Fundo.

Como meta desta tese, esta metodologia também pode ser adotada como referência para outras universidades brasileiras, segundo uma contextualização adequada a cada uma das características específicas.

**e. Avaliação das condições reais dos e e comparação com os modelos teóricos "ideiais" para alcançar a melhoria da qualidade ambiental dos ambiente, por meio da envoltória e/ou dos sistemas:**

A aplicação das simulações com o software *DesignBuilder* para a melhoria do desempenho térmico e energético dos edifícios estudados, apontou a possibilidade de apresentar os distintos cenários e permitir ajustes em todos os fatores do edifício e do uso e, neste sentido, compor os índices para o grau de ecoeficiência de cada um dos

modelos teóricos, comparando-os com os modelos de referência ou reais.

Os modelos desenvolvidos avaliaram as condições de conforto interno, incluindo-se simulações da melhora no desempenho térmico da envoltória (paredes e cobertura), apontadas como deficientes nas comparações com os parâmetros normativos brasileiros, integradas com a utilização do condicionamento térmico proposta nos instrumentos institucionais da UPF, bem como nas prescrições indicadas pela ferramentas de avaliação do contexto climático.

Quanto à compatibilização entre a demanda, rendimento, gestão e as condições de conforto, conclui-se:

1. As características atuais dos edifícios G1 e L1 não atendem às condições adequadas de conforto dos usuários, sejam por meio de estratégias passivas ou ativas;
2. A proposta de promoção de conforto em pelo menos 80% das horas ocupadas (POC) resulta em uma consequente ampliação da demanda energética, com uma imprescindível reabilitação da envoltória: paredes, cobertura e proteção solas;
3. Esta compatibilização deve integrar, desta forma, todos os aspectos já comentado anteriormente;
4. A avaliação de custo decorrentes das melhoras no desempenho térmico e energético, apresentam como contraponto uma variável não mensurável que é a avaliação econômica das melhoras nas condições de conforto;
5. Os modelos indicam uma metodologia de trabalho, a ser adotada como estratégia nos protocolos para atender os requisitos específicos dos planos de ação concretos.

### **Reflexões gerais**

Para responder as questões colocadas na justificativa, inicialmente devem ser considerados os dois contextos da pesquisa, UPC e UPF, bem como também o contexto de Espanha e Brasil, intimamente conectados em termos das normativas que regulam as edificações, o consumo de energia e o controle dos impactos meio-ambientais e Sustentabilidade.

Uma situação idêntica às normativas na esfera nacional brasileira ocorre para as Universidades, embora várias experiências práticas tenham sido impulsionadas pelo contexto da Sustentabilidade na Educação e nas ações efetivas para o controle dos recursos naturais, especialmente neste caso, a energia. No entanto, as pesquisas teóricas não resultaram na inserção de metodologias concretas nos processos de tomada de decisões e nos regulamentos acadêmicos na maioria das Instituições de Ensino Superior – IES.

Assim como ocorreu com algumas experiências da UPC, como o *Procés ACA2* e o *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels*, o conhecimento e as tecnologias aplicadas nas fases de projeto para um melhor desempenho (ou qualidade) ambiental, comumente não encontram sua continuidade na fase de construção, inviabilizando ou diminuindo seus efeitos reais nos resultados da fase de operação.

Nos termos do planejamento da Universidade de Passo Fundo, segundo o estudo, a visão da Universidade para a sustentabilidade encontra-se ainda em processo de implementação, identificando-se os procedimentos institucionais



para a inclusão de uma política ambiental e social nos instrumentos e regulamentos acadêmicos. Não obstante, há que reforçar a estrutura que gera esta nova visão proporcionada pela sua tradução em metas e ações que devem ser cumpridas, tendo em conta os objetivos já formulados, porém a ser efetivamente implementados e revisados em um processo de retroalimentação contínua.

No entanto, o principal ponto a destacar é o resultado da aglutinação das ações isoladas que são desenvolvidas por grupos de pesquisa e nos setores administrativos responsáveis pela gestão da universidade. Estas ações isoladas devem superar as barreiras e unir esforços, sobretudo com a integração de todos os atores: estudantes, professores, pessoal técnico e administrativo, e dirigentes.

Novas pesquisas poderão se desencadear a partir deste trabalho, sejam em estudos acadêmicos de disciplinas de conclusão de cursos como Arquitetura ou Engenharia, avaliando-se outros edifícios do parque construído da UPF, bem como estudos de pós-graduação para compatibilizar os custos econômicos e os benefícios da satisfação das necessidades de conforto.

A construção da política social e meio-ambiental indica sinais de uma mudança de paradigma dentro da UPF, contudo, é essencial que se estabeleçam procedimentos eficazes para a inclusão da Sustentabilidade na universidade em todos os âmbitos, porém com compromisso e responsabilidade em cada etapa da tomada de decisões. A comunicação da Universidade com a sociedade na qual atua é fundamental, sobretudo para o caráter filantrópico e comunitário da UPF; isto significa ampliar seu papel na promoção da educação e da sustentabilidade regional.

## Referencias Bibliograficas

### Capítulo 1

- Adalberth, K. Energy use during the Life Cycle of Buildings: a method. *Building and Environment*, vol. 32, n. 4, July 1997, pp.317-320. ISSN 0360-1323. DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(96\)00068-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(96)00068-6).
- Araújo, V.M.; Cardoso, F. F. Análise dos aspectos e impactos ambientais dos canteiros de obras e suas correlações. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, BT/PCC/544, 2010. ISSN 0103-9830. [Consulta 24 febrero 2015]. Disponible en:[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00544.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00544.pdf).
- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2004.
- Banco Mundial. Datos. En: *El Banco Mundial*. [En línea]. Banco Mundial, 2015. [Consulta 21 febrero 2015]. Disponible en:[http://datos.bancomundial.org/pais/brasil#cp\\_wdi](http://datos.bancomundial.org/pais/brasil#cp_wdi).
- BCSD Portugal. Conselho Empresarial para o Desenvolvimento sustentável. A eco-eficiência: criar mais valor com menos impacto. En: *BCSD Portugal* [En línea] BCSD Portugal, 2000. [Consulta: 16 maio 2008]. Disponible en:<http://www.bcsdportugal.org/files/91.pdf>.
- Brasil. Ministério da Educação. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Dispõe sobre as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília, 1996.
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 25 noviembre 2014]. Disponible en:<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001982.pdf>. [2013a]
- Brasil. Presidência da República. Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Lei nº12.881, de 12 de novembro de 2013*. Dispõe sobre a definição, qualificação, prerrogativas e finalidades das Instituições Comunitárias de Educação Superior - ICES, disciplina o Termo de Parceria e dá outras providências. En: *Palácio do Planalto* [En línea]. [Consulta: 03 diciembre 2015]. Disponible en:[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12881.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12881.htm). [2013b]
- Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. *Instrução normativa (IN) Nº02, de 04 de junho de 2014*. En: *DataPrev* [En línea]. [Consulta: 25 noviembre 2014]. Disponible en:<http://www010.dataprev.gov.br/sislex/paginas/38/MPOG/2014/2.htm>.
- Braungart, M; McDonough, W. *Cradle to cradle (de la cuna a la cuna). rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid: McGraw Hill/Interamericana de España, 2005. ISBN 84-481-4295-0.
- Braungart, M; McDonough, W. *Cradle to cradle. remaking the way we make things*. London: Vintage Books, 2009. ISBN 9780099535478.
- Braungart, M; McDonough, W. *The Cradle to Cradle Framework*, 2012. [Consulta: 17 enero 2012]. Disponible en:<http://www.mdbc.com>.
- Carreras, C. La universitat y la ciutat . Barcelona: Universitat de Barcelona, 2001. Model Barcelona, quaderns de gestió, 11. ISBN 84-475-2555-4.
- Cerrillo, A. La iluminación nocturna modela el nuevo rostro de la península Ibérica e ilustra el despilfarro de energía. *La Vanguardia*, 6 de enero 2012, p. 22-23. Tendencias: los impactos del desarrollo en el medio ambiente.
- Cuchi i Burgos, A. *La qualitat ambiental als edificis*. Barcelona, Generalitat de Catalunya, 2009. ISBN 978-84-393-8210-2.
- Correio do Povo. Porto Alegre, 10 de marzo 1974, p. 22.
- Dalmolin, B. M; Moretto, C. M. (Org.) *Política de responsabilidade social 2013/2016*. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. ISBN 978-85-7515-844-9.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2014: ano base 2013. En: *Empresa de Pesquisa Energética* [En línea]. Rio de Janeiro: EPE, mayo 2014. [Consulta 21 febrero 2015]. Disponible en:[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf).
- España. Ministerio de Vivienda. Código técnico de la edificación: documento básico HE – ahorro de energía. En: *Código técnico* [En línea]. Madrid: Ministério de Fomento, marzo 2006. [Consulta: 05 abril 2006]. Disponible en:[http://161.111.13.202/apache2\\_default/cte/CTE\\_DB-HE.pdf](http://161.111.13.202/apache2_default/cte/CTE_DB-HE.pdf).
- España. Ministerio de la Presidencia. *Real Decreto 235/2013*, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Madrid, BOE nº 89. 13 de abril de 2013, p. 27548-27562.
- Espuelas, S. et al. *La financiación de las universidades públicas en Cataluña, 1996-2014*. En: Observatori del Sistema Universitari de Catalunya. Barcelona: OSU, enero 2015. [Consulta 15 febrero 2015]. Disponible en:<http://www.observatoriuniversitari.org/es/files/2015/01/Financiacion.pdf>
- Ferrer-Balas, D. Global environmental planning at the Technical University of Catalonia. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2001, vol. 5, issue 1, p. 48-62. ISSN 1467-6370.
- GBC Brasil. Green Buildings Council. Sustainable buildings in Brasil. En: *GBC Brasil* [em línea]. Rio de Janeiro: EY Brasil, 2013. [Consulta 21 febrero 2015]. Disponible en:<http://gbcbrasil.org.br/sistema/docsMembros/1311141211060000005990.pdf>.
- John, V. M.; Oliveira, D. P.; Lima, J. A. R. *Levantamento do estado da arte: seleção de materiais*. Projeto FINEP 2386/04: tecnologias para a construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007. [Consulta 24 febrero 2015]. Disponible em:<http://habitaconsustentavel.pcc.usp.br>.

- Kibert, C. J. *Sustainable construction: green building design and delivery*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2005. ISBN 0-471-66113-9.
- Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª ed. En: *LABEE-UFSC* [em línea]. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, PROCEL EDIFICA, 2014. [Consulta 18 febrero 2015]. Disponible en: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia\\_energetica\\_na\\_arquitetura.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf)>.
- Leal Filho, W. The United Nations Decade of Education for Sustainable Development: lessons learnt and needs to be met. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2014, v. 15 iss: 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJSHE-01-2014-0001>.
- OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. Energy Statistics of OECD Countries. En: *OECD ilibrary* [En línea]. OECD, 2014. [Consulta 21 febrero 2015]. Disponible en: <<http://data.oecd.org/energy/electricity-generation.htm#indicator-chart>>.
- OMM. Organización Meteorológica Mundial. La tendencia al calentamiento prosigue en 2014. En: *OMM Press Release* [En línea]. Ginebra: 2 febrero 2015. [Consulta 2 mar 2015]. Disponible en: <<https://www.wmo.int/media/?q=es/content/la-tendencia-al-calentamiento-prosigue-en-2014>>.
- Pain, E. Bigger-than-expected budget cuts hit Spanish scientists. *Science*, 3 Apr. 2012. [Consulta: 29 mayo 2012]. Disponible en: <<http://news.sciencemag.org/scienceinsider/2012/04/bigger-than-expected-budget-cuts.html>>. ISSN 0036-8075 (print), 1095-9203 (online).
- Pinto, G. de A.; Buffa, E. *Arquitetura educacional: câmpus universitários brasileiros*. São Carlos – SP: EDUFSCar, 2009. ISBN 978-85-7600-178-2.
- PROCEL. Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletrabras, 2010. [Consulta: 7 mar 2012]. Disponible en: <[http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a004.html](http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>.</a>> vol. 2.</p>
<p>Naredo, J. M. Sobre el origen, el uso y el contenido del termino sostenibilidad. En: <i>Biblioteca CF+S - Ciudades para un futuro más sostenible</i> [En línea]. 30 junio 1997. [Consulta: 18 febrero 2004]. Disponible en: <<a href=)>.
- Souza, U. E. L.; Deana, D. F. *Levantamento do estado da arte: consumo de materiais*. Projeto FINEP 2386/04: tecnologias para a construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007. [Consulta 24 febrero 2015]. Disponible em: <<http://habitaosustentavel.pcc.usp.br>>.
- Statista. Per capita energy consumption in selected countries in 2011 (in million British thermal units). En: *The Statistics Portal* [Consulta 22 febrero 2015]. Disponible en: <<http://www.statista.com/statistics/268151/per-capita-energy-consumption-in-selected-countries/>>.
- Tavares, S. F. *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, abril 2016.
- ULSF. University Leaders for a Sustainable Future. Declaración de Talloires: declaración de líderes de universidades para un futuro sostenible. En: *ULSF*. [En línea]. ULSF, 1990 [Consulta: 14 enero 2005]. Disponible en: <[http://www.ulsf.org/pdf/Spanish\\_TD.pdf](http://www.ulsf.org/pdf/Spanish_TD.pdf)>.
- UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Education for Sustainable Development. *Draft International Implementation Scheme for the UN Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014)*. En: *UNESCO* [En línea]. UNESCO, 2004 [Consulta: 14 enero 2005]. Disponible en: <[http://portal.unesco.org/education/admin/file\\_download.php/Final+IIS.pdf?URL\\_ID=36026&filename=10994104393Final\\_IIS.pdf&filetype=application%2Fpdf&filesize=834142&name=Final+IIS.pdf&location=user-S/](http://portal.unesco.org/education/admin/file_download.php/Final+IIS.pdf?URL_ID=36026&filename=10994104393Final_IIS.pdf&filetype=application%2Fpdf&filesize=834142&name=Final+IIS.pdf&location=user-S/)>.
- UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Shaping the Future We Want. UN Decade of Education for Sustainable Development (2004-2014). Final Report*. En: *UNESCO* [En línea]. Paris: UNESCO, 2014 [Consulta: 19 nov. 2014]. Disponible en: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002301/230171e.pdf>>. ISBN 978-92-3-100053-9.
- UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. 1er Pla de Medi Ambient de la UPC. EN: Web de Medi Ambient [En línea]. Barcelona: UPC, 1995. [Consulta: 16 abril 2004]. Disponible en: <<http://www.upc.es/mediambient/ccordinació/documents/plamediambient2.html>>.
- UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Declaración de Sostenibilidad de la UPC. el rol de la En: *El Pla UPC Sostenible 2015*. [En línea]. Barcelona: UPC, 20 marzo 1997. [Consulta: 29 jun 2012]. Disponible en <http://www.upc.edu/sostenible2015/ambits/el-compromis-i-la-interaccio-social/declaracions-de-sostenibilitat/V4-Declaracio%20de%20Sostenibilitat%20de%20la%20UPC.pdf>>.
- UPF. Universidade de Passo Fundo. *Plano de desenvolvimento institucional: plano quinquenal para o desenvolvimento institucional da UPF 2012 - 2016*. Passo Fundo: GPI - UPF, dez 2011.
- Wadel Raina, G. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I. Barcelona: UPC, 2009.
- WBCSD. World Business Council on Sustainable Development. *Eficiencia energética en las construcciones: realidades y oportunidades del negocio: informe resumido*. Conches-Geneve: WBCSD, Oct. 2007. ISBN 978-3-940388-12-4. [Consulta 24 febrero 2015]. Disponible en: <<http://www.wbcsd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=13559&NoSearchContextKey=true>>.

## Capítulo 2

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental. Especificação e diretrizes para uso*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220: desempenho técnico de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 50001:2011: sistemas de gestão da energia (SGE)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575: edifícios habitacionais - desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. [1ª versión 2008 - NBR 15575: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho].
- Alvarez, A. L. M. *Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1998.

Arana, E. *Conservação de energia num campus universitário*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP: USP, 1994.

Augenbroe, G. The role of simulation in performance based building. En: Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (Ed). *Building performance simulation for design and operation*. London: Spon Press, 2011. Chap. 2, p. 15-36. ISBN: 978-0-415-47414-6.

Beherens, T. P. U. A. et al. Eficiência energética em sistema de iluminação de ambientes - meio para sustentabilidade energética na Universidade. En: *XII Salão de Iniciação Científica da PUC-RS*, 03-07 oct. 2011. Porto Alegre: PUC-RS, 2011. [Consulta: 8 enero 2013]. Disponible en: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/SIC/XII/XII/7/7/6/4.pdf>>.

Brand, S. *How buildings learn: what happens after they're built*. New York: Viking Penguin, 1994.

Brandli, L. et al. Gestão ambiental em instituições de ensino superior: uma abordagem às práticas de sustentabilidade da Universidade de Passo Fundo. *OLAM - Ciência & Tecnologia*. Rio Claro – SP, dez. 2007, ano VII, vol.7, n.3, p. 24-44. ISSN 1982-7784.

Brandli, L. L.; Frandoloso, M.; Tauchen, J. A. Improving the environmental work at University of Passo Fundo, Brazil - towards an environmental management system. *BJO&PM. Brazilian Journal of Operations and Production Management*, julio 2011, vol. 8, n. 2., p. 31-54. ISSN 1679-8171.

Brasil. *Decreto nº 4.131, de 14 de fevereiro de 2002 - Dispõe sobre medidas emergenciais de redução do consumo de energia elétrica no âmbito da Administração Pública Federal*. Brasília, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, p.26, v. 138, nº5, 15/2/2002.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. Plano nacional de eficiência energética: premissas e diretrizes básicas. En: *Ministério de Minas e Energia* [En línea]. Brasília, 18 de octubre de 2011. [Consulta: 11 febrero 2013]. Disponible en: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>.

Brasil. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto nº7.746, de 5 de junho de 2012. Regulamenta o art. 3º Lei nº8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública – CISAP. En: *Palácio do Planalto* [En línea]. [Consulta: 13 diciembre 2015]. Disponible en: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/decreto/d7746.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7746.htm)>.

Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. *Instrução normativa (IN) Nº02, de 04 de junho de 2014* En: *DataPrev* [En línea]. [Consulta: 25 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://www010.dataprev.gov.br/sislex/paginas/38/MPOG/2014/2.htm>>.

CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Aspectos de construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas. En: CBCS [En línea]. Rio de Janeiro: CBCS, PNUMA, Ministério do Meio Ambiente, nov. 2014. [Consulta 4 abril 2015]. Disponible en: <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>>.

Cuchi Burgos, A. *Arquitectura i sostenibilitat*. Barcelona: Edicions UPC, 2005. ISBN 848301839X.

DWA. The Hague University of Applied Sciences, Delft Campus: The Netherlands' Greenest University of Applied Sciences. En: *DWA installation and energy consultants* [En línea]. Rijnland, 2010 [Consulta: 19 mayo 2011] Disponible en: <<http://www.dwa.nl/uploads/File/Productblad/Haagse%20Hogeschool%20Delft%20Engelse%20versie.pdf>>.

España. Ministerio de la Presidencia. *Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio*. Madrid, BOE nº 298. 11 de diciembre de 2009, p. 104924-104927.

Ferreira, A. J. D.; Lopes, M. A. R.; Morais, J. P. F. Environmental management and audit schemes implementation as an educational tool for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 2006, vol. 14, Issue 9-11, p. 973-982. ISSN 0959-6526.

Frandoloso, M. A. L. Hacia la inclusión de criterios medioambientales en los edificios universitarios, desde el proyecto hasta su uso. En: Wickert, A. P. (org.). *Arquitectura e urbanismo em debate*. Passo Fundo: Ed. UPF, 2005. p. 326-345. ISBN 857515326-9.

Frandoloso, M. A. L. El planeamiento ambiental y la auditoria energética aplicados al parque construido de la Universitat Politècnica de Catalunya. En: *Actas del XI Seminário APEC: inmigración y territorio*, Barcelona, 18-19 mayo 2006, p. 214-224. Barcelona: APEC, 2006. ISBN 84-611-0530-0. [Consulta: 17 Dec. 2012]. Disponible en: <[http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario\\_2006.pdf](http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario_2006.pdf)>.

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi Burgos, A. Environmental and energetic issues on universities campi design: some Brazilian and Spanish experiences. En: *Actas del X Seminário APEC: 10 años de saber y memoria*, Barcelona, 18-19 mayo 2005, p. 269-276. Barcelona: APEC, 2005. ISBN 84-609-5324-6. [Consulta: 17 Dec. 2012]. Disponible en: <[http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario\\_2005.pdf](http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario_2005.pdf)>. [2005a].

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi Burgos, A. A methodology to improve (and/or include) energy efficiency on universities centres. En: *SB05 Tokyo Student Session: building a sustainable future*, Tokyo, 23-29 Sept 2005. Tokyo: SB05Tokyo National Conference Board. [Consulta: 17 Dec 2012]. Sustainable Building Design Book, p. 84-85. Disponible en: <[http://www.sb05ss.iis.u-tokyo.ac.jp/images/Design\\_Book/a-1\\_SDBD.pdf](http://www.sb05ss.iis.u-tokyo.ac.jp/images/Design_Book/a-1_SDBD.pdf)>. [2005b].

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi Burgos, A. Environmental issues on universities campi and its urban context: some approaches to South Brazilian region. En: *SB05 Tokyo Action for Sustainability, The 2005 World Sustainable Building Conference*, Tokyo, 24-29 Sept 2005, p. 3356-3361. Tokyo: SB05Tokyo National Conference Board. [Consulta: 17 Dec 2012]. Disponible en: <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4100.pdf>>. [2005c].

Gomes, L. A gestão de resíduos na UNISINOS atendendo aos requisitos da ISO 14.001:2004. En: *Forum Internacional A sustentabilidade no século XXI*, 9-11 Noviembre, 2010. Pelotas - RS [En línea]. Pelotas, 2010. [Consulta: 02 nov. 2011]. Disponible en: <<http://www.ufpel.edu.br/gestaoambiental/forum/DIA10/TARDE/Luciana-PALESTRA-PELOTAS2010.pdf>>.

Gomes, L. P. Relatório Ambiental 2010. Universidade do Rio dos Sinos/UNISINOS. En: *SGA Sistema de Gestão Ambiental*. [En línea] São Leopoldo: UNISINOS, 2011. [Consulta: 02 noviembre 2011]. Disponible en: <[http://www.unisinos.br/sga/index.php?option=com\\_content&task=view&id=90&Itemid=175&menu\\_ativo=active\\_menu\\_sub&marcador=175](http://www.unisinos.br/sga/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=175&menu_ativo=active_menu_sub&marcador=175)>.

Groat, L.; Wang, D. *Architectural research methods*. New York: John Wiley & Sons, 2002. ISBN 0-471-33365-4.

- Halila, F.; Tell, J. Creating synergies between SMEs and universities for ISO 14001 certification. *Journal of Cleaner Production*. June 2013, vol. 48, p. 85-92. ISBN ISSN 0959-6526.
- Hensen, J. L.; M. Evaluation through computational building performance simulation. En: Mallory-Hill, S., Preiser, W. F. E., Watson, C. G. (Ed.). *Enhancing building performance*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012, 223-233. ISBN 978-0-470-65759-1.
- Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (Ed). *Building performance simulation for design and operation*. London: Spon Press, 2011. ISBN: 978-0-415-47414-6.
- Hindley, J. D. L. Planning for the future: Balancing our Needs at the carbon bank. A strategy for moving towards environmental sustainability at Manchester Metropolitan University. En: *MMU and the Environment. MMU's Policies and report* [En línea]. Manchester: The Executive and Directorate Manchester Metropolitan University, July 2009. [Consulta: 5 sept. 2014]. Disponible en: <<http://www.mmu.ac.uk/environment/policies/>>.
- Institut für Umweltsystemforschung - USF. Angewandte Systemwissenschaft. Osnabrück Environmental Management Model for Universities. En: *USF* [En línea] Osnabrück: USF, 2000 [Consulta: 13 septiembre 2005]. Disponible en: <<http://www.usf.uni-osnabrueck.de/projects/sue/index.en.html>>.
- ISO. International Organization for Standardization. *ISO 14001: Environmental management systems -- Requirements with guidance for use*. Genève: ISO, 2004.
- LabEEE - UFSC. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. PRUEN: Programa de racionalização do uso de energia na UFSC. En: *LabEEE-UFSC* [En línea] Florianópolis: UFSC, 2005. [Consulta: 5 enero 2005]. Disponible en: <<http://www.pruen.ufsc.br/>> y <<http://www.labeee.ufsc.br/apresentacao/pruen.html>>.
- Mallory-Hill, S. M. *Supporting strategic design of workplace environments with Case-Based Reasoning*. PhD Thesis. Faculteit Bouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, 2004. TUEindhoven, 2004. ISBN 90-6814-580-0.
- Meadowcroft, J., Farrel, K. N., Spangenberg, J. Developing a framework for sustainability governance in the European Union. *International Journal for Sustainable Development*, v. 8, n. 1/2, p. 3-11, 2005. ISSN 1741-5208. DOI: 10.1504/IJSD.2005.007371.
- Mebratu, D. Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental Impact Assessment Review*, 18, p. 493-520, 1998. ISSN: 0195-9255.
- MMU – Manchester Metropolitan University. *Annual Environmental Sustainability Statement 2012-13*. En: *MMU and the Environment. MMU's Policies and report* [En línea]. Manchester: MMU, feb. 2014. [Consulta: 5 sept. 2014]. Disponible en: <<http://www.mmu.ac.uk/environment/policies/>>.
- Naredo, J. M. Sobre el origen, el uso y el contenido del termino sostenibilidad. En: *Biblioteca CF+S - Ciudades para un futuro más sostenible* [En línea]. 30 junio 1997. [Consulta: 18 febrero 2004]. Disponible en: <<http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a004.html>>.
- Pérez Forquet, A.; Velo, E. (Coord.). *Desenvolupament sostenible*. Global Dimension in Engineering. Integrar el Desenvolupament Humà i Sostenible a l'ensenyamentècnic. Cap. 5. Barcelona: UPC 2014.
- Petry, B. M. et al. O caminho da sustentabilidade energética na PUC-RS. En: *XII Salão de Iniciação Científica da PUC-RS*, 03-07 oct. 2011. Porto Alegre: PUC-RS, 2011. [Consulta: 8 enero 2013]. Disponible en: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/SIC/XII/XII/7/7/6/4.pdf>>.
- Petry, B. M. et al. Ferramenta de suporte para processo de gestão de energia. En: *XII Salão de Iniciação Científica da PUC-RS*, 03-07 oct. 2011. Porto Alegre: PUC-RS, 2011. [Consulta: 8 enero 2013]. Disponible en: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/SIC/XII/XII/8/4/5/2.pdf>>.
- Philippi Jr., A.; Aguiar, A. de O. Auditoria Ambiental. En: Philippi Jr., A.; Romero, M. de A.; Bruna G.C. (Ed.). *Curso de gestão ambiental*. Barueri, SP: Manole, 2004. p. 805-856. (Coleção Ambiental; 1). ISBN 8520420559.
- Philippi Jr. A. et al. Carta à Universidade de São Paulo. En: *Superintendência de Gestão Ambiental*. [en línea] São Paulo, 11 ago 2009. [Consulta: 8 sept. 2014]. Disponible en: <<http://www.sga.usp.br/wp-content/uploads/carta-a-univ-sp.pdf>>.
- Philippi Jr, A. Ambrizzi, T. University of São Paulo Sustainable Campus: challenges and prospects. En: *2nd World Symposium on Sustainable Development at Universities - WSSD-U-2014*. 03-05 sep. 2014. Manchester – UK: MMU; HAV 2014. [2014a].
- Philippi Jr, A. Ambrizzi, T. Strategies for sustainability policies at USP. En: *2nd World Symposium on Sustainable Development at Universities - WSSD-U-2014*. 03-05 sep. 2014. Manchester – UK: MMU; HAV 2014. [2014b].
- Portal Brasil. Prédio do Meio Ambiente recebe etiqueta nível A do Inmetro. En: *Portal Brasil* [En línea]. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 04 de fevereiro de 2015. [Consulta: 13 diciembre 2015]. Disponible en: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/02/predio-do-meio-ambiente-recebe-etiqueta-nivel-a-do-inmetro>>.
- PROBEN. Programa de Bom Uso Energético. Universidade Federal de Pelotas. Resultados do Programa: setembro de 2006 à maio de 2014 (93 meses). En: *PROBEN* [En línea]. Pelotas: PROBEN – UFPEL 2015 [Consulta: 13 diciembre 2015]. Disponible en: <<http://wp.ufpel.edu.br/proben/acoes-e-resultados/resultados-do-programa/>>.
- PROCEL. Relatório da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - ano base 2005. Classe Comercial - AT. Relatório Executivo. En: *PROCEL INFO* [En línea] Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2008. Comercial\_AT\_Brasil\_Relatorio\_Executivo.pdf. Disponible en: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. [2008a].
- PROCEL. Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005, classe comercial - alta tensão. relatório setorial: instituições de ensino. En: *PROCEL Info* [En línea] Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2008. PROCEL\_comercial\_AT\_instituicoes.pdf. Disponible en: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. [2008b].
- PROCEL. Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletrobras, 2010. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponible en: <[182](http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}> . vol. 2. [2010a].</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

PROCEL. Regulamento de avaliação da conformidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RAC-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletronbras, 2010. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponible en: <[PUC-RS. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. Grupo de Eficiência Energética. \*USE - Uso Sustentável da Energia: Manual de Economia de Energia\*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.](http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}></a>. vol. 3. [2010b].</p></div><div data-bbox=)

PUREUSP. Informe mensal. gestão de energia. indicadores de uso. mês: março/2012. En: *PUREUSP. Programa para Uso Eficiente de Energia na USP*. [En línea]. São Paulo: PUREUSP, 18 de junio 2012. [Consulta: 23 julio 2012]. Disponible en: <[http://www.usp.br/pure/scc/upload/informe\\_mar%20E7o\\_2012.pdf](http://www.usp.br/pure/scc/upload/informe_mar%20E7o_2012.pdf)>.

Roméro, M. de A. *Método de avaliação do potencial de conservação de energia elétrica em campi universitários: o caso da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira: uma contribuição para o conhecimento do comportamento energético/elétrico de estabelecimentos de ensino superior do setor público*. Tesis (Doctorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

SGA - USP. Superintendência de Gestão Ambiental. Universidade de São Paulo. Proposta de Gestão Ambiental para a USP. En: *Superintendência de Gestão Ambiental*. [en línea] São Paulo: Conselho Deliberativo da COESF, 18 ago. 2009. [Consulta: 8 sept. 2014]. Disponible en: <[file:///D:/TESE\\_2014/Arquivos%20%20referencias/Univ%20Brasil/Proposta-de-Gestao-USP-2009.pdf](file:///D:/TESE_2014/Arquivos%20%20referencias/Univ%20Brasil/Proposta-de-Gestao-USP-2009.pdf)>.

SGA - USP. Superintendência de Gestão Ambiental. Universidade de São Paulo. Web Site. En: *Superintendência de Gestão Ambiental* [En línea]. São Paulo: USP 2014. [Consulta: 8 sept. 2014]. Disponible em: <<http://www.sga.usp.br/>>.

Silva, A. K. da et al. Gerenciamento de energia elétrica: o sistema de medição setorizada da PUCRS. En: *XII Salão de Iniciação Científica da PUC-RS*, 03-07 oct. 2011. Porto Alegre: PUC-RS, 2011. [Consulta: 8 enero 2013]. Disponible en: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/SIC/XII/XII/8/4/5/3.pdf>>.

Silva, A. C. S. B. da; Oliveira, L. da S.; Cleff, A. C. de F. *Plano de gerenciamento de energia elétrica da Universidade Federal de Pelotas*. Pelotas: LABCEE-UFPel, maio 2006. [Proposta de projeto de ensino, texto digitado].

Silva, A. C. S. B. et al. Programa permanente de gerenciamento de energia elétrica da Universidade Federal de Pelotas. En: *Encontro Latino Americano de Universidades Sustentáveis: universidades sustentáveis, possibilidades e desafios - I ELAUS*, Passo Fundo, 01-03 Set 2008. Passo Fundo: UPF, USP, UNC, 2008. ISBN 978-85-7515-661-2.

Silva, V. G. da; Silva, M. G. da; Agopyan, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para a avaliação de sustentabilidade. *Ambiente Construído* [En línea]. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, jul-set 2003, vol. 3, n. 3, p. 7-18. [Consulta: 12 febrero 2005]. Disponible en: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11388.pdf>>. ISSN 1678-8621.

Spellerberg, I.F.; Buchan, G. D.; Englefield, R. Need a university adopt a formal environmental management system?: progress without an EMS at a small university. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 5, n. 2, 2004. p. 125-132. ISBN 1467-6370.

Tauchen, J. *Um modelo de gestão ambiental para implantação em Instituições de Ensino Superior*. Passo Fundo, 153p, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, 2006.

Tauchen, J.; Brandli, L.L. A Gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. *Gestão&Produção*, São Carlos, set.-dez. 2006, vol. 13, n. 3, p. 503-515. ISSN 0104-530x.

Tibor, T; Feldman, I, *ISO 14000: um guia para as novas normas de gestão ambiental*. São Paulo: Futura, 1996.

UNISINOS. Universidade do Vale dos Sinos. Política ambiental. En: *SGA Sistema de Gestão Ambiental*. [En línea] São Leopoldo: UNISINOS, 2009. [Consulta: 02 noviembre 2011]. Disponible en: <[http://www.unisinos.br/sga/images/stories/politica\\_ambiental\\_unisinos.pdf](http://www.unisinos.br/sga/images/stories/politica_ambiental_unisinos.pdf)>.

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Declaración de Sostenibilidad de la UPC. el rol de la En: *El Pla UPC Sostenible 2015*. [En línea]. Barcelona: UPC, 20 marzo 1997. [Consulta: 29 jun 2012]. Disponible en <http://www.upc.edu/sostenible2015/ambits/el-compromis-i-la-interaccio-social/declaracions-de-sostenibilitat/V4-Declaracio%20de%20Sostenibilitat%20de%20la%20UPC.pdf>.

UTFPR. Universidade Técnica Federal do Paraná. Por que um "escritório verde" na universidade? En: *Escritório Verde*. [En línea]. Curitiba: UTFPR, 2011. [Consulta: 30 noviembre 2012]. Disponible en: <<http://www.escriptorioverdeonline.com.br/o-que-e-o-escriptorio-verde/>>.

USP. Universidade de São Paulo. *USP sustentabilidade: impacto ambiental na Universidade de São Paulo*. São Paulo: USP Inovação, 2009.

Vienbanh, P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. *Journal of Cleaner Production*, Feb. 2002, vol.10, issue 1, p.3-12. ISBN 0959-6526.

### Capítulo 3

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220: desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 50001:2011: sistemas de gestão da energia (SGE)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575: edifícios habitacionais - desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. [1ª versión 2008 - NBR 15575: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho].

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN ISO 7730:2006*. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005). Madrid: AENOR, 2006.

AICIA. Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía; España. Ministerio de Fomento; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - IDAE. Programa iLIDER: limitación de la demanda energética. En: *IDAE* [En línea]. Madrid, 2005. [Consulta: 30 abril 2005]. Disponible en: <<http://www.codigotecnico.org/espa/programas.htm>> Software. iLIDER.exe. v.99A.

ANSI/ASHRAE. *Standard 140-2007, Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs*. Atlanta - USA:

ASHRAE, 2007.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2004.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *ASHRAE 90.1*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2007.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *2009 ASHRAE Handbook fundamentals*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2009.

Assumpção, L. F. J.; Peluso, R. M. B.; Freschi, M. *Manual do sistema de gestão ambiental*. Passo Fundo: UPF, 2011.

Attia, S. et al. "Architect friendly": a comparison of ten different building performance simulation tools. En: *Building Simulation 2009. Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009*, p. 204-211. [Consulta: 12 abril 2012]. IBPSA, 2008. Disponible en: <[http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09\\_0204\\_211.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0204_211.pdf)>.

Attia, S. et al. Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting Architects and Engineers needs. *Journal of Building Performance Simulation*, 2012, vol. 5, n. 3, p. 155-169. ISSN 1940-1493.

Barnaby, C. S.; Crawley, D. B. Weather data for building performance simulation. En: Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (Ed). *Building performance simulation for design and operation*. London: Spon Press, 2011. Chap. 3, 37-55. ISBN: 978-0-415-47414-6.

Bosch Gonzales, M. et al. *Avaluació energètica d'edificis: experiència de la UPC*. Barcelona, UPC, 2006. ISBN 84-8301-861-6.

Brandli, L. L.; Frandoloso, M.; Tauchen, J. A. Improving the environmental work at University of Passo Fundo, Brazil - towards an environmental management system. *BJO&PM. Brazilian Journal of Operations and Production Management*, julio 2011, v. 8, n. 2, p. 31-54. ISSN 1679-8171.

Brandli, L. L. et al. Sustainability evaluation of graduate courses in a university of South of Brazil. En: *ERSCP-EMSU 2010, Delft, NL, October 25-29, 2010*. Delft, NL: TUDelft/The Hague University, 2010. ISBN 9789051550658. Disponible en: <<http://repository.tudelft.nl/view/conferencepapers/uuid%3A6c997b8d-7277-40bd-be01-a7e5322ca6be/>>. [381\_Brandli.pdf].

Brandli, L. L. et al. Avaliação da presença da sustentabilidade ambiental no ensino dos cursos de graduação da Universidade de Passo Fundo. *Avaliação (UNICAMP)*, julho 2012, vol. 17, núm. 02, p. 433-454. [Consulta: 21 octubre 2012]. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1414-40772012000200008>>. ISSN 1414-4077.

Brandli, L. L. et al. Evaluation of sustainability using the AISHE Instrument: case study in a Brazilian University. *Brazilian Journal of Science and Technology*, jan. 2014, vol. 1:4, p. 1-13. [Consulta: 05 enero 2014]. Disponible en: <<http://www.bsjt-journal.com/content/1/1/4>>. ISSN 2196-288X. doi:10.1186/2196-288X-1-4.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 25 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001961.pdf>>. [2013a].

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Anexo da Portaria INMETRO Nº 50/2013. Anexo V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 05 febrero 2015]. Disponible en: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf>> [2013b].

Carlo, J. Relação entre a eficiência estabelecida pela regulamentação para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais e os benefícios econômicos provenientes de investimentos no envoltório. *Eco-lógicas. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina – IDEAL*. [En línea] Florianópolis, 2008. [Consulta: 17 abril 2012]. Disponible en: <[http://www.institutoideal.org/ecologicas/docs/JOYCE\\_CARLO.pdf](http://www.institutoideal.org/ecologicas/docs/JOYCE_CARLO.pdf)>.

Claridge, D. E. Building simulation for practical operational optimization. En: Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (Ed). *Building performance simulation for design and operation*. London: Spon Press, 2011. Chap. 13, p. 365-401. ISBN: 978-0-415-47414-6.

CNE. Comisión Nacional de Energía. Informe sobre el sector energético español. Parte I. Medidas para garantizar la sostenibilidad económico-financiera. En: *CNE* [En línea]. Madrid: CNE, 07 mar. 2012. [Consulta: 02 enero 2013]. Disponible en: <[http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/20120309\\_PI\\_DEFICIT\\_ELECTRICO.pdf](http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/20120309_PI_DEFICIT_ELECTRICO.pdf)>.

Cuchí, A. Factors claus per a la integració dels criteris ambientals als edificis. experiències de la UPC. Proposta pel Laboratori REAL. 2ona. Convocatòria (2005-2006). En: *Web de Medi Ambient. Recerca. Laboratori REAL. Informació de la segona convocatòria*. Barcelona: Cuchí, nov. 2004 [Consulta el 26 de mayo de 2005]. Disponible en: <<http://www.upc.es/mediambient/vidauniversitaria/energiaiaigua.html>>

Cuchí i Burgos, A. *La qualitat ambiental als edificis*. Barcelona, Generalitat de Catalunya, 2009. ISBN 978-84-393-8210-2.

Cuchí Burgos, A.; López Plazas, F. *Indicadores de consumo de energético de las edificaciones de la UPC*. Barcelona: UPC, mayo 2003. Archivo digitado [Laboratori real\_Indicadors.pdf].

Cuchí Burgos, A.; López Plazas, F. Energy consumption for Technical University of Catalonia (UPC) buildings. En: *World Renewable Energy Congress, 8, Denver, USA. Aug. 29- Sep. 3, 2004*. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2004.

Cuchí i Burgos, A.; López Plazas, F.; Leite Frandoloso, M. A. Informe final: factors claus per a la integració dels criteris ambientals als edificis. En: *Web de Medi Ambient. Recerca. Laboratori Real. Projectes de la segona convocatòria*. [En línea] Barcelona: Departament de Construccions Arquitectòniques I - UPC, 2006. [Consulta el 5 de diciembre de 2006]. Disponible en: <<http://www.upc.es/mediambient/recerca/real/fitxes/segona/CRITERIS.ZIP>>.

Cunha, E. G. da et al. *Manual de eficiência energética para as novas edificações da UPF*. Pelotas: LABCEE FAURB - UFPEL, 2011. [texto digitado].

Dalmolin, B. M.; Moretto, C. M. (Org.) *Política de responsabilidade social 2013/2016*. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. ISBN 978-85-7515-844-9.

de Dear, R.J.; Brager, G.S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Technical Data Bulletin*. Atlanta - USA:

ASHRAE, 1998, vol. 14, n.1, p. 27-49. ISSN 0884-0490.

de Dear, R. J., Brager, G.S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, July 2002, vol. 34, p. 549-561. ISSN 0378-7788. Special Issue on Thermal Comfort Standards.

Delbin, S.; Silva, V. G. Inserção de simulação computacional de conforto ambiental em cursos de Arquitetura e Urbanismo. En: *IX ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto - MG, 08-10 Outubro 2007*. Anais, Porto Alegre: ANTAC, 2007. 1 CD-ROM. ISBN 978-85-89478-20-5.

DesignBuilder. *DesignBuilder*. Software. v. 2.04.002. DesignBuilder, 2008.

DesignBuilder. *DesignBuilder*. Software. v. 2.9.0.002. DesignBuilder, 2011. [2011a].

DesignBuilder. ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests. DesignBuilder Version 3.0 (incorporating EnergyPlus version 7.0.0. EN: *DesignBuilder* [En línea] DesignBuilder, 15 dec. 2011. [Consulta: 28 abril 2012]. Disponible en:<<http://www.DesignBuilder.co.uk/>>. [2011b].

DesignBuilder. DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation. DesignBuilder v3.1. En: *DesignBuilder* [En línea] DesignBuilder, 16 dec. 2011. [Consulta: 17 marzo 2012]. Disponible en:<<http://www.DesignBuilder.co.uk/>>. [2011c].

DesignBuilder. *DesignBuilder*. Software. v.4.2.0.054. DesignBuilder, 2014.

Diputació de Barcelona. Servei del Medi Ambient. *Auditoria energètica II: instal·lacions i edificis*. Barcelona, la Diputació, 1986. ISBN 84-505-3989-7.

DOE. Department of Energy - USA. Energy Plus. EnergyPlus v.2.2 updated 22 April 2008. Software. En: *Energy Efficiency & renewable Energy. US Department of Energy*. [En línea]. USA: DOE, 2008. [Consulta: 25 mayo de 2009]. Disponible en:<[http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg\\_form.cfm](http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg_form.cfm)>.

DOE. Department of Energy - USA. *Building Energy Software Tools Directory* En: *Energy Efficiency & Renewable Energy. US Department of Energy*. [En línea]. USA: DOE, 2010. [Consulta 01 octubre 2010]. Disponible en:<[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/)>.

DOE. Department of Energy - USA. Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus Simulation Software. EnergyPlus documentation. En: *Energy Efficiency & renewable Energy. US Department of Energy*. [En línea]. USA: DOE, 2013. [Consulta: 30 julio 2013]. Disponible en: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm)>.

España. Ministerio de Vivienda. Código técnico de la edificación: documento básico HE – ahorro de energía. En: *Código técnico* [En línea]. Madrid: Ministerio de Fomento, marzo 2006. [Consulta: 05 abril 2006]. Disponible en:<[http://161.111.13.202/apache2\\_default/cte/CTE\\_DB-HE.pdf](http://161.111.13.202/apache2_default/cte/CTE_DB-HE.pdf)>.

España. Ministerio de Fomento. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE: Ahorro de Energía. En: *BOE* [12 de septiembre de 2013] [En línea]. Madrid: Ministerio de Fomento, septiembre 2013. [Consulta: 19 noviembre 2014]. Disponible en:<<http://www.boe.es/boe/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511.pdf>>.

Fanger, P. O. *Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering*. Copenhagen, Danish Technical Press, 1970. ISBN 9788757103410.

Fanger, P. O.; Toftum, J. Extension of the PMV model to non-air-conditions buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, July 2002, n. 34, issue 6, p.533-536. ISSN 0378-7788.

Ferrer i Balas, D. et al. *ACA2: procés d'aplicació de criteris ambientals en l'arquitectura*. Barcelona: SCI UPC, 2003. ISBN 84-7653-829-4.

Frandoloso, M.A. L. Hacia la inclusión de criterios medioambientales en los edificios universitarios, desde el proyecto hasta su uso. En: Wickert, A. P. (Org.). *Arquitectura e urbanismo em debate*. Passo Fundo: Ed. UPF, 2005. p. 326-345. ISBN 85-7515-3269.

Frandoloso, M. A. L. El planeamiento ambiental y la auditoria energética aplicados al parque construído de la Universitat Politècnica de Catalunya. En: *Actas del XI Seminário APEC: inmigración y territorio*, Barcelona, 18-19 mayo 2006, p. 214-224. Barcelona: APEC, 2006. ISBN 84-611-0530-0. [Consulta: 17 Dec. 2012]. Disponible en:<[http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario\\_2006.pdf](http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario_2006.pdf)>.

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi Burgos, A. Environmental and energetic issues on universities campi design: some Brazilian and Spanish experiences. En: *Actas del X Seminário APEC: 10 años de saber y memoria*, Barcelona, 18-19 mayo 2005, p. 269-276. Barcelona: APEC, 2005. ISBN 84-609-5324-6. [Consulta: 17 Dec. 2012]. Disponible en:<[http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario\\_2005.pdf](http://www.apecbcn.org/seminarios/Seminario_2005.pdf)>. [2005a].

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi Burgos, A. A methodology to improve (and/or include) energy efficiency on universities centres. En: *SB05 Tokyo Student Session: building a sustainable future*, Tokyo, 23-29 Sept 2005. Tokyo: SB05Tokyo National Conference Board. [Consulta: 17 Dec 2012]. Sustainable Building Design Book, p. 84-85. Disponible en:<[http://www.sb05ss.iis.u-tokyo.ac.jp/images/Design\\_Book/a-1\\_SBDB.pdf](http://www.sb05ss.iis.u-tokyo.ac.jp/images/Design_Book/a-1_SBDB.pdf)>. [2005b].

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi Burgos, A. Environmental issues on universities campi and its urban context: some approaches to South Brazilian region. En: *SB05 Tokyo Action for Sustainability, The 2005 World Sustainable Building Conference*, Tokyo, 24-29 Sept 2005, p. 3356-3361. Tokyo: SB05Tokyo National Conference Board. [Consulta: 17 Dec 2012]. Disponible en:<<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4100.pdf>>. [2005c].

Frandoloso, M. A. L.; Cuchi i Burgos, A.; López Plazas, F. La inserción y la integración de los criterios ambientales en los edificios de la UPC: la introducción del uso como factor determinante del consumo de recursos energéticos En: *ICSMM 2006. International Conference on Sustainability Measurement and Modelling*, 1, Terrassa - España, 16-17 Nov. 2006. Barcelona: CIMNE, 2006. ISBN 84-96736-36-7.

Frandoloso, M. A. L. et al. The energy and thermal performance of two university buildings in Southern Brazil with the aim of achieving environmental efficiency. En: *ERSCP-EMSU 2010, Delft, NL, October 25-29, 2010*. Delft, NL: TUDelft/The Hague University, 2010. ISBN 9789051550658. Disponible en:<<http://repository.tudelft.nl/view/conferencepapers/uuid%3Abcdd6e05-89d6-45e5-ab51-890e564d83f7/>>. [382\_Frandoloso.pdf].

Frandoloso, M. A. L.; Brandli, L. L.; Pedroso, F. B. How to improve eco-efficiency and indoor comfort at University of Passo Fundo - Brazil. En: *PLEA2012, 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Toward an environmentally responsive architecture*. Lima Peru, 7-9 Nov. 2012.



Lima: PUC-Peru/PLEA. 1 Pen-drive. [Consulta: 05 mayo 2013]. Disponible en:<<http://www.plea2012.pe/pdfs/T02-20120130-0069.pdf>>. ISBN: 978-612-4057-89-2.

Frndoloso, M. A. L et al. Empowering the university role of fostering education for sustainability and regional sustainability in Southern Brazil: the University of Passo Fundo experience. En: *ERSCP-EMSU 2013, Istanbul, Juny 4-7, 2013*. Istanbul: Bogaziçi University, 2013. ISBN 9789051550658. [Paper ID291].

Gestal. *Smart Gate M*. Retrieved on 29 Jan. 2009. [Consulta: 29 Enero 2009]. Disponible en:<<http://www.gestal.com/new/pdf/datasheetGATEM.pdf>>.

Humphreys, M.; J. F. Nicol. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Technical Data Bulletin*. Atlanta - USA: ASHRAE, 1998, vol. 14, n.1, p.1-14. ISSN 0884-0490.

Humphreys M. A.; Nicol, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and Buildings*, July 2002, vol. 34, issue 6, p. 667-684. ISSN 0378-7788. [Special Issue on Thermal Comfort Standards].

Hwang, R-L.; Lin, T-P.; Kuo, N-J. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energy and Buildings*, Jan. 2006, vol. 38, issue 1, p. 53-62. ISSN 0378-7788.

Ibarra, D. I.; Reinhart, C. F. Daylight factor simulation - how close do simulation beginners "really" get? En: *Building Simulation 2009*. Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009, p. 204-211. [Consulta: 12 abril 2012]. Disponible en:<[http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09\\_0196\\_203.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0196_203.pdf)>.

ISO. International Organization for Standardization. *ISO/DIS 7726:1996. Ergonomics of thermal environment - instruments for measuring physical*. Genève: ISO, 1996.

ISO. International Organization for Standardization. *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Genève: ISO, 2005.

Knop. S. *Comportamento termoenergético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: o caso do casarão 02 - Secretaria Municipal de Cultura*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo [Consulta: 10 julio 2013]. Pelotas, RS: UFPel 2012. Disponible en:<[http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/stifany\\_knop\\_dissertacao.pdf](http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/stifany_knop_dissertacao.pdf)>.

LabEEE - UFSC. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina. *Estatics for Passo\_FuTM2*. Florianópolis: LabEEE-UFSC, 2006. [Archivo Passo\_FuTM2.audit].

LabEEE-UFSC. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Analysis CST, software. v. 2.1. En: *LabEEE - UFSC* [En línea]. Florianópolis: LabEEE - UFSC, 2008. [Consulta: 13 agosto 2010]. Disponible en:<<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software>>.

López Plazas, F. *Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura, Departament de Construccions Arquitectòniques. Barcelona: UPC, 2006. [Consulta: 21 dec 2012]. Disponible en:<<http://www.tdx.cat/handle/10803/6122>>.

Martinaitis, V., Rogoža, A.; Bikmanienė, I. Criterion to evaluate the "twofold benefit" of the renovation of buildings and their elements. *Energy and Buildings*, Oxford: Elsevier, v. 36, issue 1, p. 3-8, jan. 2004. ISSN 0378-7788.

Marsh, A. J. *Ecotect*. Square One Research. Software. v. 5.5. updated: Sep. 13th, 2006.

Mata, E.; López, F.; Cuchí, A. sustainable management of existing building stock: a strategy to reduce the energy consumption and the environmental impact. En: *SB07 Portugal. Sustainable Construction, Materials and Practice*, Lisboa, Sep. 12-14, 2007. Part 1, p. 171-177. Amsterdam: IOS Press, 2007. ISBN 978-1-58603-785-7.

Mata Las Eras, Ruiz, G.; López, F.; Cuchí, A. Avaluació de l'eficiència energètica i les emissions de CO<sub>2</sub> de la ETSAV: informe dels treballs realitzats i els resultats obtinguts durant la campanya d'hivern 2006-2007. Sant Cugat del Vallès: ETSAV - UPCO<sub>2</sub>, abril 2007.

McBride, M. F. Development of economic scalar ratios for ASHRAE Standard 90.1R. En: *Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings VI*, 4-8 Dec. 1995, Clearwater Beach - USA. [Consulta: 9 enero 2013]. Disponible en:<[http://consensus.fsu.edu/FBC/2010-Florida-Energy-Code/901\\_Scalar\\_Ratio\\_Development.pdf](http://consensus.fsu.edu/FBC/2010-Florida-Energy-Code/901_Scalar_Ratio_Development.pdf)>.

Molina, J. L. et al. Los programas informáticos del Código Técnico de la Edificación y Certificación Energética de Edificios: Método Gráfico EG, LIDER y CALENER. En: *Jornada Eficiencia Energética y Energías Renovables en Edificios*, Madrid, 1-2 dec, 2004. Ponencias. [En línea]. Madrid: IDAE, 2004. [Consulta: 1 febrero 2005]. Disponible en:<[http://www.idae.es/docs/actividades\\_publicaciones/s2p2r\\_velazquez\\_j\\_l\\_molina.pdf](http://www.idae.es/docs/actividades_publicaciones/s2p2r_velazquez_j_l_molina.pdf)>.

Mondelo, P. R. et al. *Ergonomia 2: confort y estrés térmico*. 3a ed. Barcelona: Mutua Universal; Edicions UPC, 1999. ISBN 84-8301-316-9.

Negreiros, B. de A. *Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo [Consulta: 21 febrero 2013]. Natal, RN: UFRN 2010. Disponible en:<[http://bdttd.bczm.ufrn.br/tesedimplificado/tde\\_arquivos/22/TDE-2010-12-23T042514Z-3189/Publico/BiancaAN DISSERT.pdf](http://bdttd.bczm.ufrn.br/tesedimplificado/tde_arquivos/22/TDE-2010-12-23T042514Z-3189/Publico/BiancaAN DISSERT.pdf)>.

Ordenes, M. et al. *Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1*. En: *LabEEE-UFSC*. [En línea]. Florianópolis: LabEEE - UFSC, set. 2003. [Consulta: 9 enero 2013]. Disponible en:<[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/RP\\_Biblioteca\\_Materiais\\_VisualDOE.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf)>.

Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea. Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios. En: *Universidad Autónoma de Madrid*. [En línea]. Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea, 2002, p 251-268. [Consulta: 23 octubre 2004]. Disponible en:<[http://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/pmoron/Docs/la\\_directiva.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/pmoron/Docs/la_directiva.pdf)>.

Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). [En línea]. Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea, 18

de junio de 2010. [Consulta: 17 noviembre 2014]. Disponible en:<<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:ES:PDF>>.

Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea. Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. [En línea]. Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea, 25 octubre de 2012. [Consulta: 13 noviembre 2014]. Disponible en:<<http://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>>.

Pérez Cobos, S. *Certificación energética en edificios existentes: critérios para la identificación de la envolvente térmica*. Madrid: Marcombo, 2013. ISBN 978-84-267-2056-6.

Petry, B. M. et al. O caminho da sustentabilidade energética na PUC-RS. En: *XII Salão de Iniciação Científica da PUC-RS*, 03-07 oct. 2011. Porto Alegre: PUC-RS, 2011. [Consulta: 8 enero 2013]. Disponible en:<<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/SIC/XII/XII/7/7/6/4.pdf>>.[2011a].

Petry, B. M. et al. Ferramenta de suporte para processo de gestão de energia. En: *XII Salão de Iniciação Científica da PUC-RS*, 03-07 oct. 2011. Porto Alegre: PUC-RS, 2011. [Consulta: 8 enero 2013]. Disponible en:<<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/SIC/XII/XII/8/4/5/2.pdf>>.[2011b].

PUC-RS. Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. Grupo de Eficiência Energética. *USE - Uso Sustentável da Energia: Manual de Economia de Energia*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

PROCEL. Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletrobras, 2010. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponible en:<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>>>. vol. 2. [2010a].

PROCEL. Regulamento de avaliação da conformidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RAC-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletrobras, 2010. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponible en:<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>>>. vol. 3. [2010b].

PROCEL. Manual para aplicação dos Regulamentos RTQ-C e RAC-C. En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletrobras, 2012. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponible en:<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>>>. vol. 4.

Quevedo Melo, E. F. R.; Refosco, A.C.; Frandoloso, M.A.L. Análise bioclimática e vegetação do Campus I da Universidade de Passo Fundo. En: *Encontro Latino Americano de Universidades Sustentáveis: universidades sustentáveis, possibilidades e desafios - I ELAUS*, Passo Fundo, 01-03 Set 2008. Passo Fundo: UPF, USP, UNC, 2008. ISBN 978-85-7515-661-2.

Reinhart, C.; Fitz, A. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. *Energy and Buildings*, v. 38, n. 7, July 2006, p. 824-835. ISSN 0378-7788. [DOI:10.1016/j.enbuild.2006.03.012].

Roaf, S., Crichton, D., Nicol, F. *Adapting buildings and cities for climate change. a 21st century survival guide*. 2nd ed. Oxford: Elsevier, Architectural Press, 2009. [Versión en portugués: A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas. um guia de sobrevivência para o século XXI. Porto Alegre: Bookman, 2009. ISBN 978-85-7780-443-6].

Roorda, N. *AISHE. Auditing Instrument for Sustainability in Higher Education*. English text. Dutch Committee on Sustainable Higher Education. Amsterdam, NL: DHO, 2001.

Roorda, N. Assessment, policy development & certification of education for sustainable development: AISHE 2.0. En: *EMSU2008 Conference contributions. Environmental management of Sustainable Universities*, 5, Barcelona, 15-17 Oct. 2008. Barcelona: UPC/UAB/RCE, 2008. p. 47-58. 1 Pen-drive.

Roorda, N. *Sailing on the winds of change. the odyssey to sustainability of the Universities of Applied Science in the Netherlands*. PhD Thesis, Universitaire Pers Maastricht. Tilburg/Masstricht, NL: Datawyse/Universitaire Pers Maastricht, 2010. [Consulta 20 julio 2012]. Disponible en:<<http://arno.unimaas.nl/show.cgi?fid=20168>>. ISBN 978-90-5278980-4.

Roriz, M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. En: *LabEEE-UFSC* [En línea]. São Carlos - SP: UFSCar/ANTAC, 2012. [Consulta: 12 junio 2012]. Disponible en:<[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos\\_climaticos/sobre\\_epw.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf)>. [2012a].

Roriz, M. Arquivo climático Passo Fundo - RS. En: *LabEEE-UFSC* [En línea]. São Carlos - SP: UFSCar/ANTAC, 2012. [Consulta: 12 junio 2012]. Disponible en:<<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. [Archivo RS\_Passo\_Fundo.epw]. [2012b].

SGA – USP. Superintendência de Gestão Ambiental. Universidade de São Paulo. Web Site. En: *Superintendência de Gestão Ambiental* [En línea]. São Paulo: USP 2013-2014. [Consulta: 8 sept. 2014]. Disponible em:<<http://www.sga.usp.br/>>.

Silva, C. J. da. *Manual de instruções para projetos de eficiência energética nos prédios públicos. utilização dos recursos da reserva global de reversão – RGR*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2011.

Tauchen, J. *Um modelo de gestão ambiental para implantação em Instituições de Ensino Superior*. Passo Fundo, 153p, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, 2006.

Tauchen, J.; Brandli, L. L. A Gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. *Gestão&Produção*, São Carlos, v.13, n.3, p.503-515, set.-dez. 2006. ISSN 0104-530x.

testo AG. *Manual de instruções testo 175*. Lenzkirch: testo AG, 2006.

testo AG. *ComSoft Basic v4.0* Lenzkirch: testo AG, 2009.

testo AG. *Comfort Software Basic 5.0*. Lenzkirch: testo AG, 2011a.

testo AG. *Testo 881 – câmara termográfica*: manual de instruções. Lenzkirch: testo AG, 2011b.

testo AG. *IRSoft – PC-Software*: instruction manual. Lenzkirch: testo AG, 2012.

Trewartha, G. *An introduction to climate*. 5th. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. ISBN 0070651523.

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. *Criteris ambientals en el disseny, la construcció i la utilització dels edificis: pla de medi ambient de la UPC*. Barcelona: UPC - Generalitat de Catalunya - Departament de Medi Ambient, 1998. ISBN 8439345909.

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Pla ambiental del Campus de Castelldefels: parc tecnològic de la mediterrània. En: *Web de Medi Ambient. Documentos. Vida Universitària i Campus*. [En línia]. Barcelona: UPC - Servei de Comunicació Institucional, 1999. [Consulta: 18 oct. 2004]. Disponible en: <<http://www.upc.es/mediambient/vidauniversitaria/documentos/DpiticCampus4.pdf>>.

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible. Com funciona un POE? En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línia]. Barcelona: UPC, mar 2012. [Consulta en: 29 jul 2013] Disponible en: <<http://www.upc.edu/gestiosostenible/equips-de-treball/equips-de-millora-poe/documentacio-de-les-sessions-de-treball/com-funciona-un-poe-pdf/view>>. [2012a].

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible. Resum de conclusions de la 1ª sessió de treball POE 2012. En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línia]. Barcelona: UPC, mar 2012. [Consulta en: 02 jul 2013] Disponible en: <<http://www.upc.edu/gestiosostenible/equips-de-treball/equips-de-millora-poe/documentacio-de-les-sessions-de-treball/1a-sessio-treball-poe-2012/conclusions-de-la-1a-sessio-de-treball/view>>. [2012b].

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic. Pla d'Estalvi Energètic 2010-2014: resultats 2012. En: *SlideShare*. [En línia]. Barcelona: Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic, mar 2013. [Consulta en: 02 jul 2013] Disponible en: <[http://www.slideshare.net/UPC\\_gestiosostenible/resultats-pla-destalvi-energetic-2012](http://www.slideshare.net/UPC_gestiosostenible/resultats-pla-destalvi-energetic-2012)>. [2013a].

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible. Programa d'actuacions d'estalvi energètic 2013. En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línia]. Barcelona: UPC, jun 2013. [Consulta en: 29 jul 2013] Disponible en: <[http://www.upc.edu/gestiosostenible/plans-i-projectes/pla-destalvi-energetic/Programadactuacionsdestalvienergetic2013\\_mesures2.pdf](http://www.upc.edu/gestiosostenible/plans-i-projectes/pla-destalvi-energetic/Programadactuacionsdestalvienergetic2013_mesures2.pdf)>. [2013b].

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic. En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible: seguiment de resultats*. [En línia] Barcelona: Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic, Març 2014. [Consulta: 10 setembre 2014]. Disponible en: <[http://pt.slideshare.net/UPC\\_gestiosostenible/resultats-estalvi-energetic-upc-2013](http://pt.slideshare.net/UPC_gestiosostenible/resultats-estalvi-energetic-upc-2013)>.

UPF. Universidade de Passo Fundo. *Plano de desenvolvimento institucional: plano quinquenal para o desenvolvimento institucional da UPF 2012 - 2016*. Passo Fundo: GPI - UPF, 2012. [Archivo pdi\_2012\_2016\_versaofinal.pdf].

USP. Universidade de São Paulo. *USP sustentabilidade: impacto ambiental na Universidade de São Paulo*. São Paulo: USP Inovação, 2009

Vega, N., Cunha, E. G. da, Silva, A. C. S. B. da. Viabilidade do uso de protetores solar na fachada oeste do Hotel Jacques George Tower em Pelotas, RS. En: *Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC 2010*, 13, 6-8 Outubro 2010, Canela - RS. Porto Alegre: ANTAC, 2010. 1 CD-ROM. [598.pdf]. ISSN 2178-8960.

## Capítulo 4

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental. Especificação e diretrizes para uso*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220: desempenho térmico de edificações*. Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 50001:2011: sistemas de gestão da energia (SGE)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575: edifícios habitacionais - desempenho*. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575: edifícios habitacionais - desempenho*. Parte 4: requisitos para os sistemas de vedação verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575: edifícios habitacionais - desempenho*. Parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISSO/CIE 8995: Iluminação de ambientes de trabalho*. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013d.

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005)*. Madrid: AENOR, 2006.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Resolução Normativa 414/2010: atualizada até a REN 499/2012. En: *ANEEL* [En línia]. Brasília: ANEEL, 2012. [Consulta: 08 julio 2015]. Disponible en: <[http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN\\_414\\_2010\\_atual\\_REN\\_499\\_201.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_201.pdf)>.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RE/ANVISA nº 9, de 16 de janeiro de 2003. En: *ANVISA* [En línia]. Brasília: ANVISA, 2003. [Consulta 21 noviembre 2014]. Disponible en: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao\\_RE\\_n\\_09.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao_RE_n_09.pdf?MOD=AJPERES)>.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2004.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *2009 ASHRAE Handbook fundamentals*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2009. [2009a]

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. *2009 ASHRAE Handbook fundamentals*. Atlanta - USA: ASHRAE, 2009. Chapter 18 Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. p.18.1-18.62. [2009b]

Assumpção, L. F. J.; Peluso, R. M. B.; Freschi, M. *Manual do sistema de gestão ambiental*. Passo Fundo: UPF, 2011.

ATECYR. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. *Impacto ambiental de la climatización: plan de calidad*. Madrid: AFEC, Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización, 1999. ISBN: 84-930549-0-9

Brandalise, M. P. Análise da sensibilidade do RTQ-C quanto à variação da densidade de carga interna. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, 2015. PROGRAU [En línea]. [Consulta: 29 marzo 2016]. Disponible en: <[http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/dissertacao\\_mariane\\_brandaliseo\\_2015.pdf](http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/dissertacao_mariane_brandaliseo_2015.pdf)>.

Brandalise, M. P.; Avila, V.; Oliveira, L.; Cunha, E. Análise da sensibilidade do método prescritivo do RTQ-C quanto à variação de densidade de carga interna. *XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Maceió, 12-14 nov. 2014. DOI:10.17012/entac2014.149.

Brasil. *Resolução CONAMA n.º. 003, de 28 de junho de 1990*. Diário Oficial da União, Brasília, de 22/08/90, pp. 15937-15939, Seção I.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Portaria INMETRO 007/2011 de 4 de janeiro de 2011. Requisitos de avaliação de conformidade para condicionadores de ar*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 27 agosto 2013]. Disponible en: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001655.pdf>>.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Portaria INMETRO 18/2012 de 16 de janeiro de 2012*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 9 febrero 2013]. Disponible en: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 25 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001982.pdf>>. [2013a].

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. *Portaria INMETRO 410/2013 de 16 de agosto de 2013*. En: *INMETRO* [En línea]. [Consulta: 27 agosto 2013]. Disponible en: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf>>. [2013b].

Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. *Instrução normativa (IN) N.º02, de 04 de junho de 2014*. En: *DataPrev* [En línea]. [Consulta: 25 noviembre 2014]. Disponible en: <<http://www010.dataprev.gov.br/sislex/paginas/38/MPOG/2014/2.htm>>.

Bosch Gonzales, M. et al. *Avaluació energètica d'edificis: experiència de la UPC*. Barcelona, UPC, 2006. ISBN 84-8301-861-6.

Caneppele, L. B.; Nogueira, M. C. de J. A.; Vasconcellos, A. B. de. Avaliação da eficiência energética e custo benefício no uso de coberturas metálicas em supermercados empregando o software EnergyPlus. *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Fev. 2013, vol. 9, nº 9, p.1971-1979. (e-ISSN: 2236-1170). [Consulta 9 febrero 2015]. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.5902/223611707703>>.

Carlo, J. Relação entre a eficiência estabelecida pela regulamentação para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais e os benefícios econômicos provenientes de investimentos no envoltório. *Eco-lógicas. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina – IDEAL*. [En línea] Florianópolis, 2008. [Consulta: 17 abril 2012]. Disponible en: <[http://www.institutoideal.org/ecologicas/docs/JOYCE\\_CARLO.pdf](http://www.institutoideal.org/ecologicas/docs/JOYCE_CARLO.pdf)>.

CEEE Distribuidora . AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica. Rio Grande Energia S.A. Regulamento de Instalações Consumidora: fornecimento em tensão secundária. Rede de distribuição aérea.. Versão 1.4. En *CEEE* [En línea]. Porto Alegre: CEEE, AES Sul, RGE, setembro, 2012 [Consulta: 18 fevereiro 2016]. Disponible en: <[http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/RIC\\_BT\\_2012\\_Vers%C3%A3o\\_1.4%20J\\_correto\\_27355.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/RIC_BT_2012_Vers%C3%A3o_1.4%20J_correto_27355.pdf)>.

CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Guia para eficientização energética nas edificações públicas Versão 1.0 outubro 2014 / Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL; coordenador Ministério de Minas e Energia - MME En: *MME* [En línea] Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. [Consulta 26 abril 2015]. Disponible en: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/manchete/-/asset\\_publisher/neRB8QmDsbU0/content/mme-lanca-guia-para-eficiencia-energetica-nas-edificacoes-publicas](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/manchete/-/asset_publisher/neRB8QmDsbU0/content/mme-lanca-guia-para-eficiencia-energetica-nas-edificacoes-publicas)>.

CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Aspectos de construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas. En: *CBCS* [En línea]. Rio de Janeiro: CBCS, PNUMA, Ministério do Meio Ambiente, nov. 2014. [Consulta 4 abril 2015]. Disponible en: <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>>.

Cocking, D. DesignBuilder new features and webinar. En: *EnergyPlus & Building Energy Simulation Software*. [En línea]. [Consulta: 30 julio 2015]. Disponible en: <<https://www.linkedin.com/grp/post/3911120-6011761120157720577>>.

CODI. Comitê de distribuição de Energia Elétrica. Manual de orientação aos consumidores: energia reativa excedente. En: *EDP* [En línea]. São Paulo: CODI, 18/02/04. [Consulta: 07 julio 2015]. Disponible en: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/grandes-clientes/normas-e-manuais/Documents/Manual%20de%20Orienta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Energia%20Reativa%20Excedente.pdf>>.

Couto, F. et al. Soluções para melhor desempenho térmico e da eficiência energética no parque construído da Universidade de Passo Fundo - RS. En: *XXII MIC Mostra de Iniciação Científica Universidade de Passo Fundo*, 6 - 8 Noviembre 2012. Passo Fundo, UPF, 2012. [Consulta: 11 Mayo 2013]. Disponible en: <<http://www.upf.br/mic>>. ISBN 978-85-7515-475-5.

Cuchí i Burgos, A; López Plazas, F.; Leite Frandoloso, M. A. Informe final: factors claus per a la integració dels criteris ambientals als edificis. En: *Web de Medi Ambient. Recerca. Laboratori Real. Projectes de la segona convocatòria*. [En línea] Barcelona: Departament de Construccions Arquitectòniques I - UPC, 2006. [Consulta el 5 de diciembre de 2006]. Disponible en: <<http://www.upc.es/mediambient/recerca/real/fitxes/segona/CRITERIS.ZIP>>.

Cunha, E. G. da; de Negri, L. Análise da eficiência energética de tipologias escolares na Universidade de Passo Fundo. En: *XXII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia - CRICTE 2007*, 29 - 31 Octubre 2007, Passo Fundo. Passo Fundo: Editora da UPF, 2007. 1 CD-ROM. ISBN 978-85-7515-432-2.

Cunha, E. G. da et al. Avaliação das condições de conforto térmico de salas de aula da Universidade de Passo Fundo. En: *IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído*, 4-10 Agosto 2007, Ouro Preto – MG. Anais...Porto Alegre:

- ANTAC, 2007. p. 481-490. 1 CD-ROM. ISBN 978-85-89478-20-5.
- Cunha, E. G. da et al. *Manual de eficiência energética para as novas edificações da UPF*. Pelotas: LABCEE FAURB - UFPEL, 2011. [texto digitado].
- Dalmolin, B. M.; Moretto, C. M. (Org.) *Política de responsabilidade social 2013/2016*. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. ISBN 978-85-7515-844-9.
- de Dear, R.J.; Brager, G.S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Technical Data Bulletin*. Atlanta - USA: ASHRAE, 1998, vol. 14, n.1, p. 27-49. ISSN 0884-0490.
- de Dear, R. J., Brager, G.S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, July 2002, vol. 34, p. 549–561. ISSN 0378-7788. Special Issue on Thermal Comfort Standards.
- DesignBuilder. ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests. DesignBuilder Version 3.0 (incorporating EnergyPlus version 7.0.0. *DesignBuilder* [En línea] DesignBuilder, 15 dec. 2011. [Consulta 28 abril 2012]. Disponible en:<<http://www.DesignBuilder.co.uk/>>. [2011a].
- DesignBuilder. DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation. DesignBuilder v3.1. *DesignBuilder* [En línea] DesignBuilder, 16 dec. 2011. [Consulta 17 marzo 2012]. Disponible en:<<http://www.DesignBuilder.co.uk/>>. [2011b].
- DesignBuilder. *DesignBuilder*. Software. v.4.2.0.054. DesignBuilder, 2014.
- DesignBuilder. *DesignBuilder*. Software. v.4.5.0.178. DesignBuilder, 2015. [2015a].
- DesignBuilder. DesignBuilder. What's new in DesignBuilder v4. En: *DesignBuilder* [En línea]. [Consulta: 4 de noviembre de 2015]. Disponible en:<<http://www.designbuilder.co.uk/content/view/166/264/>>. [2015b].
- Dias, A. da S. *Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço*. Disertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto: UFOP, 2011. [Consulta 9 de febrero de 2015]. Disponible en:<[http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3402/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Avalia%C3%A7%C3%A3oDesempenhoT%C3%A9rmico.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3402/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3oDesempenhoT%C3%A9rmico.pdf)>.
- Dias, F. P. et al. Desempenho térmico e energético relacionado ao conforto do usuário. En: *XXII MIC Mostra de Iniciação Científica Universidade de Passo Fundo*, 6 - 8 Noviembre 2012. Passo Fundo, UPF, 2012. [Consulta: 11 Mayo 2013]. Disponible en:<<http://www.upf.br/mic>>. ISBN 978-85-7515-475-5.
- DOE. Department of Energy - USA. Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus Simulation Software. EnergyPlus documentation. En: Energy Efficiency & renewable Energy. US Department of Energy. [En línea]. USA: DOE, 2013. [Consulta: 30 julio 2013]. Disponible en: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm)>.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Indoor air quality and student performance. En: *EPA. Indoor Air Quality* [En línea]. Washington: EPA, Aug. 2000. [Consulta: 11 feb. 2009]. Disponible en: <<http://www.rutledgeenvironmental.com/hottopics/perform.pdf>>.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Indoor air quality & student performance. En: *EPA. Indoor Air Quality* [En línea]. Washington: EPA, Sept 2003. [Consulta: 22 feb. 2009]. Disponible en:<[http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/publications/iaq\\_and-student\\_performance.pdf](http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/publications/iaq_and-student_performance.pdf)>. [2003a].
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Energy efficiency and Indoor air quality in schools. En: *EPA. Indoor Air Quality* [En línea]. Washington: EPA, Aug. 2003. [Consulta: 22 feb. 2009]. Disponible en: <[http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/publications/ee\\_iaq.pdf](http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/publications/ee_iaq.pdf)>. [2003b].
- Fanger, P. O. *Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering*. Copenhagen, Danish Technical Press, 1970. ISBN 9788757103410.
- Fanger, P. O.; Toftum, J. Extension of the PMV model to non-air-conditions buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, July 2002, n. 34, issue 6, p.533-536. ISSN 0378-7788.
- Fauth, M. *Comparação entre lâmpadas fluorescentes instaladas e novas de LED de algumas salas da FEAR-UPF*. Passo Fundo, texto digitado, 17 outubro 2014.
- Frandoloso, M. A. L.; Cuchi i Burgos, A.; López Plazas, F. La inserción y la integración de los criterios ambientales en los edificios de la UPC: la introducción del uso como factor determinante del consumo de recursos energéticos En: *ICSMM 2006. International Conference on Sustainability Measurement and Modelling*, 1, Terrassa - España, 16-17 Nov. 2006. Barcelona: CIMNE, 2006. ISBN 84-96736-36-7.
- Frandoloso, M. A. L. Relatório de Pesquisa: Análise e diagnóstico da utilização de recursos naturais na Universidade de Passo Fundo, visando a eficiência ambiental e econômica (3a renovação). Passo Fundo, 2012.
- Frandoloso, M. A. L.; Brandli, L. L.; Pedrosa, F. B. How to improve eco-efficiency and indoor comfort at University of Passo Fundo - Brazil. En: *PLEA2013, 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Toward an environmentally responsive architecture*. Lima Peru, 7-9 Nov. 2012. Lima: PUC-Peru/PLEA. 1 Pen-drive. [Consulta: 05 mayo 2013]. Disponible en:<<http://www.plea2012.pe/pdfs/T02-20120130-0069.pdf>>. ISBN: 978-612-4057-89-2.
- Frandoloso, M. A. L. et al. The energy and thermal performance of two university buildings in Southern Brazil with the aim of achieving environmental efficiency. En: *ERSCP-EMSU 2010, Delft, NL, October 25-29, 2010*. Delft, NL: TUDelft/The Hague University, 2010. ISBN 9789051550658. Disponible en:<<http://repository.tudelft.nl/view/conferencepapers/uuid%3Abcdd6e05-89d6-45e5-ab51-890e564d83f7/>>. [382\_Frandoloso.pdf].
- Frandoloso, M. A. L. et al. Empowering the university role of fostering education for sustainability and regional sustainability in Southern Brazil: the University of Passo Fundo experience. En: *ERSCP-EMSU 2013, Istanbul, Juny 4-7, 2013*. Istanbul: Bogaziçi University, 2013. ISBN 9789051550658. [Paper ID291]. 1 Pen-drive.

Frndoloso, M. A. L.; Brandli, L. L. Assessment and Guidelines to Improve Eco-efficiency and Indoor Comfort at University of Passo Fundo, Brazil. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. v. 9, n.2, Feb. 2015, p. 179-187. doi: 10.17265/1934-7359/2015.02.006. ISSN 1934-7359.

Frota, A. B.; Schiffer, S. R. *Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo*. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. ISBN 85-85445-39-4.

Gestal. *SmartGateM*. Retrieved on 29 Jan. 2009. [Consulta: 29 Enero 2009]. Disponible en:<<http://www.gestal.com/new/pdf/datasheetGATEM.pdf>>.

Givoni, B. *Man, climate and architecture*. London: Elsevier, 1969.

Givoni, B. *Climate considerations in building and urban design*. London: John Wiley & Sons, 1998. ISBN 9780471291770.

Givoni, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 1992, vol. 18, p. 11-23. ISSN 0378-7788.

Google Earth. *Imagen 11/18/2016 CNES/Astrium*. Google Inc., 2017. Software. 7.1.8.3036 (32-bit).

Hensen, J. L.; M. Evaluation through computational building performance simulation. En: Mallory-Hill, S., Preiser, W. F. E., Watson, C. G. (Ed.). *Enhancing building performance*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012, 223-233. ISBN 978-0-470-65759-1.

Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (Ed). *Building performance simulation for design and operation*. London: Spon Press, 2011. ISBN: 978-0-415-47414-6.

Hosni, M.H., B.W. Jones, y H. Xu. 1999. Experimental results for heat gain and radiant/convective split from equipment in buildings. *ASHRAE Transactions*, 1999, vol 105, issue 2, p. 527-539.

Humphreys, M.; J.F. Nicol. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Technical Data Bulletin*. Atlanta - USA: ASHRAE, 1998, vol. 14, n.1, p.1-14. ISSN 0884-0490.

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto. Barcelona; Aeroport de Barcelona (El Prat). En: IDAE [En línea]. Madrid: IDAE, 2010. Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización, 12. [Consulta: 17 septiembre 2016]. Disponible en:<[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_12\\_Guia\\_tecnica\\_condiciones\\_climaticas\\_exteriores\\_de\\_proyecto\\_e4e5b769.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf)>. ISBN 978-84-96680-56-2.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Eficiência energética: condicionadores de ar Split Hi-Wall com rotação fixa. En: *INMETRO Informação ao Consumidor* [Consulta: 5 febrero 2013]. INMETRO/PROCEL, 28 de enero de 2013. Disponible en:<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/split2.pdf>>. [2013a].

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013. En: *PBE Edifica* [En línea]. [Consulta: 13 diciembre 2015]. Disponible en:<<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/RTAC001982-portariacomplementar299.pdf>>. [2013b].

INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 779: Bienestar térmico: criterios de diseño para ambientes térmicos confortables. En: *INSHT*. [En línea]. Madrid, INSHT. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2007 [Consulta 4 enero 2013]. Disponible en:<<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/nTP-779.pdf>>.

ISO. International Organization for Standardization. *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Genève: ISO, 2005.

ISO. International Organization for Standardization. *ISO 50001: Energy management systems — Requirements with guidance for use*. Genève: ISO, 2011.

Jurado, S. R.; Bankoff, A. D. P.; Sanchez, A. Indoor Air Quality in Brazilian Universities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Jul. 2014, vol. 11, n. 7, p. 7081-7093. ISSN 1660-4601. doi:10.3390/ijerph110707081.

Korf., E. P. et al. Quality air monitoring in a Brazilian University: the use of passive samplers. Leal Filho, W. et al. (org) *Integrating Sustainable Thinking in Science and Engineering Curricula*. World Sustainability Series. Switzerland: Springer, 2015. DOI10.1007/978-3-319-09474-8\_20.

Krenzinger, A.; Bugs, R. C. Radiasol2: softwares para sintetizar dados de radiação solar. En: *IV Conferencia Latino Americana de Energia Solar (IV ISES CLA) y XVII Simpósio Peruano de Energia Solar (XVII - SPES)*, Cuzco, 1-5.11.2010. [Consulta 18 ago 2013] [http://perusolar.org/17-spes-ponencias/01-DatosMeteorologicos/KrenzingerArno/Krenzinger\\_\(Brasil\)](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/01-DatosMeteorologicos/KrenzingerArno/Krenzinger_(Brasil))>. Download software en: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar/PROMECA, 2010. Disponible en:<<http://www.solar.ufgrs.br/#softwares>>.

LabBEEE-UFSC. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Analysis CST, software. v. 2.1. En: *LabEEE - UFSC* [En línea]. Florianópolis: LabEEE - UFSC, 2008. [Consulta: 13 agosto 2010]. Disponible en:<<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares>>.

Lamberts, R. et al. *Método de simulação: edifícios comerciais, de serviço, públicos e residenciais*. LABEE-UFSC, oct. 2011. [Archivo pdf].

Ligget, R; Milne, M. *Climate Consultant 5.4 (Build 4)*. Software, UCLA Energy Design Tool Group, Oct. 7, 2012. [Consulta: 7 febrero 2013]. Disponible en:< <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>>.

López Plazas, F. *Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura, Departament de Construccions Arquitectòniques. Barcelona: UPC, 2006. [Consulta: 21 dec 2012]. Disponible en:<<http://www.tdx.cat/handle/10803/6122>>.

Marques, M. C. C., Hadad, J. Guardial, E. C. *Eficiência energética: teoria & prática*. Itajubá - MG: FUPAI, 2007. ISBN 978-85-60369-01-0.

Martinaitis, V., Rogoza, A.; Bikmanienė, I. Criterion to evaluate the "twofold benefit" of the renovation of buildings and their elements. *Energy and Buildings*, Oxford: Elsevier, v. 36, issue 1, p. 3-8, jan. 2004. ISSN 0378-7788.

Martins, D. J. et al. Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações. En: *X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no ambiente Cosnruído, ENCAC2009, 16-18 agosto 2009, Natal - RN, Actas*, Porto Alegre: ANTAC, 2009. 1 CR-ROM.

Medeiros, I. D. O brise-soleis na Zona Bioclimática 3 sob avaliação dos requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C). Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo [Consulta: 10 julho 2013]. Pelotas, RS: UFPel 2012. Disponível em: <[http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/ioni\\_d\\_medeiros\\_cd.pdf](http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/ioni_d_medeiros_cd.pdf)>.

Mistura, C. et al. *Política de desenvolvimento social – meio ambiente da UPF*. UPF: Comissão de Elaboração da Política de Responsabilidade Social e Meio Ambiente, 2013 [Texto digitado].

Mondelo, P. R. et al. *Ergonomia 2: confort y estrés térmico*. 3a ed. Barcelona: Mutua Universal; Edicions UPC, 1999. ISBN 84-8301-316-9.

Negreiros, B. de A. *Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo [Consulta: 21 fevereiro 2013]. Natal, RN: UFRN 2010. Disponível em: <[http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/22/TDE-2010-12-23T042514Z-3189/Publico/BiancaAN DISSERT.pdf](http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_arquivos/22/TDE-2010-12-23T042514Z-3189/Publico/BiancaAN DISSERT.pdf)>.

Olgay, V. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998. ISBN 84-252-1488-2.

Ordens, M. et al. *Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1*. En: *LabEEE-UFSC*. [En línea]. Florianópolis: LabEEE - UFSC, set. 2003. [Consulta: 9 enero 2013]. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/RP\\_Biblioteca\\_Materiais\\_VisualDOE.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf)>.

Pérez Cobos, S. *Certificación energética en edificios existentes: critérios para la identificación de la envolvente térmica*. Madrid: Marcombo, 2013. ISBN 978-84-267-2056-6.

Piamba Tulcan, O. E. *Estudo do desempenho do grupo moto-gerador alimentado com diferentes misturas diesel-biocombustíveis e avaliação das emissões*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica - Termociências). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2009. [Consulta: 30 marzo 2016]. Disponível em: <<http://www.mec.uff.br/pdfeses/OscarEdwinPiambaTulcan2009.pdf>>.

PROBEN. Programa de Bom Uso Energético. Universidade Federal de Pelotas. *Indicadores energéticos Campus Anglo*. Consumo das unidades 2013.1 Campus Porto.xlsx [Planilhas excel]. Pelotas: LABCEE, 2015.

PROCEL. Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005, classe comercial - alta tensão. relatório setorial: instituições de ensino. En: *PROCEL Info* [En línea] Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2008. *PROCEL\_comercial\_AT\_instituicoes.pdf*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>.

PROCEL. Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletronbras, 2010. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>>>. vol. 2. [2010a].

PROCEL. Regulamento de avaliação da conformidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RAC-C). En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletronbras, 2010. [Consulta: 07 mar 2012]. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>>>. vol. 3. [2010b].

PROCEL. Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C. En: *PROCEL Info*. [En línea] Rio de Janeiro: PROCEL/Eletronbras, 2010. [Consulta: 07 mar 2010]. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={F7464D4C-CE30-4137-A741-C889BCB15E3F};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>>>. vol. 4. [2010c].

PROCEL. Equipamentos com selo. En: *PROCEL Home*. Rio de Janeiro: PROCEL, 2013. [Consulta: 16 marzo 2013]. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={2DEB4057-D085-49A8-A66E-5D946249DC56}>>>. [Arquivos: Condicionadores de ar split piso-teto - dezembro 2012.pdf/Condicionadores de ar hi-wall - fevereiro 2013.pdf/Condicionadores de ar de janela - fevereiro 2013.pdf]. [2013a].

PROCEL. Manual para aplicação do RTQ-C. En: *PROCEL Info* [En línea]. [Consulta: 14 febrero 2014]. Rio de Janeiro: PROCEL/Eletronbras, 2013. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7BABFC610F-53E8-439D-9AF5-8F305CD7338B%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. vol. 4. [Manual-C v02.pdf]. [2013b].

PROCEL. ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Selo PROCEL de Economia de Energia. Condicionadores de ar split hi-wall 24/2/2016. En: *INMETRO*, 2016. [En línea]. [Consulta: 31 marzo 2016]. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores\\_ar\\_split\\_hiwall\\_indiceno.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indiceno.pdf)>.

Quevedo Melo, E. R. et al. El análisis bioclimático del Campus I de la Universidad de Passo Fundo - Brasil: la influencia de la vegetación en el microclima urbano. En: *PARJAP Argentina 2007: planeamiento y gestión de los espacios verdes, V Congreso Iberoamericano de Parques y Jardines*, San Miguel de Tucumán, 05-08 Nov 2007. 1 CD-ROM.

Rebelatto, B. G.; Frandoloso, M. A. L.; Fritsch, R. C. En: *SBE16 Brazil & Portugal. Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*. 7-9 September 2016, Vitória, Brazil. Vitória: UFES/Universidade do Minho, 2016. [Consulta: 19 septiembre 2016]. Disponível em: <[http://sbe16.civil.uminho.pt/app/wp-content/uploads/2016/09/SBE16-Brazil-Portugal-Vol\\_1-Pag\\_217.pdf](http://sbe16.civil.uminho.pt/app/wp-content/uploads/2016/09/SBE16-Brazil-Portugal-Vol_1-Pag_217.pdf)>.

Richarz, C.; Schulz, C.; Zeitler, F. *Energy-efficiency upgrades: principles, details, examples*. Munich: Detail; Basel: Birkhäuser, 2007. ISBN 9783764381219.

Richarz, C.; Schulz, C. *Energy efficiency refurbishments: principles, details, examples*. Munich: Detail Green Books 2013. ISBN 978392003490.

Roaf, S., Crichton, D., Nicol, F. *Adapting buildings and cities for climate change. a 21st century survival guide*. 2nd ed. Oxford: Elsevier, Architectural Press, 2009. [Versión en portugués: A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas. um guia de sobrevivência



para o século XXI. Porto Alegre: Bookman, 2009. ISBN 978-85-7780-443-6].

Roaf, S., Fuentes, M., Thomas, S. *Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável*. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. ISBN 978-85-7780-361-3.

Robinson, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*. March 2008, vol. 59, issue 3, p. 278 -290. ISSN 0160-5682. doi:10.1057/palgrave.jors.2602368.

Roriz, M. Arquivo climático Passo Fundo - RS. En: *LabEEE-UFSC* [En línea]. São Carlos - SP: UFSCar/ANTAC, 2012. [Consulta: 12 junio 2012]. Disponible en:<<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. [Archivo RS\_Passo\_Fundo.epw].

Ruas, A. C. *Conforto térmico nos ambientes de trabalho*. São Paulo: FUNDACENTRO/MT, 1999.

Satish, U.; Mendell, M.J.; Shekhar, K.; Hotchi, T.; Sullivan, D.; Streufert, S.; Fisk, W.J. Is CO<sub>2</sub> an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO<sub>2</sub> concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*. Dec. 2012, vol. 120, issue 12. p.1671–1677. DOI:10.1289/ehp.1104789. ISSN 0091-6765.

Serra Florensa, R. *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999. Colección GG Básicos. ISBN 84-252-1767-9.

Serra Florensa, R; Coch Roura, H. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC, 1995. Politext 40. ISBN 978-8483014971. Ed. 2001 Arquitect 17.

Silva, C. J. da. *Manual de instruções para projetos de eficiência energética nos prédios públicos. utilização dos recursos da reserva global de reversão – RGR*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2011.

Sousa, A. A. de; Schembeck, L. F.; Andrade, M. A. P. de. Estudo sobre consumo de energia em notebook e gastos decorrentes. *Revista Ciências do Ambiente On-line*, jul. 2011, v.7, n.1. Campinas, UNICAMP [Consulta: 04 febrero 2013]. Disponible en:<<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/view/285/221>>. ISSN 2179-9962.

Swierczyna, R., P. Sobiski, y D. Fisher. Revised heat gain and capture and containment exhaust rates from typical commercial cooking appliances (RP-1362). *ASHRAE Research Project, Final Report*. 2008.

Swierczyna, R., P.A. Sobiski, y D.R. Fisher. Revised heat gain rates from typical commercial cooking appliances from RP-1362. *ASHRAE Transactions*, 2009 (forthcoming), vol. 115, issue 2.

Szokolay, S. V. *Arquitectura solar. realización y proyectos a escala mundial*. Madrid: Blume, 1983.

THERMIE Programme. *Un Vitruvio ecológico: principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible/The Thermie Programme of the European Commission*. Barcelona: GG, 2007. ISBN 9788425221552.

Teixeira, D., Cunha, E. G. da. Análise dos níveis de eficiência energética do prédio G1 da FEAR/UPF: instrumentalização do corpo técnico da Universidade. En: *Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC 2010*, 13, 6-8 Octubre 2010, Canela - RS. Porto Alegre: ANTAC, 2010. 1 CD-ROM. [609.pdf]. ISSN 2178-8960.

Teixeira, D. M., Schiffl, J., Cunha, E. G. da. *Análise da eficiência energética dos edifícios da FEAR da Universidade de Passo Fundo com base nas novas regulamentações brasileiras de eficiência energética de 2009*. Relatório técnico de Pesquisa FAPERGS e Universidade de Passo Fundo. Pelotas, 2011. [Texto digitado].

testo AG. *Manual de instruções testo 175*. Lenzkirch: testo AG, 2006.

testo AG. *ComSoft Basic v4.0* Lenzkirch: testo AG, 2009.

testo AG. *Comfort Software Basic 5.0*. Lenzkirch: testo AG, 2011a.

testo AG. *Testo 881 – câmara termográfica: manual de instruções*. Lenzkirch: testo AG, 2011b.

testo AG. *IRSoft – PC-Software: instruction manual*. Lenzkirch: testo AG, 2012.

Tomashow, M. *The nine elements of a sustainable campus*. Massachusetts, USA: MIT Press, 2014. ISBN 978026202711-3.

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible. Resum de conclusions de la 1ª sessió de treball POE 2012. En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línea]. Barcelona: UPC, mar 2012. [Consulta en: 02 jul 2013] Disponible en:<<http://www.upc.edu/gestiosostenible/equips-de-treball/equips-de-millora-poe/documentacio-de-les-sessions-de-treball/1a-sessio-treball-poe-2012/conclusions-de-la-1a-sessio-de-treball/view>>. [2012a]

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible. Guió d'Ajuda POE (per començar). En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línea]. Barcelona: UPC, mar. 2012. [Consulta en: 29 jul 2013]. Disponible en:<<https://www.upc.edu/gestiosostenible/recursos-i-formacio/eines-practiques-per-a-coordinadors-de-poe/guio-ajuda-poe/view>>. [2012b]

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible Com funciona un POE? En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línea]. Barcelona: UPC, mar 2012. [Consulta en: 29 jul 2013] Disponible en:<<http://www.upc.edu/gestiosostenible/equips-de-treball/equips-de-millora-poe/documentacio-de-les-sessions-de-treball/com-funciona-un-poe-pdf/view>>. [2012c]

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Oficina per a la Gestió Sostenible. Informe final: el Pla d'Estalvi Energètic de la UPC. 2011-2014. Versió 2. Març 2014. En: *Recursos i Serveis per a la Gestió Sostenible*. [En línea]. Barcelona: UPC, mar. 2014. [Consulta 02 mayo 2015]. Disponible en:<<http://www.upc.edu/gestiosostenible/plans-upc/pla-destalvi-energetic/acords-de-govern-destalvi-energetic/seguiment-de-resultats/informe-final-pla-destalvi-energetic-2011-14/view>>.

UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. Sirena 3.3.67. En: *Sirena 3.3.67* [En línea]. Barcelona: UPC, 2015 [Consulta en: 13 mayo 2015] Disponible en:< <http://sirenaupc.dexcell.com/dashboard/widgets.htm>>.

UPF. Universidade de Passo Fundo. *Plano de desenvolvimento institucional: plano quinquenal para o desenvolvimento institucional da UPF 2012 - 2016*. Passo Fundo: GPI - UPF, 2012. [Archivo pdi\_2012\_2016\_versaofinal.pdf].

UPF. Universidade de Passo Fundo. *Planejamento Estratégico Institucional: acompanhamento 2013*. Passo Fundo: NNE, Reitoria, 2013. [Archivo pei\_execucao.pdf]. [2013b].

UPF. Universidade de Passo Fundo. *Planejamento Estratégico Institucional: acompanhamento 2015*. Passo Fundo: NNE, Reitoria, 2015.



[Arquivo pei\_acompanhamento\_execucao\_2015\_1.pdf]. [2015].

Vega, N., Cunha, E. G. da, Silva, A. C. S. B. da. Viabilidade do uso de protetores solar na fachada oeste do Hotel Jacques George Tower em Pelotas, RS. En: *Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC 2010*, 13, 6-8 Outubro 2010, Canela - RS. Porto Alegre: ANTAC, 2010. 1 CD-ROM. [598.pdf]. ISSN 2178-8960.

Wildner, P. D. et al. Estratégias de melhoria da eficiência energética e desempenho térmico no parque construído da Universidade de Passo Fundo - RS. En: *XXI MIC Mostra de Iniciação Científica Universidade de Passo Fundo*, 8-11 nov., 2011. Passo Fundo, UPF, 2011. 1 CD-ROM. ISBN 978-85-7515-647-6.

Wilkins, C.K. y M.H. Hosni. Heat gain from office equipment. *ASHRAE Journal*, 2000, vol. 42, issue 6, p. 33-44.

## II. APÉNDICES

### A. LOS EDIFICIOS Y LA PLANIFICACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS UNIVERSITARIAS

#### A.1 Comportamiento medioambiental de los edificios

Aunque las cuestiones ambientales en la Arquitectura retoman el pensamiento vitruviano del equilibrio conceptual entre el modelo tripartito arquitectura, clima y confort presente en “Los Diez Libros de Arquitectura”, es a partir de los años 60, que V. Olgay<sup>75</sup> propone la inclusión de un nuevo elemento al proceso: la climatología - Figura 85, desarrollando los conceptos de la arquitectura bioclimática, en la cual establece los procedimientos de análisis climático y su interrelación con las condiciones de confort de los usuarios, “ya que el hombre constituye la medida de referencia fundamental en la arquitectura, y que su refugio se proyecta para satisfacer sus necesidades biológicas” (Olgay 1998, 11).

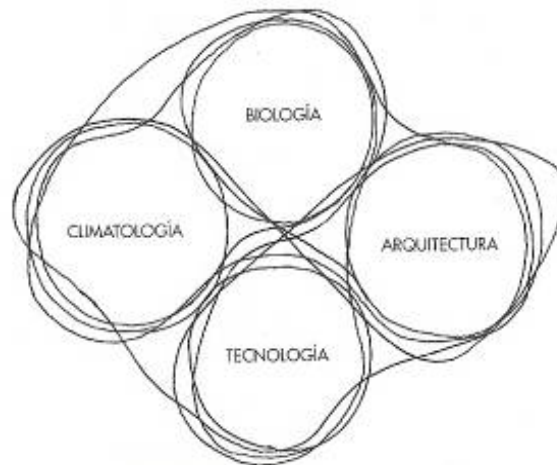


Figura 85 Campos interrelacionados del equilibrio climático (Olgay 1998, 12).

Con el libro “La arquitectura del entorno bien climatizada”<sup>76</sup>, Banham (1975) hace una relación entre la historia de la arquitectura en clasificaciones, según las relaciones entre los edificios y la naturaleza: a. la *modalidad conservativa*, de almacenamiento térmico característica de climas secos y fríos; b. la *modalidad selectiva* “que emplea la estructura no justamente para retener las condiciones ambientales, sino para admitir las condiciones convenientes desde el exterior”, empleada en los climas húmedos. El autor comenta que la construcción tradicional ha tenido

<sup>75</sup> Publicación de la 1ª edición de “Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism” en 1963.

<sup>76</sup> 1ª edición en 1969, con el título “The architecture of the well-tempered environment”.

siempre que mezclar estas dos modalidades, por otro lado en el siglo XX la *modalidad regenerativa*, consumidora de energía artificial y de control automático de las variables atmosféricas de temperatura, humedad y pureza, ha obtenido una larga utilización, olvidándose del diálogo entre arquitectura y naturaleza.

En el tramo final del libro, Banham (1975, 321) hace reflexiones acerca de la producción del conocimiento que los arquitectos empezaban [finales de la década de los 60] a desarrollar “formas que no son el aderezo prestado de la tecnología lejana, sino formas adecuadas a la propuesta ambiental hecha”, y concluye que “sólo cuando esas formas apropiadas sean comúnmente accesibles, la arquitectura del entorno bien climatizado llegará a ser tan convincente como lo fue la arquitectura milenaria del pasado”. Hawkes (1996, 23) resalta la contribución de Banham para el descubrimiento de una rica y, quizás, más elaborada orden para la producción arquitectónica.

Araujo Armero (2009, 4) considera los edificios como intercambiadores de energía, hecho que “ha caracterizado la arquitectura siempre, y todas las culturas han sido necesariamente conscientes de su dependencia del equilibrio entre consumo y recursos”. El autor hace un paralelo entre la arquitectura y la naturaleza y sus acciones para los intercambios con el medio, a lo que llama “diseño biológico”, para dotar a las edificaciones estrategias de regulaciones y balances energéticos con el entorno, con el objetivo de generar, captar, acumular y consumir energía de manera “óptima” para la obtención de mayores prestaciones. Con las aportaciones tecnológicas y la gradativa pérdida de las soluciones tradicionales por la que pasó la arquitectura durante el siglo XX, según Araujo Armero (2009, 8) se implanta una “técnica todopoderosa y de recursos infinitos”, lo que ha conducido a la “sinrazón” actual donde los objetos arquitectónicos dejan de ser racionales, y niegan “todo acuerdo con la naturaleza”.

Sin embargo, como presenta Frandoloso (2005) posteriormente una diversidad de adjetivos para la arquitectura del siglo XX enseñan el campo en que se desarrolla el panorama económico y científico - representados por autores como I. Illich (1978) y en especial H. Odum (1980) que introduce un nuevo concepto a todas las actividades humanas, bajo las previsiones del agotamiento de los recursos naturales: el desarrollo sostenible.

El concepto de desarrollo sostenible del Informe de la Comisión Brundtland - Nuestro Futuro Común -, ha quedado como el concepto clásico de “la satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas (...) según los límites de lo ecológicamente posible y a los que todos puedan aspirar razonablemente” (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988, 68).

Pero la sostenibilidad ha sido un término de uso acrítico y banal, a lo que J. M. Naredo (1997) considera como el resultado de la ambigüedad dejada por el término al no concretar su significado económico en conjunto con el contexto físico y social correspondiente. Para el autor hay que reflexionar sobre la “sostenibilidad fuerte” e “...identificar los sistemas cuya viabilidad o sostenibilidad pretendemos enjuiciar, así como precisar el ámbito espacial (con la consiguiente disponibilidad de recursos y de sumideros de residuos) atribuido a los sistemas y el horizonte temporal para el que se cifra su viabilidad” (ídem, 8) y de esta manera traducir estas preocupaciones en la reconsideración y la reconversión operativa de los modelos “insostenibles”.

Para la edificación, Construcción Sostenible (CIB 1999) presenta las terminologías, las condiciones y las estrategias para la implementación y coordinación de las acciones por los diversos agentes interesados, imprescindibles para dichos cambios en las prácticas del sector de la construcción y del ambiente construido. Como concepto presenta que la construcción sostenible es “la creación y gestión responsable de un medio ambiente de construcción

saludable fundamentado en los principios ecológicos y recursos eficaces” (idem, 41).

Autores como Anink et al (1996), Steele (1997) y Kibert et al. (2001) y Kibert (2005) han descrito las condiciones de la construcción y de la arquitectura sostenible, intentando proponer parámetros de análisis y estrategias de aplicación. Actualmente una considerable cantidad de obras presentan estudios de casos a modo de ejemplificar la práctica arquitectónica de estos conceptos, sin embargo una gran parte de ellos apenas reproducen la simple adjetivación o marca “sostenible”, “verde” o “ecológico” a la arquitectura.

Mientras los conceptos se van diseminando en el campo de la arquitectura, sigue a lo que Kibert et al. (2001, [xx]) presentan como un autoservicio (“*smorgasbord*”) virtual de opciones basadas en los juzgamientos particularizados o personalizados de aquellos que exploran estas nuevas prácticas de proyecto. Para esto se basan en parámetros intuitivos, que si por un lado son efectivos en contribuir parcialmente para la desaceleración de la destrucción del medioambiente y de los recursos, fallan en comprender adecuadamente el sistema en su totalidad.

El *Green Building Challenge* - GBC (Álvarez Ude 2003) define “la edificación que contribuye al desarrollo sostenible como aquella que tiene como objetivo estratégico o consigue minimizar o reducir al máximo, tanto a nivel local como global, su contribución a los diferentes efectos negativos sobre el medioambiente, y en los económicos, sociales y culturales, considerando los procesos edificatorios de una forma íntegra, desde su inicio hasta su final”.

Otro concepto con una larga utilización es la eficiencia energética - EE, lo que significa que “se actúa de forma eficaz cuando se consiguen los objetivos que se pretenden (...) empleando para ello la menor cantidad de recursos posible”, es decir que un edificio eficiente, en términos energéticos, “debe realizar todas sus actividades productivas con el menor consumo posible de electricidad y, en general, de todas las materias primas que utilice” (FENERCON 2007, 20).

Kibert (2005, 41-42) menciona que la ecoeficiencia, término que se empieza a utilizar a partir del 1992, incluye los impactos ambientales y los costes como factores de evaluación de la eficiencia administrativa de instituciones o empresas. De acuerdo con el autor, el *World Business Council on Sustainable Development* – WBCSD, propone la articulación de siete elementos para obtener esta eficiencia:

1. reducción de los requerimientos de materiales de bienes y servicio;
2. reducción de la intensidad de energía en los bienes y servicios;
3. reducción de la dispersión tóxica;
4. aumento del índice de reciclaje de los materiales;
5. maximizar el uso sostenible de los recursos renovables;
6. extender la durabilidad de los productos;
7. aumento de la intensidad de usos de los bienes y servicios.

Aunque la eficiencia ambiental sea vista en el campo empresarial, como un factor de reducción de costes y de la competencia, el WBCSD (BCSD Portugal 2000, 4), amplía este sentido económico a los factores sociales:

“La ecoeficiencia se consigue a través de bienes y servicios a precios competitivos, que, por un lado, satisfagan a las necesidades humanas y contribuyan para la calidad de vida y, por otro, reduzcan progresivamente el impacto ecológico y la intensidad de utilización de los recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta que alcance un

nivel, que, por lo menos, respete la capacidad de sustentabilidad estimada por el planeta Tierra”.

Al discutir la ecoeficiencia, Braungart y McDonough (2009), cuestionan su validez a lo largo del tiempo, pues aunque sea un concepto notable, no llega a una profundidad, al estar concebido en el ámbito de los sistemas industriales y productivos convencionales. Para los autores habría que redefinir radical e integralmente los procesos de diseño de toda la producción y del consumo, de manera que se discutan los modelos que sean "menos malos", sino que sean "positivos", es decir, planificar sistemas y productos basados en la "ecoeficacia"<sup>77</sup>.

Para estos cambios los mismos autores (Braungart y McDonough 2009), proponen el "diseño de cuna a cuna", aplicando los conceptos de los flujos de nutrientes y del metabolismo, en este sentido presentan la diferenciación entre el metabolismo biológico o de la biosfera, basado en el cierre de los ciclos en la naturaleza, y el tecnológico o de la tecnosfera, los ciclos en la industria y de los productos de servicio (una televisión, un ordenador o un edificio); para lograr sus proposiciones plantean que se tengan en cuenta todos los factores del ciclo de vida de los productos o servicios, desde su obtención hasta su desaparición, o retroalimentación del ciclo, donde el concepto de desecho no exista, o mejor, sea positivo.

A partir de estos principios, se considera esencial que la construcción sostenible será aquel edificio donde se propone y concretice el cierre de los ciclos de flujos materiales del agua, de los materiales de construcción, de energía y de residuos, véase la Figura 86a, en todas las fases de la vida útil del edificio, desde el planeamiento, construcción, uso y mantenimiento hasta el derribo. La representación cíclica de la Figura 86b remite a la mitología griega, donde la serpiente Oroboros representa la continuidad y la retroalimentación de la evolución cerrando en sí misma, es decir, del eterno retorno, y por analogía al cierre de flujos materiales, al igual que los conceptos de Braungart y McDonough.

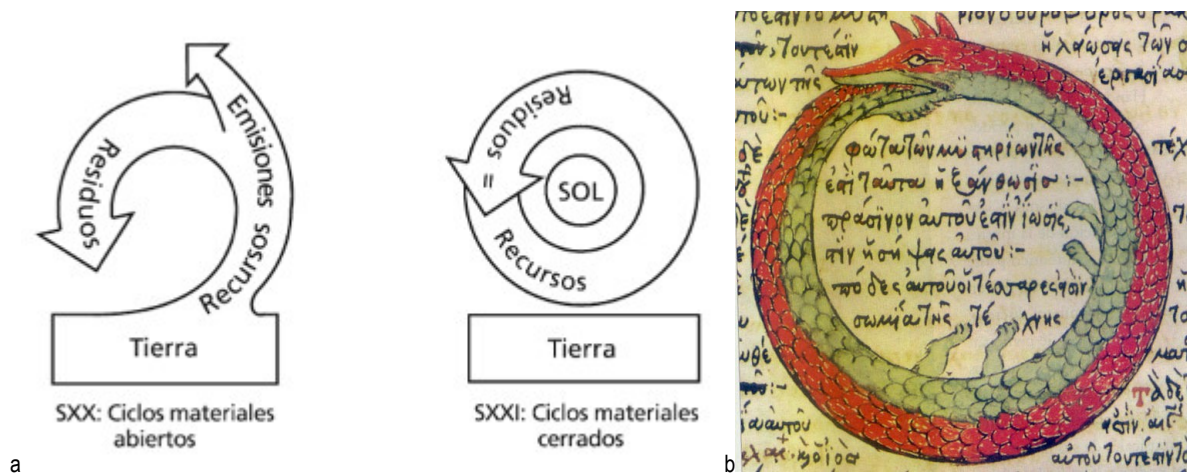


Figura 86 a. Cierre de los flujos materiales en los edificios (Wadel Raina 2009, 59); b. Serpiente Oroboros (Chevalier y Gheerbrant 1982, 716).

Estas afirmaciones se constituyen con una mayor relevancia cuando son mostrados los datos numéricos de la repercusión de los impactos ambientales asociados a las edificaciones, de acuerdo con los estudios de Wadel, Avellaneda y Cuchí (2009, 38-39) sobre el sector de la construcción y el uso de los edificios en España<sup>78</sup>:

<sup>77</sup> Para la Real Academia Española (RAE), el término *eficiencia* significa la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado, mientras que *eficacia* es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera, dichas diferencias semánticas son también exploradas más adelante en el texto.

<sup>78</sup> Los autores referencian los datos a diferentes instituciones de investigación y gubernamentales, como el IDAE, Ministerio de Vivienda, Ministerio de Medio

- Consumo de energía: un 32%, principalmente no renovable;
- Generación de emisiones de CO<sub>2</sub> de efecto invernadero: un 30%;
- Extracción de materiales de la corteza terrestre: un 24%;
- Residuos sólidos generados: entre el 30% y el 40%;
- Agua, principalmente potable: un 17%.

Cabe también presentar los datos estadísticos de la construcción y el uso de edificios de viviendas, teniendo en cuenta la vida útil de 50 años (Cuchi i Burgos 2009, 23; Wadel Raina 2009; Wadel, Avellaneda y Cuchi 2010, 39-40), basados en los estudios de los parámetros de sostenibilidad para el ITeC – *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya*:

- Energía: 6.000 MJ/m<sup>2</sup> (1.670 kWh) para la construcción y 475 MJ/m<sup>2</sup> (140 kWh) para el uso;
- Emisiones de efecto invernadero: 600 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>;
- Agua de uso: 160 l/persona/día;
- Materiales de construcción: 2.500 kg/m<sup>2</sup> de ingresos directamente en la obra y 7.500 kg/m<sup>2</sup> al considerarse la mochila ecológica (residuos generados con la extracción y fabricación);
- Residuos de construcción: 3,6 Kg/persona/día para toda la vida útil del edificio, con solamente un 10% reciclado;
- Residuos sólidos domésticos: 1,7 Kg/persona/día, con tasa de reciclaje de un 15%.

Wadel Raina (2009, 7) señala que además, hay otros impactos que intervienen en el sector de las edificaciones, como la energía para la extracción y el transporte de materiales, todos los consumos incorporados al uso y finalmente, al derribo. En su tesis doctoral discute con profundidad todos estos procesos y, desde el punto de vista físico, "la condición de sostenibilidad (...) se define como el cierre de los ciclos materiales".

En el ámbito de la evaluación de los impactos de los recursos naturales y energéticos, para la Universidad de Michigan, Scheuer, Keoleian y Reppe (2003) aplicaron la ACV – Análisis de Ciclo de Vida a un edificio de seis plantas y 7.300m<sup>2</sup>, con una previsión de vida útil de 75 años. Los resultados enseñan que la intensidad de energía primaria durante el ciclo de vida del edificio se estima en 2,3 x 10<sup>6</sup> GJ o 316 GJ/m<sup>2</sup>; la producción de materiales de construcción, su transporte hasta el lugar, así como la construcción corresponderían a un 2,2% de ciclo de vida del consumo de energía primaria.

Por otra parte, a la climatización y cuenta de electricidad se asignarían el 94,4% de ciclo de vida del consumo de energía primaria. Los servicios de agua representan el 3,3% del ciclo de vida del consumo de energía primaria, el calentamiento de agua es el factor principal, debido a la presencia de una habitación de hotel en este edificio. Para el final de la vida útil, la demolición del edificio y transporte de residuos, representa solo el 0,2% del consumo de energía primaria.

Con estos datos los autores representan la validez de la discusión de metodologías para definir los impactos

asociados al diseño de los edificios con los aspectos medioambientales.

Para el contexto brasileño en 2014 el *Conselho Brasileiro da Construção Sustentável* (CBCS 2014) desarrolló una investigación a cerca de aspectos de la construcción sostenible en Brasil en tres ámbitos: agua, energía y materiales. El estudio presenta la diagnosis de estos tres temas y propone pautas para las políticas públicas para transformar el panorama nacional actual, caracterizado por deficiencias en puntos como una base de datos relacionados con materiales y su ACV - Análisis de Coste de vida, adecuados a la realidad nacional y la evaluación profundizada por sectores del consumo energético, teniendo en cuenta que las informaciones más reciente son referentes a 2005 (PROCEL 2008b).

En el Anexo I están presentadas informaciones relativas al escenario energético brasileño; en especial la Figura 181 enseña la participación de los usos de energía final en los edificios de viviendas y comerciales, ya en la Figura 182 presenta la previsión de consumo energético para las edificaciones en 2050, de acuerdo con el estudio de CBCS (2014) también comentado en el Capítulo 1.

Con la presentación de la relevancia de la incorporación de los criterios de la construcción sostenible y del cierre de los flujos materiales, Cuchí i Burgos (2009, 24) relaciona la eficiencia de la utilización de todos estos recursos naturales y sus respectivos impactos al medioambiente natural, y por extensión a lo ya construido. Para el autor, "los niveles de eficiencia de la edificación respecto al reto de la sostenibilidad se define como calidad ambiental".

Así, el proyecto de edificación que quiera garantizar un cierto grado de calidad ambiental, según Cuchí i Burgos (ídem) empieza por definir estrategias para obtener habitabilidad y confort a costes de recursos ambientalmente razonables, sacando el máximo provecho posible a las oportunidades que ofrece el lugar de emplazamiento, la configuración geométrica del edificio, sus materiales y por fin los recursos técnicos e instalaciones que disponga. En este sentido, dichas estrategias han de tener como reto la máxima eficiencia ambiental en cada uno de los servicios obtenidos, y por contrapartida la reducción de los recursos necesarios a la construcción y funcionamiento.

Para Cuchí, diferentemente de Braungart y McDonough (2009), el concepto principal es más bien ser eficiente que eficaz, con las respectivas diferencias semánticas de los idiomas Inglés y Español, pero de acuerdo con Bosch González et al (2006, 169) "a menudo se confunde eficiencia con eficacia, sin tener en cuenta que se puede ser eficaz alcanzando un determinado objetivo pero totalmente ineficiente si, para ello, hemos tenido que invertir una cantidad innecesaria de recursos", además los autores siguen considerando que para obtener la eficiencia hay que ser eficaz, pero no necesariamente esto es válido al contrario, es decir, se obtiene la "máxima eficiencia cuando un sistema cubre una necesidad específica invirtiendo la mínima cantidad de recursos para ello".

Por fin, Lee (2011, 7-25) lanza la cuestión ¿Podemos preguntarnos si la toma de conciencia de las funciones de la sostenibilidad simplemente como una adición a la práctica de la arquitectura, o si afecta el discurso de la profesión de una manera más fundamental? En este sentido evalúa que el entorno, la sostenibilidad y el diseño de arquitectura han sido simplificados y mal representados, dificultando las discusiones y el debate en el tema, lanzando otra pregunta ¿Cuáles son los problemas estructurales del desarrollo sostenible y cómo hacerles frente en el diseño del entorno construido? Para él no hay como separar los conceptos de sostenibilidad y durabilidad de los edificios, además de incluir una discusión sobre la estética<sup>79</sup>, combinada con una relación fundamental del uso de la

---

<sup>79</sup> El libro "Aesthetics of Sustainable Architecture" es el resultado del proyecto Sustainable Brainport promovido por la municipalidad de Eindhoven, el Design

energía, de los materiales, el agua y la tecnología aplicados a la arquitectura.

Estas últimas consideraciones remiten a las iniciales de Olgyay y Banhan de la integración de la arquitectura con su entorno, y consecuentemente del entorno con la arquitectura, por medio de la maximización de sus aspectos positivos y la disminución de los efectos negativos.

Este sentido se cree que hay que buscar el concepto “original” de la Arquitectura de manera más amplia, cuando la solución a los problemas intrínsecos a ella, es decir, el abrigo a todas las necesidades humana, donde espacio construido y su contexto natural establecen relaciones mutuas de interdependencia en la configuración del ecosistema antrópico.

Si por un lado no es posible volver a los asentamientos humanos y tecnologías dichas primitivas, tendrán que ser incorporados nuevos desafíos a los procesos de diseño y construcción de edificios y ciudades, basados en los estudios recientes, y futuros, de búsqueda por la recuperación de la arquitectura vernacular y de la innovación para la minimización de los impactos medioambientales en el ciclo de vida de la “Arquitectura”, sin la necesidad de adjetivos complementarios.

El Apéndice B complementa algunos de los temas anteriormente comentados, con un énfasis en los parámetros normativos para la eficiencia energética – EE - en los ámbitos de la Comunidad Europea y España y Brasil, además de tratar de los principios relacionados con las condiciones del confort térmico, importantes para la aplicación de la metodología aquí propuesta.

### **Aplicaciones al contexto climático local**

Para el desarrollo de las propuestas de mejora de la calidad de los edificios se pueden referenciar, de una forma general, los estudios de Frandoloso (2001) para establecer directrices proyectuales para escuelas bioclimáticas en Passo Fundo, con la evaluación de la radiación solar y las ganancias solares en las superficies verticales enseñada en la Figura 258 del Anexo XVII.D, además de presentar indicaciones genéricas para la elección de las orientaciones favorables según los aspectos térmicos (Aroztegui 1977) y el diagrama de sombras deseables - Figura 259.

Algunas de las estrategias aplicables al contexto climático local fueron comentadas en la Fase 4, con el "*Programa de Ecoeficiência para a Universidade de Passo Fundo*", en el capítulo 4.

Además de incluir la caracterización climática de Passo Fundo (Frandoloso 2001), la investigación de un grupo de profesores y alumnos del Curso de Arquitectura y Urbanismo de UPF<sup>80</sup> resultó en una guía didáctica (Cunha, Frandoloso y Mascaró 2003; 2006) con el objetivo de introducir los aspectos bioclimáticos del proyecto arquitectónico como elemento fundamental del proceso de concepción de los edificios. Las estrategias de proyecto fueron recogidas de la arquitectura vernacular y de ejemplos de tecnologías de acondicionamiento pasivo, es decir, “contemplando los condicionantes climáticos, las diversidades regionales, culturales, técnicas y la disponibilidad de materiales y coyunturas económicas, buscando la eficiencia energética de las edificaciones”.

---

Academy Eindhoven y la Eindhoven University of Technology, con la coordinación de S. Lee.

<sup>80</sup> Los resultados del proyecto de investigación fueron publicados en el libro “Elementos de Arquitetura de Climatização Natural” (2003, 2006) con el soporte financiero de la Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE, concesionaria de energía local en aquel momento.



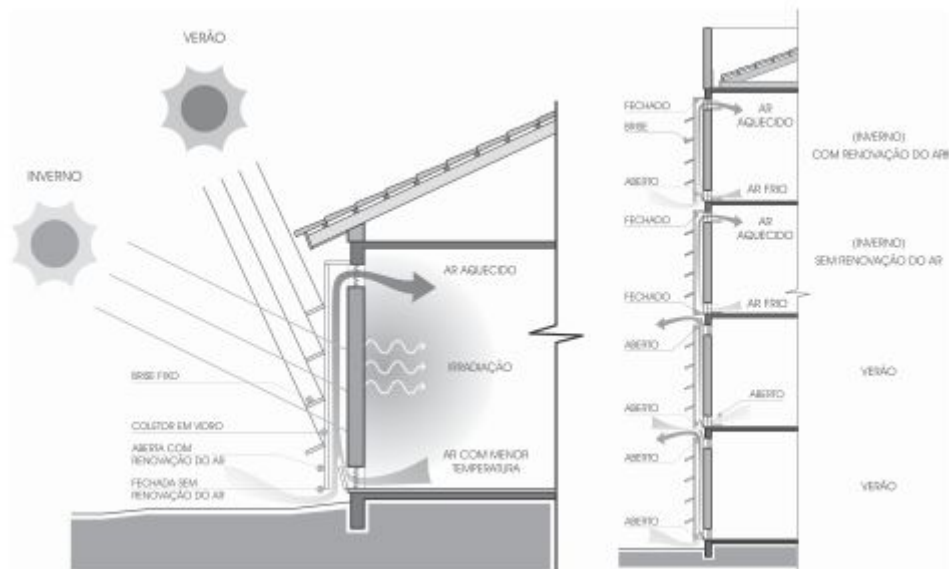


Figura 87 Esquema de termoacumulador de calor con control de radiación solar directa para periodos calurosos (Cunha, Frandoso y Mascaró 2003, 74).

Las diferentes posibilidades elegidas igualmente contemplan la evaluación por medio de la Carta Psicométrica, en este sentido, para la mejora en el desempeño térmico y energético del parque construido de la Universidad; dichas estrategias serían completamente viables, incorporadas por los equipos de proyecto según una evaluación apropiada, conjuntamente con los demás requisitos y condicionantes del proceso proyectual (estéticos/formales, funcionales, simbólicos, etc.). La Figura 87 es un ejemplo de las estrategias para el calentamiento solar pasivo, de entre los diferentes sistemas presentados en la Figura 297 – Anexo XIX. Además hay estrategias para la maximización del uso de los sistemas de ventilación natural y la incorporación de la masa térmica para enfriamiento o calentamiento, que pueden ser adoptadas aisladamente o de manera integrada e integral, según presentado en la Figura 298, Figura 299 y Figura 300.

Con referencia a otra cuestión mencionada en las estrategias para lograr la calificación de los edificios, las rehabilitaciones del parque construido existente, están indicadas incluso en las normativas internacionales y brasileñas.

Como ejemplos de estos referenciales, la Figura 88 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** muestra la propuesta de rehabilitación de bloque de viviendas con la aplicación de aislamiento exterior en poli estireno expandido con 8cm de espesor y revoco de resina sintética [a] alcanzando  $U=0,30W/m^2K$ ; aislamiento continuo en poliestireno de 6cm y protección solares con lamas horizontales móviles monitorizadas [b,c]; una envolvente ventilada compuesta por una doble capa de policarbonato en la remodelación de edificio para oficinas en el distrito 22@ Barcelona, con la rehabilitación de un edificio que se utilizaba como almacén de tractores [d].

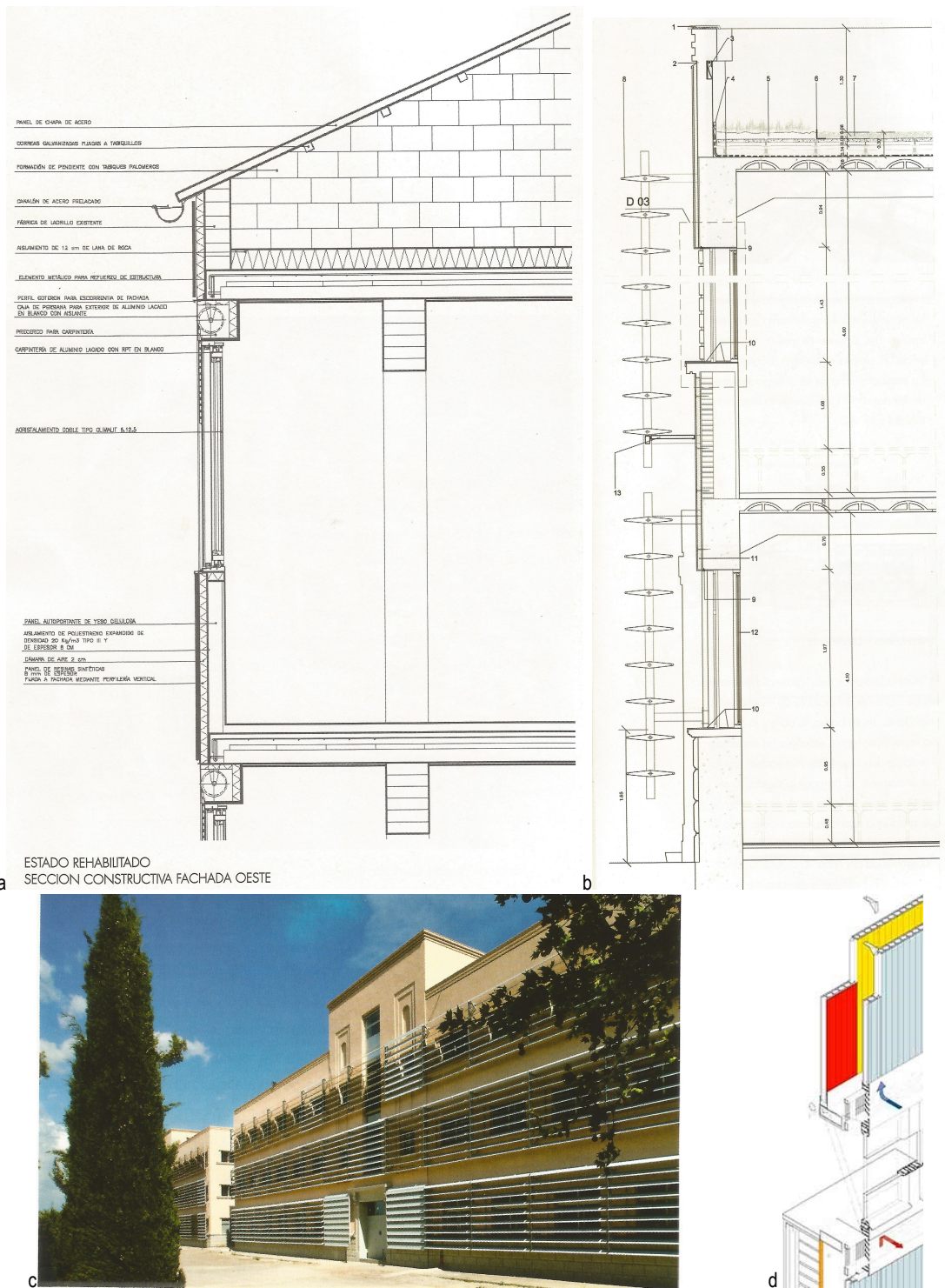


Figura 88 a. Rehabilitación de viviendas San Cristóbal de Los Ángeles, sección constructiva. Margarita de Luxán y Gloria Gómez (Habitat Futura 2011a, 40); b y c. Parque Científico Tecnológico Agroalimentario, sección constructiva y vista de la fachada. Equip Arquitectura Pich-Aguilera (Habitat Futura 2011b, 60); d. Remodelación de edificio para oficinas, detalle de la fachada ventilada. Equip Arquitectura Pich-Aguilera (Tectónica 2009, 39).

Para una aplicación específica al parque construido universitario, con el objetivo de mejorar la calidad interior de las clases, el estudio de un fabricante propuso la utilización de un sistema constituido de paneles térmicos de 60x60 cm en fibra de cemento y pulpa de madera, sin amianto; la potencia unitaria es de 400W indicado para 10 a 12m<sup>2</sup> de superficie del ambiente para las características de los inviernos regulares de Passo Fundo. El sistema funciona por convección, con el calentamiento de la superficie posterior por una resistencia térmica y la transmisión al ambiente

de manera ascendente, según las imágenes por cámara de infrarrojos de la Figura 89, donde se percibe el calentamiento ascendente de la pared por encima del panel; está diseñado para mantener la temperatura del aire alrededor de 18°C.

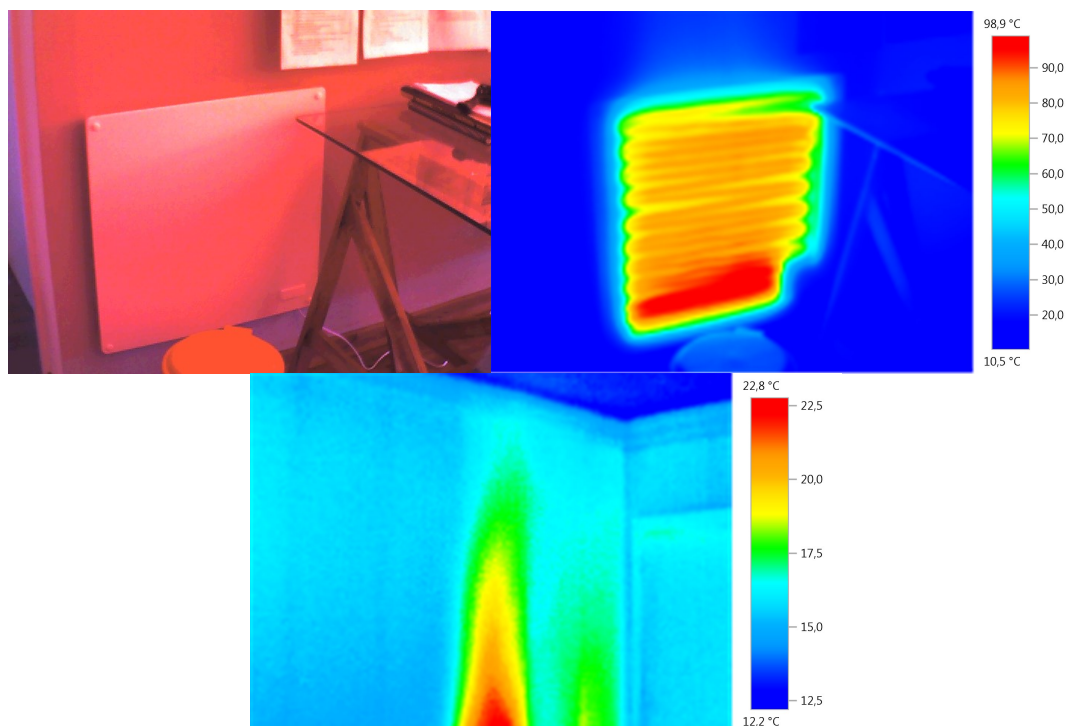


Figura 89 Imágenes por infrarrojos de los paneles térmicos, transmisión por convección y flujo ascendente (fotografías del autor 2013).

Tabla 39 Estudio de ahorro de energía y gastos para la UPF (Econo-heat 2013).

Sistema de calefacción	Utilización 12 hx30 días Potencia/ Gastos <sup>81</sup>	Ahorro W/mes: 100 paneles x 100 splits
100 equipos Split 12.000 BTUs (263.700W)	94.932.000W/ R\$35.124,84	80.532.000W/ R\$30.084,84.
100 paneles (40.000W)	14.400.000W/ R\$5.040,00	

La comparativa con el uso de 100 equipos *Split* de 12000BTUs, indicado para la misma superficie, apunta el ahorro de 80532kW al mes, equivalente a R\$30.084,84. Obviamente el estudio tendría que ser evaluado científicamente para la comprobación de su eficiencia energética y económica.

En los aspectos de la ventilación Etheridge (2012) presenta directrices para jerarquización de los sistemas pertinentes no solo a los edificios de nueva construcción - Figura 90a, pero igualmente válidos al parque existente. Además el autor presenta un proceso de diseño, a ser compatibilizado con todos los sistemas del edificio y que determina un comprometimiento integral e integrado - Figura 90b.

<sup>81</sup> Los gastos han sido calculados con los impuestos, de consumo medio por kW/h equivalente a R\$0,37 – CEEE jun/2013. Otras informaciones disponibles en <http://econo-heat.com/br/downloads/> incluso con video demostrativo del funcionamiento del sistema.



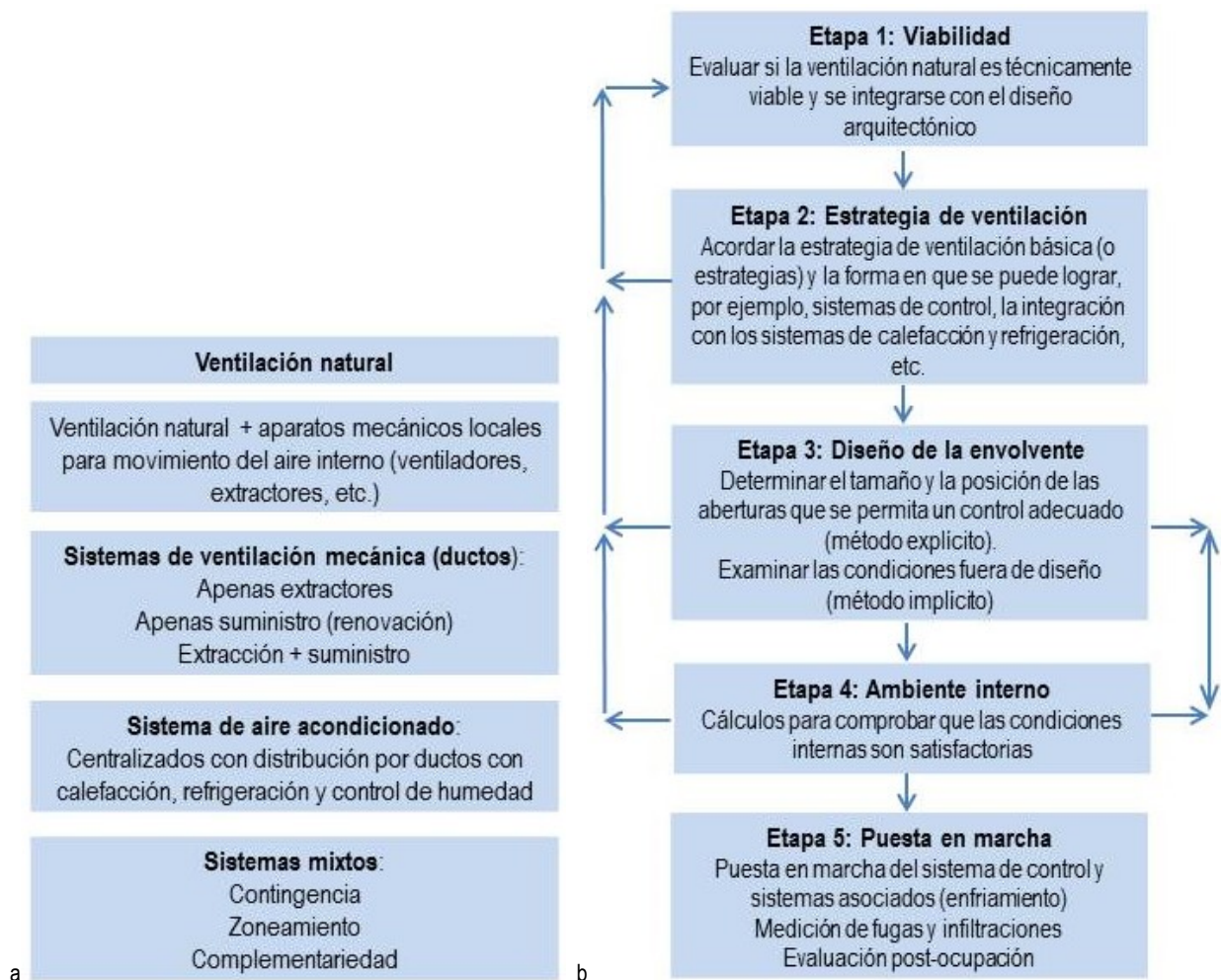


Figura 90 a. Jerarquía del sistema de ventilación; b. Vista simplificada de las etapas en el proceso general de diseño (traducido de Etheridge 2012, 4; 8).

El repertorio para el diseño del sistema es muy amplio, pero como referencia Araujo (2011, 4-19) presenta un panorama general de aplicación práctica.

## A.2 Universidad y planificación medioambiental

Como marco general de la investigación está la planificación de centros universitarios, en especial cómo están planteados los aspectos energéticos y ambientales, sin embargo se hace importante una breve reflexión acerca de la Universidad como conformación física y arquitectónica.

Las primeras configuraciones espaciales de las universidades coinciden con los monasterios y claustros, cuna de las hermandades de estudiantes y maestros, como la Universidad de Boloña en 1088 (Coulson, Roberts y Taylor 2011), tomando cuerpo a partir del momento en que salen de estos recintos y adquieren sus propias identidades y filosofías, también con base en los *colleges* anglosajones (Oxford y Cambridge), igualmente de tipología cuadrangular conforme se observa en la Figura 91, con la identificación de diversas instituciones; la primera universidad en Latino América, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en Lima - Perú, fundada en 1551 (Charle y Verger 1996, 42) siguió la misma tipología de claustro<sup>82</sup>.

<sup>82</sup> Por impedimentos de parte de la corona portuguesa, que no permitía la creación de facultades o cursos universitarios en sus colonias, la primera Facultad



Figura 91 Colleges en Oxford, mapa de David Loggan - 1675 Oxonia Illustrata (Turner 1987, 10).

Además de la etnología latina, el término *campus* fue empleado por primera vez en el siglo XVIII, para describir el entorno a un edificio de la Universidad de Princeton (Turner 1987); actualmente se asocia al conjunto de edificios universitarios dispuestos con una relativa autonomía sobre una gran superficie urbanizada (Roca Blanch 2009).

La evolución de las Instituciones de Enseñanza Superior anglosajonas en Norte América asume la acepción del *campus* como paradigma arquitectónico y urbanístico de diversas universidades, concentrando sus ideales educativos y sociales.

Mientras la importancia de la Universidad en las sociedades modernas ha sido reconocida, los criterios para su planificación física han sido olvidadas, o dejadas a un plano menos relevante, hasta la mitad del siglo XX, coincidiendo con el racionalismo moderno. Según Turner (1987, 5-6), el planeamiento de las universidades abarca desde el diseño de un edificio aislado, como la creación de un plan director que envuelve diferentes estructuras, su ambiente de entorno y sus metas de acciones a lo largo de un plazo determinado.

Brawne (1967) apunta algunos aspectos funcionales generales para el planeamiento de las universidades y hace comparaciones entre *campi*<sup>83</sup> ingleses y comentarios muy breves de universidades norteamericanas. Como reflejo de las preocupaciones de planeamiento de los años 60, los criterios ambientales y energéticos todavía no forman

---

Brasileña fue creada solamente en 1808 (Facultad de Medicina de Bahia) y la primera Universidad, la Escola Livre de Manáos, actualmente Universidade Federal do Amazonas en 1909.

<sup>83</sup> En este trabajo se utiliza el término *campus* como el singular y *campi* en el plural, según la acepción en Latin adoptado en Brasil, no registrado en la lengua Española en el plural [*campus* (del ingl. *campus*, y este del lat. *campus*, llanura). 1. m. Conjunto de terrenos y edificios pertenecientes a una universidad (RAE – Real Academia Española)].

parte de las pautas de discusiones.

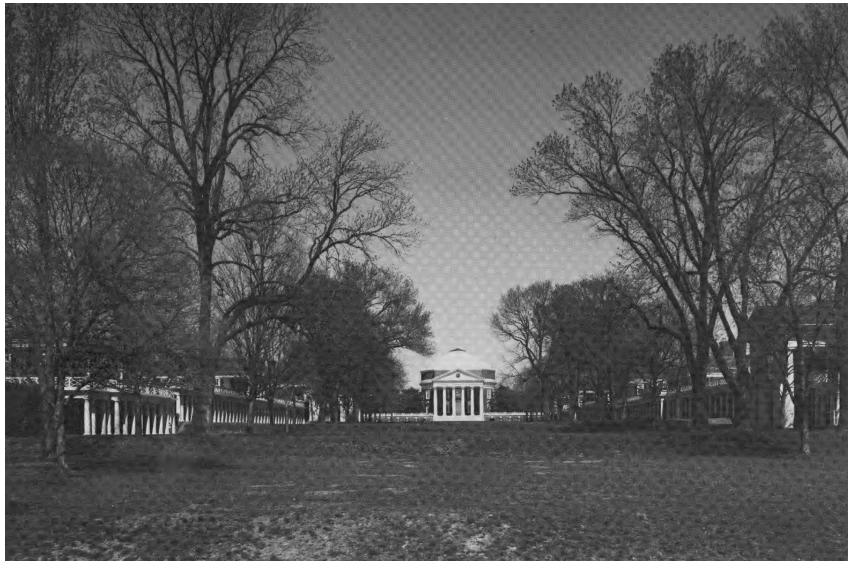


Figura 92 University of Virginia, Charlottesville: Thomas Jefferson, 1817 (Turner 1987, 2).

Turner (1987) presenta el panorama de la construcción y de la consolidación de la Universidad en Norte América, desde la "*academical village*" propuesta por Thomas Jefferson en 1817 de inspiración notadamente historicista - Figura 92 , hasta las universidades de la segunda mitad del siglo XX, haciendo una referencia a las influencias del movimiento moderno, como en la propuestas de Mies Van Der Rohe para el Illinois Institute of Technology en 1940 - Figura 93.

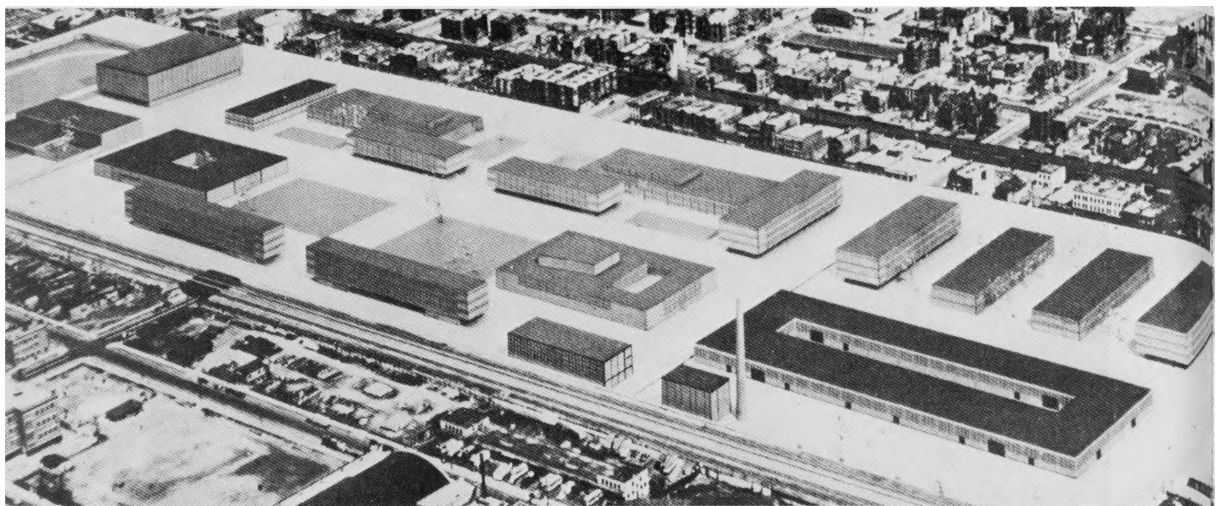


Figura 93 Illinois Institute of Technology, Chicago. Plan Director del Campus; Ludwig Mies van der Rohe, 1938-40 (Turner 1987, 213).

El movimiento racionalista, con el planeamiento urbano basado en el zoneamiento o en la segregación funcional de los diferentes espacios y actividades de la ciudad ha tenido una íntima relación, aunque tardía, con el modelo de universidad en campus generalmente aislado del tejido urbano consolidado. Las nuevas infraestructuras universitarias norteamericanas aplican los criterios de ordenación funcionalista en sus planes directores y en la composición de los edificios, dispuestos como bloques lineales; el plan de Mies van der Rohe para la Illinois Institute of Technology, a finales de la década de 1930, es un ejemplo significativo de este período, transformándose en un

paradigma para otras instituciones.

El catalán Josep Lluís Sert también hace su contribución al urbanismo modernista aplicado al recinto universitario, con el Plan Director de la University of Harvard, proponiendo en 1956 un plan integral para los conflictos con la ciudad de Cambridge - USA. El arquitecto incluso considera que "cualquier universidad activa y receptiva a las demandas crecientes de la sociedad ejerce una presión constante sobre sus antiguos límites, y sus problemas de crecimiento natural se ven agravados cuando su planta física está restringida, como en el caso de Harvard, por su carácter urbano", de la misma forma cita a W. Wuster advirtiéndonos que "debemos planificar nuestras universidades meticulosamente y con gran imaginación" (Rovira 2005, 232-233).

Otros autores contribuyen con el estudio de la evolución histórica de la Universidad en los campos de la composición y tipología arquitectónica y de la interferencia entre sus infraestructuras y la ciudad, como Coulson, Roberts y Taylor (2011) que subrayan el estado físico de la Universidad y su capacidad de interferir en las experiencias y promover desafíos para el conocimiento de la Arquitectura. Deplazes (2007) igualmente hace referencias a la construcción de la Universidad y la relación entre Arquitectura y Educación, pero con el cuestionamiento de la idealización del ambiente universitario como modelo para una nueva sociedad del conocimiento, sin que establezca correlaciones con el espacio fuera de la academia, bajo el riesgo de volver al modelo cerrado del claustro.

Además de los conceptos arquitectónicos y urbanísticos, otro impulsor de la segregación de los centros universitarios han sido las razones políticas decurrentes de los movimientos universitarios de 1968, alejando los posibles focos de conflictos de la ciudad. Este modelo de fragmentación y periferización puede ser verificado tanto en Barcelona (Campus de Bellaterra de la UAB) como en São Paulo (Ciudad Universitaria de la Universidad de São Paulo - USP). Otro claro ejemplo del impacto de la ideología en la ubicación es de la Université Catholique de Louvain en Bélgica, con la construcción de una nueva ciudad (Louvain-la-Neuve) con casi 20 mil habitantes, basada en los presupuestos de la universidad como generador de la animación de una ciudad de "dimensión humana" y preferentemente peatonal (López de Asiaín Alberich 2005, 218-232).

Sobre la Universidad de São Paulo, Pinto y Buffa (2009) hacen una reflexión acerca del modelo de campus versus ciudad universitaria y la configuración del espacio académico: el campus se conformaría como "un territorio para la enseñanza y el aprendizaje en una gran área proyectada, cerrada y con reglas, costumbres y leyes propias" (Pinto y Buffa 2009, 38), mientras que como ciudad universitaria, igualmente apartada del centro urbano formal, además de los espacios para la educación, sino que también serían ofrecidos otros servicios complementarios tales como centros de investigación, alojamientos para profesores y estudiantes, y otros propios de una ciudad cualquiera.

A la cuestión de las estructuras físicas de las Universidades, Gaines (1991) evalúa 100 casos en Norte América, principalmente bajo los criterios estéticos de los campi, definiendo que "un buen campus consiste en un grupo de edificios armoniosos relacionados a través de varios medios, como "porches" (sic) y paisajismo, que crean un espacio urbano bien proporcionado y diverso" (ídem, 1-2). Aunque con una percepción parcial, defiende el campus como obra de arte y la cuarta dimensión de la arquitectura - la función, Gaines añade una quinta, la planificación.

La simetría y el orden han sido aparentes en el diseño de los edificios de las Universidades hasta el siglo XX, a lo que Sanoff (1994, 141) comenta que la concepción pintoresca ha sido, en algunos casos, más importantes que los

aspectos docentes. El autor refuerza la necesidad de establecer criterios para la planificación de los recintos y los edificios universitarios, incluyendo factores subjetivos de comportamiento de los usuarios, como satisfacción y éxito. Para él<sup>84</sup>, el ambiente universitario es el resultado de relaciones interdependientes que interfieren directamente en el desempeño académico.

Igualmente Perkins (2010) presenta una fuerte convicción de los efectos del ambiente físico en el proceso educativo, un importante tema para los arquitectos y sus clientes, incluso presenta requisitos para la conservación de energía y el diseño sostenible (idem, 113-121). Esta opinión, aunque relacionada principalmente a las escuelas primarias y secundarias, es compartida por Dudek (2000, 99) al afirmar que la buena arquitectura puede significar una mejora en la experiencia educativa. Hertzberger (2008) contribuye al tema al llamar el espacio educativo como la Ciudad del Aprendizaje, con un abordaje de las características ambientales y las experiencias de la construcción del conocimiento, también aplicable al campus universitario y sus espacios para enseñar y experimentar.

Entre algunos investigadores del tema, Sanoff (1994) cita Dober (1992), el cual considera el planeamiento de los campus como un producto y un proceso, donde existe una secuencia bien definida de actividades y una división equitativa entre la labor y responsabilidad de sus directores y consultores.

En las últimas décadas, se desarrollaron algunos seminarios sobre este asunto en España, como el Universidad y Ciudad: la construcción del espacio universitario (Pérez Parrilla 1989) y Primer Foro de Arquitectura y Urbanismo (Universidad de Sevilla 2002), cuestionando los patrones de planificación de los centros universitarios, predominando los aspectos funcionalistas de conexión con la ciudad; tampoco discuten la sostenibilidad de los espacios proyectados.

Campos Calvo-Sotelo (1997), en su tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Madrid, hizo un estudio tipológico de las relaciones existentes entre los contextos urbanos y los recintos universitarios, con la proposición de modelos para clasificar las Universidades españolas, sigue sin pautar los criterios energéticos mientras que los ambientales están restringidos a los paisajísticos.

La metodología de clasificación adoptada por Campos Calvo-Sotelo (1997; 2000), "Modelo de Distribución y de Localización" permite caracterizar la estructura física de las universidades, a partir de conceptos morfológicos relacionados con su vinculación con el entorno urbano y su tipología arquitectónica. Según el autor en lo que se refiere a los *Modelos de Distribución*, en la escala geográfica las universidades siguen 3 modelos básicos: *territorial* (distribución a gran escala y estructura policéntrica y equilibrada, como la Universidad de Castilla - La Mancha); *local* (sede implantada en una ciudad en concreto, aunque posea representaciones en otras localidades, en la cual se encajan la gran mayoría) o *asociada* (vinculadas individualmente a una ciudad, pero cuya existencia y dimensiones no se comprende sin la presencia de otro organismo urbano, por ejemplo la Universidad de Alcalá de Henares). Además, para ciudades con más de una Universidad se puede caracterizar como *múltiple universitario*, igualmente, *universidades locales* con sedes en ciudades-polo se puede añadir un componente *territorial*.

Para los *Modelos de Localización*, es decir, "las relaciones entre las implantaciones universitarias y el tejido urbano individual sobre el que se estructura la materialización física de la institución docente" (Campos Calvo-Sotelo 2000, 44) las categorías son más amplias:

---

<sup>84</sup> Henry Sanoff cita los trabajos de B. Crookston 1975; J.Banning 1978, 1980 y Evans 1983.



- *desvinculada* - localización de la ciudad, con vínculos ciudad/universidad de mínima entidad, por ejemplo la Universitat Autònoma de Barcelona;
- *segregada* - comparte una separación física respecto a la ciudad, como la Universidad de Vigo en As Lagoas - Marcosende;
- *superperiférica* - separadas de la ciudad principal, pero directamente vinculada a alguna población satélite (Universidad de Alicante en San Vicente del Raspeig);
- o *urbana*, el caso más frecuente cuyas implantaciones están directamente vinculadas al tejido urbano de la ciudad, con las subcategorías de *periférica* mediante un borde o perímetro compacto, normalmente yuxtapuesta y en estrecho contacto con las estructuras urbanísticas de la ciudad (Universitat de Barcelona en Pedralbes), *como tejido urbano* de configuración agregada ocupando manzanas o divisiones interiores (Universidad de Salamanca), *aislada en el interior urbano* de ámbito plenamente incorporado pero vocacionalmente diferenciado de su entorno inmediato y con una compacidad formal (Universidad de Salamanca en Zamora), o *difusa en el interior urbano* ocupando edificios aislados y dispersos (Universidad de Salamanca en Ávila).

Esta misma metodología ha sido aplicada a 15 universidades madrileñas (Campos Calvo-Sotelo 2007), con el objetivo de analizar y comparar el espacio físico de los recintos universitarios de la Comunidad de Madrid, dentro de la perspectiva de la historia, el urbanismo y la arquitectura, interrelacionándolos de manera a tratar los campus como espacios públicos para compartir el conocimiento y la experiencia.

Al final de los estudios, el autor hace una reflexión acerca del papel de la universidad y de los espacios físicos ante el siglo XXI, a la que llama de "campus didáctico", es decir, la universidad cuya "arquitectura y espacios libres deben diseñarse con una intencionalidad y sensibilidad expresa, como respuesta a la trascendental actividad que albergan" (idem, 2006).

En 2010 Campos Calvo-Sotelo presenta los análisis de las universidades de la Comunidad de Canarias, basados igualmente en la metodología de los Modelos de Distribución; sin embargo amplía los antecedentes históricos de la Universidad. El autor sistematiza algunos modelos de universidades y sus relaciones con las ciudades (Campos Calvo-Sotelo 2010a, 29-43):

1. la universidad medieval, de modelo único, anclado en el claustro y en ámbito de la ciudad;
2. la universidad moderna, de modelo múltiple, con diferentes orígenes:
  - modelo británico, inspirado en los *colleges* y de multiplicación urbana, generador de los campus norteamericanos;
  - modelo napoleónico, caracterizado por la división y una configuración policéntrica;
  - modelo norteamericano, cargado de idealismo y segregación urbana, definido por la confirmación del término Campus.

A los "espacios de saber", el autor (idem), plasmados especialmente por el campus como modelo internacional de las universidades contemporáneas, la "permanente reestructuración a la que se encuentra sometida (...) genera

como consecuencia una serie de materializaciones, que no siempre se prevén o planifica con la debida racionalidad, en tanto que la Arquitectura procura intervenir como catalizadora de sus virtudes" (idem, 41).

Así como en el estudio de las universidades madrileñas, Campos Calvo-Sotelo defiende el "campus didáctico" para construir una nueva estructura universitaria, que se acabe convirtiendo "verdaderamente paradigmática", especialmente frente al Espacio Europeo de Educación Superior - EEES (idem, 29).

Entre las recomendaciones para las Universidades de Canarias, para los "campus integrales" propone planificar las actuaciones que supongan un incremento de la sensibilización con la sostenibilidad y el medioambiente, con la concienciación de la comunidad académica del uso responsable de los recursos naturales y suministros de energía y comunicación, así como la programación y la ejecución de las necesarias obras de mantenimiento de la adecuada calidad de los recintos y edificios. (Ídem, 198-199). Sigue con otras recomendaciones, abarcando incluso los modelos y espacios de aprendizaje, además de proponer un orden para la planificación y jerarquía de actuaciones (idem, 200-202).

En lo que respecta a la Universidad en Barcelona, Carreras (2001) estudia la relación "complexa y simbiótica" entre la ciudad y la universidad, esta como agente de crecimiento y de renovación urbana, como resultado de la "ciudad informacional", presentando los requisitos generales de infraestructura y servicios para los planes directores de nuevos centros universitarios, sin embargo no menciona los aspectos medioambientales a considerar en dichos planes.

Roca Blanch (2009) hace una doble reflexión del conocimiento académico y de las prácticas de diseño en la ETSAB<sup>85</sup> frente al contexto urbanístico del Campus de la Diagonal Portal del Conocimiento, en Barcelona y de las demandas funcionales, presenta paralelamente un panorama de la Universidad como principio urbano tanto en el ámbito internacional, como específicamente en las Universidades de la ciudad de Barcelona y sus respectivas estructuras físicas.

Como su objetivo ha sido proponer intervenciones en el territorio del Campus de la Diagonal, la obra trata de los proyectos ya desarrollados en el ámbito del Plan de Mejora del Campus Sud de la Universitat de Barcelona (UB) (Roca Blanch 2009, 71-143), concentrando la descripción de los criterios funcionales y sobretudo formales (composición arquitectónica, ordenación volumétrica, flexibilidad, etc.) y urbanísticos (conexión con el entorno, movilidad y accesibilidad), no presenta claramente si para los edificios han sido definidos criterios medioambientales o de construcción sostenible en los diferentes concursos para los respectivos proyectos. Ya como ejercicio práctico de la asignatura de Urbanística, los estudios de taller con alumnos tratan específicamente de los espacios públicos, considerados independientes de los edificios, presentes apenas como masa construida insertada en el tejido urbano, este sí, con algunas propuestas de urbanismo sostenible.

En lo que se refiere a Brasil, el estudio de Pinto y Buffa (2009) señala que por las razones ya comentadas a cerca de los impedimentos para la creación de la Universidad hasta finales del siglo XIX, hubo un cierto retraso en la configuración del espacio académico, ya que la primera experiencia arquitectónica en este sentido ha sido para la Universidade do Brasil (posteriormente Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ), en los años 1930; las

---

<sup>85</sup> El libro relata las experiencias académicas en el curso 2007-2008 en la asignatura Urbanística VI de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona de la UPC, que presenta a los estudiantes el proyecto de un fragmento estratégico de la ciudad, de carácter complejo y de interrelación estructural y morfológica (Roca Blanch 2009, 17).

condiciones de implantación de la Universidad en Brasil, así como la Universidade de Passo Fundo hacen parte también del Apéndice D.

En poco más de una década diferentes propuestas fueron desarrolladas por los italianos Marcello Piacentini y Víctor Morpurgo, el franco-suizo Le Corbusier, y equipos brasileños liderados por Lúcio Costa y, finalmente, a partir de 1949 el proyecto ejecutivo desarrollado por Jorge Machado Moreira, pero construido parcialmente a lo largo del segundo tercio del siglo XX. En los estudios prevalecen los conceptos modernistas para la ciudad universitaria, cuyo concepto se presenta anteriormente; según Pinto y Buffa (2007, 62) tenían un objetivo de responder a la función para las actividades a que destinaban los espacios, sin preocuparse por las transformaciones pedagógicas futuras, no observando conceptos como la flexibilidad, resultando intervenciones ni siempre eficientes para adaptarlos a las nuevas realidades, o mismo a los usos definidos por los cambios de proyecto determinados a lo largo del proceso de planificación.

La composición urbanística para la UFRJ puede ser representada por la propuesta de Le Corbusier, con edificios laminares de gran altura conectados por edificaciones más bajas de circulación, véase la Figura 94. Cabe mencionar que los condicionantes físicos han sido olvidados, como la orientación solar (Alberto 2003; 2007) y topografía, incluso con la necesidad de grande movimentación de tierra para la implantación de la propuesta final de Moreira. Segre y Barki (2010) apuntan un error de origen, que es la elección del sitio: una isla artificial resultante de aterros de un complejo insular, con impactos importantes en el medio natural de la Bahía de Guanabara.

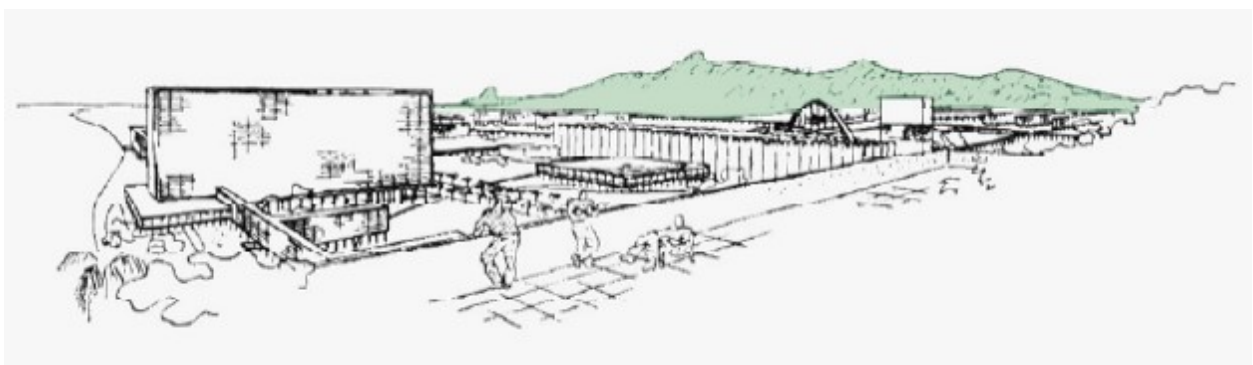


Figura 94 Propuesta de Le Corbusier para la Universidad de Brasil/UFRJ – 1936 (Le Coubusier 1979, 42 apud Alberto 2007, 54).

Este caso ilustra un proceso truncado en que, desafortunadamente, los modelos aplicados en Brasil durante la segunda mitad del siglo XX crearon espacios de segmentación y aislamiento, como la Universidade de São Paulo – USP, con planos elaborados entre las décadas de 1930 a 1950 y la Universidade de Brasília – UnB (década de 1960 a 1970). La burocratización de los procesos de toma de decisiones determinó la planificación parcial de estos marcos universitarios en nivel nacional, con innumerables comisiones administrativas y técnicas, también afectados por períodos políticos conturbados.

En los últimos años otras investigaciones se han realizado en Brasil, además de los trabajos para la UFRJ (Alberto 2003; 2007) y UnB (Alberto 2008), y de Pinto y Buffa (2009), autores como Segre y Barki (2010) también para la UFRJ discuten aspectos de la configuración de los edificios más recientes, sus conexiones internas y principalmente la articulación con el tejido urbano adyacente. Pero de cierta manera, hay un enfoque predominante en la discusión acerca de los principios modernistas de la arquitectura y urbanismo aplicados al proyecto de la Universidad

brasileña, y en especial, una concentración de tesis de maestría y doctorado teniendo como objeto de estudio la UFRJ.

Una perspectiva distinta desarrollada por Pavesi (2010), además de hacer un abordaje más amplio, incorpora conceptos de la sostenibilidad y de la comunicación como imprescindibles para el planeamiento físico y pedagógico de las universidades brasileñas, de manera a “responder a las demandas emergentes o acoger nuevos contenidos culturales, tornándose, por su turno, impulsor de cambios de paradigmas” (2010, 9).

En este sentido de cambio de enfoque, aunque con otra tipología funcional, la empresarial y la tecnología, pero igualmente compatible con la tipología de campus universitario a que Hoeger (2007) llama como campus corporativo, también cabe mencionar la metodología de planeamiento de las oficinas de Abengoa, Campus Palmas Altas, en Sevilla, resultado de la asociación entre Rogers Stirk Harbour + Partners y Vidal y Asociados Arquitectos inaugurado en el 2009 - Figura 95.

En los estudios (ARUP 2011; RSH-P 2011) se han evaluado diferentes soluciones tipológicas, entre la configuración vertical, compacta, lineal y como “fingers” y su cruce con diversos criterios sociales, económicos ambientales e inmobiliarios – Figura 96, para que los clientes pudiesen elegir el mejor modelo bajo sus aspiraciones; al final se eligió el concepto “fingers”.

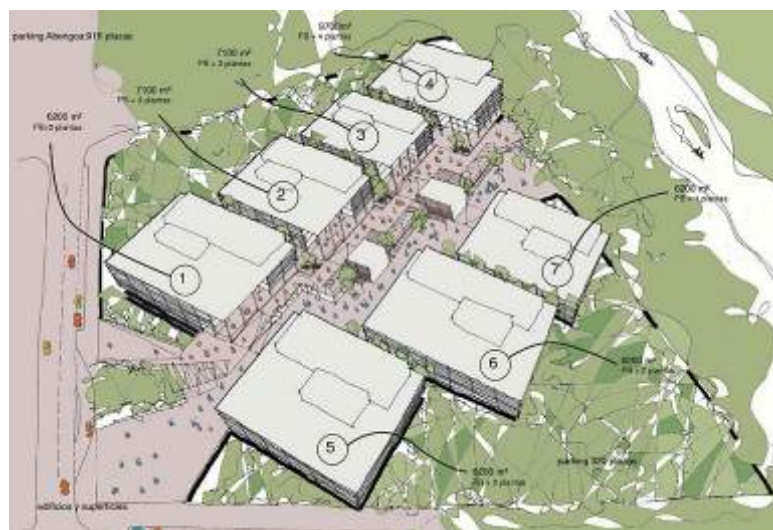
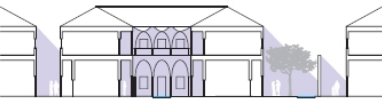


Figura 95 Estudio de vista general del Campus Palmas Altas/Abengoa. Rogers Stirk Harbour + Partners y Vidal y Asociados Arquitectos, 2009 (RSH-P 2011).

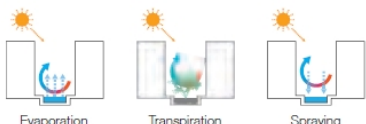
El equipo de diseño ha adoptado varios criterios de ahorro energético (Figura 97), desde la configuración de la parcela y de la orientación del campus, la geometría de los edificios y el diseño de las envolventes del edificio hasta la utilización de energías alternativas renovables (como paneles fotovoltaicos, planta de trigeneración y baterías de hidrógeno). Con estas estrategias, se espera que el proyecto se convirtiera en un modelo para complejos de oficinas más sostenibles en el futuro (RSH-P 2010), el proyecto ha recibido el premio de excelencia en arquitectura del Royal Institute of British Architects - RIBA en 2010 y de excelencia medioambiental por el American Institute of Architects – AIA.

	A Tower	B Compact	C Linear	D Fingers
Image	Blend in	D	A B C	Singular structure
Corporate structure	Horizontal	B C D		Vertical
Real estate concept	"Tailor-made"	B C D	A	Market standard
Working culture	Teamwork	B C D	A	Individual
Floor grid	Wide	B C D	A	Shallow
Connectivity	Horizontal	B C	D	A
Sustainability	100%	B C	D	A
Relation of landscaping to architecture	Integration		D B C	A
Transport	Shared		A B C D	Individual
Social culture	Communal	B C D	A	Individual

Figura 96 Estudio de tipologías de implantación y criterios de evaluación Campus Palmas Altas/Abengoa (ARUP 2011, 44).

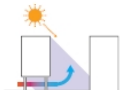


**a)** The use of patios is an effective way to create stable microclimates. Andalucía has an established tradition of taking advantage of the patio's physics to increase comfort and provide coolness during the peak summer months. The patio's orientation and design are important for effectiveness.



**b)** Patio temperature can be reduced in various ways. Use of water is very effective, whether implemented by pond evaporation, plant transpiration, or spraying (fountains).

**c)** These can be very local in effect, but at Palmas Altas they are combined with other passive and active methods of introducing cooling air to occupied spaces.

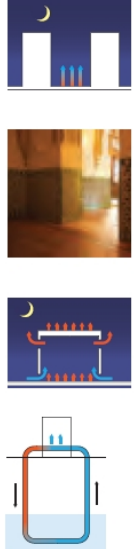


**d)** The patios also provide a mechanism for releasing heat at night, particularly effective here due to Seville's temperature range and low day-time humidity (but dependent on the patio geometry).

**e)** Thermal mass and heat-radiating, exposed surfaces can be used effectively. These are not new ideas, eg use of hard mineral surfaces of particular ceramics in traditional Andalusian architecture.

**f)** The use of thermal mass (which effectively delays the absorption and release of thermal energy) is essential to flush the buildings at night. An exposed concrete structure and leaving the surface of the slab exposed to airflow help to achieve this effect.

**g)** The thermal mass of the local aquifer can be used to advantage when storing coolth, but this requires a permit from the relevant authorities and a complete environmental study.



**h)** Arup proposed moderate use of water, as well as recycling, re-collection, and storage of rainwater. In Seville water is a precious resource and its role in environmental strategy is vital.

**i)** The team investigated a drip system to provide cooling to the patios. With this, air is forced through a cooling chimney that employs water drops for evaporation cooling, providing a volume of cold, humid air to the patios. This cool air can then be dispersed around the office spaces.

**j)** Solar chimneys can boost air flow through the buildings, introducing cold air from the patios through the other floors. South-facing glazed chimneys heat up the air that rises through thermal convection, and release it – supported by wind as available – above roof level.

Figura 97 Conceptos de proyecto arquitectónico y de los sistemas Campus Palmas Altas/Abengoa (ARUP 2011, 46).

### A.3 Universidad y educación para la sostenibilidad

Específicamente en el ámbito de la educación para la sostenibilidad, la resolución de diversas universidades internacionales firmada en la Declaración de Talloires (ULSF 1990) – véase el Anexo II - apunta una nueva visión

institucional para incluir la sostenibilidad no solo en términos de planeamiento sino también como reto filosófico. La Educación para la Sostenibilidad pretende presentar un enfoque dirigido a la promoción de la consciencia crítica en la sociedad y facilitar herramientas para la acción y la transformación social frente a las discusiones acerca del desarrollo sostenible (Pérez Foquet y Velo 2014, 4).

Según la definición presentada por Argibay, G. Celorio y J. J. Celorio (1997), la Educación para la Sostenibilidad (ES), o para el Desarrollo (ED), es

“un enfoque que considera la educación como un proceso interactivo para la formación integral de las personas. Es una educación dinámica, abierta a la participación activa y creativa, orientada hacia al compromiso y la acción que hay que aportar para tomar consciencia de las desigualdades planetarias existentes en el repartimiento de la riqueza y del poder, de sus causas, consecuencias, y de nuestro papel en el esfuerzo para construir estructuras más justas” (Argibay, G. Celorio y J. J. Celorio 1997, 23).

Ese propósito se identifica en la constitución de diversas redes de universidades, como el proyecto *Blueprint for a Green Campus* (1995) o la *Alliance for Global Sustainability* (AGS 1997), proyecto internacional que congrega el Swiss Federal Institute of Technology (ETH), el Massachusetts Institute of Technology (MIT), la University of Tokio y la Chalmers University of Technology.

La definición de la UNESCO (2004) para la Década de Educación para el Desarrollo Sostenible para el periodo 2005-2014 - UNDESD, ha impulsado diversas universidades a tomar algunas medidas de inclusión de los temas en sus actividades cotidianas organizacionales y académicas.

El informe de 2012 (UNESCO 2012, 86) apunta que las IES (Instituciones de Enseñanza Superior) estaban empezando hacer más cambios sistémicos hacia la sostenibilidad en medio de las reformas educativas para la eficiencia, la rendición de cuentas, la privatización, la gestión y el control que a menudo hicieron obstaculizar sus esfuerzos iniciales. Se encuentran ejemplos de IES que se han convertido en la interfaz de la EDS (Educación para el Desarrollo Sostenible) entre la comunidad local y lo global, aprovechando las perspectivas y experiencias basadas en contextos en otros lugares. El informe subraya los avances en el pensamiento sistémico mediante el examen de las conexiones, relaciones e interdependencias; por lo tanto, está en desarrollo la introducción de nuevas formas de aprendizaje y participación; además, para el equipo de seguimiento de los resultados de la Década para la Educación para la Sostenibilidad, se estaban estableciendo indicadores de evaluación comparativa y sistemas de clasificación para la contribuciones de la Universidad a la sostenibilidad.

Aunque todavía estuviera en proceso final de vigencia, según una evaluación preliminar Leal Filho (2014) comenta que hubo avances, pero identifica problemas como la falta de personal y recursos financieros suficientes para llevar a cabo las actividades de todos los países miembros de la ONU, la comunicación bastante limitada en los trabajos realizados en el marco del UNDESD, y la limitada participación de muchos expertos internacionales reconocidos como activos y bien informados en el campo del desarrollo sostenible , entre otros. Además, desarrolla algunas pautas de discusión de entre ellas la falta de formación - especialmente pero no sólo - entre los maestros, que es, y seguirá siendo, un obstáculo importante para la educación para el desarrollo sostenible. De acuerdo con el autor “si no se abordan de una manera significativa (y apropiado), se perpetuarán los problemas que se ven hoy en día”.

Recientemente, fue presentado el informe final de la UNDESD (UNESCO 2014), con una evaluación específica a la educación superior (p. 114-128). Según la comparación de los avances entre los años de 2005 y 2013, la EDS está todavía en una situación de implantación (40% en 2013), con un nivel significativo de 23% en 2013, mientras que en



2005 era de solamente un 4%; sin embargo, en 2013 el nivel de completamente integrado está solamente en un 9%, como demuestra la Figura 98.

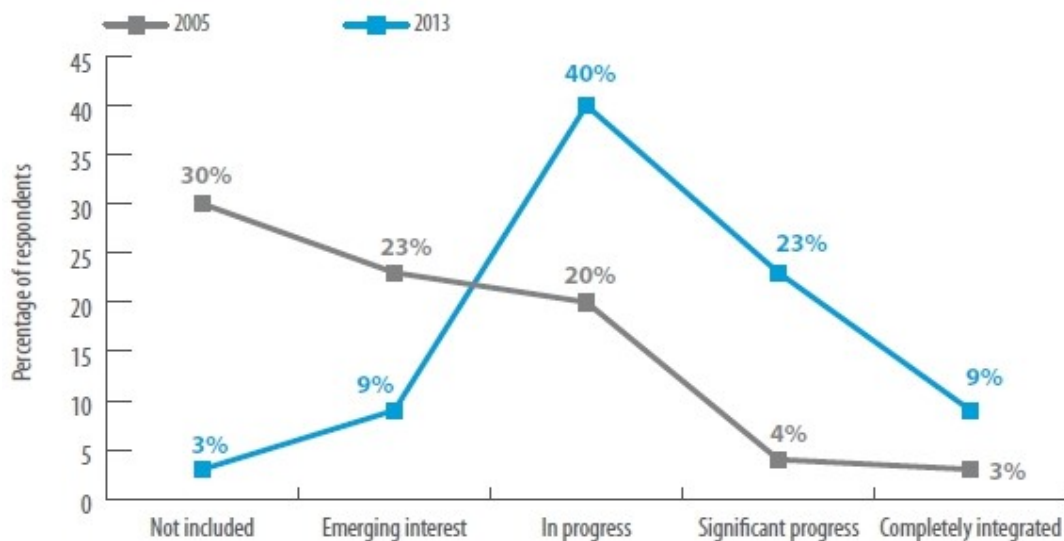


Figura 98 Situación de la EDS en los Estados Miembros de UNESCO - 2005 y 2013 (UNESCO 2014, 116).

Este cambio ha sido impulsado por el comprometimiento institucional con la firma de diversos documentos a lo largo de la década, presentados de manera simplificada en el Anexo III - Figura 186. Estas declaraciones afirman la credibilidad de instituciones individuales y la formación de redes, según los análisis de la UNESCO demuestran la validez del programa y del camino hacia la sostenibilidad, incluida en el pensamiento dominante en torno a las universidades y su papel social.

En el campo de la operación de los *campi* universitarios, UNESCO (2014, 125) apunta que en 2005, cuando se lanzó el programa, no había mecanismos sistémicos para construir los puentes entre la estrategia, el desarrollo académico y los problemas operativos en el ámbito de la sostenibilidad; consideran que al final de la Década, la gama de herramientas de autoevaluación se ampliaron, promoviendo enfoques integrales que, a menudo, presentan oportunidades para la validación o certificación de desempeño de los sistemas.

En España, la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas aprobó en 2002 la propuesta de creación de un Grupo de Trabajo sobre Calidad Ambiental y Desarrollo Sostenible en las Universidades Españolas; según la visión de los rectores, el medioambiente y el desarrollo sostenible se han introducido de forma progresiva en las universidades, de modo que

“el papel que juegan las universidades, y todo el sistema educativo en general, en la concienciación medioambiental es clave. Así lo han entendido los organismos de educación superior. Ello se ha traducido en programas de gestión para proteger el medio ambiente en el entorno universitario, así como en la integración del punto de vista medioambiental en las asignaturas de todas las facultades. Porque no sólo los físicos, biólogos o químicos deben saber de esta temática. También existe una normativa, una arquitectura, una economía, una comunicación o una historia del medio ambiente. Por otro lado, la simple vivencia en un entorno que muestra su compromiso con el medio ambiente, transfiere unas actitudes, habilidades y comportamientos a los miembros de la comunidad universitaria extrapolables a otros medios vitales...” (CRUE 2003).

Además, ya en aquel momento, los rectores subrayaban la importancia de la gestión medioambiental, por medio de la aplicación de políticas y acciones que sirvan para proteger el entorno en el que se desarrolla la actividad de las

universidades, desde proyectos como la recogida selectiva de materiales y residuos hasta el control y uso de energías no contaminantes en los edificios.

Del mismo modo, las redes de universidades contribuyen para establecer semejanzas (y diferencias) en la implementación de instrumentos administrativos, así como pedagógicos, a través de la ambientalización de los currículos de los diferentes cursos, incentivadas y divulgadas por autores como Leal Filho (2000, 2009, 2012) además del importante papel del *International Journal of Sustainability in Higher Education*, con innúmeros artículos, como por ejemplo: Ferrer et al (2004) y Ferrer-Balas et al. (2004) presentan el planeamiento ambiental de la UPC y los avances en la educación hacia la sostenibilidad; Moore (2005) presenta siete recomendaciones para crear una educación sostenible al nivel de la universidad; Stephens et al. (2008) subrayan el potencial de las instituciones de enseñanza superior como agentes de promoción de la educación para el DS – Desarrollo Sostenible, en diferentes contextos y culturas, entre otros artículos igualmente de gran interés. En 2010 fue publicado un número especial (IJSHE 2010) tratando de las competencias para el DS, las significancias y desafíos.

En la misma línea, el *Journal of Cleaner Production* – JCP preparó en 2006 una edición especialmente dirigida a la discusión de la inserción de la sostenibilidad en las universidades<sup>86</sup>, con 33 artículos de autores de instituciones de Europa, Asia, Australia y Américas (Sur, Central y Norte) que relatan sus experiencias en equipos interdisciplinarios para redireccionar la educación e investigación para acelerar en las instituciones de enseñanza superior la inclusión y/o el fomento de los valores, conocimientos y acciones para ayudar a los estudiantes a transformar la sociedad de insostenible hacia patrones más sostenibles (entre algunos se pueden mencionar Koester et al. 2006; Lozano 2006; Velázquez et al. 2006). Lozano García, Kevany y Huising (2006, 760) en el editorial comentan que las lideranzas académicas deben utilizarse de enfoques sistémicos, comprometimiento participativo y principios preventivos como parte de una visión a largo plazo, necesarias para alcanzar un nivel transgeneracional del DS. Esta temática sigue con gran interés académico representados por diversos artículos relatando las experiencias a nivel de intercambios entre las redes de universidades y sus impactos regionales (Dlouhá, Huising and Barton 2013, Sedlacek 2013), con abordajes específicos de la educación y procesos de aprendizaje (Lozano y Young 2013, Zsóka et al. 2013), de la gestión de los recursos e impactos medioambientales (Halila y Tell 2013) e, incluso, de la clasificación de universidades según indicadores para los campos de investigación, educación y criterios medioambientales (Lukman, Krajnc y Glavič 2010).

Estos objetivos coinciden con la Organización Internacional de Universidades por el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente - OIUDSMA (2007) que pretende actuar como una red de intercambio de experiencias entre instituciones universitarias que tengan entre sus objetivos prioritarios el desarrollo de programas docentes e investigadores que busquen la consolidación del concepto de desarrollo sostenible y el análisis y que aporten soluciones en el campo del medio ambiente.

En el ámbito de las universidades, según Halac, Schiller y Venturini (2005, 2316), la promoción del desarrollo sostenible implica en una serie de acciones proactivas en el campo académico, especialmente en las universidades consideradas como instituciones donde se produce el conocimiento, la consciencia crítica y social, con potencialidad para influenciar la orientación de toda la sociedad. Bajo esta misma perspectiva los autores (Halac, Schiller y Venturi

---

<sup>86</sup> Sustainability in higher education: what is happening?



2005) propusieron una red latinoamericana UNSUS - Programa de Universidades Sostenibles, encabezada por la Universidad Nacional de Córdoba – Argentina, pero con la intención de crear lazos de interés mutuo entre instituciones de Argentina, Brasil y México.

Con este objetivo tuvo lugar en 2008 el Primer Encuentro Latino Americano de Universidades Sostenibles – ELAUS, en la Universidade de Passo Fundo - UPF, Brasil, coordinado por la Universidad de Córdoba y dos universidades brasileñas – la UPF y la Universidade de São Paulo; el congreso reunió diferentes universidades de Latino América, además de representantes de universidades europeas.

Como conclusiones del ELAUS2008<sup>87</sup> se extrajeron que las universidades latinoamericanas compartían las mismas preocupaciones acerca de las dificultades enfrentadas, principalmente las barreras impuestas por la falta de compromiso de las administraciones, por las dificultades de presupuestos para la gestión medioambiental, y la falta de interés de los alumnos e incluso profesores, pese a los puntos positivos de las diversas iniciativas aisladas de centros de investigación y facultades o cursos para establecer estrategias para la inserción de la educación para la sostenibilidad en sus currículos académicos y prácticas de gestión (Brandli et al. 2010).

Todas estas preocupaciones han encontrado eco en las conferencias internacionales bianuales EMSU<sup>88</sup> – *Environmental Management for Sustainable Universities*, con el objetivo de explorar el papel de las universidades en la creación de nuevo conocimiento y actitudes para afrontar las presiones ambientales actuales, y promover un intercambio bidireccional de conocimiento entre universidades y sociedad. La realización en 2008 en Barcelona fue promocionada por la propia Universitat Politècnica de Catalunya y por la Universitat Autònoma de Barcelona. El evento fue el resultado de discusiones previas en “nodos” ubicados en diversos países y continentes, entre ellos Passo Fundo en el ELAUS, como forma de ampliar la participación y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> con los viajes hasta el evento principal. Las ponencias (EMSU 2008) abordaron temas como los cambios globales para el DS, y específicamente como las universidades los afrontan en términos de educación, investigación, gestión interna y operación, relaciones con la comunidad y estrategias de evaluación.

Ya el congreso de 2010 realizado en Delft – Holanda, coordinado por la TUDelft, The Hague University y la Cape Peninsula University of Technology, en África del Sur (ERSCP-EMSU 2010). Enfocó el papel de la innovación en la construcción del conocimiento y del aprendizaje, proponiendo 4 cuestiones para la discusión: ¿Cómo llegar a una consumición sostenible y la innovación de los sistemas?, ¿Cómo facilitar las prácticas innovadoras en la educación superior? ¿Cómo promover la colaboración entre los usuarios, sociedad e investigadores? y ¿Qué hacer a nivel regional? Las presentaciones generaron una publicación especial del Journal of Cleaner Production (JCP 2013), reforzando el papel de la colaboración y participación de la educación superior para la consolidación de los cambios para la innovación y consumo sostenible. Más recientemente en Turquía (ERSCP-EMSU 2013), la conferencia se centró en la integración de los esfuerzos de investigación para abordar el reto de las aplicaciones de desarrollo sostenible en las instituciones de educación superior y su interrelación con la producción y el consumo, con un enfoque especial en los aspectos de intercambios entre las sociedades y las personas involucradas en el co-trabajo

---

<sup>87</sup> Fue realizado un nuevo evento en 2015, y está programado la realización en Argentina de uno más en 2016, a fin de recuperarse los temas originales y hacer reflexiones para el futuro de la ES.

<sup>88</sup> El trabajo hace referencia al los congresos EMSU teniendo en cuenta la participación en las ediciones de 2008 (Barcelona), 2010 (Delft) y 2013 (Istanbul). Sin embargo otras redes académicas y científicas promueven eventos similares y de ocurrencia sistemática, como el International Sustainable Campus Network (ISCN), disponible en <http://www.international-sustainable-campus-network.org/>.

hacia las sociedades sostenibles.

En otra dimensión, insertada ya en los marcos de una universidad sostenible, actualmente las discusiones han progresado para incluir efectivamente no solo los criterios de la construcción sostenible, presentada en la continuidad, basada en una visión holística en el planeamiento físico de la universidad, anteriormente discutida.

Un ejemplo de esta nueva perspectiva es la experiencia de la The Haguen Universitat que ha desarrollado la planificación de la nueva Escuela de Ingeniería en el Campus de Delft (Holanda), The Hague University of Applied Sciences - Figura 99, también comentada en el Capítulo 2. El reto ha sido obtener resultados favorables en la sostenibilidad, tanto en la educación como en la eficiencia energética, de manera que el edificio pudiera ser considerado un ejemplo concreto para los alumnos, investigadores y todos los demás usuarios, de las diferentes posibilidades para alcanzar una alta calidad arquitectónica y con alto desempeño de la ecoeficiencia.



Figura 99 Escuela de Ingeniería de la The Haguen Universitat. DWA, 2009 (Fotografías del autor 2010).

Estas condiciones también son posibles por el entorno científico, en conjunto con la Technische Universiteit Delft (TUDelft) y especialmente por la conformación del Delft Technopolis, ubicado en el campus de 910 mil m<sup>2</sup>, considerado por Hoeger y Christiaanse (2007, 238-241) como un ejemplo de universidad para el siglo XXI donde convergen la tecnología, innovación, educación, investigación y sus aplicaciones sociales. Igualmente hay que mencionar que el campus sigue el Máster Plan del equipo Mecanoo de 2002, cuyo objetivo principal es intensificar la conexión y promover la cooperación entre los diferentes espacios y actividades.

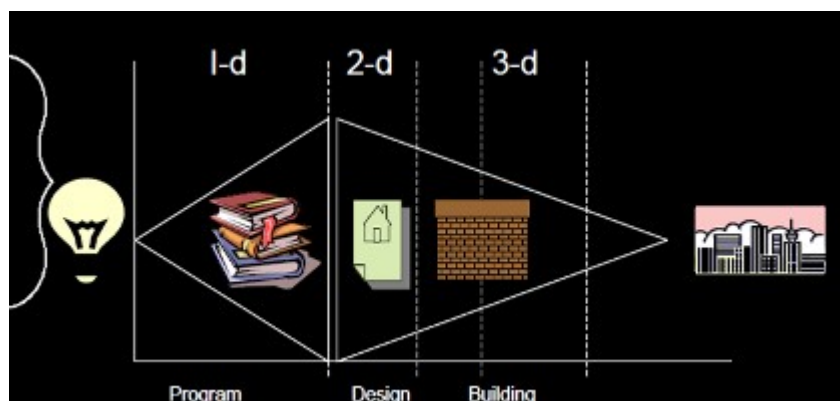


Figura 100 Metodología de diseño de la Escuela de Ingeniería de la The Haguen Universitat. DWA, 2009 (van Den Dool 2010).

El proyecto ha sido desarrollado por el DWA (DWA 2010) a partir de una metodología (van Den Dool 2010) estructurada en 3 etapas: la elaboración del programa (1d), el diseño (2d) y la construcción (3d) - Figura 100. En la etapa 1d una de las claves ha sido elegir los criterios esenciales para determinar las prioridades, con el uso de

metáforas, es decir, cuál es la imagen y el carácter simbólico para el edificio; los criterios establecidos han sido los propósitos educativos, la sostenibilidad, la flexibilidad, la imagen y la identidad, el carisma, las inversiones y el ciclo de vida del edificio. En la etapa 2d, la prioridad es la reflexión y la búsqueda por la innovación por medio de un design sólido e integrado. En la última etapa, para concretar las etapas anteriores, otra clave es la integración de todos los agentes envueltos y la "experiencia por el experimento".

A los criterios en que el proyecto ha sido desarrollado está la excelencia de los procesos educativos y que el edificio sea una fuente de inspiración a los estudiantes de Ingeniería en la enseñanza y en la investigación, característica propia del perfil de los usuarios a que la Universidad se propone a preparar para la vida profesional. El ambiente además de ser inspirador y atractivo, debería permitir y enseñar la práctica de la educación, transformando los espacios en estrategias para el aprendizaje; los sistemas energéticos y de acondicionamiento térmico no reactivos, sino predictivos, incluso forma parte de la generación del conocimiento.

Con la propuesta de 2005 para el Campus de Villamayor de la Universidad de Salamanca, Campos Calvo-Sotelo (2009; 2010b) intenta aplicar sus conceptos para lo que denomina "campus didáctico" ya mencionado, presentando 10 puntos a considerar: 1. utopía y planificación integral, 2. comunidad de aprendizaje e investigación, 3. armonía espacial, 4. envoltura afectivo-intelectual, 5. naturaleza y arte, 6. imagen y accesibilidad, 7. adaptación al medio y sostenibilidad, 8. memoria y vanguardia, 9. relación universidad-ciudad, 10. modalidades innovadoras de enseñanza-aprendizaje.

En el punto 7 el autor (2010b, 2) trata específicamente de los aspectos medioambientales en la planificación urbanística y arquitectónica, al proponer que las Universidades garanticen la armonía con el entorno geográfico y las condiciones climáticas, además de ser ejemplo cuanto a la biodiversidad y sostenibilidad (criterios de construcción sostenible, usos de energías renovables, etc.).

En la línea de propuestas para una Universidad para el siglo XXI, Coulson, Roberts y Taylor (2011, 235-241) establecen pautas para tres grandes componentes: el paisaje, los edificios y la circulación. Subrayan la importancia de que cada Universidad sea moldeada por un plan reflectivo de sus propias circunstancias, basado en el compromiso, la estrategia institucional y el liderazgo, consolidados por un *máster plan* que coordine la estructura física con la estrategia institucional. Como elemento estructurador de la planificación, los autores (2011, 240-241) mencionan el papel del Arquitecto, cuyo propósito es reconciliar la misión universitaria con el medio físico, así como dirigir el desarrollo del plan director.

En los textos organizados por Hoeger y Christiaanse (2007), la perspectiva de la transformación de la Universidad en los tiempos actuales y futuros, debe, sin excepción, alimentar la "sinergia dinámica" necesaria para crear centros sostenibles para el conocimiento y aprendizaje: incubadoras de innovación que puedan responder de manera flexible los rápidos cambios en las demandas de la sociedad del conocimiento (Hoeger 2007, 13), añadiendo a los *campi* universitarios o académicos, los *campi* corporativos de ciencia y tecnología.



Figura 101 Birley Building MMU – Sheppard Robson/ Capita Arch. (2012-2014), y estrategias de sostenibilidad (fotografías del autor 2014).

Un ejemplo reciente de cómo estos retos se plasman de manera concreta en el nuevo campus de la Manchester Metropolitan University (MMU), como extensión de su campus *All Saints*, para abrigar la *Faculty of Education* y la *Faculty of Health, Psychology and Social Care* además del *Energy Centre* a lo que le denominan *Birley Building* - Figura 101. En este sentido proponen “un ambiente de aprendizaje innovativo con beneficios de oportunidades de una colaboración multi-profesional” (MMU 2014a), diseñado con una orientación comunitaria para proveer de servicios a los alumnos y cuerpo técnico y docente, pero igualmente al vecindario de los alrededores.

En términos de sostenibilidad ambiental el edificio integra los principios generales del Plan<sup>89</sup> aprobado en febrero de 2014 por el *Environmental Strategy Board* (MMU 2014b), y específicamente con la ambición de “Zero Carbon, Zero Waste, Zero Water” y un máximo de biodiversidad. Para esto recibió la certificación BREEAM<sup>90</sup> Excellent y Energy Performance Rating “B” (MMU 2014c), por medio de la adopción de estrategias integradas como ventilación natural cruzada y fachadas ventiladas, iluminación con baja energía LED y ajustables según las necesidades de sistemas automáticos, sistema CHP (*Combined Heat and Power*), sistemas para uso de agua de lluvia, planeamiento de los espacios verdes y paisajismo, etc.<sup>91</sup>. Estas consideraciones también hacen parte de las contribuciones para el panorama de la gestión medioambiental en las universidades presentadas en el Capítulo 2.

Con referencia a los aspectos didácticos de la ambientalización de los procesos académicos, un ejemplo de herramienta que evalúa la sostenibilidad en las instituciones por medio de indicadores es el *Auditing Instrument for Sustainability in Higher Education* - AISHE (Roorda 2001) con el soporte de la DHO - Dutch Committee on Sustainable

<sup>89</sup> La Política de Sostenibilidad Ambiental de la MMU tuvo su primera versión en el 2010, y finalmente aprobada en febrero de 2014; las pautas establecidas para los más de 33 mil estudiantes y 3.500 profesores y personal administrativo, están basadas en el EMS según la ISO14001, además de otras líneas de actuación discutidas en el Apéndice D. Disponible en: <<http://www.mmu.ac.uk/environment/policies/>>.

<sup>90</sup> BREEAM. Proceso de evaluación y certificación Británico para edificios, bajo criterios de rendimiento en aspectos relacionados con los procesos de gestión de la energía y el uso del agua, el ambiente interno (salud y bienestar), la contaminación, el transporte, materiales, residuos y ecología [<http://www.breem.org/>].

<sup>91</sup> Informaciones adicionales del Birley Building en <<http://www.mmu.ac.uk/birleyfields/overview.php>>.

Higher Education. La Fundación Europea para la Gestión de Calidad (EFQM) desarrolló un modelo que utiliza como base el Círculo de Calidad Deming, también conocido como el ciclo PDCA de la ISO 14001, según abordaje conceptual en Capítulo 2. En las fases “Planificar”, “Hacer”, “Verificar” y “Actuar” se incluyeron un número de criterios, que operan como indicadores y se refieren a la calidad de gestión de la compañía. La Organización Holandesa para Gestión de Calidad - INK, mejoró el modelo EFQM incluyendo para cada criterio una escala ordinal de cinco niveles. Cada nivel es una descripción verbal de un posible estado en que la institución evaluada está en relación a ese criterio.

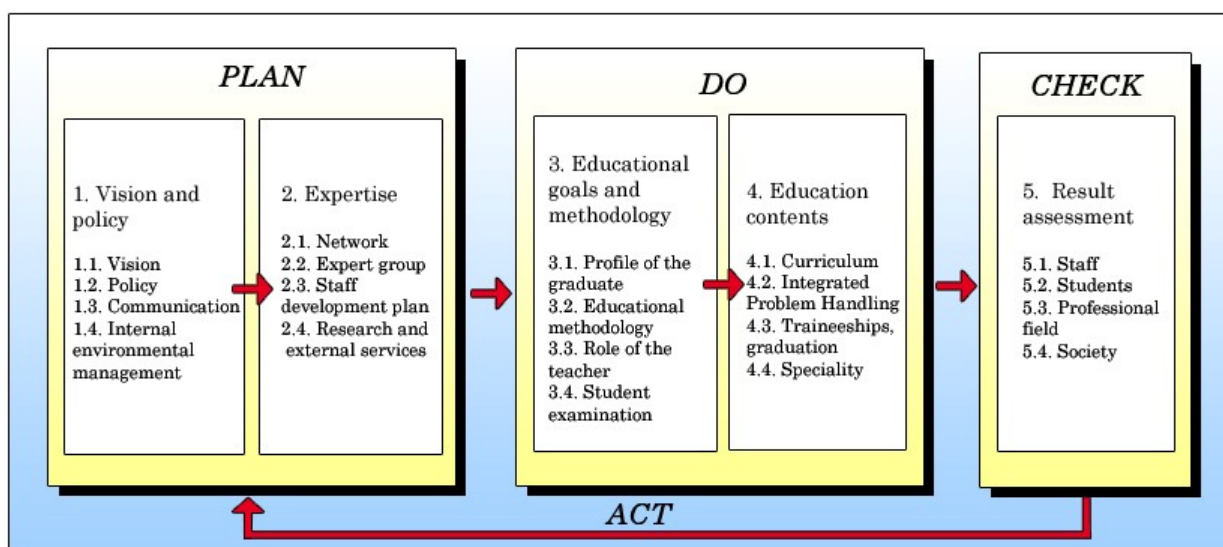


Figura 102 Instrumento de evaluación AISHE (adaptado de Roorda 2001).

Tabla 40 Descripción de los campos de atención AISHE (Brandli et al. 2011, 26)

Campo de Atención	Descripción
Visión y Política	Se refiere a la planificación, definición de metas y formulación de documentos, visando la sostenibilidad así como la existencia de una gestión ambiental.
Especialización	Está relacionado a la preparación de la organización en lo que se refiere al desarrollo sostenible, incluyendo a toda la comunidad académica. Ese campo presenta la necesidad de un grupo de especialistas en sostenibilidad y la presencia de ese tema en los programas de investigación y extensión.
Objetivos Educativos y Metodología	Se refiere a la manera como el tema de la sostenibilidad es abordado por la organización y si ese abordaje es significativo para generar la preocupación con la misma en el ejercicio profesional de los graduados.
Contenido de la Educación	Evalúa la existencia del tema sostenibilidad en el currículo y la posibilidad de adquirir mayor conocimiento al respecto. También aborda si el posicionamiento del estudiante está orientado a la sostenibilidad en la tomada de decisiones.
Evaluación de los Resultados	Procura observar la existencia de datos sobre la evaluación realizada por los estudiantes, equipo, campo profesional y sociedad, al respecto de la política de sostenibilidad. Y la posibilidad de hacer comparaciones de esos datos con los de otras organizaciones que son referencia en este área.

A partir del modelo – EFQM-INK, un grupo de universidades holandesas adaptó una versión para la enseñanza superior, generando el modelo EFQM-HE, que se utilizó como base para el desarrollo del AISHE. Los criterios del AISHE actúan como indicadores, facilitando la comprensión de una determinada situación y posibilitando la comparación con una situación futura deseada. Conforme demuestra la Figura 102, el AISHE está basado en el



ciclo PDCA, siendo que para las fases del ciclo están relacionados cinco campos de atención, cada uno con cuatro criterios para evaluación; una breve descripción de los campos de atención está presentada en la Tabla 40.

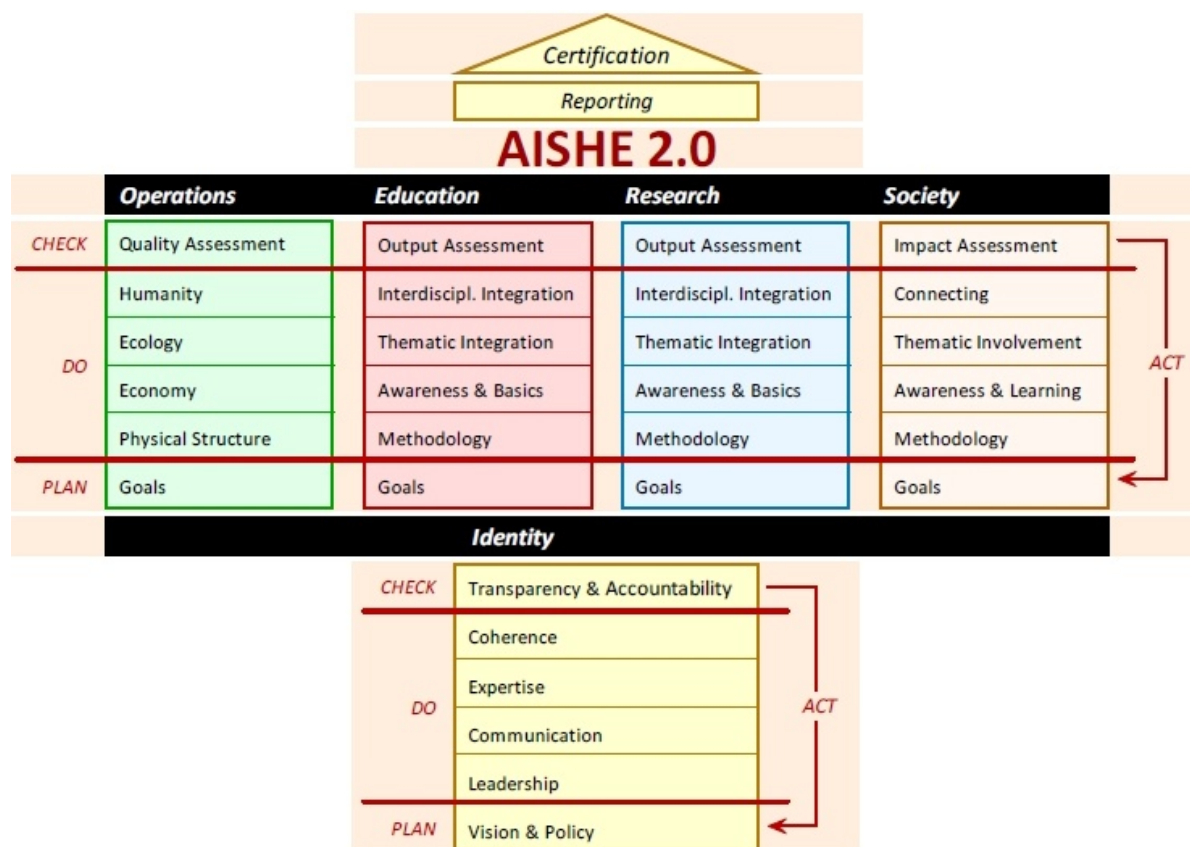


Figura 103 Estructura AISHE 2.0 (Roorda 2010, 2012).

Los criterios pueden clasificarse de acuerdo con cinco niveles (nivel de sostenibilidad): Nivel 1: actividad (acciones separadas, aisladas y/o parciales); Nivel 2: proceso (proceso único); Nivel 3: sistema (proceso con *feedback*); Nivel 4: red (parte de una red de procesos); Nivel 5: sociedad (con interrelaciones con la comunidad externa). Cada nivel respeta una escala ordinal para las cinco fases. Siendo así, solo se permite concluir que un determinado nivel fue alcanzado, si las fases anteriores fueron alcanzadas en su plenitud, pues todas las etapas de un criterio son destinadas a ser cumulativas; por eso, pueden definirse valores intermedios para cada criterio.

La versión inicial, AISHE 1.0, estaba dirigida principalmente a los aspectos de la educación y ambientalización de los currículos, así que a partir de 2007 (Roorda 2008; 2010) la herramienta recibió contribuciones de un grupo de investigación internacional, con el objetivo de calificarla y expandirla a los demás campos (operación, investigación, sociedad e identidad), según la estructura presentada en la Figura 103 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

A pesar de la existencia en la literatura de otras herramientas de evaluación de la sostenibilidad, como por ejemplo el método F-L-A (*Framework, Level, Actors*) de Jansen (2003) aplicado a la UPC según comentado en el Apéndice C, la metodología AISHE fue aplicada a la Universidade de Passo Fundo, ya que formó parte de la red internacional de investigación, coordinada por el DHO, con los resultados presentados en el Apéndice C.

La herramienta STARS (*Sustainability Tracking Assessment & Rating*) fue propuesta por la AASHE - *Association for*

*the Advancement of Sustainability in Higher Education*, según criterios organizados en cuatro grupos de indicadores: académico, compromiso, operación, planeamiento y administración, además hay un grupo adicional para la innovación. Para cada uno de estos grupos se asignan puntuaciones en 70 criterios, de acuerdo con la Figura 104 y Anexo IV, resultando en un ranqueo de la condición de sostenibilidad de una institución de educación (AASHE 2014): en su versión más reciente 2.0 también se abrieron criterios más flexibles de ajustes, con cálculos de indicadores de la relación del número de estudiantes y la dimensión de la Universidad e incluso aplicables a IES fuera de EE.UU. y Canadá (AASHE 2013a). Sin embargo, es de uso privado para el grupo de asociados y con costes, es decir, no está disponible de modo abierto.

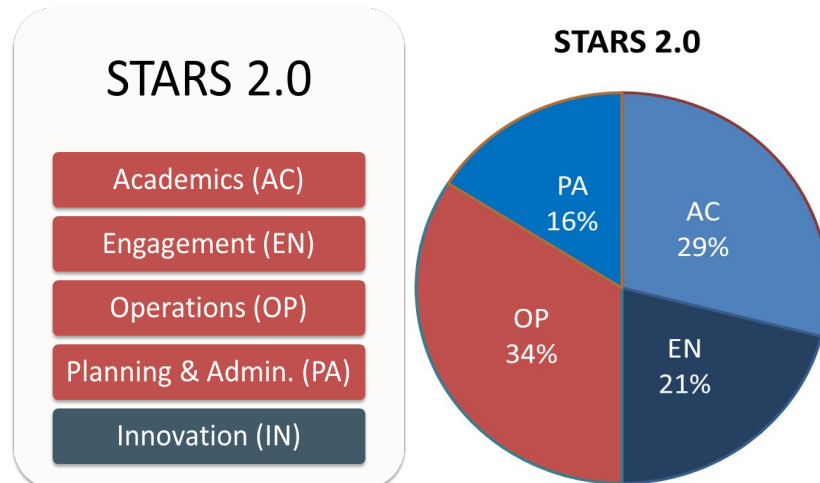


Figura 104 Sistema STARS: grupos de indicadores y puntuaciones (adaptado de AASHE 2013b, 8 - 10)

## B. PARÁMETROS NORMATIVOS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT TÉRMICO

### B.1 La contextualización energética de España y Brasil

Según los datos del informe de los Balances Energéticos españoles para 2013 (España 2014) un tercio de la cobertura de la demanda eléctrica anual estaba relacionada con fuentes renovables, incluyendo hidráulica, solar termoeléctrica, solar fotovoltaica, eólica y térmica renovable, conforme la Figura 105, que también presenta el consumo mundial de energía. En la producción de energía en España la fuente nuclear desempeña un importante impacto – 43,8%, mientras tanto las energías eólica, solar y geotérmica presenta un 22,7%. El Anexo I enseña otras comparaciones respecto a los sectores de servicios y educación: la evolución del consumo por fuente - Figura 175, la demanda sectorial de servicios - Figura 176, su estructura y la representatividad del sector de educación 13,8% - Figura 177.

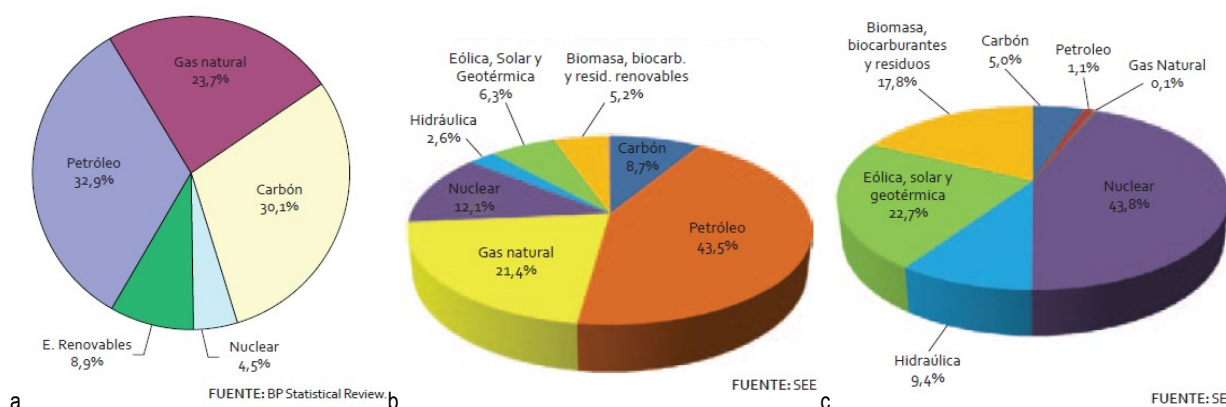


Figura 105 a. Consumo mundial de energía en 2012 – 12.730 MTEp; b. Consumo de energía primaria en España; c. Producción de energía primaria en España (España 2014, 24; 37).

No obstante, para situar las características energéticas en Brasil, su matriz se presenta un poco distinta de la española, marcada en gran parte por las fuentes renovables de energía ya que dispone de un potencial hídrico muy importante, con la generación hidroeléctrica correspondiente a un 70,6% del total, otras formas renovables (eólica y biomasa) contribuyen muy poco a la oferta energética para el año-base 2013 (EPE 2014a) como presenta la Figura 179 en el Anexo I.

Sin embargo, los datos del *Balanço Energético Nacional* para 2013 (EPE 2014a; 2014b) a lo que se refiere al consumo final de energía, la suma de todos los derivados del petróleo corresponde un 39,3%, según la Figura 106. Según el informe, hubo un aumento en el consumo final de electricidad en el país de 3,6%, con destaque en los sectores de vivienda y comercial, atendidos a partir de la expansión de la generación térmica, especialmente de las plantas de carbón mineral (+75,7%) y gas natural (+47,6%). Todavía el mayor consumo energético está en el sector



de transportes, basado en transporte por carretera. La evolución desde 1970 del consumo final por fuente está representada en la Figura 179 del Anexo I; ya la Figura 180 muestra el crecimiento de la electricidad en el sector de la vivienda.

Un dato importante apuntado por el balance energético es que las pérdidas entre la producción y consumo final, incluyéndose los procesos de transformación, alcanzaron un 18,6%.

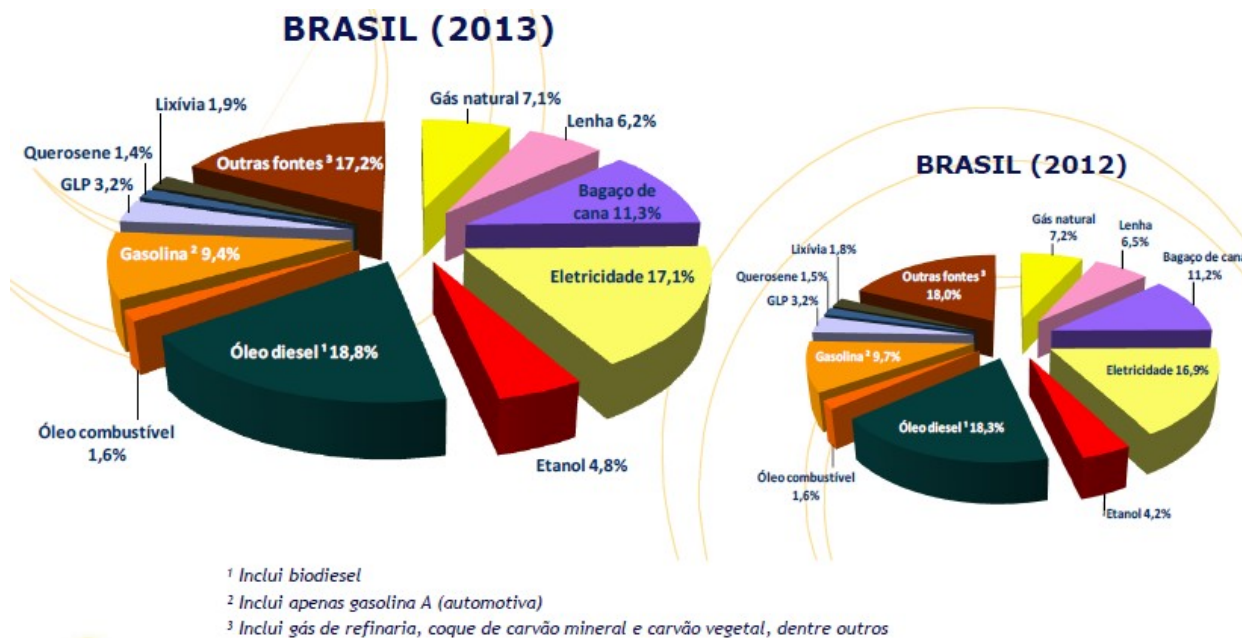


Figura 106 Consumo de energía final por fuente en Brasil (EPE 2014b, 18).

Otro punto de caracterización del panorama energético en Brasil es que ocupa el 5º puesto en las naciones con más emisiones de dióxido de carbono según informe del JCR – *Joint Research Centre* (Olivier et al. 2013), con la emisión en 2013 de cerca de 459 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (EPE 2014a), pero la mayor parte de estas emisiones están relacionadas con transporte, deforestación y las quemadas. A España corresponde 290 millones de ton/CO<sub>2</sub>eq.; el informe de Olivier et al. (2013, 14) hace reflexiones positivas para los esfuerzos españoles sea en términos normativos o cambios en la matriz energética, como la ampliación de la generación eólica, reducción de la generación térmica con carbón, contenidos en el Plan de Energía Renovables 2011-2020 (IDAE 2011a), y en especial en el sector de la edificación (IDAE 2011b, 192-222).

En la matriz eléctrica brasileña el impacto de la generación hidráulica y otras fuentes renovables suman a 79,3%, mientras que en el mundo corresponde a 20,3% y a los países miembros de la OECD un 18,1% (EPE 2014b). Pero las recientes condiciones hidrológicas desfavorables han disminuido el potencial hídrico, con una ampliación de la generación térmica e, incluso con alarmas de apagones para un futuro inmediato.

Recientemente, la gran discusión nacional estuvo en definir hasta qué punto las grandes usinas hidroeléctricas construidas hasta el momento, por ejemplo Itaipu con 13300MW, no causan grandes impactos ambientales por caracterizarse como una gran superficie de tierra sumergida – en el caso de Itaipu un área de 1.350km<sup>2</sup>; otro punto de conflicto entre el gobierno brasileño, bajo la bandera del desarrollo económico (EPE 2011), de otro lado los ambientalistas y la comunidad indígena (Santos y Hernandez 2009), ha sido la nueva hidroeléctrica en Amazonia, Belo Monte, insertada en áreas de población indígena que ya empiezan a desencadenar impactos sociales y

antropogénicos relevantes en el ecosistema natural, considerado de protección, con la superficie de inundación prevista de 516Km<sup>2</sup>, en construcción en este momento.

Otro punto de discusión es la retomada de la construcción de Angra III, planta nuclear de 1.350 MW prevista para entrar en funcionamiento en 2026, tras haber sido retrasada desde la década de 1980 por no presentar datos suficientes que comprueben su viabilidad ambiental y las medidas de seguridad (Bermann 2012), pese a las inversiones de cerca de 4,2mil millones de dólares. Este tema se ha vuelto especialmente polémico, tras los impactos catastróficos sufridos en 2011 en la planta de Fukushima, Japón.

Especialmente paradójico es que los planes energéticos brasileños para 2030 (Rossato 2007, 30) proponían reducir la participación de las energías renovables para un 40%, aunque hubiese 144 proyectos, en un total de 3.300MW de potencia instalada distribuidos en 63 PCH's (pequeñas centrales hidroeléctricas con menos de 30MW cada), 54 plantas eólicas y 27 plantas de generación térmica con base en la biomasa (residuos derivados de los procesos de industrialización de la de caña de azúcar, cáscara de arroz y biogás de vertederos, entre otras fuentes).

Con el *Plano Nacional de Eficiência Energética* - PNEf (Brasil 2011, 49-56) el gobierno brasileño propuso pautas para el sector de la educación, de manera a involucrar la comunidad escolar en la adopción de la cultura hacia la racionalización y conservación de energía, sea a través de los procesos educativos y de la concienciación, sea en la implantación de proyectos efectivos para la eficiencia energética, además de fomentar la formación de los recursos humanos e la investigación y desarrollo de tecnologías. El documento todavía se encuentra en fase de consulta pública y discusiones.

Además, la utilización de células de captación de energía solar no está contemplada en dichos planeamientos estratégicos, aunque disponga de un gran potencial de explotación en todo el vasto territorio nacional, con una buena uniformidad y con medias anuales relativamente altas de la irradiación global, pese a los diferentes contextos climáticos; el Atlas Brasileño de Energía Solar (Pereira et al. 2006) apunta las irradiaciones globales medias entre 5,2kWh/m<sup>2</sup> en la región sur y 5,9kWh/m<sup>2</sup> en la región nordeste, de acuerdo con la Figura 183 del Anexo I.

Según el estudio de Greenpeace (2010, 6) el potencial de energía renovable a ser aprovechada en Brasil, con las actuales tecnologías sería de 26,4 veces la demanda nacional, distribuidos en: solar 20, eólica 3, energía hídrica 3, biomasa 0,2 y energía oceánica 0,15 veces. La Figura 184 del Anexo I presenta los escenarios de referencia y de la revolución energética para la energía solar en Latino América (Greenpeace 2007); la organización también afirma que la estimativa de pérdidas entre la generación y la distribución de energía sea alrededor de 15%.

De estos porcentuales los edificios del sector de enseñanza representan una considerable participación, con una distribución de consumo según presenta la Figura 107, con datos para la Comunidad de Madrid (FENERCON 2011): a la iluminación equivale un 26%, mientras que para usos relacionados con el acondicionamiento térmico (climatización, ventilación, calefacción y refrigeración) el consumo equivalente al 42%.

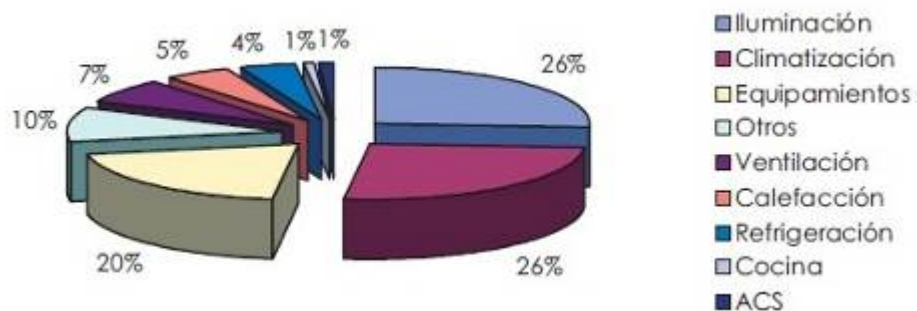


Figura 107 Distribución del consumo energético medio en centros escolares de la Comunidad de Madrid, 2011 (FENERCON 2011, 30).

La evaluación de los patrones del consumo de energía ha identificado para cada uno de los sectores (vivienda, industrial y comercial) los potenciales para la eficiencia energética, dentro de los ámbitos del Programa PROCEL, del gobierno de Brasil por el Ministério de Minas e Energia. Según el informe con base en los datos de 2005<sup>92</sup> (PROCEL 2008) para el sector de las instituciones de enseñanza superior, incorporado en el comercial, los costes promedio con energía son de un 15%, también apunta que el consumo de energía eléctrica es de 28kW/alumno. Con relación al consumo el uso de mayor impacto es para el acondicionamiento (43%), el segundo puesto es para la iluminación (26%); los usos de energía están presentados en la Figura 108, al compararse con los datos para la Comunidad de Madrid (FENERCON 2011) - Figura 107, los datos son muy semejantes.

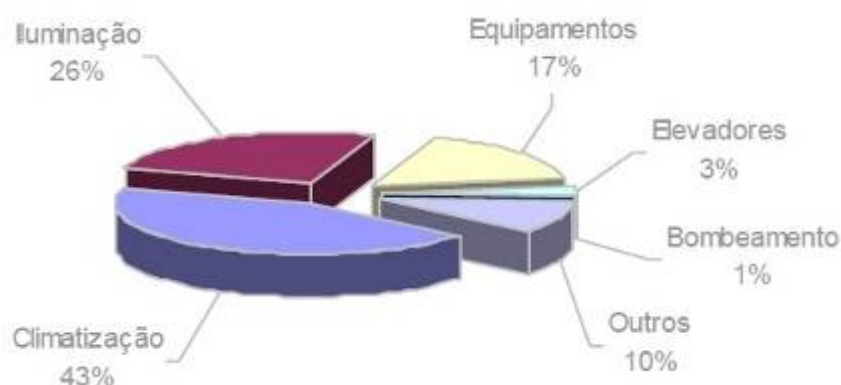


Figura 108 Usos energéticos en las instituciones de enseñanza en Brasil, 2005 (PROCEL 2008).

Para caracterizar el impacto de los usos en los sectores residencial y de servicios - Figura 181, del Anexo I - el estudio promovido por el CBCS – *Conselho Brasileiro de Construção Sustentável* - y el PNUMA – *Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente* - presenta la evaluación del contexto nacional y la perspectiva de aumento - Figura 182- además de proponer aspectos para contribuir con la eficiencia energética en los edificios, pautas incorporadas a lo largo del trabajo, en especial para las fases de aplicación de políticas institucionales (CBCS 2014).

Un resultado sorprendente de la evaluación del mercado energético para las instituciones de enseñanza (PROCEL 2008) es que cuando fueron cuestionadas sobre la posibilidad de reducción del consumo de energía, manteniéndose el mismo nivel de las actividades, un 31,5% de las instituciones de enseñanza superior y el 41,5% de las de enseñanza básica no han admitido cualquier posibilidad de reducción; sin embargo, el 33,3% de las instrucciones superiores y el 41,5% de las básicas han informado una posible reducción del 5 al 10%.

<sup>92</sup> Desafortunadamente no hay informes específicos en el sector de educación en los últimos años.

Incluso las prácticas adoptadas por las universidades brasileñas, en especial las privadas, siguen un camino al revés, es decir, proponen la ampliación en el uso de equipamientos informáticos y la instalación de aparatos de acondicionamiento térmico sin vinculación con las evaluaciones técnicas de las variables arquitectónicas, como la programación, orientación solar, características de la envolvente, desencadenando el correspondiente aumento de la potencia instalada pero sin garantizar la eficiencia de los sistemas en términos de consumo energético, de mejora de las condiciones de habitabilidad y directamente proporcional a los costes económicos.

## **B.2 La DEEE y el Código Técnico de la Edificación**

Considerando las condiciones del conjunto de políticas de protección del medio ambiente, para cumplir lo dispuesto por el Protocolo de Kyoto y para instaurar y aplicar programas de rendimiento energético en los edificios, el marco normativo general para la Comunidad Europea fue la puesta en marcha de la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios o *Directiva Europea para la Eficiencia Energética* – DEEE (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2002). La Directiva establecía “el marco general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios” (idem, 257), basado en la aplicación de requisitos mínimos con la evaluación de la demanda energética y certificación obligatoria de los edificios.

A lo largo de la década hubo actualizaciones de las normativas europeas con la Directiva 2009/28/CE (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2009) que propone el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, de manera a que los Estados Miembros desarrollen políticas que desempeñen un papel importante para fomentar la seguridad del abastecimiento energético, el desarrollo tecnológico y la innovación.

La DEEE (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2002, 253) especificaba que la eficiencia energética de los edificios debe ser calculada con una metodología adecuada a las especificidades regionales, “que comprenda no sólo el aislamiento térmico sino también otros factores que desempeñan un papel cada vez más importante, tales como las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, la utilización de fuentes de energía renovables y el diseño del edificio”; indica que la eficiencia energética de un edificio se exprese de una forma clara, permitiendo la inclusión de un indicador de emisiones de CO<sub>2</sub>.

La entrada en vigor de DEEE y la exigencia de que los Estados Miembros de la Comunidad Europea instaurasen y aplicasen programas de rendimiento energético en el sector de los edificios a partir de enero de 2006, han desencadenado diversas iniciativas nacionales para establecer una metodología que observe las condiciones específicas de sus edificios y requerimientos climáticos para confort interior.

La normativa DEEE prescribe un proceso de certificación y una aplicación a escala regional o nacional de una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios: para todos aquellos de nueva construcción con área útil total de más de 1.000m<sup>2</sup>, para los existentes con superficie útil también superior a los 1.000m<sup>2</sup> determinaba que se establezcan medidas para garantizar reformas para mejorar su eficiencia energética.

Igualmente, hubo una revisión y actualización de la DEEE en 2012 por medio de la Directiva 2012/27/UE (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2012), donde se propone la función “ejemplarizante” de los edificios de los organismos públicos, de manera que cumplan por lo menos el rendimiento energético mínimo; además de establecer criterios básicos para las auditorías energéticas, la cogeneración de electricidad, de entre

otros temas para el desarrollo de nuevas tecnologías e innovación.

En España corresponde al Código Técnico de la Edificación - CTE, que en su Documento Básico HE: Ahorro de Energía (España, Ministerio de Vivienda 2006; España, Ministerio de Fomento 2009; 2010; 2013), establecer las reglas y procedimientos para cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía, cuyo objetivo “consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria a la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable” (idem, HE-I). El documento establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir los requisitos mínimos de calidad y de ahorro de energía, dividido por secciones correspondientes a cada ámbito específico:

- a. HE1: limitación de demanda energética;
- b. HE2: rendimiento de las instalaciones térmicas;
- c. HE3: eficiencia energética de las instalaciones de iluminación;
- d. HE4: contribución solar mínima y agua caliente sanitaria;
- e. HE5: contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

Para cada uno de los ámbitos propone las respectivas metodologías y herramientas de cálculo: para la Limitación de la Demanda Energética, el programa informático de referencia es el LIDER (AICIA 2001a; 2001b; 2005), mientras que el CALENER GT y VYP (AICIA 2002), además de la demanda, evalúa el rendimiento de las instalaciones y sistemas. Molina et al. (2004) hacen una presentación de las características de las herramientas, tanto del motor de cálculo y algoritmos, validados por los programas norte-americano DOE 2.1E y DOE-2.2 (DOE 2008; 2010), así como los alcances de cada una de ellas, destacando incluso las restricciones de modelización por el Programa de Entrada Gráfica – EG (AICIA 2003), por ejemplo, los espacios habrán de estar limitados por elementos planos y fachadas formadas por elementos planos rectangulares y verticales.

El programa LIDER realiza la simulación de la demanda energética considerando las zonas térmicas del edificio, centrandose en los análisis en las características de la envolvente (cerramientos verticales, cubiertas, etc.), según parámetros de confort predeterminados por el propio programa. También están prefijadas las actividades y usos, además de los equipos; al final los cálculos de la demanda son comparados al "edificio de referencia", según los requisitos mínimos para cumplir las exigencias del CTE para su zona climática, es decir que hay que demostrar que el edificio demandará menos energía que otro con las mismas características de geometría, condiciones de uso y emplazamiento (Molina et al. 2004). Para Cuchi i Burgos (2009, 201) presenta limitaciones por su carácter eminentemente normativo, con la simulación de soluciones que no contemplan el aislamiento de los cerramientos o la selección de materiales y soluciones constructivas, tampoco admitía la simulación de estrategias pasivas o bioclimáticas.

El programa CALENER a los términos de la revisión del RITE – Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (España, Ministerio de la Presidencia 2007b; 2009) para adecuación a los requerimientos mínimos de rendimiento, afecta a los equipos definidos por las normativas DEEE y CTE, y sobre todo por el Real Decreto 47/2007 (España, Ministerio de la Presidencia 2007a) con la obligatoriedad de la certificación energética para los edificios. La versión GT está dirigida a los grandes edificios del sector terciario, evaluando el consumo de energía y

las emisiones de CO<sub>2</sub> de los equipos y sistemas, de acuerdo con la matriz energética utilizada. En la evaluación de Cuchí i Burgos (2009, 198) es una herramienta potente, con un elevado grado de complejidad, sin embargo también por su carácter normativo, pierde sus potencialidades como herramienta de evaluación energética de los edificios. Por otro lado el CALENER VYP, para edificios de viviendas y pequeños y medianos edificios terciarios, también simula el funcionamiento de los sistemas comparándolo con los datos de referencia, permitiendo conocer la clase energética del edificio (de la A hasta la G, más o menos eficiente; presenta las mismas restricciones para las simulaciones y la opción de insertar las soluciones pasivas o bioclimáticas del programa LIDER (Cuchí i Burgos 2009, 199).

En las actualizaciones de los programas informáticos (España. Ministerio de Fomento 2014a) hubo la unificación de las herramientas LIDER-CALENER (España. Ministerio de Fomento 2014a; 2014b; 2014c) con diversos ajustes en la entrada de datos y en el motor de cálculo, todavía pendientes de ser evaluados ya que su versión más reciente es de marzo de 2014.

De aprobación reciente, el Real Decreto 56/2016 (España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo 2016), transpone la DEEE 2012/27/UE, en los que se refiere a las auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía. Igualmente se dispone a cerca de la promoción de la eficiencia energética en los procesos de producción y uso del calor y del frío.

En el ámbito regional o autonómico complementario al DEEE y CTE, para Cataluña el marco normativo del Decret 21/2006 (Generalitat de Catalunya 2006) regula la adopción de los criterios ambientales y de la ecoeficiencia en los edificios de nueva construcción y de rehabilitación. Como parámetros de ecoeficiencia toma como base la definición de límites para las prestaciones finales del edificio; hace referencia a los conceptos del agua, energía, materiales y sistemas constructivos y residuos, con un sistema de puntuaciones de buenas prácticas con respuestas sí/no para el cumplimiento de cada uno de los parámetros.

El *Decret* catalán en el tema de la energía está asociado al consumo de uso del edificio y principalmente aquel de mayor incidencia que es la climatización (calefacción y enfriamiento); para López Plazas (2006b) olvida la energía asociada a la fabricación, transporte y puesta en obra de los materiales, es decir, aunque presente como concepto incidir sobre toda la vida útil de la edificación, la normativa se muestra parcial.

López Plazas (2006b) también es muy crítico a cerca de la extensión de la normativa, cuestionando su modelo conceptual, en este sentido pare él "es necesario que la legislación promueva un nuevo modelo, fundamentado en la reducción de la demanda de recursos energéticos del proyecto por medio de estrategias que aprovechen al máximo las condiciones del entorno natural, acompañadas de una elección precisa de los sistemas que atiendan a esta demanda, con soluciones de uso de recursos renovables, de gran eficiencia en el uso y gestión de los mismos". En su evaluación general cumple su función de reglar en términos autonómicos las normativas europea y española, incluso con algunos puntos más restrictivos en lo que se refiere a los coeficientes de transmisión térmica, pero "pierde la oportunidad de promover un salto adelante para un cambio de modelo o estimular nuevas formas de abordar una problemática ignorada por la legislación vigente hasta entonces".

Volviendo al ámbito internacional, pero con una característica no obligatoria, la International Organization for Standardization - ISO ha impulsado el desarrollo de la *ISO 50001: Energy management system - requirements with*

*guidance for use* (ISO 2011a), con la premisa de que la energía puede ser un punto crítico para la operación de las organizaciones, sea en el sector público o privado, independiente de su tamaño y localización en el mundo. Teniendo en cuenta que ha sido el resultado de estudios de expertos a lo largo de años, con representaciones de más de 60 países, pretende ser un marco común para el tema. Además de la preocupación con los costes económicos, la ISO 50001 pretende contribuir de manera positiva en la disminución de los costes ambientales y sociales decorrentes de la utilización de los recursos energéticos, e incluso reducir los desperdicios energéticos y mitigar los efectos globales de los cambios climáticos (ISO 2011b).

El llamado EnMS (*Energy Management System*) o SGen (Sistema de Gestión de la Energía) presenta interfaces y compatibilidades con las normativas de gestión de la calidad (ISO 9001), gestión medioambiental (ISO 14001), adoptando el proceso PDCA, de acuerdo con lo anteriormente presentado en el Capítulo 2. Tiene la intención de implementar la eficiencia energética, la reducción de costes y la mejora del desempeño energético, de manera integrada a las otras modalidades de gestión y práctica.

El modelo de la ISO 50001 (Figura 109) presume que las organizaciones fijen sus propias políticas energéticas, estableciendo objetivos, metas y acciones para alcanzarlas. Sin embargo la normativa no propone una certificación rígida, sino dependiente de las decisiones inherentes del EnMS y de los compromisos de la política energética, incluso adoptando otras herramientas como el registro o la auto-declaración a ser determinada por la misma organización o mediante auditorías externas.

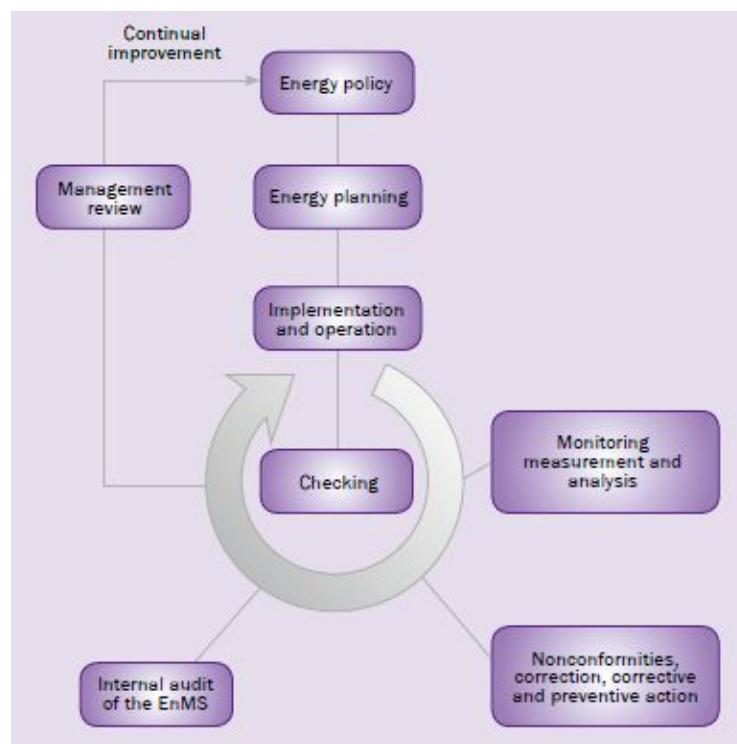


Figura 109 Modelo de EnMS - Energy Management System (ISO 2011b, 8).

El proceso de PDCA aplicado a la ISO 50001 puede ser resumido de la siguiente manera (ISO 2011a, 7):

- *Plan*: conducir la revisión de energía y las bases de los usos en el pasado y las proyecciones futuras, establecer los indicadores de desempeño (EnPIs), establecer los objetivos, metas y planos de acciones

para obtener los resultados esperados de acuerdo con las oportunidades de mejora en la gestión energética y, sobretodo, de la política específica de la organización;

- *Do*: implementar el plan de acciones de la gestión energética;
- *Check*: monitorizar y medir los procesos y las características claves de la operacionalización, según la política y los objetivos específicos, con el registro de los informes de resultados obtenidos;
- *Act*: actuar para la continuidad de la mejora del desempeño energético y del EnMS y su retroalimentación.

En una interesante contribución para el conocimiento y difusión de la ISO 50001, teniendo en cuenta que ha sido publicada en 2011, el BSI Group (2011) ha redactado un informe a modo de guía tratando de compararla con la ya absorbida y reconocida ISO 14001. La primera se centra en la mejora continua del desempeño energético, la eficiencia y el consumo, mientras que la 14001 ayuda a identificar sistemáticamente y gestionar todos sus impactos ambientales en el sentido más amplio.

Por otra parte el EnMS hace hincapié en que el proceso de planificación energética sea coherente y va más allá de la 14001 en los temas de las responsabilidades, con la formación de equipos de gestión de energía y elementos de control. En los aspectos de seguimiento y medición también la 50001 es más específica al estipular unos requisitos mínimos a ser controlados, medidos y analizados por medio de los EnPIs, identificando usos significativos. Otro punto de relieve identificado es la posibilidad de reconocer la mejora de eficiencia en el diseño de las instalaciones, equipos, sistemas y procesos, y sobre todo, permitir a la organización o institución controlar o mejorar el cumplimiento con las regulaciones acerca de la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el marco actual, la EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*, actualizada en 2010 (Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea 2010) define los parámetros para que los Estados miembros se aseguraren que a más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, y después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Como edificio de consumo de energía casi nulo (*near Zero Energy Buildings - nZEB*) se define el “edificio con un nivel de eficiencia muy alto, que se determinará de conformidad con el Anexo 1. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuente renovables, incluida de energía procedente de fuentes renovables producida *in situ* o en el entorno” (Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea 2010, 18).

De acuerdo con el anexo 1 de la EPBD, a fin de lograr la eficiencia energética de un edificio “se determinará partiendo de la cantidad, calculada o real, de energía consumida anualmente para satisfacer las distintas necesidades ligadas a su utilización normal, que refleje la energía necesaria para la calefacción y la refrigeración (energía necesaria para evitar un calentamiento excesivo) a fin de mantener las condiciones de temperatura previstas para el edificio y sus necesidades de agua caliente sanitaria” (Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea 2010, 29).

Marszal et al. (2011) consideran que el tema es la principal meta para el futuro del diseño de los edificios, pero el concepto necesita una clara y consistente definición y una aceptación común de las metodologías de cálculo; los



autores subrayan que el *nZEB* sea una realística solución para la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la reducción del uso de energía en el sector de la construcción. Además de presentar una larga revisión bibliográfica de las definiciones y herramientas para cálculo, Marszal et al. (2011, 975) presentan un resumen de las opciones de generación de energía renovable *on-site* y *off-site*, para alcanzar estos objetivos, de acuerdo con la Figura 110.

El tema ha sido objeto de investigaciones a lo largo de los últimos años. También relacionado con las definiciones, Hernandez y Kenny (2010) desarrollan su estudio en el ciclo de vida de los edificios energía cero (LC-ZEB), al constatar que en algunas normativas de los Estados europeos la energía incorporada no ha sido incluida en las metodologías de cálculo, en este sentido, proponen una metodología simplificada. Lund, Marszal y Heiselberg (2011) identificaron un desajuste entre cero energía y cero emisiones, por una diferencia entre los cálculos entre la energía producida y la energía consumida; los autores indican compensaciones para solucionar el posible desajuste positivo o negativo.

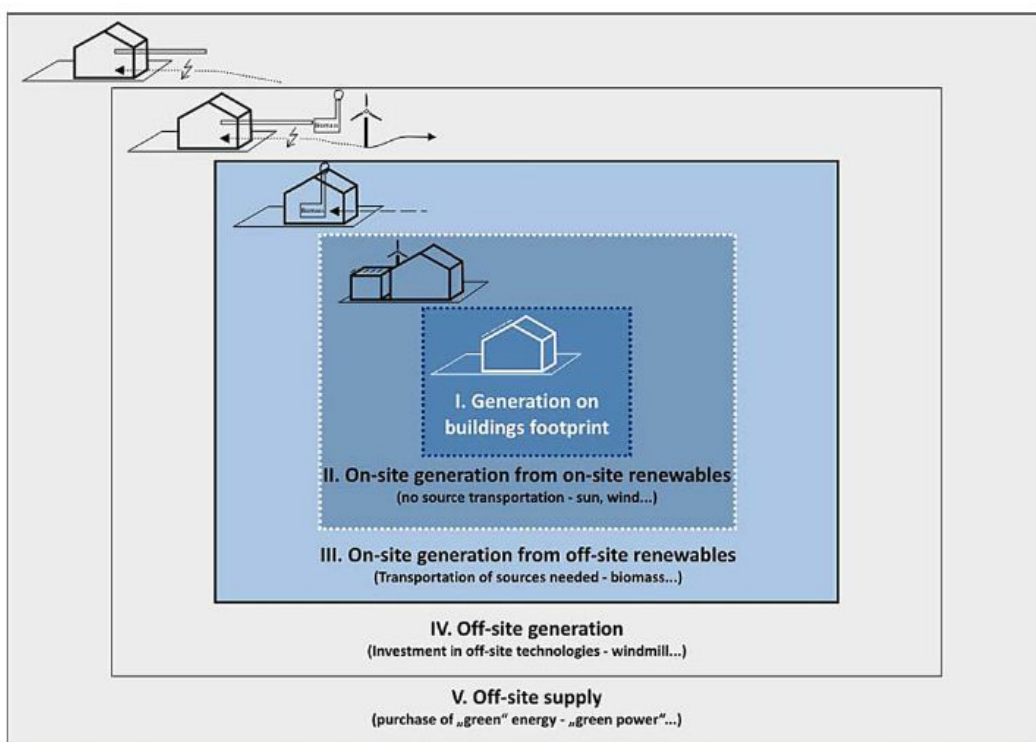


Figura 110 Opciones de posibles fuentes de energía renovables (Marszal et al. 2011, 975).

Para promover las políticas hacia el *nZEB* en los Estados miembros, el Buildings Performance Institute Europe – BPIE - presenta una guía (Boermans et al. 2011) con las implicaciones y los desafíos para la implementación, los principios y a propuesta de las respectivas abordajes están presentadas en la Figura 111. Los autores consideran que hay que observar la interacción entre los aspectos financieros y de mercado, técnicos, político y jurídico, medioambientales y sociales.

Boermans et al. (2011, 48-49) apuntan que una definición adecuada y factible del *nZEB* debe tener las siguientes características:

- Ser claro en sus objetivos y términos, para evitar malentendidos y fracasos de implementación;
- Ser técnica y económicamente viable;

- Ser lo suficientemente flexible y adaptable a las condiciones climáticas locales, la construcción de las tradiciones, etc., sin comprometer el objetivo general;
- Construirse sobre las normas y prácticas de bajo consumo de energía existentes;
- Permitir e incluso fomentar la libre competencia entre las diferentes tecnologías;
- Ser ambicioso en términos de impacto ambiental y ser elaborado como un concepto abierto, capaz de seguir el ritmo del desarrollo de la tecnología;
- Ser elaborado sobre la base de un amplio consenso de los principales actores (políticos, diseñadores, la industria, inversores, usuarios, etc.);
- Ser fuente de inspiración y para estimular el apetito de una adopción más rápida.

<p><b>First nZEB Principle: Energy demand</b></p> <p>There should be a clearly defined boundary in the energy flow related to the operation of the building that defines the energy quality of the energy demand with clear guidance on how to assess corresponding values.</p>	<p><b>Second nZEB Principle: Renewable energy share</b></p> <p>There should be a clearly defined boundary in the energy flow related to the operation of the building where the share of renewable energy is calculated or measured with clear guidance on how to assess this share.</p>	<p><b>Third nZEB Principle: Primary energy and CO<sub>2</sub> emissions</b></p> <p>There should be a clearly defined boundary in the energy flow related to the operation of the building where the overarching primary energy demand and CO<sub>2</sub> emissions are calculated with clear guidance on how to assess these values.</p>
<p><b>Implementation approach:</b> This boundary should be the energy need of the building, i.e. the sum of useful heat, cold and electricity needed for space cooling, space heating, domestic hot water and lighting (the latter only for non-residential buildings). It should also include the distribution and storage losses within the building.</p> <p><b>Addendum:</b> The electricity (energy) consumption of appliances (plug load) and of the other building technical systems (i.e. lifts, fire security lighting etc.) may also be included in the nZEB definition as an additional indicative fixed value (similar to the approach on domestic hot water demand in most of the MSs building regulations).</p>	<p><b>Implementation approach:</b> This could be the sum of energy needs and system losses, i.e. the total energy delivered into the building from active supply systems incl. auxiliary energy for pumps, fans etc.</p> <p>The eligible share of renewable energy is all energy produced from renewable sources on site (including the renewable share of heat pumps), nearby and offsite being delivered to the building. Double counting must be avoided.</p>	<p><b>Implementation approach:</b> This is the primary energy demand and CO<sub>2</sub> emissions related to the total energy delivered into the building from active supply systems.</p> <p>If more renewable energy should be produced than energy used during a balance period, clear national rules should be available on how to account for the net export.</p>

Figura 111 Principios y abordajes para el nZEB desarrollado por el BPIE (Boermans et al. 2011, x).

En el Anexo VI - Figura 189, se presenta la simulación de los resultados de la evaluación de un edificio de oficinas de referencia para la zona climática de Madrid, según las propuestas de metodología del BPIE; la investigación compara con edificios de viviendas y oficinas también en las zonas climáticas de Copenhagen y Stuttgart.

El informe final del proyecto desarrollado por el grupo de investigación compuesto por Ecofys, Politecnico di Milano/ eERG y University of Wuppertal (2013) reúne una amplia revisión del tema, incluso los estudios de Marszal et al. (2011), de manera a contribuir para la efectiva puesta en marcha de la EPBD; entre las metodologías investigadas, la Figura 112 enseña un panorama a cerca de los criterios de selección para el análisis energético y su evaluación.

El informe también presenta el panorama de cada uno de los Estados miembros respecto al tema, apuntando que en España, hasta aquel momento no había una definición clara del edificio de consumo de energía casi nulo, además de también relatar que en las certificaciones no estaban establecidos los requisitos máximos para el consumo de energía (Ecofys, Politecnico di Milano/ eERG y University of Wuppertal 2013, 105-106).

A Net Zero Energy Building is the "building system" delimited by set physical boundaries, connected to any energy infrastructure, which balance between its weighted energy loads and supplies is zero.

		Net ZEB limited	Net ZEB primary	Net ZEB strategic	Net ZEB carbon
Building system boundary	Balance boundary	HEATING DHW COOLING VENTILATION AUXILIARIES BUILT-IN LIGHTING (only non residential buildings)	HEATING DHW COOLING VENTILATION AUXILIARIES BUILT-IN LIGHTING PLUG LOADS	HEATING DHW COOLING VENTILATION AUXILIARIES BUILT-IN LIGHTING PLUG LOADS	HEATING DHW COOLING VENTILATION AUXILIARIES BUILT-IN LIGHTING PLUG LOADS
	Weighting system				
Weighting system	Metric	PRIMARY ENERGY	PRIMARY ENERGY	Whichever metric desired	CARBON EMISSION
	Symmetry	SYMMETRIC	SYMMETRIC	SYMMETRIC or ASYMMETRIC	SYMMETRIC or ASYMMETRIC
	Time dependent accounting	STATIC OR QUASI-STATIC	STATIC OR QUASI-STATIC	STATIC OR QUASI-STATIC	STATIC OR QUASI-STATIC
Net ZEB balance	Energy efficiency	NATIONAL/LOCAL ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS ARE FULFILLED	NATIONAL/LOCAL ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS ARE FULFILLED	ANY NATIONAL/LOCAL ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS HAS TO BE FULFILLED	ANY NATIONAL/LOCAL ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS HAS TO BE FULFILLED
	Energy supply	ON SITE GENERATION DRIVEN BY ON/OFF SITE SOURCES	ON SITE GENERATION DRIVEN BY ON/OFF SITE SOURCES	ON/OFF SITE GENERATION DRIVEN BY ON/OFF SITE SOURCES	ON SITE GENERATION DRIVEN BY ON/OFF SITE SOURCES

Figura 112 Criterios de selección en las definiciones de la EPBD (Ecofys, Politecnico di Milano/eERG y University of Wuppertal 2013, 73).

### B.3 Las normativas brasileñas para la eficiencia energética

#### Eficiencia energética de los edificios

En Brasil, de acuerdo con las características de la matriz energética presentada en el Apéndice B.1, hasta hace poco tiempo las normativas estaban limitadas a definir los tipos de suministro energético y tarifaciones; sin embargo, el tema de la eficiencia energética en los edificios ha sido objeto de la creación del *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica* - PROCEL en 1985, bajo la perspectiva de la crisis de los combustibles fósiles. En los edificios en sus primeras actuaciones el programa ha tenido un carácter educativo y de orientación básica dirigido a los edificios públicos (Magalhães 2001), presentando un análisis muy simplificado de las instalaciones y del consumo de energía; por otro lado, el PROCEL ha sido el responsable por el sistema de certificación de electrodomésticos y equipamientos, *Selo PROCEL de Economía de Energía* - Figura 113, y *Selo PROCEL INMETRO de Desempenho* para bombillas, reactores y motores diversos.

Las primeras iniciativas normativas para la eficiencia energética se desarrollaron a partir del año 2000 con el Decreto nº3.330/2000 ((PROCEL 2008a, 73-74), que determinaba una reducción en 20% en el consumo de energía eléctrica en los edificios de la administración pública, reto a ser obtenido hasta finales del 2002; desafortunadamente esta normativa no tuvo efecto práctico, ni con su complementación en el 2001 - Decreto nº3.789/2001 (PROCEL 2008a, 61-63), como respuestas emergenciales a los diversos apagones energéticos ocurridos en Brasil en aquel período.





En la propuesta de difusión de conocimientos para la puesta en marcha de la eficiencia energética en los edificios brasileños, el programa PROCEL-EDIFICA fomenta la publicación de guías<sup>93</sup> con las nociones básicas que se pueden incorporar el proceso de diseño arquitectónico, lo que permite la optimización del diseño sobre su entorno climático y las necesidades de sus futuros ocupantes (Barroso-Krause 2011); presentando los principios de sostenibilidad y su relación con el parque construido (Lomardo 2011); clima urbano o cuadernos de buenas prácticas de edificios con una tipología funcional específicas (centros comerciales, edificios públicos, viviendas, etc.).

Ya en el ámbito normativo, se implementó en 2009 el *Programa Nacional de Etiquetagem Voluntária de Edificações* (PROCEL 2009), en este sentido el proceso de certificación de los edificios en Brasil se realiza de forma diferente para los de uso comercial, servicio y público y los de viviendas, según la metodología para la clasificación de los niveles de EE - Eficiencia Energética - publicada en 2009 (Portaria 185/2009 - Brasil 2009), revisada en 2010 (Portaria 372/2010 - Brasil 2010) y también ampliada para la clasificación de los edificios de vivienda (Portaria 122/2011 - Brasil 2011a). Inicialmente la certificación será de carácter voluntario para edificios con más de 500m<sup>2</sup>, pasando a tener un carácter obligatorio en el plazo máximo de 5 años a partir de su implementación, válida tanto para nueva construcción como para los edificios existentes; actualmente algunos concursos para proyecto de edificios públicos ya consideran los requisitos para certificación energética. Estos plazos se han modificado, de acuerdo con lo comentado más adelante.

Según los *Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos* - RTQ-C (PROCEL 2010a; Brasil 2013b), los certificados son concedidos en dos momentos: en la etapa de proyecto y después de su construcción; la evaluación del proyecto puede ser por el método prescriptivo o por simulaciones informáticas, mientras que en el edificio la evaluación se hace por medio de inspecciones *in-situ*, siguiendo los procedimientos contenidos en el RAC-C - *Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos* (PROCEL 2010b; 2012). Los reglamentos RTQ-C y RAC-C incluyen tres requisitos principales: el desempeño térmico de la envolvente del edificio, la eficiencia y potencia instalada de los sistemas de iluminación y la eficiencia del sistema de acondicionamiento de aire - Figura 114.

En la envolvente se consideran las condiciones del proyecto arquitectónico como orientación solar, superficies acristaladas, propiedades térmicas de los materiales y la sombra en las fachadas; en los sistemas de iluminación son evaluados las potencias instaladas para el alumbrado artificial y las estrategias para el aprovechamiento de la luz natural; por último, para los sistemas de acondicionamiento de aire se consideran los coeficientes de desempeño de los sistemas independientes o central.

Además de los requisitos obligatorios la normativa prevé estrategias complementares tales como la generación de energía fotovoltaica o eólica, el calentamiento de agua sanitaria, el uso racional del agua o la cogeneración, estos aspectos se pueden considerar como bonificaciones para mejorar el nivel de eficiencia.

En los edificios de viviendas los documentos RTQ-R (Brasil 2011a; 2012b) y RAC-R (PROCEL 2011), siguen la misma metodología básica de los documentos para los edificios comerciales y públicos, pero la evaluación

---

<sup>93</sup> Guías y documentos del PROCEL-EDIFICA disponibles en: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>.

considera la envolvente y los sistemas de calentamiento de agua sanitaria - ACS y los sistemas de los espacios comunes de los edificios multifamiliares (iluminación, ascensores, bombas, etc.).

El método está basado en la construcción del modelo real y de los modelos de referencia para cada uno de los cinco niveles de eficiencia (de la A hasta la E), esto significa la construcción de cinco modelos<sup>94</sup>: el real y otros cuatro para los niveles del A hasta la D, pues el nivel E es considerado para cuando el edificio no cumpla con ninguno de los límites, Figura 115. De esta manera, para la certificación deberá ser demostrado que el consumo de energía del proyecto propuesto debe ser igual o menor que el consumo del edificio de referencia para cada una de las clasificaciones del nivel de eficiencia.

En el modelo real deben ser utilizadas todas las características de la edificación, como coeficientes de transmisión térmica de muros y cubiertas, tipo de acristalamiento,  $PAF_T$  - Porcentaje de Aperturas en la Fachada Total, absorbancia de muros y cubiertas, ángulos de sombra en las ventanas - AVS y AHS, etc.

Todos los sistemas de acondicionamiento deben ser representados, incluso cuando posean patrones de uso distintos para diferentes períodos del año, cuando se realiza con ventilación natural, deben ser comprobadas las condiciones de confort térmico de los ambientes.

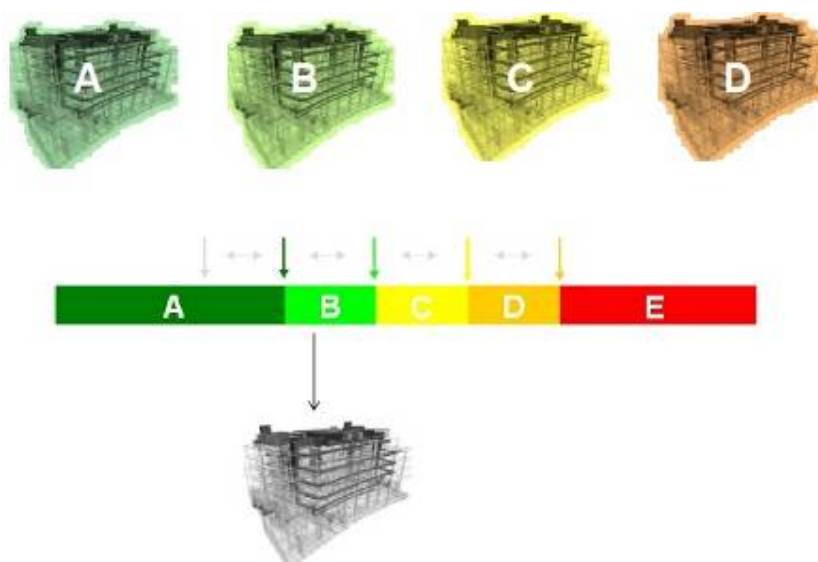


Figura 115 Modelos para la simulación de edificios y el modelo real (Lamberts et al. 2011).

Para cada uno de los modelos de referencia para los niveles de eficiencia hay que considerarse las especificaciones para las variables según los parámetros determinados por el método prescriptivo de los reglamentos, para la zona bioclimática de ubicación específica, presentados en el Anexo XXI. Por ejemplo, para el cálculo de  $PAF_T$  habrá que respetar las proporciones del modelo real, como muestra la Figura 116, o para los sistemas de aire acondicionado el CoP - Coeficiente de Performance, la razón entre la capacidad de refrigeración/calentamiento y la potencia eléctrica consumida (W/W), predeterminado también para cada uno de los niveles.

<sup>94</sup> En este punto las normativas brasileñas se contradicen: en el RTQ-C (PROCEL 2010a, 73) en el método por simulación "dos modelos deben ser construidos", uno representando el edificio real y otro el modelo de referencia, según el nivel de eficiencia pretendido, mientras que para el documento de aplicación del RTQ-C y RAC (Brasil 2010b, 148) se refieren tanto a los dos como a los cinco modelos; en el texto de la revisión de los reglamentos (Brasil 2013a; 2013b) se corrigieron estos equívocos con la unificación para los cuatro modelos de referencia.

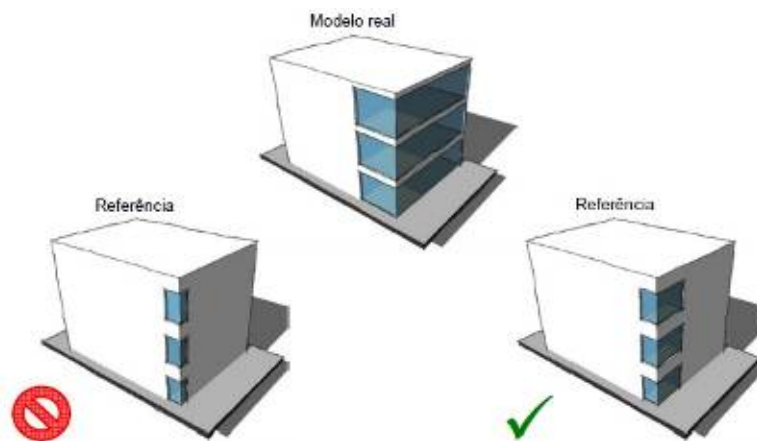


Figura 116 Proporciones de aperturas en las fachadas en los modelos real y de referencia (Lamberts et al. 2011, adaptado de PROCEL 2010b, 157-158).

En el caso de adopción de una herramienta de evaluación y certificación según las normativas brasileñas se determinarían el nivel de eficiencia para el desempeño de los edificios, en lo que respecta a la envolvente (*Env*), la potencia instalada de los sistemas de iluminación (*DPI*) y de acondicionamiento del aire (*CA*). Para cada uno de estos criterios se definen pesos, distribuidos en  $Env=30\%$ ;  $DPI=30\%$  y  $CA=40\%$  (PROCEL 2010a, 15).

Sin embargo, la normativa RTQ-C (PROCEL 2010a, 17-23) establece prerequisites generales mínimos clasificatorios para cada nivel de eficiencia:

- poseer circuitos eléctricos con posibilidad de medición centralizada por uso final o poseer equipo instalado que permita dicha medición;
- sistema de agua caliente (ACS) para edificios con alta demanda como gimnasios, clubs, hospitales y alojamientos, donde el consumo de agua caliente represente un porcentaje igual o mayor que un 10% del consumo de energía;
- que los ascensores posean accionamiento por inversores de frecuencia; para los edificios construidos después de la fecha de publicación del RTQ tendrán que poseer accionamiento "microprocesado" con inversor de frecuencia y "frenaje regenerativa", además de utilizar máquinas sin engranajes *gearless*.

Como sistema de bonificaciones (PROCEL 2010a, 22-23), las iniciativas que aumenten la eficiencia del edificio podrán recibir hasta un punto en la clasificación general, desde que justificadas y comprobadas, tales como sistemas y equipamientos para ahorro de consumo de agua, sistemas o fuentes renovables de generación de energía (placas solares para ACS, generadores eólicos o paneles fotovoltaicos), sistemas de cogeneración e innovaciones técnicas, como por ejemplo, la iluminación natural efectivamente representen ahorro de energía.

Tabla 41 Equivalente numérico para cada nivel de eficiencia - *EqNum* (PROCEL 2010a, 17)

PT	Clasificación final
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

La clasificación se basa en la ecuación 8, atribuyéndose la equivalencia numérica (*EqNum*) para la clasificación en

cada nivel de eficiencia -

Tabla 41.

En mayo de 2012 la ELETROBRAS PROCEL desencadenó el proceso de consulta pública (Brasil 2012b) para revisar la aplicación de los reglamentos RACs, con la intención de unificarlos para todo tipo de edificios, consolidado en la Portaria nº50/2013 (Brasil 2013a).

Según el Plan Nacional de Eficiencia Energética - PNEf (Brasil 2011b) las certificaciones pasarían de voluntarias para compulsorias a partir del 2030, pero para los edificios públicos con exigencia de aplicación en el 2020 y 2025 para comerciales y de servicios. Sin embargo, de acuerdo con la *Instrução Normativa MPOG/SLTI Nº2* (Brasil 2014), desde agosto de 2014 es obligatoria la utilización de la *Etiqueta Nacional de Conservação de Energia* (ENCE) en los edificios públicos federales, de nueva construcción o con procesos de *retrofit*, incluso con la elaboración y difusión de un manual (CB3e 2014) para orientar los gestores sobre los procedimientos para la obtención del etiquetaje, de acuerdo con los reglamentos ya comentados.

Hasta el final de 2015<sup>95</sup> 99 edificios de usos comerciales y públicos brasileños han recibido las certificaciones y las respectivas ENCEs - *Etiqueta Nacional de Conservação de Energia* o con la denominación más actualizada de *Etiquetas de Eficiência Energética PBE Edifica* - Figura 114, entre ellos 16 son del sector de educación e investigación. En lo que respecta a los edificios de viviendas (multifamiliar) han sido 31 edificaciones y 3.060 unidades autónomas certificadas, muy poco si consideramos que en este sector las ventajas económicas son más atractivas y los costes podrían ser diluidos en los precios finales de cada unidad comercializada; estas barreras de costes y procedimientos fueron consideradas para la elaboración de la Consulta Pública de mayo de 2012 (Brasil 2012b).

Otra barrera para la ampliación de las certificaciones y la concesión de las etiquetas de eficiencia energética es la concentración de laboratorios de acreditación habilitados, hasta recientemente únicamente el CERTI – *Fundação Centro de Referência em Tecnologias Inovadoras*, vinculado a la Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC fue habilitado. La red fue ampliada muy recientemente (2015) a otras dos instituciones, de entre ellas la Universidade Federal de Pelotas – UFPel por el LINSE – *Laboratório de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações*. Sin embargo sigue una concentración geográfica en el Sur de Brasil.

A lo largo de la década de 2000 y ya con base en las nuevas normativas, el tema ha recibido más atención gubernamental y técnica; otra importante contribución del PROCEL ha sido la evaluación del mercado de la eficiencia energética en Brasil (PROCEL 2008b; 2008c), con objetivo de obtener informaciones necesarias para formar una nueva y adecuada concepción del actual mercado energético nacional y del correspondiente impacto del “racionamiento” (sic) sobre él, también permitirá evaluar los efectos del propio programa PROCEL para mejorar sus resultados hacia la eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Los resultados del estudio referente al año 2005 para el sector de educación han sido comentados anteriormente, sin embargo, no tuvo una continuidad temporal para evaluarlos sistemáticamente y permitir un diagnóstico más actualizado.

---

<sup>95</sup> Para los edificios comerciales y públicos (RTQ-C) los datos disponibles se refieren hasta el 25 de noviembre de 2015 y para viviendas (RTQ-R) hasta el 01 de diciembre de 2015, respectivamente disponibles en <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf> y <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp>.



Algunas evaluaciones de la temática energética en Brasil han sido publicadas; en este sentido Roméro y Faria (2004, 855) señalan que, además de existir una falta de normas de reglamentación térmica de los edificios, tan sólo han sido tomados para el control del consumo de energía unos procedimientos de emergencia. También apuntaban que existía una negligencia generalizada del entorno climático - muy diverso a lo largo del territorio brasileño - en la toma de decisiones para el proyecto de los edificios y de instalaciones de climatización.

Otros autores (Cruz et al. 2004; Santos et al. 2004; Westphal y Lamberts 2004) siguen con los análisis de metodologías para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios de entre ellos un indicador para la sostenibilidad energética y ambiental, los *software* Power Domus y VisualDOE, y el método BESTEST, respectivamente, lo que enseña una preocupación generalizada de investigadores brasileños con el tema.

Como resultado de los estudios del *Laboratório de Eficiência Energética de Edifícios* de la Universidade Federal de Santa Catarina – LabEEEE-UFSC, Mendes et al. (2005) igualmente presentan un largo estudio de las herramientas para la simulación de desempeño térmico, energético y lumínico de los edificios adoptadas en Brasil y apuntan que, las mayores dificultades encontradas en aquel momento eran referentes a la complejidad de los *softwares* existentes y de la falta de programas nacionales.

Con el transcurrir del tiempo han sido desarrolladas nuevas interfaces simplificadas (especialmente graficas como las recientes versiones de *EnergyPlus* y *DesignBuilder*, por ejemplo); los autores apuntaban una tendencia de desarrollo de herramientas nacionales para dar apoyo a la nueva normativa que empezaba a rellenar el vacío de reglas de criterios y metodologías para mejorar las condiciones técnicas de los edificios, en lo que se refiere a la calidad térmica y confort de los espacios interiores y de las instalaciones eléctricas y de aire acondicionado, es decir, de los factores que tengan interferencia en la ecoeficiencia.

### **Desempeño térmico de las edificaciones**

La normativa para el desempeño térmico de las edificaciones de interés social NBR 15220 (ABNT 2005), fue aprobada tan solo en abril de 2005, pero sin el carácter de cumplimiento obligatorio, como se presentan las normativas de la Comunidad Europea.

La normativa está dividida en cuatro partes - parte 1: definiciones, símbolos y unidades; parte 2: métodos de cálculo; parte 3: zoneamiento bioclimático brasileño; parte 4: medición de la resistencia y conductividad térmica. Dicha normativa prescribe las condiciones básicas de la envolvente del edificio para los cerramientos exteriores (paredes y cubiertas) y los respectivos coeficientes de transmisión térmico  $U$  ( $W/m^2K$ ), el retraso térmico  $\phi$  (horas) y el factor de calor solar  $FCS$  (%) indicadas para cada una de las Zonas Bioclimáticas brasileñas, presentadas en la Figura 117, obtenida con la aplicación del *software* ZBBR (Roriz 2004).

La división en 8 zonas bioclimáticas resulta importante para la normatización a nivel brasileño, sin embargo, ha prescrito condiciones generalizadas, con pocas diferencias para efectivamente garantizar condiciones de confort internas en las edificaciones ubicadas en situaciones climáticas tan distintas para cubrir todo el territorio nacional correspondiente a 8.514.876,599km<sup>2</sup>, y más de 4 mil km de largo en el eje norte-sur.

Por otra parte, la NBR 15575 (ABNT 2013) establece los requisitos para edificios de vivienda de hasta 5 plantas, pero está centrada más en el desempeño constructivo y estructural (resistencia y estabilidad), que en el desempeño

integrado con el trabajo térmico y energético. A diferencia de la NBR 15520, no obligatoria, la normativa propuso 2 años para que la comunidad técnica y empresarial pudiera incorporarla en las prácticas de proyecto, desde mayo de 2010 sería obligatoria para todos los edificios de obra nueva, sin embargo, su puesta en marcha ha sido transferida para julio de 2013<sup>96</sup>.

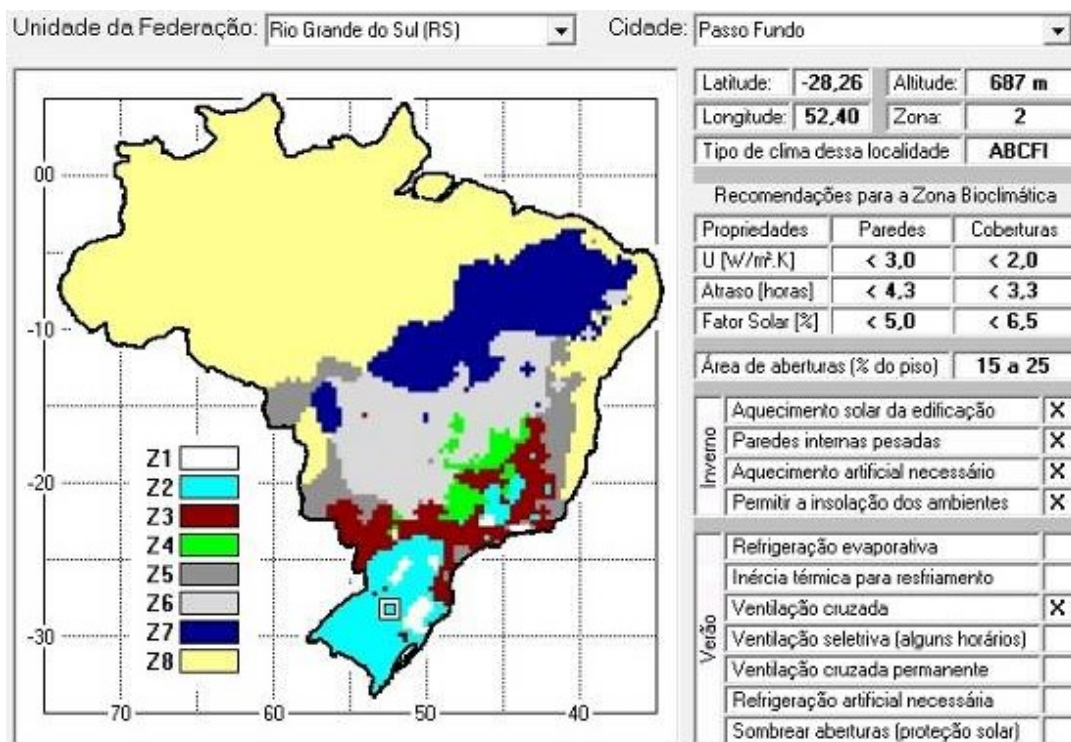


Figura 117 Mapa del zoneamiento bioclimático brasileño y directrices para Passo Fundo -RS (Roriz 2004).

Todavía quedan dudas sobre cómo se incorporarán las exigencias del cumplimiento en cada una de los 5.561 municipios de brasileños, ya que están sujetos a las normativas municipales, en muchos de ellos inexistentes o limitadas. No obstante, hay una expectativa de las constructoras de que gradativamente quien regule el cumplimiento de las especificaciones sean los consumidores, en este caso, los compradores de viviendas, que para algunas de las empresas de construcción son los principales agentes fiscalizadores “y más peligrosos” (Reis y Blanco 2010).

Referente a los aspectos de confort la “Norma de Desempeño”, como se suele llamarla, incorpora algunas características de la NBR 15520, que como ya se ha mencionado, desafortunadamente presenta algunos problemas.

Para el encuadramiento en cada uno de los niveles de desempeño: *M* (mínimo), *I* (intermedio) y *S* (superior) son establecidos los requisitos, de carácter cualitativo, y los criterios, cuantitativos o premisas, de la misma forma establecen los métodos de evaluación que permiten su mensuración.

En continuidad a los estudios de Mendes et al. (2005), anteriormente mencionados, y ya insertada en los marcos de la aplicación de la NBR 15520 y de la NBR 15575, Carlo (2008) propone una metodología para evaluación de la

<sup>96</sup> Originalmente publicada en 2008, con la publicación de nueva versión en 19 de febrero de 2013 (ABNT 2013), con el plazo de 150 días para su vigencia, con una revisión en la denominación para llegar a todas las tipologías de vivienda de hasta 5 plantas.

envolvente de los edificios, por su importante influencia en la evaluación energética, sea por las características técnico-constructivas así como de orientación solar y de volumetría (forma y altura). El estudio se basó en 3 actividades de uso (oficinas, comercial y hoteles) utilizándose como base de simulaciones el *EnergyPlus*, adaptando las ecuaciones e indicadores (de consumo y de costes) a las condiciones obtenidas con las simulaciones de las 1.103 muestras distribuidas en cinco ciudades brasileñas ubicadas en diferentes regiones climáticas.

Los estudios de Carlo (2008) también han contribuido para las adaptaciones en los modelos adoptados tanto para los edificios comerciales, de servicios y públicos según el RAC-C (PROCEL 2010b), y para las evaluaciones de los edificios de viviendas del RAC-R (PROCEL 2011), unificados posteriormente, adaptaciones estas que interfieren directamente en los procedimientos metodológicos de los reglamentos y en los requisitos para su aplicabilidad.

Por estar dentro del grupo de expertos que desarrollaron la ISO 50001, Brasil también ha publicado su versión - ABNT NBR ISO 50001 (ABNT 2011), con la misma estimativa de influenciar hasta un 60% del consumo de energía mundial y con el potencial de ahorro superior al 20% en instalaciones industriales, comerciales e institucionales.

#### O MODELO DO SISTEMA DE GESTÃO DA ENERGIA ABNT NBR ISO 50001:2011



Figura 118 Modelo del Sistema de Gestión de Energía según la ABNT NBR ISO 50001:2011 (Huang 2011, 6).

Al igual que el informe comparativo de la española BSI (2011), una empresa brasileña - SGS - también redactó un manual para promover el conocimiento de los conceptos de la normativa y difundir sus ventajas económicas y medioambientales, aunque la matriz energética brasileña se diferencie de los contextos europeos y norteamericanos. Huang (2011) hace una discusión acerca de los desafíos, impactos y oportunidades con la normativa, y principalmente enseñando sus conceptos y requisitos. En este sentido, la Figura 118 presenta una gráfica resumiendo el proceso PDCA (*Planejar, Fazer, Verificar y Agir*, en la traducción al portugués); en la Figura 119 se demuestra el proceso de certificación, similar a la ISO 14001:2004 (ABNT 2004).

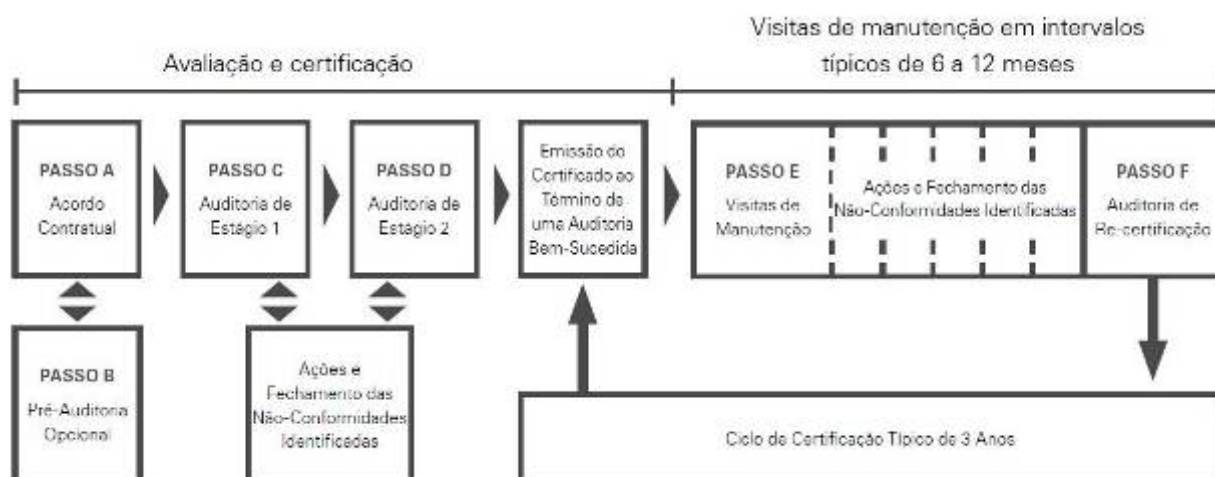


Figura 119. Proceso de certificación de la ABNT NBR ISO 50001:2011 (Huang 2011, 9).

Aunque algunos estudios puntuales a cerca de los nZEB han sido desarrollados, en Brasil todavía no existen normativas específicas. Sin embargo, la *Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL*, reglamenta la micro y mini-generación de energía por parte de los consumidores, permitiendo la autogeneración y su utilización, pero no permite exportarla a la red, sino reducir la factura con la emisión de bonos (ANEEL 2012a).

Didoné et al. (2014, 30) argumentan que la dificultad para que todavía no hayan edificios nZEB<sup>97</sup> en Brasil, es económica, visto que al nivel académico han sido instalados sistemas de energía fotovoltaicos para la investigación desde el 1997. Desde el “punto de vista económico, la generación de energía renovable en el local (*on site*), como la energía solar y la eólica, aún sufre con los altos costes de inversión”.

#### B.4 Certificación y auditoría energética

La certificación energética de los edificios según Rey Martínez y Velasco Gómez (2006, 22) “se define como la descripción de las características de éstos, que aporta información a los usuarios interesados en utilizar un edificio sobre la eficiencia energética del mismo”. Es decir, para los autores la certificación deberá incluir valores de referencia para los edificios analizados, comparados con una legislación específica con valores de comparación, así como proponer recomendaciones para la mejora de “la relación coste-eficacia de la eficiencia energética” (idem). En este sentido las certificaciones pueden ser aplicadas a edificios existentes o de nuevas construcciones.

Los mismos autores (2006, 115) argumentan que para establecer la certificación energética hay que considerar una serie de condicionantes: técnicos, económicos, sociales, climatológicos, además de los propios condicionantes energéticos.

Para Azpilicueta (2010, 13) las certificaciones, incluyendo las normativas americana y europea valoran más la eficiencia energética de los equipos productores de calor (EER - *Energy Efficiency Ratio*) y de frío (COP - *Coefficient of Performance*) “que la baja demanda del propio edificio por su carácter pasivo”.

En términos normativos en España, la certificación energética de edificios surge a partir de la Directiva Europea

<sup>97</sup> Por ocasión del Mundial de Fútbol de la FIFA en 2014, algunas experiencias para la generación de energía *on-site* se adoptaron en la concepción de la construcción o renovación de estadios y aeropuertos.

76/93/CEE tratando de la limitación de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la mejora de la eficacia energética; con el Real Decreto 47/2007 (España, Ministerio de la Presidencia 2007a) la certificación energética es obligatoria para todas las construcciones nuevas y las rehabilitaciones con superficie superior a los 1.000m<sup>2</sup> con la renovación de más de un 25% de los cerramientos.

Según la normativa "la certificación de eficiencia energética de un edificio es el proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto del edificio y por el edificio terminado y que conduce, respectivamente, a la expedición de un certificado de eficiencia energética del proyecto y de un certificado de eficiencia energética del edificio terminado" (España, Ministerio de la Presidencia 2007a, 4502), y al final la etiqueta de EE - Figura 120a, que va de la letra A (edificio más eficiente) a la G (menos eficiente), de acuerdo con los mismos principios de las etiquetas brasileñas anteriormente referenciadas.

Inicialmente la normativa hace referencia a la definición de eficiencia energética como el "consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación", además es necesario diferenciar la calificación y la certificación energética:

- a) Calificación de eficiencia energética de un edificio: expresión de la eficiencia energética de un edificio que se determina de acuerdo con una metodología de cálculo y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética;
- b) Certificación de eficiencia energética de proyecto: proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del proyecto;
- c) Certificación de eficiencia energética del edificio terminado: Proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto con la del edificio terminado y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del edificio construido.

Molina et al. (2004) presentan la metodología adoptada por el CALENER, donde el índice de calificación de eficiencia energética (C) expresa la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas del edificio a certificar, necesarias para satisfacer las demandas asociadas a unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación del edificio y las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio de referencia, de acuerdo con la escala de la Figura 120b.

Además, según Azpilicueta (2010) para la certificación de la eficiencia energética española, la calificación se obtiene por la comparación del edificio a certificar con un edificio de referencia; el autor sintetiza la metodología presentando que los cálculos se hacen con la cuantificación del consumo y de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante las ecuaciones del *software* CALENER, cuyo funcionamiento en su opinión "resulta bastante hermético" (Azpilicueta 2010, 13), concordando con las opiniones de Cuchi i Burgos (2009, 198-199) anteriormente comentadas.

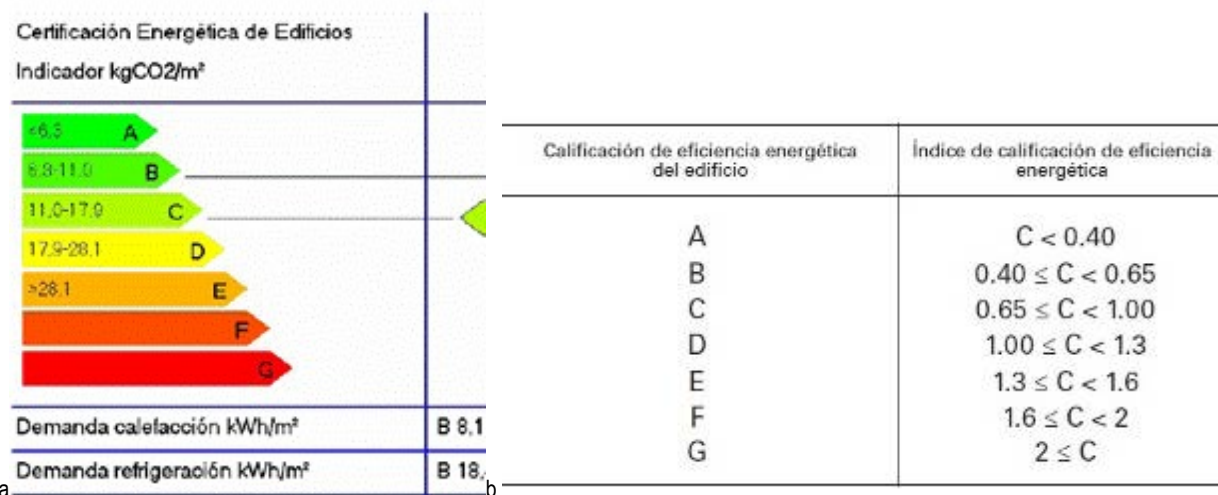


Figura 120 a. Ejemplo de etiqueta para eficiencia energética de edificios en España; b. Escala de calificación para edificios que no sean de viviendas (España 2007a, 4506)

Cabe mencionar que es fundamental la obtención de indicadores para el consumo energético del edificio en kWh/m<sup>2</sup> año para las instalaciones de ACS – Agua Caliente Sanitaria - y climatización para frío y calor que, como se ha dicho, estará relacionado a las emisiones de dióxido de carbono, multiplicándose dicho consumo a los coeficientes determinados para cada tipo de energía primaria empleada y/o de la producción propia del edificio. En los programas de certificación europeos la iluminación natural y artificial no afecta a los cálculos de consumo en vivienda, lo mismo ocurre con la certificación española, que pese a las actualizaciones en los documentos del CTE (España. Ministerio de Fomento 2009; 2010; 2013) y determinados por el Real Decreto 235/2013 (España. Ministerio de la Presidencia 2013), sigue bajo los procedimientos anteriores (España. Ministerio de Fomento 2014b).

Por otro lado, al contrario de la certificación energética, las auditorías tan solo son válidas para edificios existentes ya que es una “herramienta de diagnóstico y gestión...”, con el objetivo “...de cuantificar los parámetros que nos permiten optimizar los costes económicos y conseguir un buen funcionamiento de las instalaciones” (Rey Martínez y Velasco Gómez 2006, 219), además de reducir el uso de los recursos naturales para garantizar las condiciones de confort de los usuarios.

En este campo de la gestión energética en los edificios cabe mencionar las referencias de la Diputació de Barcelona (1986), como base de las auditorías energéticas, en las cuales se relacionan las diferentes fuentes de energía con sus diferentes usos. También la Comunidad de Madrid (FENERCON 2007) ha publicado una guía dirigida a la EE en oficinas y despachos, destacando los factores determinantes del gasto energético, cabe subrayar el enfoque del ahorro económico; otra publicación (FENERCON 2011) está dirigida a los centros docentes, incluyendo los requisitos del confort térmico y lumínico.

Las auditorías energéticas permiten caracterizar los edificios a partir de datos generales como superficie, volumen y uso, de las instalaciones (climatización, iluminación y aparatos), de la calidad del ambiente interior (temperaturas de confort y renovaciones de aire) y por último, por el seguimiento del consumo con equipos de medición. En la propuesta de Serra Florensa y San Martín Páramo (Diputació de Barcelona 1986, 11) después de los análisis en la segunda etapa se cuantifican los índices que caracterizan el estado global de las instalaciones, comparando estos índices con los valores considerados como normales o deseables, identificando las desviaciones, positivas o negativas, para en seguida proponer los planes de acción de mejora, o en aquel tiempo, de ahorro energético.



Es con base en estos conceptos que han sido desarrollados los estudios en la Universitat Politècnica de Catalunya, dentro del ámbito del *Laboratori REAL*, incluidos en la metodología PEER - *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* (Cuchí i Burgos y López Plazas 2004; López Plazas 2006a; Bosch Gonzáles et al. 2006), presentados a continuación en el Apéndice C, en conjunto con otras investigaciones previas de la UPC, relevantes a la gestión de los recursos energéticos.

Rey Martínez y Velasco Gómez (2006, 219-266) presentan del mismo modo, una metodología de auditoría energética basada en cinco etapas, según la Figura 121.

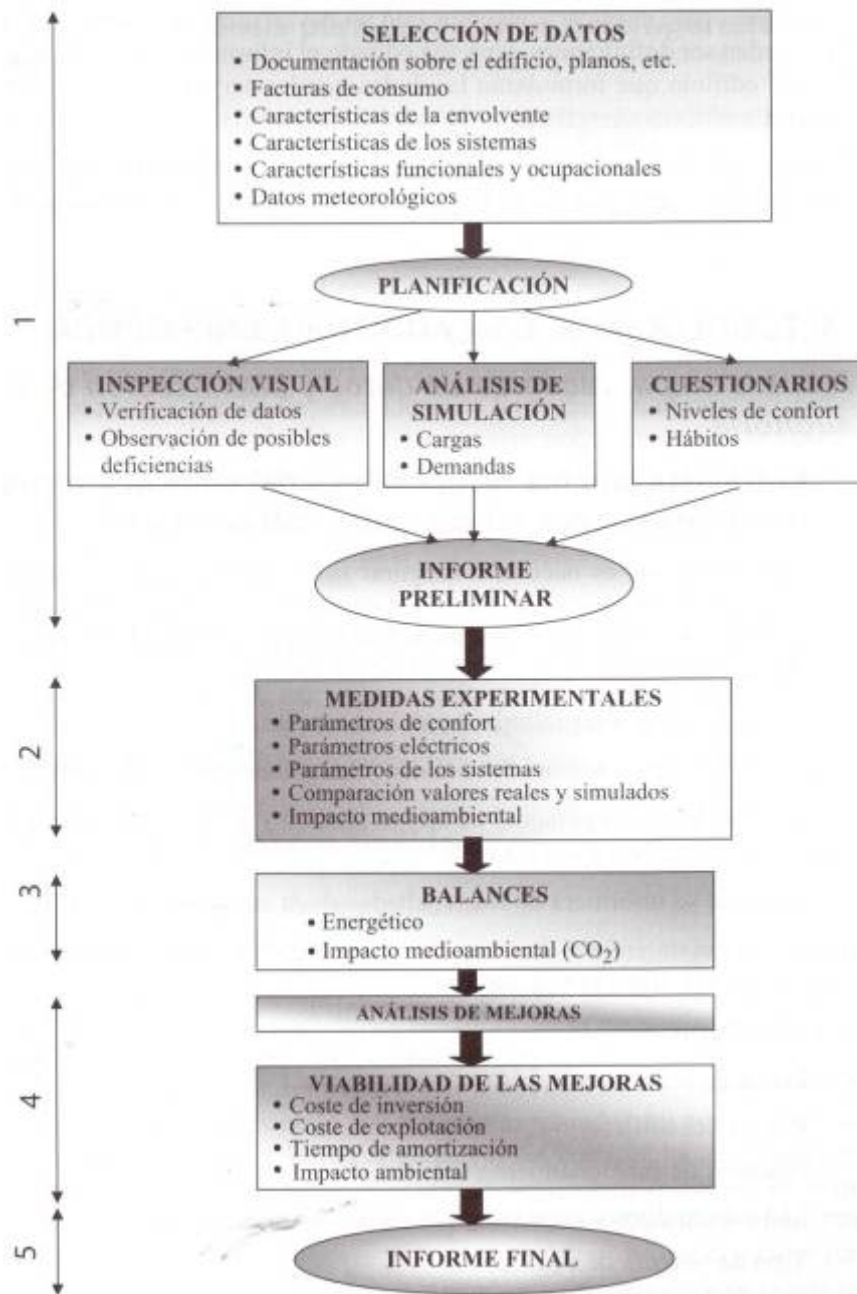


Figura 121 Metodología de auditoría energética en los edificios (Rey Martínez y Velasco Gómez 2006, 224).

En enero del 2011 el Institut Català d'Energia ha publicado una guía metodológica para la realización de auditorías energéticas (ICAEN 2011), donde hace referencia a los análisis energéticos y económicos tanto de la situaciones

reales encontradas como de la evaluación de los planes de mejora, Figura 122. Además incorpora los conceptos y procedimientos determinados por la Norma UNE216501 de octubre de 2009. Como una buena herramienta para ayudar su aplicación, la guía presenta tablas y cuadros modelos a modo de *checklist* para el registro de los datos del estudio energético.

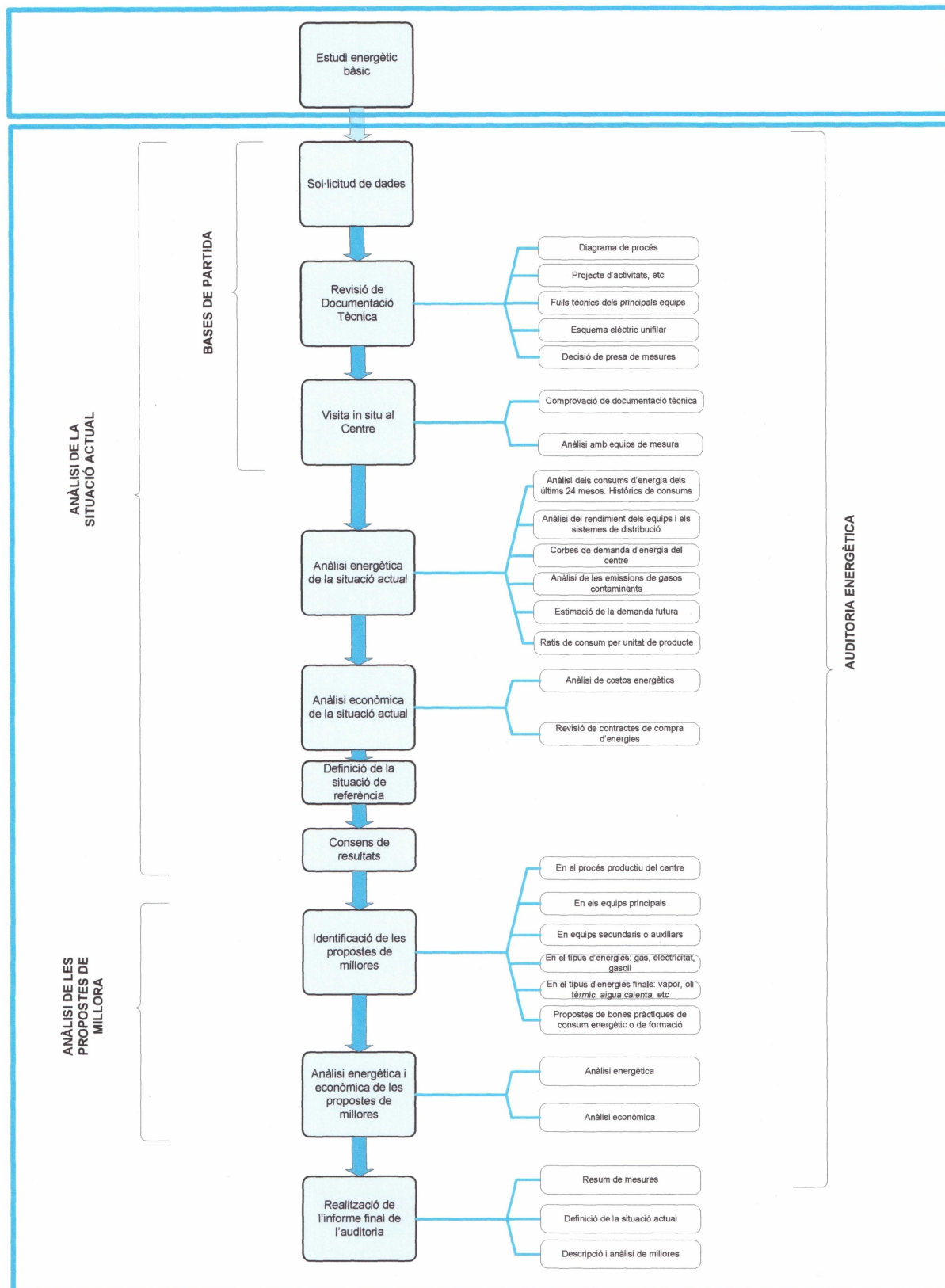


Figura 122 Cronograma indicativo de un proceso de auditoría energética (ICAEN 2011, 10).



Hay que subrayar que las auditorías energéticas han sido objeto de fomento por medio de la Directiva 2012/27/UE (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea 2012), en su artículo 8 y Anexo VI, a fin de garantizar la elevada calidad de las auditorías energéticas y los sistemas de gestión energética, con propuestas de análisis de costes y beneficios, además de promover que los edificios públicos tengan un papel ejemplarizante de las medidas de eficiencia energética, como se comenta en el Apéndice B.2.

De acuerdo con el tema desarrollado en el Apéndice B.2, también las certificaciones y auditorías energéticas en el futuro deberán incorporar los conceptos de edificios de energía casi cero (*nZEB*) propuesta por la EPBD (Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea 2010).

En Brasil, de acuerdo con lo anteriormente presentado en el Apartado B.3 y Capítulo 3, las normativas para la implementación de la eficiencia energética está relacionada con los Programas PROCEL y la Ley nº10.295 (PROCEL 2008a, 37-38), y los procesos de certificación en edificios con fines educacionales deberán ser desarrollados bajo los *Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C* (PROCEL 2012), válido en este caso específico, con su indicación como instrumento metodológico complementar.

Los requisitos mínimos para la eficiencia energética, definidos sea por los procesos prescriptivos o por simulación, de los edificios por la RTQ-C pueden ser sistematizados en los siguientes:

1. Envolvente:
  - a. Propiedades térmicas según el *Zoneamento Bioclimático Brasileiro* (ABNT 2005);
  - b. Indicador de consumo obtenido por ecuaciones;
2. Sistema de iluminación:
  - a. Densidad de potencia de iluminación;
3. Sistema de Acondicionamiento de Aire:
  - a. Rendimiento de los aparatos de calentamiento o refrigeración;
  - b. Aislamiento de la red de conductos.

Cabe también comentar los criterios de bonificaciones vinculadas a la utilización de energías renovables (generando un 10% de ahorro) y el uso racional de agua (generando hasta un 40% de ahorro en el consumo total).

Para difundir los conceptos e instrumentos de la conservación de energía en los ámbitos del ELETROBRAS/PROCEL, algunos estudios de caso han sido compilados por un equipo de profesores universitarios e investigadores como soporte a las actividades académicas de las asignaturas relacionadas con la EE. En este sentido la obra coordinada por Marques, Haddad y Guardial (2007) es una de las pocas referencias brasileñas a cerca de metodologías y herramientas para la gestión de energía en los edificios, sea por motivos de reducción de costes, incertezas de la disponibilidad energética o por restricciones ambientales, cabe subrayar que el término conservación y racionalización son muy empleados en el contexto brasileño en general.

Los autores (2007, 2-3) establecen que para la Diagnóstico Energético hace falta seguir las siguientes medidas:

- a. Conocimiento de las informaciones relacionadas con los flujos de energía, las acciones que influyen dichos flujos, los factores de utilización y de las actividades y su relación con los productos o servicios;

- b. Seguimiento de los índices de control, como por ejemplo, consumo de energía, costes específicos, factores de utilización y valores promedios, contratados, facturados y registrados por las compañías de energía eléctrica;
- c. Actuación en los índices con el objetivo de reducir el consumo energético por medio de la implementación de acciones que busquen la utilización racional de energía.

Marques, Haddad y Guardial (2007) siguen presentando unas pautas para la realización de los Estudios Energéticos para las situaciones reales y de Análisis de Racionalización de Energía, para estudios prospectivos; de manera general deben atender a los sistemas eléctricos, térmicos y mecánicos y los balances energéticos. Cabe mencionar que los estudios de caso presentados tienen un énfasis en los sistemas eléctricos y mecánicos, con poco abordaje en las interferencias de la envolvente en la carga térmica.

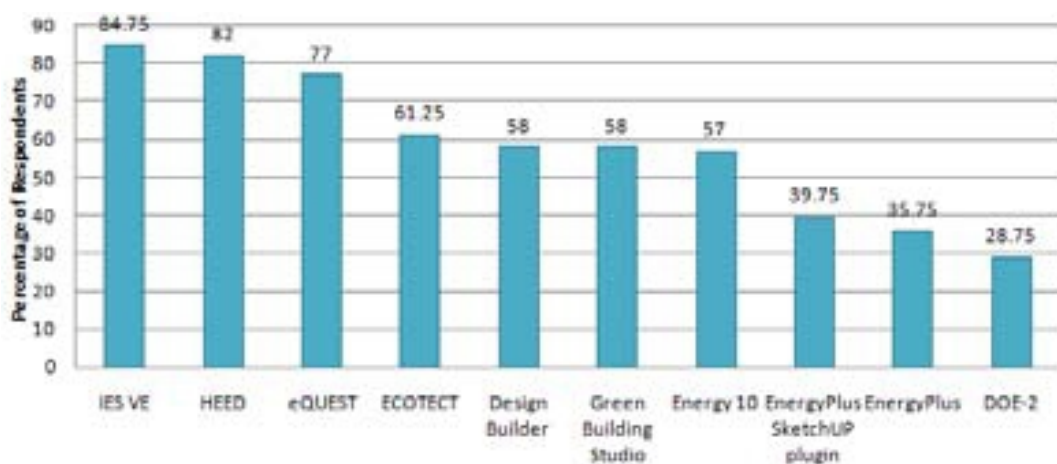


Figura 123 Comparación entre herramientas de simulación del desempeño de los edificios *user-friendly* para Arquitectos (Attia et al. 2009, 210).

Con referencia a las herramientas para la evaluación energética ya comentadas según las normativas españolas (LIDER y CALENER), el estudio de Attia et al. (2009) hace una comparación entre 10 *softwares*<sup>98</sup>, para la simulación del desempeño de los edificios, evaluando la aplicabilidad y las facilidades de uso para los arquitectos y estudiantes (*architect friendly*), por medio de encuestas para verificar 4 criterios: la facilidad del uso y gestión de información de las interfaces, integración entre los conocimientos básicos y el "diseño inteligente", interoperabilidad de la simulación y por fin, la precisión de los resultados y posibilidad de incluir componentes más complejos. Los resultados - Figura 123 - se han dividido en tres categorías: los programas mejor evaluados han sido el *IES Virtual Environment Viewer/IESVE*, *HEED/UCLA* y *eQuest/DOE*, la categoría intermedia posiciona el *ECOTECT/Autodesk*, *DesignBuilder* y *Green Building Studio/Autodesk*, quedando en la categoría de menor puntuación los demás, de entre ellos el *EnergyPlus/DOE* y *DOE-2/DOE*, referencias para las normativas norteamericanas e incluso para las herramientas de certificación españolas.

En la continuidad de la investigación Attia et al. (2012) evalúan las necesidades y demandas de parte de Arquitectos

<sup>98</sup> De las herramientas de simulación evaluadas por Attia et al. (2009; 2012) están el ECOTECT y el DesignBuilder, que han sido utilizadas para el presente estudio, en especial esta última elegida para aplicación en los edificios de la Universidad de Passo Fundo; las referencias a los softwares pueden ser obtenidas en: IES VE (<http://www.iesve.com/software>), HEED (<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/>), eQuest (<http://www.doe2.com/equest/>), ECOTECT (<http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>), DesignBuilder (<http://www.designbuilder.co.uk/>), Green Building Studio (<http://usa.autodesk.com/green-building-studio/>), EnergyPlus ([http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm)) y DOE-2 (<http://doe2.com/>).

e Ingenieros con la aplicación de los mismos criterios anteriores a los *softwares* referenciados por el *Department of Energy* (DOE-USA 2010), confirmando la preferencia de los arquitectos para las herramientas apuntadas en el estudio del 2009 con algunas pequeñas variaciones - Figura 124, y de otra parte, del *EnergyPlus* por los del área de la Ingeniería, así como el *DesignBuilder* presentan una buena puntuación por las dos partes.

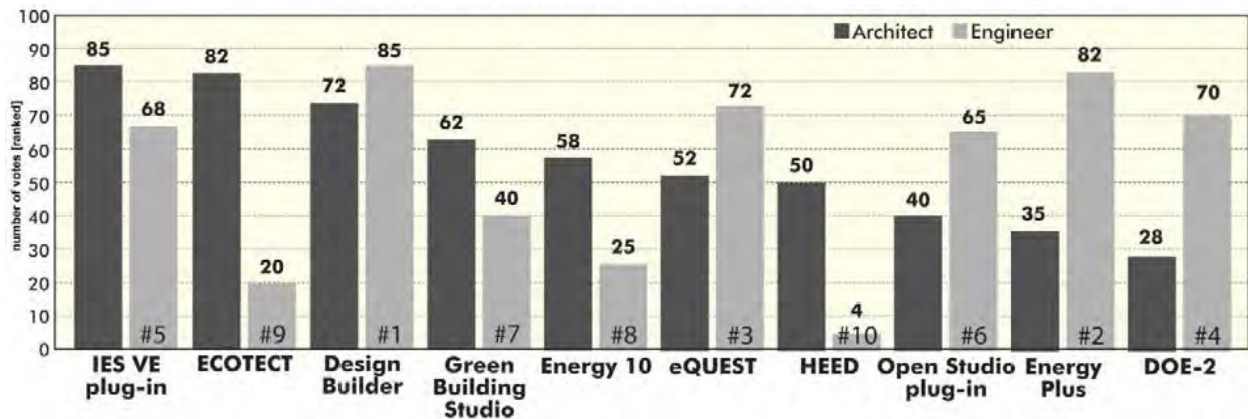


Figura 124 Evaluación de 10 softwares para simulación de en edificios por Arquitectos e Ingenieros (Attia et al. 2012).

Por otro lado, Lagios et al. (2010) incluyen las nuevas posibilidades de simulación a partir de los *softwares* de diseño paramétrico y el *Building Integrated Modeling* (BIM), con una reflexión acerca de sus contribuciones a la formación y la práctica profesional, en este caso específico del *Rhinoceros/Grasshopper* y las herramientas de simulación de iluminación *Radiance/DaySim*, concluyendo que se ha creado un nuevo flujo de trabajo entre el diseño y las simulaciones de desempeño, por la facilidad de visualización de los efectos del proyecto y los correspondientes resultados.

Hensen y Lamberts (2011) presentan los conceptos de indicadores de desempeño y metas al reflexionar sobre el papel de la simulación de la construcción en el diseño de edificios basada en el rendimiento y funcionamiento. A continuación hacen referencia a la predicción del rendimiento de la demanda de energía, calidad del ambiente interior (incluida la térmica, la calidad visual, del aire y los fenómenos de humedad), el rendimiento de los sistemas de HVAC (heating, ventilating, and air conditioning), incluso considerando el modelado a nivel urbano y la optimización operativa y la automatización de los sistemas, desarrollados por distintos expertos. De entre ellos, Claridge (2011) presenta un abordaje sobre los casos en que la simulación sea utilizada para optimizar la operación del edificio, donde los *inputs* deben ser ajustados según las mediciones reales, en el proceso de calibración, situación aplicable en el presente trabajo.

Los desafíos para la simulación del desempeño de los edificios han sido comentadas por Hensen (2012), destacando dos grandes áreas: por una parte, la provisión de un mejor soporte para el *design*, con un enfoque inverso para abordar "cómo" en lugar de ser capaz de responder a "qué pasa si"; de otra, la prestación de apoyo para la construcción y operación de gestión, tales como la predicción del consumo de energía, análisis del rendimiento del edificio global (energía total), modelo predictivo (supervisión de varias entradas y múltiples salidas de control).

## B.5 La demanda energética

El CTE en el apartado *DB-HE* presenta como definición para la demanda energética como “la energía necesaria para mantener en el interior del edificio unas condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la zona climática en la que se ubique” (España, Ministerio de Fomento 2010, 21); que está compuesta por la demanda energética de calefacción y de refrigeración, correspondiente a los meses que así lo requieran.

En la versión actualizada del CTE (España, Ministerio de Fomento 2013, 11) la definición se amplía para

“la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación, y se expresa en kWh/m<sup>2</sup> año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio”.

López Plazas (2006b, 17) argumenta que hay una confusión muy común entre el cálculo de la demanda energética con el cálculo de cargas térmicas de un determinado local o edificio, aunque relacionados presentan conceptos distintos: los flujos de energía de una edificación responden “a un balance de pérdidas y ganancias energéticas según sus características e intercambio energético interior-exterior”, al resultado del balance entre estos flujos, sean positivos o negativos el autor define como carga térmica, ya la demanda energética anual será la suma de las diferentes cargas positivas o negativas del edificio.

No obstante, los conceptos de demanda energética y consumo energético también son diferenciados, mientras la demanda se puede relacionar con los distintos usos (iluminación, climatización, etc.), como nos presentan Bosch et al. (2006, 171), para ellos “el consumo energético será el resultado de la consideración de la demanda energética y el rendimiento de la máquinas que lo atiendan”.

Las prestaciones energéticas básicas de los elementos que componen la edificación, según prescriben Rey Martínez y Velasco Gómez (2006, 9), son el coeficiente de transmisión superficial de los muros (Coeficiente  $U$ , expreso en W/m<sup>2</sup>.K), el coeficiente de radiación energética (Factor solar  $S$ ) y el consumo de energía por unidad de superficie calefactada (en kWh/ m<sup>2</sup>/año o MJ/m<sup>2</sup>/año).

Para estos autores los factores de demanda son las variables que afectan la carga térmica y al horario de funcionamiento de las instalaciones, y entre ellas están el clima exterior, la epidermis edificatoria y las características ocupacionales y funcionales del edificio (ídem, 117). También subrayan que de entre los distintos métodos de determinación de la demanda energética, resulta importante considerar que la herramienta elegida para el análisis permita la aproximación más apurada posible de las reales condiciones del espacio, así como de las características climáticas del local.

Otros autores presentan diferentes metodologías, López Plazas (2006a, 17-23) muestra una comparativa entre los distintos métodos de análisis de la demanda, pero especialmente tratando de las prestaciones de cada una de ellas y sus aplicaciones prácticas; empieza presentando algunos conceptos que se hacen igualmente imprescindibles para este trabajo.

Por un lado, están los métodos de estimación global a partir de algunos valores o índices de referencia, adoptando variables tipificadas de tipo de edificación, clima, perfiles de usos y/o ganancias internas. Se constituyen en

herramientas de pre evaluaciones y tendencias de consumo, muy apropiadas para una etapa de diseño preliminar, como es el caso del programa ARCHISUN (Serra Florensa et al. 2006) del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPC.

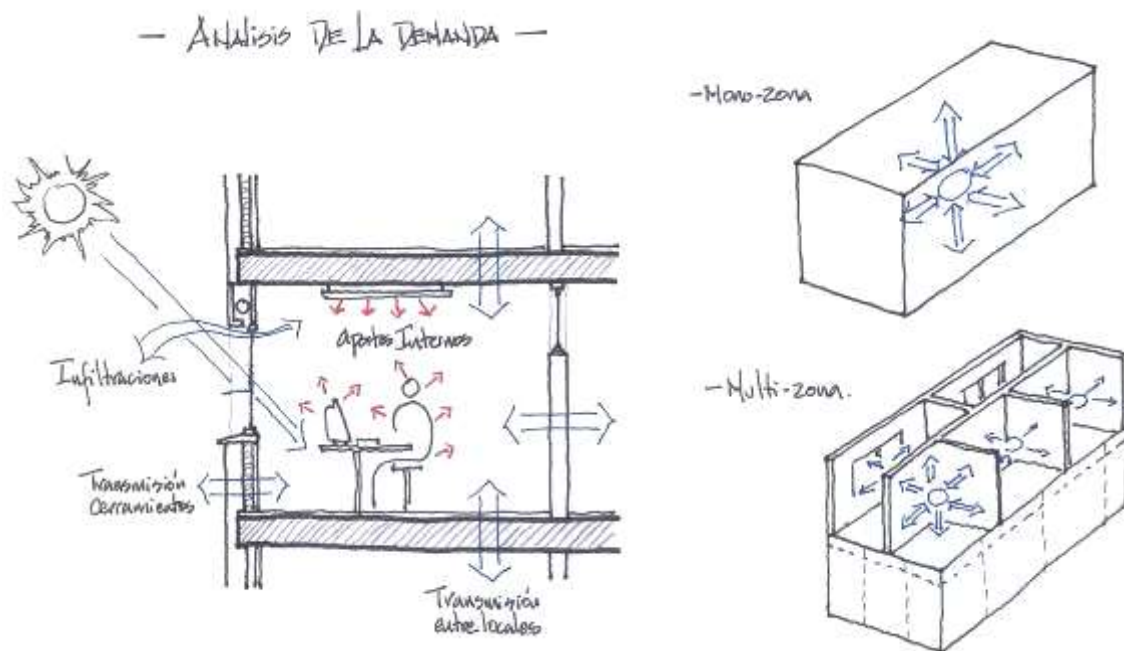


Figura 125 Métodos de simulación estáticos/mono-zona y dinámicos/multi-zona (López 2006a, 19)

Por otro lado, están los métodos de balance energético, que evalúa todos los flujos de pérdidas y ganancias energéticas del edificio. Según el tipo de análisis, el balance energético del edificio puede considerarse de manera estática como un espacio único de mismas características – mono-zona, o de manera dinámica como la sumatoria de diferentes espacios con sus respectivos perfiles de uso y ocupación - Figura 125. Para este estudio serán adoptados los análisis multi-zona, es decir, considerando “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 térmico más complejo y más cercano a la realidad...” (López Plazas 2006a, 19-20).

Otra manera de definición del análisis energético trata del régimen de transferencia de calor que consideren, recordando que la propagación del calor prevista por la ley de Fourier incorpora características mecánicas de los procesos en propiedades físicas conocidas como conductividad térmica.

En términos de los sistemas de acondicionamiento hace falta subrayar que los mecanismos de transmisión: la conducción, proceso en que el calor fluye a través de medios sólidos (cerramientos opacos o semitransparentes); la convección entre el aire exterior y la superficie exterior de la envolvente, así como entre la superficie interior y el aire interior, además dentro de las cámaras de aire interior a los cerramientos; y por fin la radiación dependerá de la capacidad de los materiales en emitir o absorber la energía térmica, sobre todo a la radiación solar e infrarroja.

Los problemas de transferencia de calor son clasificados según las variables que influyen en la temperatura: si presenta una relación con tiempo en que se realiza el proceso se clasifican en no-estacionario o transitorio, ya si es independiente del tiempo, presenta un régimen estacionario.

En lo que respecta a estos conceptos, Kreith y Bohn (2003, 99) presentan que el flujo de calor en régimen transitorio es de gran importancia práctica en los sistemas de calentamiento y refrigeración, ejemplifica el flujo periódico en un edificio entre el período diurno y el nocturno.

Colaborando con este tema, López Plazas (2006a, 20-21) sistematiza los métodos según sigue:

2. Conducción en régimen estacionario o permanente: muy adoptado por las herramientas y programas de evaluación, considerando las variaciones en las condiciones como mínimas, es decir como si fuera una transmisión directa, instantánea y unidireccional;
3. conducción en régimen estacionario variable: asumen un corto periodo en que el edificio y los sistemas permanecen en temperatura promedio, en una sucesión de datos que permiten estimaciones mensuales y anuales;
4. conducción en régimen transitorio: al no existir un equilibrio termodinámico, la temperatura presenta variaciones en el tiempo, teniendo en cuenta el fenómeno de acumulación de calor.

## **B.6 Parámetros de confort ambiental y rendimiento académico**

Cuando se trata de describir las condiciones de habitabilidad ideales de los espacios interiores hay que reverenciarse al concepto tradicional de confort térmico de la ASHRAE (2001) como la condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico, ya el *CTE DB-HE* (España, Ministerio de Fomento 2010, 21) presenta que al bienestar térmico están relacionadas las condiciones interiores de temperatura, humedad y velocidad del aire que producen la sensación de bienestar adecuada y suficiente a sus ocupantes, pero además otros factores importantes influyen en dichas sensaciones, como la presión del vapor de agua.

Pero como la sensación de bienestar de los usuarios no depende solo de las condiciones físicas del espacio, sino también de los diferentes parámetros comportamentales y culturales en una interacción multisensorial y neurofisiológica como presentan Candas y Dufour (2005); las normativas establecen unos parámetros mínimos de confort que serán distintos para las características españolas y brasileñas aquí estudiadas; ya como presenta Givoni (1969; 1992, 15), para algunas regiones o países estos límites preestablecidos sufren cambios, con elevaciones de hasta 2°C en la temperatura límite superior y 2g/kg en el valor superior de vapor de agua contenido en el aire (Givoni 1992, 16).

La ASHRAE 55 (ASHRAE 2004), ampliamente utilizada en los estudios de confort térmico considera los límites relacionados con la temperatura efectiva ( $T_e$ ) y distingue las zonas de confort estacionales: de 23°C a 26°C para el verano y entre 20°C y 23,5°C en el invierno, bajo condiciones especiales de vestimenta, metabolismo, velocidad del aire y porcentaje de personas insatisfechas, comentado más adelante. La temperatura efectiva es la temperatura operativa (promedio entre la temperatura del aire y la temperatura media radiante) de un ambiente cerrado con 50% de humedad relativa (HR) del aire, en este sentido presenta una aplicabilidad mayor a los espacios acondicionados. La percepción de las condiciones ha sido objeto de una representación por la escala de Bedford, en siete niveles: muy caluroso (+3), caluroso (+2), ligeramente caluroso (+1), confort o neutro (0), ligeramente frío (-1), frío (-2) y muy frío (-3), según las denominaciones de Mondelo et al. (1999, 83).

La normativa brasileña NBR 16401-2 (ABNT 2008, 3) establece los parámetros de confort para las instalaciones de

aire acondicionado, según las condiciones de la HR:

- verano, con vestimenta típica 0,5clo: 22,5°C a 25,5° con HR de 65% y 23,0°C a 26,0°C con HR de 35%;
- invierno, con vestimenta típica 0,9clo: 21,0°C a 23,5° con HR de 60% y 21,5°C a 24,0°C con HR de 30%.

De los parámetros humanos, el calor generado no solo por las actividades desarrolladas por el usuario, como también por su propia actividad metabólica y las propiedades del aislamiento térmico de la ropa (*clo*) van a influir en las condiciones del espacio. De manera que permita la evaluación de las sensaciones de confort de los usuarios, Fanger (1970) propuso el Índice de Valoración Media - IVM o Voto Medio Previsto o Estimado - VMP, que ha sido recogido por la norma ISO 7730 (ISO 2005), además de integrar los factores que determinan el confort térmico, presenta el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) en relación a las condiciones del ambiente térmico en el que se encuentran.

Para simplificar los cálculos del confort de los usuarios en una herramienta más fácil y *user-friendly*, ha sido desarrollado por el *Center for Built Environment de la University of California* (Fountain y Huizenga 1997), un *software* capaz de predecir la sensación térmica, incorporando distintos modelos incluso del PMV y de la ASHRAE 55. Con el mismo objetivo de facilitar los cálculos del PMV de Fanger (1970), en Brasil ha sido desarrollado el *software Analysis CST* por el *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações* (LabEEE-UFSC 2008), vinculado al *Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina*, presentada con más detalle en la metodología y los resultados obtenidos.

En Brasil, en los últimos años el tema ha recibido una especial atención con diversos estudios acerca de las condiciones de confort en los espacios interiores desarrollados en los ámbitos del LabEEE-UFSC (Xavier 2000, Abreu 2004, Andreasi y Lamberts 2006, Vecchi, 2011) y otros centros de investigación (Pereira y Assis 2010; Ochoa, Araújo y Satler 2012). La preocupación relativa a las condiciones a que las personas están sometidas en sus respectivos locales de trabajo llevó Ruas (1999) a considerar los conceptos establecidos por Fanger (1970) y la ASHRAE 55 aplicándolos a las normativas del Ministerio de Trabajo brasileño - NR17 (Brasil 1978) todavía vigente, por la cual las condiciones de confort recomendadas son la temperatura efectiva entre 20°C y 23°C, la velocidad del aire no superior a 0,75m/s y la humedad relativa no inferior a los 40%.

Sin embargo, los estudios de Fanger (1970) se desarrollaron en cámaras climáticas, especialmente para ambientes acondicionados y con condiciones estables lo que ha llevado al propio Fanger y Toftum (2002) a proponer extensiones del modelo PMV a edificios no acondicionados en climas templados. Según los autores, las expectativas de los habitantes de estos climas, en respecto al ambiente, llevan a una sobre evaluación de las sensaciones térmicas interiores, por la aclimatación fisiológica a las condiciones exteriores, es decir, consideran el clima menos severo y menos aceptable que las personas que suelen estar bajo las condiciones de acondicionamiento, como también ha considerado Givoni (1992), anteriormente comentado.

Directamente aplicado a la investigación de los efectos de las condiciones ambientales en el confort térmico en los espacios de usos educativos en climas cálidos o templados: Hwang, Lin y Kuo (2006) evaluaron los resultados de 1294 encuestas con los usuarios de 10 clases ventiladas naturalmente y 26 con aire acondicionado en Taiwan; por otra parte Wong y Khoo (2003) investigaron clases con ventilación mecánica por aparatos de techo en Singapur; estudio similar desarrollado por Vecchi (2011) en Brasil, con todos los resultados apuntando diferencias entre la



predicción de las sensaciones térmicas del PMV y las percepciones efectivas de los ocupantes.

Considerando estas diferencias Fanger y Toftum (2002, 534) relacionan las expectativas de los usuarios según diferentes clasificaciones de edificios no acondicionados con el Factor de expectativa (e), a ser multiplicado por el PMV; los autores clasifican los espacios según la Tabla 42.

Tabla 42 Factores de expectativa (e) para edificios no-acondicionados en climas cálidos (adaptado de Fanger y Toftum 2002, 534).

Nivel de expectativa	Clasificación de los edificios no-acondicionados Localización	Periodos cálidos	Factor de expectativa (e)
Alto	Regiones con aire acondicionado de largo uso	Breves en los veranos	0,9-1,0
Moderado	Regiones con aire acondicionado de uso corriente	Veranos bien definidos	0,7-0,9
Bajo	Regiones con aire acondicionado de uso restricto	Todas las estaciones	0,5-0,7

Referenciados en la ISO 7730 (AENOR2006), el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) de España presenta la NTT 779 (INSHT 2007) con algunos parámetros para el bienestar térmico y criterios de diseño para ambientes térmicos confortables - Figura 126; la categoría de calidad están relacionados con los índices de PPD: A. PPD <6%; B. PPD <10%; C. PPD <15%.

Tipo de edificio/espacio	Actividad metabólica W/m <sup>2</sup>	Categoría de calidad	Temperatura operativa °C		Máxima velocidad media del aire <sup>(1)</sup> m/s	
			Verano	Invierno	Verano	Invierno
Despacho individual Oficina diáfana Sala de conferencias Sala de actos Cafetería/restaurante Aula	70	A	24,5±1,0	22,0±1,0	0,12	0,10
		B	24,5±1,5	22,0±2,0	0,19	0,16
		C	24,5±2,5	22,0±3,0	0,24	0,21 <sup>(2)</sup>

(1) La máxima velocidad media del aire está basada en una intensidad de turbulencia del 40% y la temperatura del aire es igual a la temperatura operativa. La humedad relativa considerada es del 60% en verano y del 40% en invierno. Para determinar la máxima velocidad media del aire se toma la temperatura más baja del rango.

(2) Cuando la temperatura es inferior a 20 °C, la máxima velocidad media del aire se determina de la figura 5

Figura 126 Criterios de diseño para diferentes espacios NTP779 (INSHT 2007, 5).

Aunque el modelo de Fanger, y por extensión de la ISO 7730, sea el índice de confort térmico más utilizado, ha recibido algunos cuestionamientos y adaptaciones (de Donato et al. 1996; Charles 2003; de Dear y Brager 2001; de Dear y Brager 2002; de Dear 2004), tales como las dificultades en la obtención de datos de las vestimentas y de las actividades, subrayando las limitaciones de la validez del PMV para los espacios naturalmente ventilados. Con una evaluación de los 40 años del indicador, van Hoof (2008) propone una discusión sobre la inclusión de los efectos de la productividad y del comportamiento, la interacción con otros parámetros ambientales externos y el uso de las tecnologías de información y de comunicación.

Los diferentes estudios desarrollados en la Oxford Brookes University por Nicol y Humphreys (2002) y Humphreys y Nicol (2002) siguen en la reevaluación de los modelos de previsión del confort térmico, afirmando además, que la definición de condiciones interiores adecuadas son importantes para el éxito del edificio, no solamente para promocionar el confort a los ocupantes, sino también para las decisiones respecto al consumo energético y su



influencia en la sostenibilidad.

Igualmente cuestionan las dificultades en la aplicación del PMV para los ambientes naturalmente ventilados en, a lo que los autores llaman, la “vida normal” o *every-day thermal environments*, al contrario de cámaras climáticas, como incluso ya han identificado Fanger y Toftum (2002) al proponer el Factor de expectativa (*e*).

Para Nicol y Humphreys (2002, 563-564) hay una tendencia natural de las personas en la adaptación a los cambios en su ambiente en situaciones variables, condiciones estas subvaloradas en el modelo de Fanger para el régimen estacionario. Para ellos los problemas están en que, primero, las condiciones variables inherentes y las dificultades para mediciones más precisas o posibles equívocos en los *inputs* pueden generar errores en la relación prevista y los análisis estadísticos; segundo, es difícil generalizar estos análisis estadísticos de los resultados de una encuesta a otra, aun en circunstancias similares.

El principio del confort térmico adaptativo (*adaptive thermal confort*) está en que caso ocurra algún cambio que produzca desconfort, las personas reaccionarán de manera a restablecer sus propias condiciones de confort. Los estudios en Paquistán - Figura 127, y en Europa - Figura 128, presentan las acciones adaptativas para alterar las condiciones interiores, sean del propio individuo (vestimenta, metabolismo o transpiración) o sean en el espacio físico (ventanas, luces, ventiladores, persianas o calentadores).

De manera que permita la aplicabilidad de los modelos adaptativos, la normativa *ASHRAE Standard 55* (2004) y *ASHRAE Fundamentals Handbook* (2009, 9.19), presenta opciones para el caso de ambientes acondicionados naturalmente donde las variables ambientales son reguladas por los propios ocupantes, a partir de los mecanismos de adaptación anteriormente citados. Para esto proponen una franja para la ampliación de los límites de la temperatura operativa interior relacionada con la temperatura media mensual con la aceptabilidad de 80% y 90%, según el nivel de confort deseado, representada en la Figura 129. En estas situaciones no se hace necesario considerar la vestimenta de los ocupantes y tampoco la HR y la velocidad del aire.

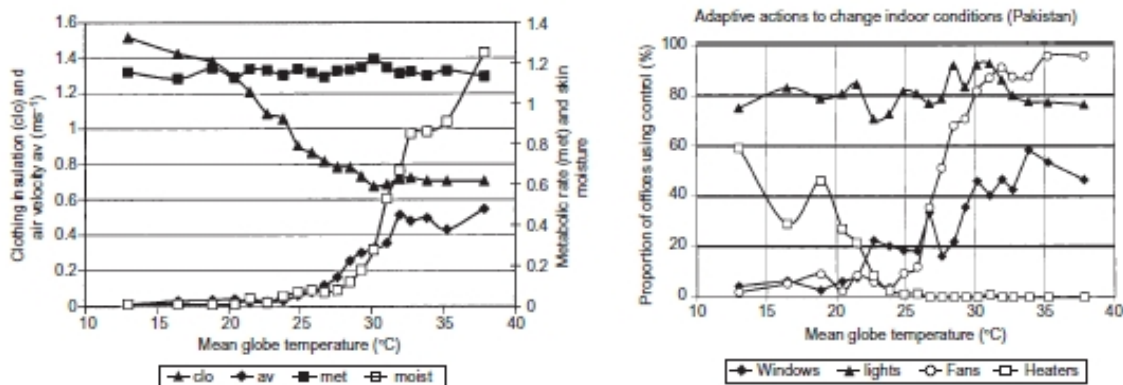


Figura 127 Uso de controles para adecuar el ambiente por los usuarios en Paquistán (Roaf, Crichton y Nicol 2009, 172-173).

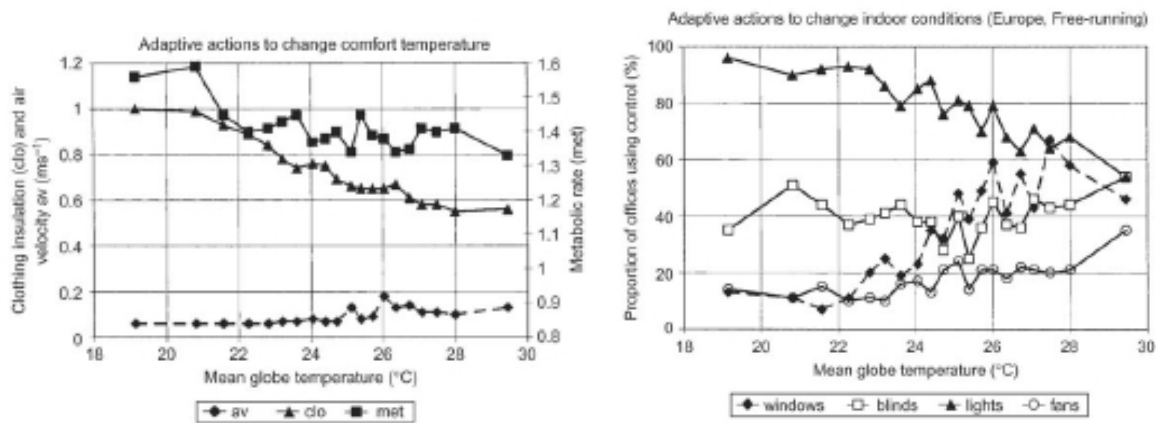


Figura 128 Uso de controles para adecuar el ambiente por los usuarios en Europa (Roaf, Crichton y Nicol 2009, 174).

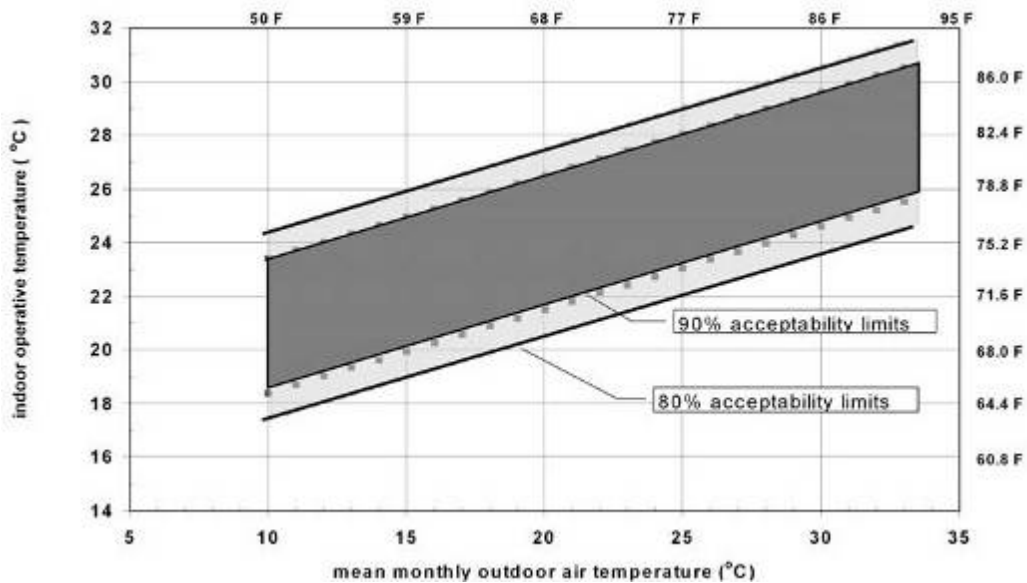


Figura 129 Límites para la temperatura operativa aceptable para ambientes naturalmente acondicionados (ASHRAE 2004, 10).

En la *ASHRAE Handbook - Fundamentals* (ASHRAE 2009) estos conceptos son ampliados, referenciándose a los estudios de Humphreys y Nicol (1998) y de Dear y Brager (1998) previos a los anteriormente citados, relacionando las condiciones de confort con el patrón climático y la exposición a él. Así, relacionan la temperatura de confort ( $T_c$ ) con la temperatura exterior ( $T_{ext}$ ) de acuerdo con la ecuación 8:

$$T_c = 24,2 + 0,43 (T_{ext} - 22) \exp - \left( \frac{T_{ext} - 22}{24\sqrt{2}} \right)^2 \quad (8)$$

Según Humphreys y Nicol (1998) esta ecuación es válida para la mayoría de los edificios en diferentes contextos climáticos y culturales.

Por otra parte, de Dear y Brager (1998) generalizan para climas y edificios dónde no se hace necesario instalaciones centralizadas de acondicionamiento con la ecuación 9:

$$T_o = 18,9 + 0,255T_{ext} \quad (9)$$

Donde  $T_o$  es la temperatura operativa de confort, cuyos límites para 90% de la aceptabilidad es de aproximadamente  $+2.5^\circ\text{C}$  y  $-2.2^\circ\text{C}$ , según la ASHRAE Standard 55 (ASHRAE 2004).

El modelo adaptativo está desarrollado en la continuidad de este trabajo, considerándolo como metodología a ser aplicada para la obtención de los resultados finales en los edificios estudiados.

La normativa EN 15251 (CEN 2007) propone parámetros para el diseño y evaluación del rendimiento energético de los edificios que abordan la calidad del aire interior en los aspectos térmico, medioambiente, iluminación y acústica. En su contenido el confort adaptativo está indicado para valorar los ambientes con ventilación natural en edificios de la Comunidad Europea, para dar un soporte a la EPBD (Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea 2010). Esta misma recomendación forma parte del estudio de Ecofys, Politecnico di Milano/ eERG y University of Wuppertal (2013) para los edificios considerados como *nZEB*.

Para Nicol y Wilson (2010) la EN 15251 es una poderosa normativa para el diseño de nuevos edificios y para la evaluación de los existentes; consideran su importancia en reconocer las diferentes expectativas que los ocupantes tienen del ambiente térmico en edificios naturalmente y mecánicamente ventilados. Sin embargo, sugieren un aprimoramiento en los procedimientos para probar si son prácticos de usar y compatibles con los fines y objetivos de la EPBD, también sugieren nuevos enfoques y tal vez más sólidos para el establecimiento de normas para el ambiente térmico en edificios (idem, p. 12).

Específicamente a cerca de la ventilación, según Nicol y Wilson (2010, 11) la EN 15251 sugieren valores para el cálculo de la tasa de ventilación que se aplica a la disipación de la contaminación de las personas y desde el edificio; estas dos tasas son entonces sumadas para obtener la tasa de ventilación total. Esto solo sería necesario si la contaminación es del mismo tipo, de lo contrario simplemente usando el máximo de las dos parecería apenas reducir los niveles de contaminación hasta el nivel requerido o menos, y al mismo tiempo ayuda para conservar la energía de calefacción/refrigeración.

Las condiciones de la calidad del aire interior de clase y sus reflejos en el desempeño de los estudiantes han sido estudiadas por Mendell y Heath (2005); con una revisión de la literatura, enseñan las evidencias de que algunos aspectos del ambiente interior, como bajos índices de ventilación y de iluminación natural o artificial pueden reducir la concentración y las motivaciones en el aprendizaje y, consecuentemente, en los resultados del rendimiento académico, la Figura 130 presenta estas relaciones con el ambiente construido.

El estudio referencia 30 artículos científicos desarrollados para niños en escuelas y adultos en oficinas y laboratorios, identificando la relación entre la contaminación del aire por NO<sub>2</sub> o poluentes biológicos, por ejemplo, y las temperaturas con criterios como concentración, habilidades manuales y comportamentales- Figura 190 - Anexo VII; igualmente aspectos como los sistemas de acondicionamiento y características del edificio (tamaño, apariencia, etc.) han sido evaluados - Figura 191 - Anexo VII.

La relación de las condiciones interiores de los ambientes laborales y de estudio ha despertado un gran interés en el área de la epidemiología; el portal de la *US National Library of Medicine* (PubMed<sup>99</sup>) por ejemplo presenta 99 artículos relacionados a la calidad del aire y los ambientes escolares, relatando experiencias alrededor del mundo: Ramachandan et al. (2005) estudiaron los efectos alérgicos y la contaminación del aire; Norbäck et al. (2013) presentan la relación entre la concentración de dióxido de carbono con el dolor de cabeza y fatiga en universitarios

---

<sup>99</sup> PubMed.gov es un portal del US National Library of Medicine - National Institute of Health, disponible en:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>.

en laboratorios de informática en Suecia; Gaihre et al. (2014) identificaron que la concentración del CO<sub>2</sub> excede a los 1000ppm en 60 clases naturalmente ventiladas en Escocia, con impactos en la asistencia y el nivel de instrucción en escuelas primarias; la presencia de endotoxinas presentes en el polvo en escuelas en climas subtropicales ha sido investigado por Salonen et al. (2013), apenas para citar algunos artículos.

Dicha preocupación está involucrada a lo que la *World Health Organization* – WHO - describieron en el 1982 como Síndrome del Edificio Enfermo (*sick building syndrome* – SBS). Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España “en la práctica, los edificios enfermos, que forman parte de los edificios que presentan problemas, están, generalmente, equipados con sistemas de ventilación/climatización forzada del aire, aunque no se excluye que puedan tener ventilación natural, y sus ocupantes manifiestan quejas referentes a su salud, en una proporción mayor de la que sería razonable esperar - >20%” (INSHT 1994, 9-10). La NTP 289 (INSHT 199?) establece los indicadores para evaluación de los factores de riesgo; para la ventilación remite a la *International Energy Agency* (IEA) la cual indica que un aporte de aproximadamente 8 litros por segundo (cerca de 30m<sup>3</sup>/h) por persona en actividad sedentaria será adecuada para extraer los bioefluentes humanos (olores) en áreas de no fumadores.

En Brasil, aunque no haya una legislación específica, la normativa de la *Agência Nacional de Vigilância Sanitária* - ANVISA – establece los patrones referenciales de la calidad del aire interior en ambientes climatizados artificialmente de uso público y colectivo por la Resolução RE n. 9 (ANVISA 2003); los valores máximos recomendables – VMR, para la contaminación química son:

- ≤1000ppm de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), como indicador de renovación de aire externo, recomendado para confort y bien estar;
- ≤80mg/m<sup>3</sup> de aerodispersoides totales en el aire, como indicador del grado de pureza del aire y limpieza del ambiente;
- El VMR de operación de la Velocidad del Aire, al nivel de 1,5m del piso, en la región de influencia de la distribución del aire es <0,25 m/s;
- La Tasa de Renovación del Aire adecuada será >27m<sup>3</sup>/hora/persona, excepto en el caso específico de ambientes con alta rotación de personas; en estos casos la Tasa de Renovación del Aire >17m<sup>3</sup>/hora/persona, no siendo admitido en cualquier situación que los ambientes posean una concentración de CO<sub>2</sub>, mayor o igual a la establecida;
- Para los parámetros de temperatura y humedad relativa se reporta a la ABNT, en este caso a la NBR 16401-2 (2008, 3), ya comentada anteriormente.

La relación productividad *versus* confort térmico, como condición de la mente, forma parte de las investigaciones de McCartney y Humphreys (2002) en la *Oxford Centre for Sustainable Development*, con la afirmación de la necesidad de profundizar las metodologías de evaluación en encuestas o mediciones físicas.

El tema está presente en la EPA<sup>100</sup> – *Environmental Protection Agency*, de los Estados Unidos de América, con un sector específico para estudiar la interacción del ambiente y las habilidades del aprendizaje, con una larga

---

<sup>100</sup> *Indoor Environmental Division- Office of Radiation and Indoor Air*, disponible en:<http://www.epa.gov/iaq>.

investigación en los efectos de la calidad del aire interior - IAQ - en la habilidad de aprender (EPA 2000), en la salud (EPA 2003a) o su relación con las medidas para obtener la eficiencia energética (EPA 2003b).

Investigaciones semejantes han sido llevadas a cabo en Brasil (Lula y Silva 2002) evaluando los factores motivacionales y las variables ambientales (ruido, iluminación, temperatura, humedad relativa, pureza y velocidad del aire, radiación, estado físico, vestimenta, etc.).

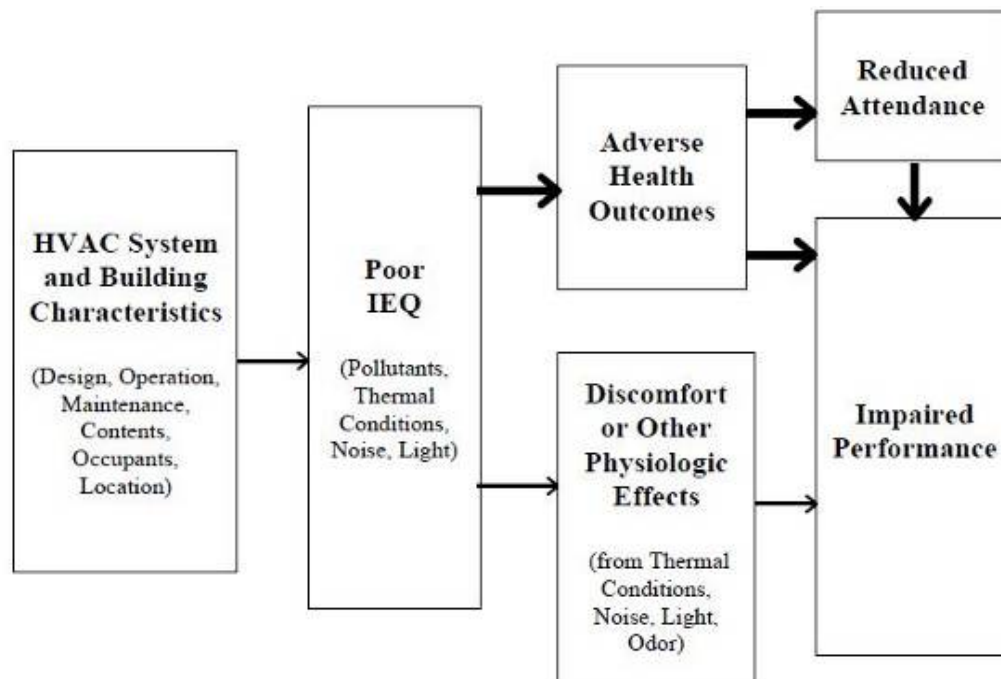


Figura 130 Hipótesis de relaciones entre las características del edificio y el desempeño de los estudiantes (Mendell y Heath 2005, 28).

Recientemente, Jurado et al. (2014) presentaron el estudio de la calidad del aire en las clases de cinco universidades Brasileñas, comparando el CO<sub>2</sub>, la temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, aerodispersoides y partículas de polvo. Hay que señalar que el campo de estudio son universidades de ciudades de clima tropical del centro-oeste Brasileño (caluroso y seco). En general, los indicadores para la concentración de dióxido de carbono estuvo por encima de los límites en las salas acondicionadas artificialmente (AC) – entre 252,80 y 1433,62ppm, mientras que en aquellas ventiladas naturalmente (NV) los indicadores (entre 37,25 y 520,12ppm) estaban dentro del límite de ≤1000ppm, expresado en la Resolução RE n. 9 (ANVISA 2003). La concentración de partículas detectadas en el experimento estuvieron por encima de los recomendables (≤80µg/m<sup>3</sup>): significativamente más altos en salas AC (en media de 659,22µg/m<sup>3</sup> – entre 181,82 y 1091,91µg/m<sup>3</sup>) que en las salas NV (media de 215,12µg/m<sup>3</sup>; entre 18,45 y 5435,46µg/m<sup>3</sup>), valores que indican, según las autoras, problemas ambientales externos, decurrentes del clima seco.

El estudio de Jurado et al. (2014) relaciona la calidad de aire en términos fisiológicos y de salud, con efectos como dolores de cabeza, cansancio y otros síntomas identificados con el SBS. Con relación a las dificultades en las habilidades de concentración de estudiantes en ambientes con altos niveles de CO<sub>2</sub>, superiores a los 4000ppm, ha sido investigada también por Awbi (1998) y otros efectos en las habilidades motoras (Sheehy, Kamon y Kiser 1982; Vercruyssen, Kamon y Hancock 2007) y en los procesos de toma de decisiones (Satish et al 2012). Los estudiantes de las clases AC demostraron un mejor rendimiento académico que los de las clases NV, y la presencia de aire

acondicionado en las aulas universitarias se asoció con un menor índice de absentismo y un mejor el rendimiento (Jurado et al. 2014, 7087). Hay buena evidencia de que moderar los cambios en la temperatura ambiente, incluso dentro de la zona de confort, afecta la capacidad del alumno para realizar tareas mentales que requieren concentración y comprensión, según ya comentado en los informes de la EPA (2000; 2003a; 2003b).

En esta temática Mallory-Hill (2004) propone un modelo conceptual para apoyar la evaluación estratégica del rendimiento de los espacios de trabajo<sup>101</sup>, constituidos de los factores de confort (Figura 131), con una metodología derivada de las Evaluaciones Post-Ocupación (POE) considerándose los indicadores físicos representados en la Figura 192 - Anexo VII. Con la utilización de la herramienta WEDA - *Workplace Environmental Design Assistant*, la autora pretendía contribuir para reducir las barreras en la calificación de los espacios y la falta de procedimientos efectivos para la evaluación de los aspectos técnicos en las diferentes etapas del diseño. S. Mallory-Hill entiende que dichas dificultades de aplicación práctica, podrían ser disminuidas con la construcción del conocimiento en el campo del diseño estratégico, con un abordaje de criterios de *performance* más complejos, interactivos e interdisciplinarios.

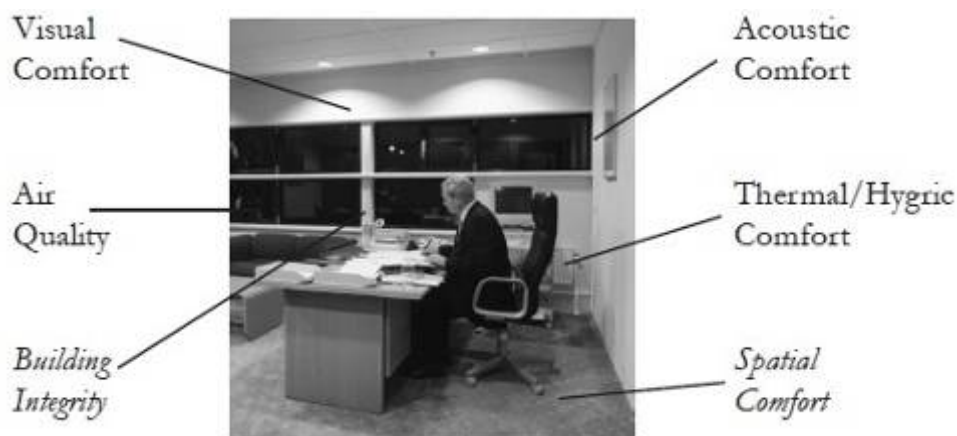


Figura 131 Factores de confort en el ambiente de trabajo (Mallory Hill 2004, 125).

Según la autora (Mallory-Hill 2004, 38, apud Preiser, Rabinowitz y White, 1988) la evaluación del rendimiento, es decir, la comparación entre los criterios de demanda y el rendimiento del diseño, tiene como resultado recomendaciones para la mejora del edificio construido, pero igualmente, y principalmente, proporcionando el *feedback* para todo el proceso de diseño; para ella los Arquitectos que utilizan estos conceptos y métodos para guiar la toma de decisiones hacen un uso riguroso de la evaluación para valorar los éxitos y fallos, aprovechando el conocimiento generado o corrigiéndolos en futuros proyectos.

Leaman (2010) hizo un estudio preguntándose ¿los edificios han mejorado? y para esto comparó las reacciones de los usuarios de 54 edificios Británicos construidos en los años 1990-1999 y 58 en 2000-2008, bajo la metodología BUS<sup>102</sup> que consiste en 12 indicadores entre variables de temperatura, ventilación, aire, iluminación y productividad. En la Figura 132 están presentados el resumen de los indicadores, donde se observa que para la mayoría de los

<sup>101</sup> S. Mallory-Hill (2004) utiliza conceptos como el SBPPE - *Strategic Building Performance-Planning & Evaluation* y las herramientas CBR (*Case-Based Reasoning*), sistemas basados en técnicas de programación de "inteligencia artificial" para simular el comportamiento "humano" para solucionar problemas, o sea, solucionase un nuevo problema adaptando soluciones que hayan sido adoptadas para un problema anterior semejante.

<sup>102</sup> La metodología BUS ha sido desarrollada entre 1985 y 2008 por el Building Use Studies - UK, adoptada en 2008 por el grupo Arup con el nombre de Arup Appraise o SPeAR® - Sustainable Project Appraisal Routine, disponible en: <http://www.arup.com/Projects/SPeAR.aspx>.

factores ambientales hubo mejoras entre los dos períodos, sin embargo para aspectos del ambiente físico (*design*, necesidades y salud) los niveles no han tenido diferencias considerables, es decir para estos puntos los edificios con base en los marcos conceptuales de la construcción sostenible no han mejorado en la misma medida que para el confort ambiental.

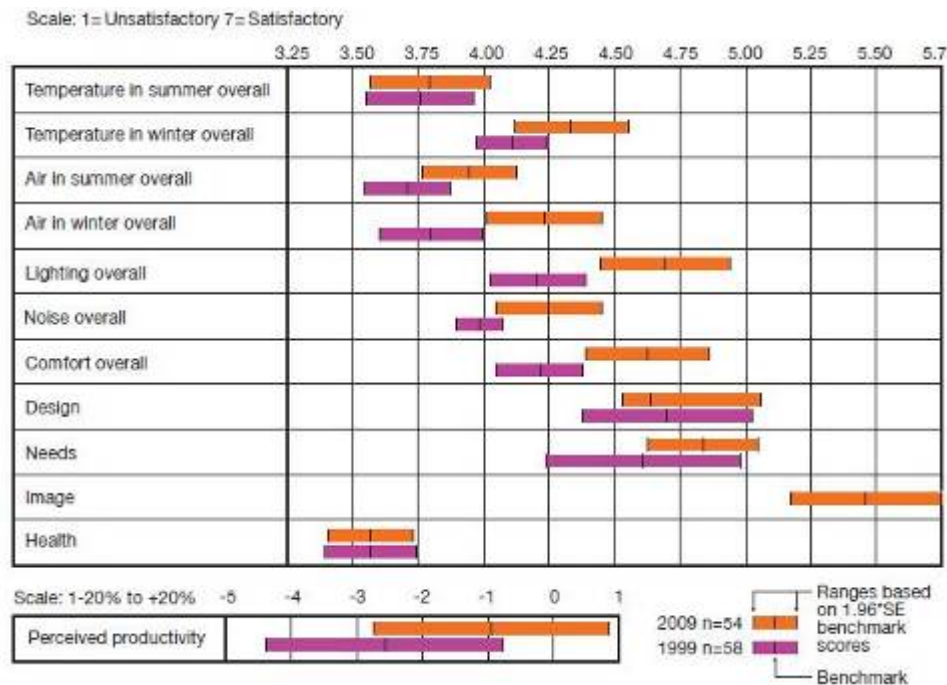


Figura 132 Resumen de las variables de la metodología BUS- Arup Appraise (Leaman 2010, 4).

Según lo anteriormente comentado en el Apéndice A, Perkins (2010, 1) afirma la importancia para Arquitectos y otros técnicos involucrados en el proyecto de edificios con fines educativos a cerca del conocimiento de la interrelación entre el ambiente físico y los procesos de aprendizaje. Según el autor una buena arquitectura puede estimular y dar soporte a la enseñanza, mientras que un "mal proyecto" puede incluso inhibir el aprendizaje. Al identificar el desarrollo físico, emocional, social y lingüístico de los estudiantes, Perkins presenta las "siete inteligencias"<sup>103</sup> y propone requisitos y estrategias para la programación arquitectónica, además de abordar los aspectos con influencia directa en el consumo de energía como iluminación, acondicionamiento térmico, ventilación, ACS y el uso de energías renovables y medidas para la eficiencia energética, el desempeño de la envolvente y otros temas de la construcción sostenible.

Palme (2010) se propone evaluar la "sensibilidad de los consumos energéticos" de los edificios, de acuerdo con las condiciones de confort establecidas en sus ambientes interiores, sobre todo las "dinámicas energéticas" desencadenadas entre los usuarios y el edificio; esta interacción usuario/ambiente ocurre por medio de sus acciones para el control ambiental en las condiciones desfavorables (abrir una ventana si tiene calor o ponerse un abrigo para el frío, etc.) y los respectivos impactos en el consumo energético. Para lograr sus objetivos adopta ecuaciones de balance y simulaciones para la evaluación energética anteriormente mencionados (*LIDER/CALENER*, *ECOTECH*,

<sup>103</sup> Según las teorías de Howard Gardner las siete inteligencias son: lingüística, lógica/matemática, espacial, musical, motora, interpersonal y intrapersonal (Perkins 2010, 5).



*TRNSYS* y *ARCHISUN*), como resultado propone los conceptos de "robustez o sensibilidad energética<sup>104</sup>" y "efusividad térmica global<sup>105</sup>" como metodología para alcanzar las dinámicas ambientales y la sugerencia de la revisión del concepto de confort incluyendo los fenómenos de la adaptación y de transición.

Estas interrelaciones pueden, al fin, ser concentradas a lo que Serra Florensa (1999, 7) presenta como los diferentes "climas de la arquitectura" que componen el espacio, incluyendo fenómenos ambientales que actúan sobre sus ocupantes no solo en términos del bienestar térmico, sino de sensaciones más complejas como las táctiles, visuales, auditivas, etc. Para el autor (ídem, 13) "los parámetros ambientales o de confort son aquellas características objetivables de un espacio, que pueden valorarse en términos energéticos y que resumen las acciones que, en dicho espacio, reciben las personas que lo ocupan", tratándolos como clima del aire y de la humedad, de la luz y del sol, de las paredes, del viento y de la brisa y del silencio.

Además, para Serra Florensa y Coch Roura (1995) las variables o preexistencias ambientales son pasibles de la interferencia del proyecto bajo los criterios e intenciones del programa, las "voliciones ambientales", para transformarlas en Arquitectura, algunas de estas variables incluso son muy difíciles de ser traducidas como un parámetro mensurable, pues la percepción del confort depende de factores psicológicos y culturales, de acuerdo con los demás autores mencionados.

A estos conceptos se suma la "idea del confort" desarrollada por Schmid (2005) como atributo positivo del espacio arquitectónico, que "no se limita a la neutralidad a través de la supresión de los factores indeseables, pero también envuelve algo más" (ídem, 22), o "el confort no se explica con criterios estanques, precisamente definidos" ... "tampoco se revela como un juego donde vence la neutralidad o la eliminación del desconfort" (ídem, 21).

A modo de conclusión de este apartado, el trabajo comparte las cuestiones apuntadas por Serra Florensa (1999) y Schmid (2005) con una perspectiva de evaluar las condiciones de confort/desconfort integradas, cuyos límites sean evaluados de manera asociada, especialmente aquellos con normativas generales - o incluso universales, sin un abordaje dentro de los contextos más cercanos a la Arquitectura del edificio y de su entorno.

---

<sup>104</sup> Robustez o sensibilidad entendida como la "capacidad real del edificio de absorción de los cambios, sea en su piel (almacenando calor por ejemplo), sea en su funcionamiento, por ejemplo respondiendo rápidamente y con eficacia a cambios en ventilación, radiación, etc." (Palme 2010, 173).

<sup>105</sup> Efusividad térmica tiene relación entre las características globales de pérdida y acumulación del edificio, para Palme (2010, 163) "debería ser una buena manera de medir la capacidad de absorción del calor".





## C LAS PRÁCTICAS DE PLANEAMIENTO AMBIENTAL DE UPC Y UPF

### C.1 Caracterización de los objetos de investigación - UPC y UPF

A fin de establecer las condiciones de las evaluaciones presentadas en los Capítulos 3 y 4, inicialmente es necesario presentar y caracterizar los campos del estudio, por una parte la Universitat Politècnica de Catalunya - UPC, España, por la otra la Universidade de Passo Fundo - UPF, Brasil. Para adoptar una sistematización de las configuraciones de cada una de sendas universidades, se ha elegido la investigación de Calvo-Sotelo (1997), anteriormente comentada en el Apéndice A.

Además, es importante realizar una descripción de cada una de las Universidades y sus respectivas ciudades-sedes, a partir de informaciones de fuentes diversas, en general los datos primarios facilitados por las administraciones de las dos instituciones de enseñanza superior y dependientes de las actualizaciones disponibilizadas. De la misma forma se han recogido informaciones sobre las estructuras administrativas específicas de la planificación urbanística y/o medioambiental, así como de las herramientas adoptadas para la inclusión de criterios de ecoeficiencia en los *campi* y edificios. A partir de las caracterizaciones preliminares se han identificado los puntos de coincidencias y diferencias entre UPC y UPF.

### C.2 Universitat Politècnica de Catalunya - UPC

El Campo de Estudio 1 es la Universitat Politècnica de Catalunya – UPC BarcelonaTech<sup>106</sup>, centrándose en el análisis de los programas ambientales de UPC y de la evaluación sus objetos resultantes.

Por un lado el escenario de las evaluaciones se ubica en el parque construido de la UPC, constituido por cerca de 80 edificios distribuidos en 11 *campi* y centros territoriales, como los *Campus Nord* y *Sud*, en Barcelona y en los municipios de Castelldefels, Manresa, Sant Cugat del Vallès, Terrassa, Viladecans y Vilanova i la Geltrú - Figura 133, con el total de superficie construida de 384.172,00m<sup>2</sup> (Benedito i Rovira, J. y Benedito i Rovira M. 2001, 156-189; UPC 2011a).

El Campus del Llevant, coincidiendo con las propuestas para la realización de la reforma urbanística del extremo opuesto de la Avinguda Diagonal de Barcelona para la realización del Fórum Universal de las Culturas en 2004, ha permitido construir infraestructuras básicas y establecer un programa de inversiones para la construcción de una nueva área especializada en tecnologías conformando los dos Portales del Conocimiento, Figura 134. En lo que se refiere a la UPC, con el Campus Diagonal Besós se propone la constitución de un nuevo campus que integrará

---

<sup>106</sup> Agregada la denominación UPC BarcelonaTech a partir de febrero de 2012, por la conmemoración de los 40 años de su fundación.

espacios de formación y de investigación en Ingeniería, especialmente vinculada a la innovación en el ámbito del agua, energía y movilidad. Con previsión inicial de funcionamiento a partir del 2012, fue replanteado por la coyuntura económica para el curso académico 2015-2016, con tres de los doce edificios del proyecto completo.

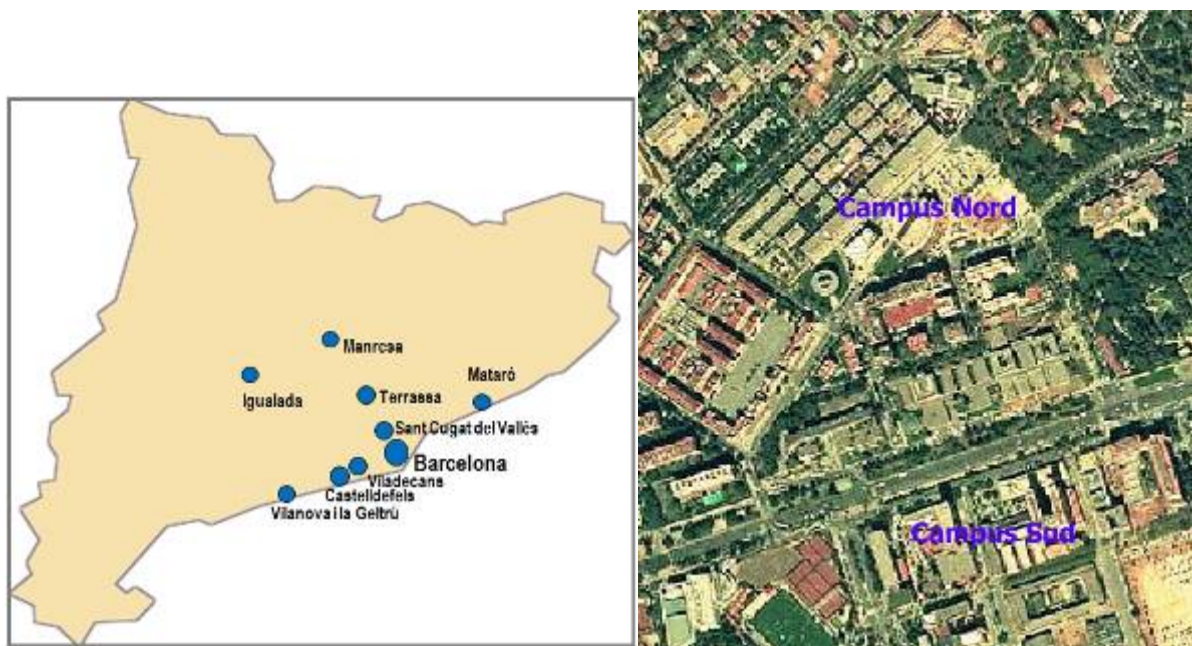


Figura 133 Distribución territorial de la UPC (adaptado de PMT 2011) y Campus Sud y Nord en Barcelona.

La comunidad académica según los datos del curso de 2013-2014 (UPC 2015a) estaba compuesta de 2.547 docentes e investigadores, 1.480 de personal de administración y servicios y 51.002 alumnos distribuidos en los centros propios y los adscritos, lo que totalizaba 55.029 usuarios.

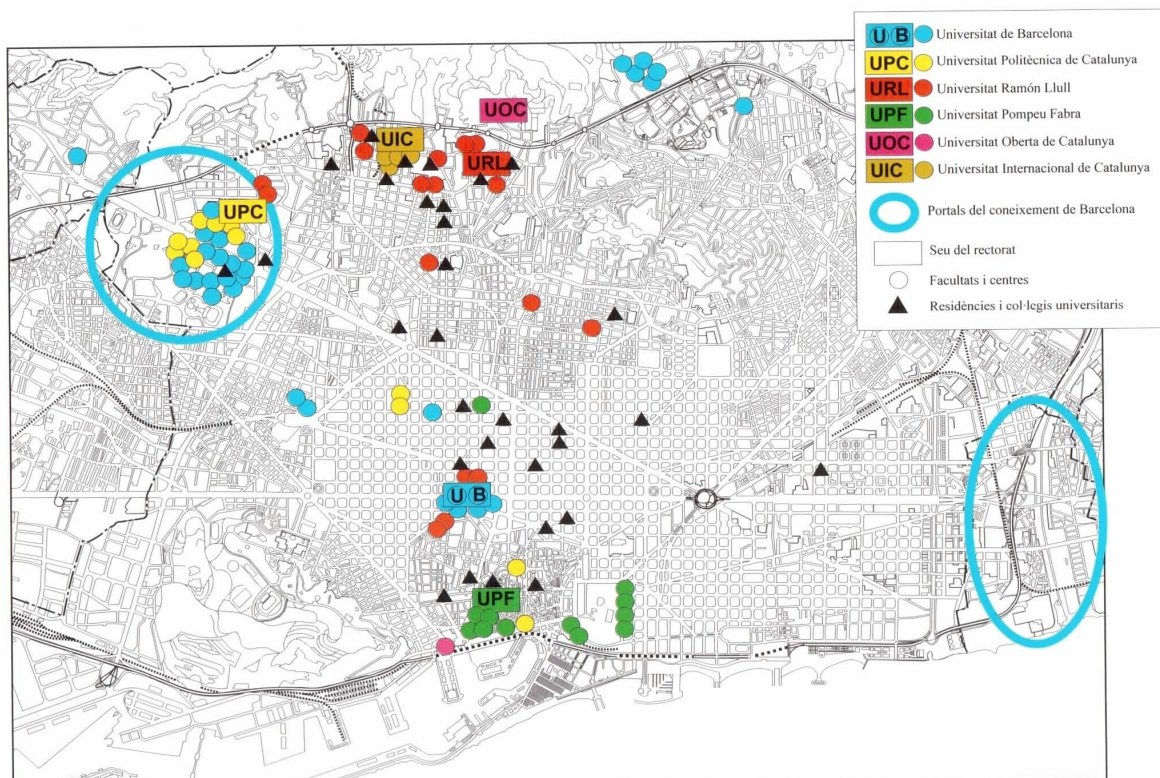


Figura 134 Ubicación de las instituciones de enseñanza superior en Barcelona (Carreras 2001, 51).

Según la clasificación de Campos Calvo-Sotelo (2000) para los Modelos de Distribución, Barcelona sigue el modelo múltiple universitario, con algunas unidades de ámbito local y otras de ámbito territorial en lo que se refiere a los aspectos administrativos y geográficos; por sus diferentes contextos en las ciudades-sedes, predomina la categoría como universidades urbanas. El caso específico de las unidades del "recinto Pedralbes", formados por los Campus *Nord* y *Sud* - Figura 134, el autor las considera como células periféricas al contexto urbanístico de Barcelona, con una relación de "yuxtaposición, produciendo una discontinuidad en el trazado", sin embargo, por el hecho de que la ciudad haya ido progresivamente abrazando el recinto universitario, el autor también la considera como ligeramente disuelta dentro de la estructura urbana, aislada y diferenciada de su entorno. En la Figura 135a imagen de la construcción de los edificios de la ETSEIB al lado de la ETSAB y EPSEB, en la cual se percibe el entorno todavía no consolidado.



Figura 135 a. Vista construcción edificios Campus Sud, 1963 (Roca Blanch 2009, 40); b. vista aérea Campus Nord.

El propio Calvo-Sotelo (2000, 160) considera la UPC "una célula ciertamente rica en interpretaciones", caracterizada socialmente con términos como área de cambio y vitalización de las zonas colindantes o zonificación (ocupa un ámbito marcadamente independiente) o superpuesta (comparte su implantación con el tejido urbano), también hace un análisis de la configuración arquitectónica destacando el carácter modular y ortogonal de los edificios de *Campus Nord* - Figura 135b.

La UPC ha recibido un destaque en el estudio de Hoeger y Christiaanse (2007, 216-219), lo cual sistematiza las universidades con importancia internacional y especialmente volcadas a la innovación tecnológica, caracterizándola como "*inner-city campus*", hecho que facilita la "interacción social y económica y contribuye para el balance y desarrollo sostenible de la región de influencia".

Por su característica de concentración de la aplicación de los programas ambientales, cabe destacar el análisis del *Campus del Baix Llobregat* - también denominado *Parc Mediterràni de la Tecnologia* (PMT 2005) - en Castelldefels, ocupando un área de 379.000 m<sup>2</sup>. El campus está ubicado en el Delta del Llobregat, con las respectivas especificidades geológicas, topográficas y paisajísticas. Está limitado al norte por la autopista C-32, al este con el Canal Olímpico, al sur con áreas de ocupación residencial y al oeste igualmente por el tejido urbano del municipio - Figura 136. Específicamente en el Campus de Castelldefels el número de alumnos, en el curso académico 2011-



2012 (UPC 2011g) era de 1.800, 217 docentes e investigadores y 80 de personal administrativo y de servicio<sup>107</sup>.

Según la misma metodología de análisis (Campos Calvo-Sotelo 2000), este puede ser considerado como urbano pero aislado del tejido urbano, además presentando un fuerte borde con la ciudad que es la autopista C32 y las áreas verdes.



Figura 136 Vista aérea del Campus del Baix Llobregat (Castelldefels) - Parc Mediterrani de la Tecnologia, sin fecha (PMT 2011).

El *Parc Tecnològic* es un conjunto multidisciplinar que engloba escuelas de ingeniería, centros de investigación y desarrollo y laboratorios de innovación tecnológica de empresas relacionadas con las disciplinas universitarias, donde recientemente se han construido el Edificio RDIT - Figura 137, y alojamientos universitarios (PMT 2011; UPC 2012g).



Figura 137 Vistas generales del Campus del Baix Llobregat - PTM (Fotografías del autor 2012).

La ocupación inicial del Campus ha sido determinada por los patrones definidos en el *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels* (UPC 1999; UPC 2000), según las líneas básicas de actuación ambiental del diseño, construcción y uso de los edificios en la UPC presentados en los *Criteris Ambientals en el Disseny, la Construcció i la Utilització del*

<sup>107</sup> Datos completos del Campus y del PMT disponibles en: [https://cbl.upc.edu/el-campus/per\\_coneixer\\_campus/el-campus-en-xifres](https://cbl.upc.edu/el-campus/per_coneixer_campus/el-campus-en-xifres).

*Edificis* (UPC 1998). La construcción de los edificios de Serveis y de Escuela de Agricultura - ESAB - siguen las determinaciones del *Procés ACA2 - Procés d'Aplicació de Criteris Ambientals en l'Arquitectura* (Ferrer i Balas et al. 2003).

Igualmente hay que mencionar las experiencias en la gestión de los edificios de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès - ETSAV, ubicada en Sant Cugat del Vallès, tema de investigaciones y programas para evaluación del impacto ambiental - Informe MIES (Cuchí i Burgos y Lopez Caballero 1999) y de la aplicación del programa UPCO<sub>2</sub>, comentados a continuación.

## **Evaluación de los programas ambientales en la UPC**

Inicialmente se hace imprescindible enmarcar las directrices de planificación de los edificios de UPC en las políticas ambientales adoptadas a lo largo de las últimas décadas. Para la sistematización de la experiencia de la UPC se establecieron 4 grupos de actuaciones:

1. Los planes medioambientales;
2. La estructura administrativa;
3. Los programas e instrumentos de aplicación práctica;
4. Las investigaciones docentes.

Dicha estructura, sin embargo, ocurrió concomitantemente, presentándose en la Figura 138 el resumen de esas iniciativas en una línea de tiempo. Además, acontecieron en algunos casos de manera interrelacionada o incluso interdependientes, en este sentido se sistematizaron en dos conjuntos de actuaciones: por un lado los planes y las estructuras administrativas, es decir, de política de la Universidad, y por otro los programas, instrumentos e investigaciones tanto teóricos como llevados a la práctica, o también definidos por las políticas universitarias.

### **Planes de medioambiente y estructura administrativa**

De manera que cumpla las exigencias y normativas europeas, la UPC desde 1995 desarrolla instrumentos para la aplicación de criterios medioambientales y para la inclusión de la Educación para el Desarrollo Sostenible.

Con esta perspectiva la Universitat Politècnica de Catalunya propuso una metodología para definir las directrices de gestión y calificación de sus estructuras físicas, tanto para los nuevos *campi* como para las edificaciones existentes o para aquellos nuevos edificios; los resultados están consolidados en el *Primer Pla de Medi Ambient* – 1996/2001 y en el *Segon Pla de Medi Ambient* – 2002/2005, y más recientemente en el *Pla UPC Sostenible 2015* – 2006/2015.

Con el *Primer Pla de Medi Ambient* (UPC 1995) la UPC asume que deberá ser una institución orientada a la formación, la investigación y la generación de una conciencia crítica para promover los cambios necesarios en la sociedad hacia el desarrollo sostenible. En este sentido, propone un conjunto de acciones con la finalidad de explicitar este compromiso social y ambiental, al mismo tiempo que propone optimizar la gestión de los recursos disponibles y, así, “ambientalizar” todas las actividades de la UPC.

Para implicar a todos los agentes y a la comunidad universitaria en el proceso, los 5 ámbitos de acciones son: a. formación de primero y segundo grado; b. formación de postgrado; c. investigación; d. vida universitaria; y, e.

sensibilización.



Figura 138 Resumen de los Programas Ambientales en la Universitat Politècnica de Catalunya.



Dentro de los conceptos del Plan fue creada en 1996 la *Oficina de Coordinació del Pla de Medi Ambient*, con el objetivo de integrar la sostenibilidad en todos los ámbitos de la universidad y promover la innovación en los temas ambientales

En su *Declaració de Sostenibilitat* (UPC 1997), la UPC se comprometía a formar profesionales conscientes de la responsabilidad social y ambiental de su actividad, a promover líneas de investigación específicas para generar las herramientas técnicas y conceptuales para transformar el modelo productivo hacia la sostenibilidad y a “aplicar criterios de sostenibilidad en su actividad institucional y de gestión, hacer el seguimiento regular y rendir cuentas, al objeto de explicitar su compromiso con una acción coherente y visible que refuerce y practique una nueva cultura de la sostenibilidad”.

Como parte del proceso de continuidad y seguimiento del Plan, en 2001 se realizó una evaluación (Ferrer-Balas 2001), con las principales conclusiones de que había sido correctamente enfocado, sin embargo algunos de los objetivos deberían ser replanteados; también se identificó que hubo dificultades en los recursos económicos y humanos y en la estructura organizativa para obtener resultados operativos más concretos.

Además de hacer un análisis del proceso, dicha evaluación ofreció pautas y criterios para la elaboración del *Segon Pla de Medi Ambient – 2002/2005* (Oficina del Pla de Medi Ambient de la UPC 2001). Este Plan presenta como características principales el refuerzo en las acciones y proyectos consolidados, y propone la reducción de los proyectos, presentando correcciones a los puntos débiles del Plan anterior. Los ámbitos de acciones permanecen, casi con los mismos objetivos generales, pero reagrupados: a. formación; b. investigación y doctorado; c. vida universitaria y campus; y, d. coordinación y comunicación.

Cabe destacar que en la vigencia del *2n Pla* se implementó en 2001 el programa Investigación para la Excelencia Ambiental del Campus del Baix Llobregat (*Laboratori REAL*), espacio institucional y multidisciplinario para promover y consolidar los proyectos de investigación e innovación tecnológica en la sostenibilidad, dentro del cual están inseridas las investigaciones previas que han basado el presente trabajo.

Ámbitos	Proyecto	2003	Indicadores	Tendencia
<b>3. Vida universitaria y campus</b>	3.1 Recursos y residuos	✓	3.1.A. Implantación de los Planes Integrales de Recogida Selectiva (PIRS) 3.1.B. Recuperación de envases de vidrio	😊 😊
	3.2 Criterios ambientales en los edificios y campus	✓	3.2.A. % de concursos de edificios ambientalizados 3.2.B. Emisiones diarias de CO <sub>2</sub> por persona asociadas al consumo energético 3.2.C. Consumo diario de agua por persona	😊 😊 😊
	3.3 Movilidad sostenible	✓	3.3.A. Uso diario promedio del servicio de préstamo Bicicampus	😊
	3.4 Voluntariado ambiental	✓	3.4.A. No. de asistentes a acciones formativas de participación ambiental	😊

Figura 139 Resumen de los avances del *2n Pla de Medi Ambient* – vida universitaria y campus, 2003-2004 (Ferrer et al. 2004, 9).

En lo que se refiere al tema del ámbito “vida universitaria y campus”, la Figura 139 del informe elaborado en 2004 (Ferrer et al. 2004) presenta que hubo avances parciales en los proyectos relacionados con los criterios ambientales en los edificios y campus: los concursos de proyecto de edificios ambientalizados fueron parciales y con resultados por debajo de los esperados, véase más adelante el concurso del *Procés ACA2*; el control de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo energético no tuvieron un seguimiento eficiente o, incluso, inexistente; el consumo de agua fue el punto que más resultados positivos logró.

Otros puntos a destacar del *2n Pla* se refieren a que la ambientalización de los currículos es capaz de generar en los estudiantes la responsabilidad ambiental en sus futuras prácticas profesionales y su compromiso con los necesarios cambios tecnológicos y sociales para la sostenibilidad fuerte a que se refiere Naredo (1997); el éxito del Plan sugiere que es imprescindible el involucramiento de toda la comunidad académica en el proceso.

Ferrer-Balas (2001, 61) menciona que, además de los avances en la educación ambiental, los indicadores, encuestas y otras herramientas metodológicas son necesarias para controlar y monitorizar el proceso, tanto a corto como a largo plazo. También a modo de informe de los resultados obtenidos (Ferrer-Balas et al. 2004), las estrategias adoptadas en el Segundo Plan fueron evaluadas de forma positiva, pero todavía como un proceso en consolidación, haciendo referencias a las adecuaciones y cambios de paradigmas en las políticas universitarias, a partir de los marcos contenidos en la Declaración de Bolonia para los ámbitos del Espacio Europeo de Educación Superior.



Figura 140 Los objetivos del Pla UPC Sostenible 2015 (UPC 2006, 10).

La visión externa a la UPC de los avances de Segundo Plan, desarrollada por Jansen, Holmberg y Civili (2005), destaca como recomendación la necesidad de iniciarse un proceso de cambio más efectivo, reconociendo los esfuerzos ya adoptados hacia la Educación para la Sostenibilidad.

Con la aprobación del *Pla UPC Sostenible 2015* (UPC 2006), la UPC considera necesaria su adaptación como

institución a los marcos del Protocolo de Kyoto. El Plan presenta las actuaciones para el periodo 2006/2015, a partir de las evaluaciones de los planes precedentes con el objetivo de "convertirse en una universidad que participe y se comprometa con los retos de la sostenibilidad en su entorno local, regional e internacional" (La UPC vol... 2006), para esto disponía de un plazo amplio que permitiría la generación de cambios concretos y que pudieran visualizar, evaluar y retroalimentar el proceso; según los objetivos representados en la Figura 140.

Para operacionalizar estos objetivos el *Pla UPC Sostenible 2015* (UPC 2006) ha fijado cinco grupos temáticos:

- Edificación, energía y cambio climático;
- Gestión del ciclo integral del agua;
- Responsabilidad social de la tecnología;
- Territorio, movilidad y logística;
- Ciclos materiales, eco-diseño y residuos.

Estos temas fueron abordados según 4 ámbitos de actuación, muy semejantes a los anteriores planes ambientales: *a.* compromiso e interacción social; *b.* investigación; *c.* formación; y, *d.* gestión interna. A cada uno de ellos corresponden diferentes acciones, con sus objetivos y responsables determinados, con una escala de prioridades y costes asociados. Con esto la UPC pretendía una transición de un enfoque puramente ambiental para un enfoque del desarrollo humano sostenible, abierta a su entorno comunitario y a las redes universitarias.

Para discutir los procesos de planificación medioambiental, la UPC promovió en 2007 el *Primer Congreso UPC Sostenible*<sup>108</sup>. En una evaluación de los mecanismos de seguimiento a partir de la memoria de todas las actividades en el periodo de 1997 hasta 2005, Ferrer-Balas et al. (2007a) analizan sus puntos fuertes y débiles, indicando criterios para su mejora y directrices para una nueva herramienta de "rendimiento de cuentas". Este nuevo modelo debería contribuir al fomento de la "transformación sistémica de la UPC hacia la sostenibilidad, propiciando una transformación en su cultura y manera de hacer que contribuya a la vez a una profunda transformación del modelo de desarrollo actual", con un gran énfasis en la colaboración con todos los actores sociales (comunidad universitaria y agentes externos).

En el análisis FLA (Jansen 2003), ya comentado en el Apéndice A, las 3 dimensiones del Desarrollo Sostenible (SD) - Figura 141a, muestran los potenciales de cambios "sistémicos" de cada uno de los 4 ámbitos de actuación del Pla UPC Sostenible 2015 (Ferrer-Balas, Buckland y de Mingo 2007; Ferrer-Balas et al. 2008) - Figura 141b. El ámbito específico de Gestión (*D*) para el eje *F* (marco) enseña que las estructuras son más dependientes de la propia universidad con un abordaje de mayor énfasis, sin embargo en el eje *L* (nivel) la situación denota que existen dificultades para cambios profundos y de largo plazo, lo mismo ocurre en el eje *A* (actores), también con una situación intermedia, llevando a las conclusiones de la necesidad de la colaboración y comprometimiento de todos los agentes.

---

<sup>108</sup> El Segundo y último Congreso ocurrió en 2009, también reflexionando sobre el proceso y proponiendo su continua mejora.

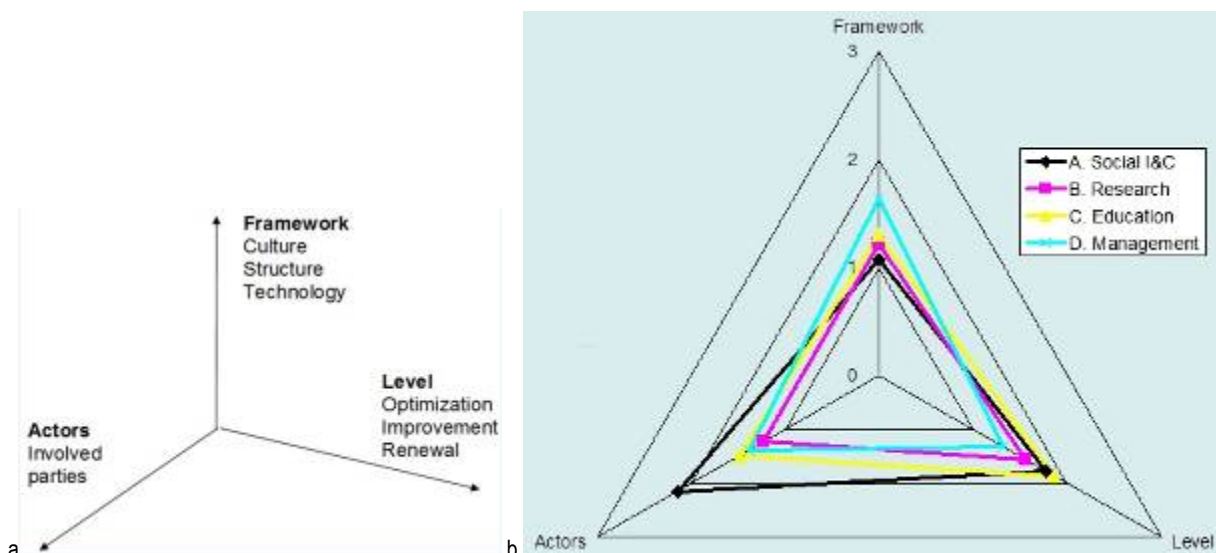


Figura 141 a. Las dimensiones del análisis FLA (Jansen 2003); b. comparación entre los diferentes ámbitos del Pla UPC Sostenible 2015 (Ferrer-Balas, Buckland y de Mingo 2007).

La revisión de la primera fase del Pla (2006-2010) a partir de un Fórum de Revisión (UPC 2010a) con la participación de la comunidad universitaria identificó una distancia entre la política en la sostenibilidad y las prácticas diarias de la UPC, en razón a la dificultad encontrada en el establecimiento de acciones "realmente transformadoras de hábitos, costumbres y percepciones de la comunidad UPC". La diagnosis encontró, de la misma forma, una falta de voluntad institucional vinculante y que parta de la implicación y comprometimiento de los órganos directivos. En este sentido, la evaluación fue bastante negativa, ya que la Fase 1 del *Pla UPC Sostenible 2015* "no haya contribuido significativamente a construir una universidad más sostenible, y por consecuencia, tampoco lo hizo en relación a su entorno" (UPC 2010b); en la Figura 193 - Anexo VIII.A, está presentado un diagrama con la evaluación de esta Fase.

Con esta visión crítica del proceso de planificación, se evalúa positivamente la oportunidad de discusión y reflexión, inherentes a la continua mejora del sistema, además de ser un buen mecanismo estratégico, necesitando fortalecerlo en términos de Liderazgo y de inversiones de recursos económicos y humanos, y tornarlo más propositivo (UPC 2010a).

Línies estratègiques transversals	Línies estratègiques temàtiques
1. GOVERNANÇA I SOSTENIBILITAT	5. ENERGIA I CANVI CLIMÀTIC
2. INTERACCIÓ I COMPROMÍS SOCIAL: LES DEMANDES DE L'ENTORN	6. RESIDUS I EMISSIONS ZERO
3. INTERACCIÓ I COMPROMÍS SOCIAL: CAMPUS COM A LABORATORIS	7. SALUT, QUALITAT DE L'AIRE I ALIMENTACIÓ
4. CULTURA DE SOSTENIBILITAT DE LA COMUNITAT	8. SUBMINISTRAMENTS I CONSUM RESPONSABLE
	9. CICLES DE L'AIGUA
	10. TERRITORI I MOBILITAT

Figura 142 Líneas estratégicas del Pla UPC Sostenible 2015 - Fase 2 (UPC 2011a, 5)

Para la Fase 2 (período 2011-2015) en el *Document CG 56/11* (UPC 2011a) se identifica la necesidad de readecuación de la estructura, reorganizándolas en líneas estratégicas transversales y temáticas, según la Figura 142, proponiendo la corresponsabilidad y descentralización de las actuaciones, y en el campo institucional, que se cumplan los compromisos de la misión de la Universidad hacia los cambios para la ES (incorporados en la Declaración de Sostenibilidad de 1996) y por medio de la Comisión de Sostenibilidad.

El documento CG 57/11 (UPC 2011b) define la distribución de los papeles para cada una de estas líneas estratégicas, así que para el campo específico de la gestión de energía (ubicada en el área de organización, comisión de sostenibilidad y responsabilidad social), establece dos grupos de actores y funciones para cada uno de ellos, según la Tabla 43:

Tabla 43 *Pla UPC Sostenible 2015* (2a Fase: 2011-2015). Distribución de funciones y papeles (adaptado de UPC 2011b, 1).

Función - Servicios Generales UPC	Funciones - IS.UPC (y otras UB)
Coordinación del Plan de Mejora Energética; Seguimiento de los consumos de los suministros; Asesoramiento técnico y legal a los campus, centros y servicios; Capacitación de recursos para las infraestructuras y mejora de los servicios internos; Potencialización del consumo y producción de energías renovables desde la propia universidad; Coordinación y seguimiento de la ejecución de acciones del PIU y priorización/propuesta. Coordinación de las mejoras de los equipamientos, instrumentos y softwares de monitorización UPCNET. Impulso de acciones, coordinación y asesoramiento de acciones específicas y proyectos de optimización energética.	Elaboración del Informe SIRENA - energía (indicadores y mediciones de consumos, facturas, recomendaciones, ...) Integrar al Informe SIRENE - energía la evaluación energética de procesos

Dentro de los marcos generales de los Planes se ha constituido una estructura administrativa específica - la Oficina de Coordinación del *Pla de Medi Ambient* (1996-2005), posteriormente denominada CITIES - Centro Interdisciplinario de Tecnología, Innovación y Educación para la Sostenibilidad, conectada organizativamente a la Comisión de Sostenibilidad de UPC. Su misión era la de integrar la sostenibilidad en todos los ámbitos de la UPC y generar oportunidades de innovación en sostenibilidad, actuando en los cuatro ámbitos de actuaciones del *Segon Pla de Medi Ambient*, reportado en el informe de sus actividades (Ferrer et al. 2004) con avances positivos, en especial por aglutinar las diferentes iniciativas internas de la Universidad en la investigación en medio ambiente y desarrollo sostenible consolidado en el programa *Laboratori REAL*, además de diferentes programas de aplicación práctica en la formación y vida universitaria.

Un punto importante de los resultados fue en lo que respecta al desglose de los presupuestos destinados a la ejecución del Plan Medioambiental, referente a 2004 a solamente 0,099% de toda la UPC, pero con la inversión de otras fuentes alrededor del 44% contra 56% de ingresos de la propia UPC, según las variaciones presentadas en la Figura 143 (Ferrer Balas 2005).

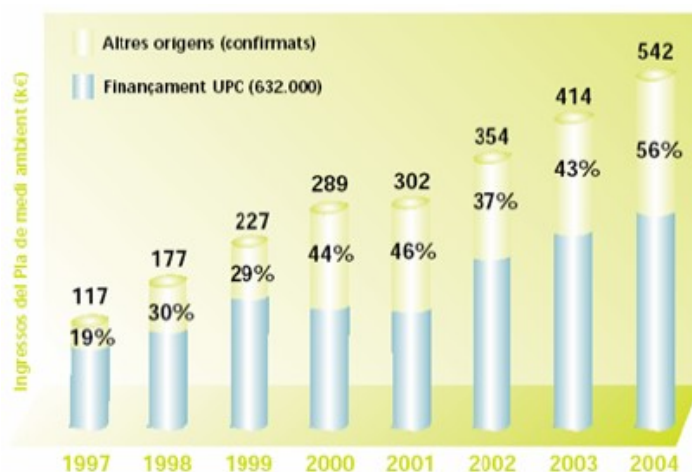


Figura 143 Ingresos del Pla de Medi Ambient (Ferrer Balas 2005, 49).

Desde julio de 2009, ya en el marco de la Fase 2 del *Pla UPC Sostenible 2015*, está configurado el Instituto de Sostenibilidad o Instituto Universitario de Investigación en Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad (IS.UPC). Esta estructura actual tiene la misión de generar las herramientas técnicas y conceptuales necesarias para ayudar a transformar el modelo productivo de UPC hacia la sostenibilidad, y colaborar y promocionar el apoyo científico y técnico al progreso social, cultural y económico de la sociedad (UPC 2011c). Como estrategia de sensibilización e interacción, todas las experiencias de la comunidad universitaria y externa son divulgadas a través del espacio web Portal UPC Sostenible 2015 y del Instituto de Sostenibilidad<sup>109</sup> (UPC 2011d).

Seguramente, uno de los retos del IS.UPC era la compatibilización entre las líneas estratégicas del Plan Medioambiental y sus planes de acciones y los actuales recortes en la financiación de las universidades españolas y en los programas de I+D; además cabrán futuras evaluaciones del *Pla* y de su continuidad, ahora bajo la coordinación de la *Oficina de Gestió Sostenible i d'Igualtat d'Oportunitats*.

### El Pla Ambiental del Campus de Castelldefels

Partiendo de un objetivo general de reducir los impactos ambientales producidos por la estructura de la misma UPC, se considera de una manera integrada las fases de diseño, construcción y utilización de los edificios, base conceptual de la construcción sostenible. Además, se pretendía una mayor calificación de los espacios con el confort y la productividad de los usuarios, minimizar los costes energéticos de operación y mantenimiento, y aumentar la durabilidad y seguridad de los edificios.

En los ámbitos del *Primer Pla de Medi Ambient* ha sido desarrollada la metodología MICRAMED<sup>110</sup> (Granado et al. 2001); su documento base *Criteris ambientals en el disseny, la construcció i la utilització dels edificis* (UPC 1998) presenta dos grupos de indicadores diferenciados en las 3 fases del edificio: diseño, construcción y utilización. En una escala más amplia se ha determinado un gran grupo de 211 criterios que engloban la ordenación urbanística, el diseño de los edificios e instalaciones, la construcción y el uso. Para objetivar las actuaciones, de estos criterios han sido definidos un grupo prioritario de 100 puntos, a modo de *check-list*, que serían evaluados por la *Comissió de*

<sup>109</sup> Accesos disponibles en <http://www.upc.edu/sostenible2015> y <http://is.upc.edu>.

<sup>110</sup> MICRAMED - Metodologia d'Introducció de Criteris Ambiental en els Edificis (Granado et al. 2001).



*Medi Ambient* de la UPC en cada una de las actuaciones, para valorar y hacer un seguimiento de la aplicación de dichos criterios.

Este marco inicial del planeamiento ambiental en la UPC se ha consolidado con la experiencia de la implantación del Campus de Castelldefels o *Parc Tecnològic de la Mediterrània* con la oportunidad de su aplicación concreta. El *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels* (UPC 1999; UPC 2000) pretendía ser un protocolo de aplicación de los criterios ambientales en los edificios de las diversas instituciones instaladas en el *Parc Tecnològic*, inaugurado en mayo de 2001.

Desarrollando la metodología de *benchmarks* propuesta por el documento Criterios Ambientales, el Plan los simplifica en un conjunto de 8 ámbitos de actuación distribuidos en 31 proyectos ambientales<sup>111</sup>, según los siguientes temas:

1. Suelo y vegetación;
2. Agua;
3. Contaminación acústica;
4. Movilidad;
5. Redes e instalaciones;
6. Eficiencia energética;
7. Materiales y residuos;
8. Aspectos Globales.

En este sentido, establecía niveles de competencias y prioridades para cada uno de estos proyectos, desde aquellos de infraestructura general del campus (por ejemplo la conservación de vegetación autóctona y el sistema de drenaje de aguas pluviales) hasta a los específicos a cada uno de los edificios, igualmente considerando todas las fases del mismo: diseño, construcción y utilización. El mérito de la metodología descrita por Granado et al. (2001) fue exactamente la oportunidad de implementar la experiencia de otros países, con la participación de expertos la propia UPC en varios campos del conocimiento.



Figura 144 a. ESPC - fachada norte. b. ESPC - fachada sur (fotografías del autor 2006).

En el marco del Plan ha sido construido el edificio de la Escola Superior Politècnica de Castelldefels (ESPC), véase

<sup>111</sup>Los ámbitos y proyectos del Pla Ambiental del Campus de Castelldefels y la evaluación de la aplicación están presentados en la Figura 198 del Anexo VIII.D.



la Figura 144, con su inauguración en septiembre de 2001. Estas experiencias fueron evaluadas en el marco de las investigaciones del *Laboratori REAL*, comentadas a continuación (CITIES, 2005; Cuchí i Burgos, López Plazas, Leite Frandoloso 2006) y la Auditoria Energética del *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* - PECR (Díaz 2004; Martínez Cuadra, 2004; Bosch et al. 2006, 107-110).

En los aspectos de eficiencia energética planteaba un ahorro de consumo de energía de 30% respecto al consumo medio de los edificios del *Campus Nord*, para alcanzar este objetivo propuso estrategias como la utilización de la energía solar para calentamiento de agua sanitaria y climatización y para la producción de energía eléctrica (paneles fotovoltaicos), sin embargo no hacía mención concreta a qué edificio-referencia serian hechas las comparativas - véase la Figura 198 - Anexo VIII.D. No obstante, este objetivo se presenta poco factible y de aplicabilidad limitada, muy elevado según la tendencia observada en otros campus, presentada en la Figura 145, necesitando una revisión bajo nuevos parámetros.

La evolución del *Pla Ambiental de Campus del Baix Llobregat* también fue evaluada por el CITIES (2005), que después de cinco años de observación de los procesos relativos a los criterios y metodologías propuestas, concluyó que las acciones fueron parciales, además de identificar una gran descoordinación entre los diferentes agentes implicados en la tomada de decisiones, "hasta el punto que no hubo interlocutores definidos que pudieran discutir sobre los aspectos concretos del Plan".

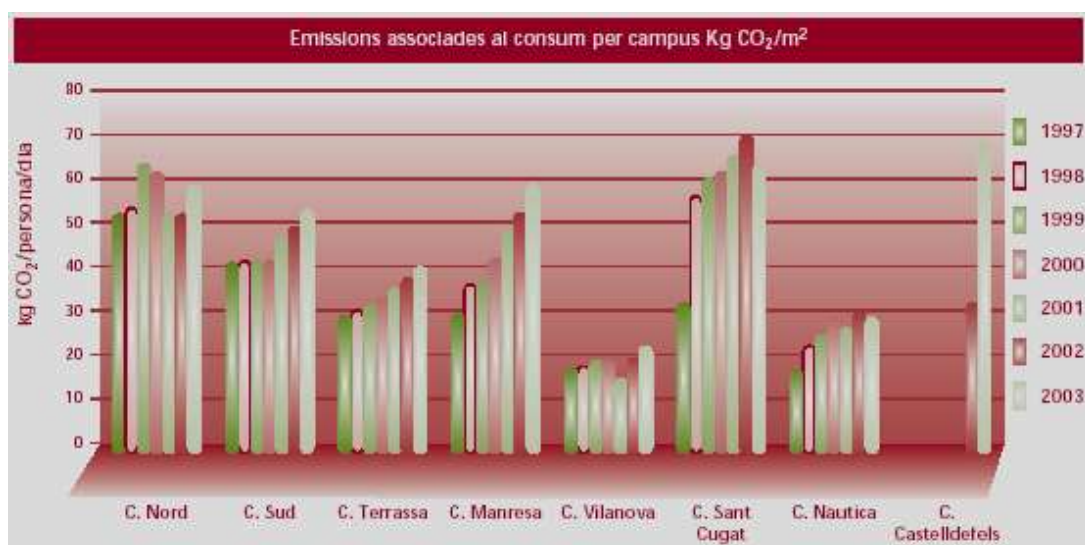


Figura 145 Emisiones asociadas al consumo de energía en los campi de la UPC (CITIES 2005).

### **El Procés d'Aplicació de Criteris Ambientals en l'Arquitectura - ACA2**

Una segunda aportación metodológica para el Campus de Castelldefels fue el *Procés d'Aplicació de Criteris Ambientals en l'Arquitectura - ACA2* (Ferrer i Balas et al. 2003) que consistió en una experiencia pionera en España para introducir conceptos medioambientales en los concursos para los nuevos edificios universitarios.

El *Procés ACA2* propuso la inclusión de 5 parámetros ambientales en todas las fases de proyecto, construcción y uso de los edificios:

1. consumo energético;

2. emisiones de CO<sub>2</sub>;
3. consumo de agua;
4. materiales utilizados;
5. otras aportaciones.

A partir de estos conceptos se evaluarían los proyectos arquitectónicos con base en un “compromiso” de sus autores con la reducción de los impactos ambientales y del consumo energético, referenciados a edificios ya existentes, presentando valores numéricos y cuantificables y sus respectivas memorias de actuación para alcanzar estos valores.

La sistematización del proceso, con el Diagrama Resumen presentado en la Figura 147, consistiría en el seguimiento de la Propuesta Ambiental ganadora, seleccionada con base en dichos parámetros ambientales numéricos y descriptivos. Además de la fase de concurso, las fases de desarrollo de los anteproyectos, de los proyectos base y de ejecución y la construcción, estarían controladas por una Comisión Asesora que por último se encargaría de comprobar empíricamente los valores establecidos para los parámetros ambientales. Esta evaluación final representaría la conversión de este nuevo edificio en un nuevo modelo de referencia para futuras actuaciones.

Los dos concursos realizados en 2000 para el Campus de Castelldefels basados en ACA2 (Escola Superior d'Agricultura de Barcelona – ESAB – y el Edifici de Serveis) - Figura 194 a Figura 197 del Anexo VIII.B y C, proponían una reducción del 30% en el consumo de energía y agua, referenciados a edificios ya existentes, presentando indicadores cuantificables y sus respectivas memorias de actuación para alcanzarlos.

Sin embargo, cuanto a los proyectos para cumplimiento específico de los nuevos edificios, los objetivos ambientales se presentaron con un gran desvío, como se puede verificar al compararse las acciones contenidas en el *Pla Ambiental*, en la *Propuesta Ambiental del Procés ACA2* y el edificio de la ESAB efectivamente construido (Frاندoloso 2006; Cuchí i Burgos; López Plazas; Leite Frاندoloso 2006).



Figura 146 a. ESAB - protección solar aulas; b. ESAB – protección solar “alternativa” (fotografía del autor 2006); c. protección solar interna (fotografía del autor 2012).

La principal crítica sobre los indicadores adoptados en el *Procés ACA2* se refiere a la base en el control del consumo y no en el control de la demanda, constatación hecha posteriormente con los avances de las investigaciones del *Laboratori REAL* (Cuchi 2004) y del análisis de los resultados de las experiencias prácticas.

## Diagrama resum del Procés ACA2

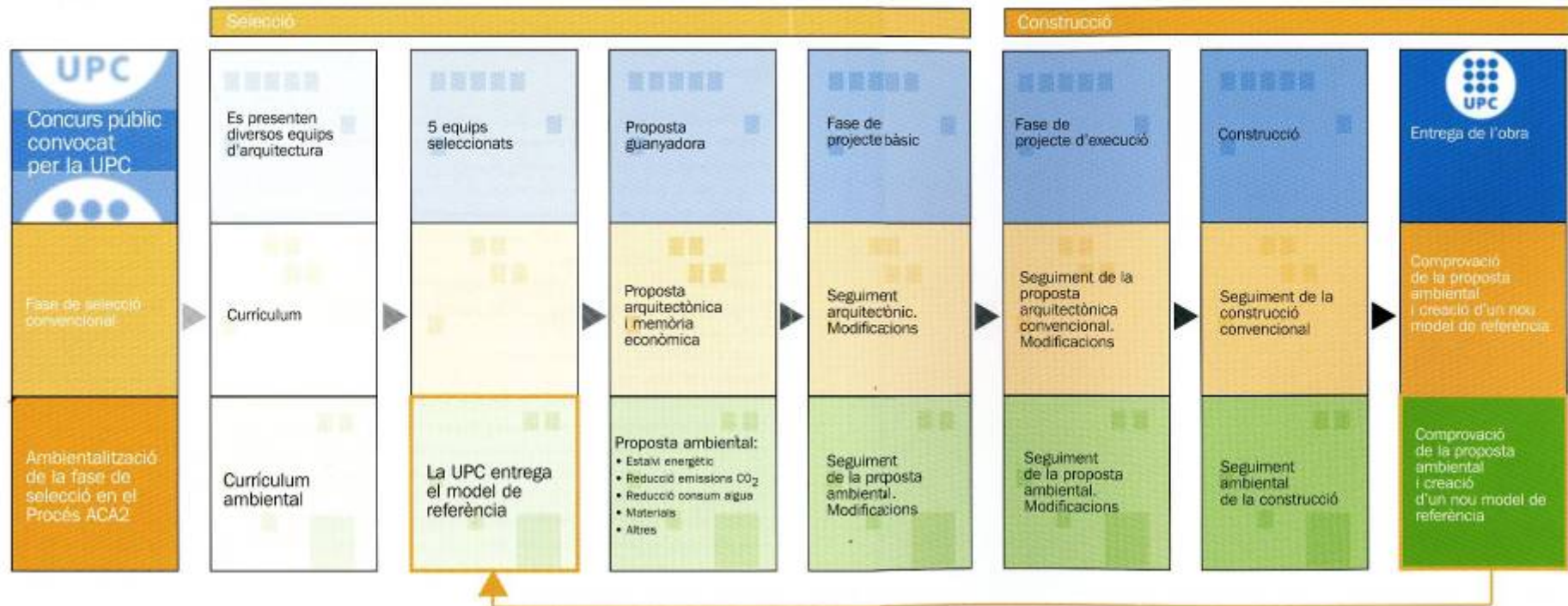


Figura 147 Diagrama resumen del Procés d'Aplicació de Criteris Ambientals en l'Arquitectura - ACA2 (Ferrer i Balas et al. 2003, 26).

En la evaluación del edificio construido si se compara con la Propuesta Ambiental del concurso permitió observar desvíos del proceso. Algunos de los cambios al proyecto original está en la protección de la fachada sur de las aulas, inicialmente con paneles solar-térmico para ACS y fotovoltaico instalado en bandejas de luz, también utilizadas como elemento de protección solar, que han sido sustituidos por paneles corredizos metálicos (Figura 146a); en el bloque de despachos la protección solar recibió soluciones alternativas (Figura 146b), utilizándose hojas de papel pegado a los cristales, sustituido posteriormente por protectores internos corredizos, según se verifica en la situación de 2012 (Figura 146c).

En lo que respecta a los sistemas de acondicionamiento ambiental, la ejecución de sistemas cerrados para responder a los cortes de presupuesto, no permitía ajustes intermedios, ya que el funcionamiento estaba programado para 12 horas (desde las 9:00 hasta las 21:00 horas) y no atendía a las posibles diferencias de demandas entre espacios de uso, características o ubicación diferenciados; la consecuencia obvia es el consumo desnecesario de energía.

Para concluir el análisis de las políticas para el *Campus del Baix Llobregat*, en 2005 el *Consell de Direcció* de la UPC aprobó el Reglamento del Campus (UPC 2005; CITIES 2005), donde los aspectos medioambientales están difusos en las competencias organizativas, olvidándose por completo del *Pla Ambiental* (UPC 1999) o de los programas relacionados, creándose la estructura de la *Unitat Transversal de Gestió* (UTG). Así que los nuevos edificios, sean de la UPC o de las instituciones de I+D del PMT/Parc UPC no han tenido estas mismas bases metodológicas.

Para el Edifici RDIT (Recerca, Desenvolupament i Innovació Tecnològica), situado en el ámbito del *Parc UPC*<sup>112</sup> (PMT 2011), solamente se describen los criterios de proyecto - aprovechamiento de la orientación Sur y con espacios con "muchísima luz natural" (Parc UPC 2011, 4), y de "sostenibilidad": sistemas de saneamiento, reutilización de aguas grises y pluviales, sensores de foto control para la iluminación natural y artificial, equipos de recuperación de calor y de energía, además de un sistema centralizado de gestión y control.

Según el informe final de la investigación *Factor Claus per a la Integració de Criteris Ambientals als Edificis: Experiència de la UPC* (Cuchi i Burgos, López Plazas y Frandoloso 2006; Frandoloso, Cuchi i Burgos y López Plazas 2006) se señalaron algunos puntos a cerca del proceso de planeamiento ambiental:

1. La estructura organizativa del Campus de Castelldefels o *Parc Mediterràni de la Tecnologia* (PMT) todavía estaba en proceso de estudio de implantación. De esta manera, aún no había una estructura de gestión del PMT lo que permitiría el seguimiento y la verificación de la aplicación de los instrumentos de planeamiento propuestos por el *Pla de Medi Ambient* de 2000, así como de su continua evaluación.

La propuesta para una *Unitat Transversal de Gestió* (UTG) fue presentada en enero de 2005 y estaba todavía en discusiones las "*Bases per a la creació del Campus del Baix Llobregat de la UPC*". En dicha estructura se planteaba un órgano responsable de la coordinación, planificación, evaluación y gestión de los recursos al nivel interno específico del Campus. Sin embargo, no se visualizaba claramente los responsables por la coordinación medioambiental del Campus, tampoco, en la composición de las comisiones de trabajo estaban incluidos

---

<sup>112</sup> Parc UPC o Parc de Recerca i Innovació, parque tecnológico de la UPC aprobado por el Consell de Govern en 2005 ([www.upc.edu/parcupc](http://www.upc.edu/parcupc)).

representantes del *Centre Interdisciplinari en Tecnologia, Innovació i Educació per la Sostenibilitat* – CITIES, en aquel momento responsable en el ámbito institucional de la UPC.

Hay que mencionar que en las bases de los documentos informativos que dirigían el desarrollo del reglamento para el PMT, no se hacía referencia al cumplimiento del *Pla Ambiental* u otro instrumento equivalente a ser creado.

Los edificios de los centros de investigación y empresas privadas que constituían el PMT, además de los centros docentes, no seguían ningún plan de conservación de energía o tampoco a las directrices contenidas en el *Pla Ambiental*, cuanto a los criterios básicos para los proyectos, construcción o utilización.

2. Cuanto al cumplimiento de los criterios ambientales en el diseño, la construcción y la utilización de los edificios, que constan del *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels* (UPC 2000), un análisis de los dos edificios para centros docentes entonces construidos, permite decir que hubo una ejecución parcial de aquellos proyectos a nivel general de implantación del campus, sin embargo para los criterios específicos para los edificios hubo una descoordinación entre los agentes responsables por cada uno de los respectivos proyectos y acciones concretas.

Así que algunos de los proyectos fueron ejecutados pero quedaban la evaluaciones de su eficiencia, otros siquiera han sido puestos en marcha, como se puede verificar en el cuadro del Anexo VIII.D, que presenta el Resumen de las Actuaciones - Figura 198.

Las referencias para la comparación de los indicadores propuesta para el *Pla Ambiental del Campus de Castelldefels*, en lo que corresponde a los aspectos energéticos (Proyectos de 20 a 25), mencionan una “reducción del 30% del consumo energético respecto al usual de la Universitat (referencia: *Campus Nord*)”, sin embargo este objetivo se presentó poco factible y de aplicabilidad limitada.

Al observarse los resultados de emisiones asociadas al consumo de energía por campus de la UPC (véase la Figura 145), se percibe que este límite estaba muy elevado según la tendencia de consumo en otros campi, igualmente muy superior si comparado particularmente con el *Campus Nord*.

Igualmente, los mecanismos de comparación entre los 2 campi no estaban explícitos, faltando una clara definición para su efecto; otro punto en desacuerdo era que las tipologías de los edificios del PMT difieren considerablemente de los edificios del *Campus Nord* para permitir un análisis comparativo equilibrado.

3. El *Procès ACA2* ha sufrido una ruptura en su continuidad, al momento que se proponía el seguimiento continuo de las “*Propostas Ambientals*” en todas las fases de planeamiento, construcción y utilización de los edificios.

Los cambios sufridos por sendos proyectos (ESAB y Edifici de Serveis), tanto a nivel de la distribución espacial como en los aspectos constructivos y energéticos, sea por las alegadas razones de reducciones de presupuesto u otras no conocidas, enseñaron una falta de comprometimiento estructural y organizativo a los aspectos ambientales, que planteaban los mecanismos del *1er y 2nd Pla Medi Ambiental de UPC* donde se enmarca el *Procès ACA2*.

Los cortes de presupuesto en las estrategias ambientales, han tenido una fuerte consecuencia en los costes de operación del edificio de la ESAB, con el consumo excesivo de energía y la necesidad de instalación post-construcción de sistemas que permitieran la individualización y sectorización en el uso de equipos de acondicionamiento e iluminación, de manera a reducir dichos costes de consumo de energía eléctrica y gas. Es

decir, la reducción en la inversión para la construcción generó gastos en cambios y reformas que obviamente podrían ser eliminados, si los criterios ambientales hubieran sido llevados en cuenta en el proceso de diseño.

Si por un lado, a los criterios ambientales se determinaron la relevancia teórica que ha culminado en el discurso de la UPC como Universidad Sostenible, este discurso no representaba las condiciones reales, también refiriéndose al resultado de la investigación del 2006, en cuanto a los aspectos energéticos, de sus nuevos edificios, de modo a utilizar el conocimiento técnico desarrollado en los ámbitos de sus centros de investigación a favor de optimizar el uso de los recursos naturales y financieros, además de adelantar la puesta en marcha de políticas de ahorro de energía y de reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, en cumplimiento a las normativas europeas y al Protocolo de Kyoto.

4. Se han observado fallos en el sistema de monitorización y seguimiento del consumo energético, de modo que permitiera una evaluación precisa de la eficiencia en el uso de los recursos.

Los datos parciales disponibles para la investigación fueron obtenidos por medio del seguimiento de lecturas del consumo en facturas por parte de los responsables del mantenimiento, ya que se después de pasados 4 años de uso del edificio de la ESPC, apenas en noviembre de 2005 se pone en marcha el control automatizado del consumo energético, conectado al sistema *PowerStudio* y SIRENA actualmente utilizado.

Cuanto a la eficiencia del sistema de producción de energía por medio de los paneles fotovoltaicos en la ESPC, no había un control de la energía generada, si bien que toda la producción era transferida a la red a ser evaluada de manera específica, por ejemplo en el estudio de Martínez Cuadra (2004) en los ámbitos de los *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* - PEER (Bosch Gonzáles et al. 2006, 107-110; 117-120).

Con referencia al edificio de la ESAB, aunque estuviera en uso desde el mes de mayo de 2005, no se disponían de datos para su evaluación, en desacuerdo a lo que plantean los instrumentos del *Pla Ambiental* y el *Procès ACA2*: teniendo en cuenta que el desempeño de los edificios construidos dentro de los ámbitos de los programas ambientales se constituyen en sus objetivos principales, una de las primeras medidas a ser tomada debería ser el control total del consumo de energía del edificio. Igualmente a partir del mes de noviembre de 2005 el sistema de monitorización del consumo de energía fue instalado.

Cabe comentar que todavía actualmente el edificio de la ESAB presenta uno de los más altos indicadores de consumo de electricidad: 70,52kWh/m<sup>2</sup> en 2012 bajando para 52,03kWh/m<sup>2</sup> en 2014 (UPC 2015b), según la comparativa entre los edificios de UPC de la Tabla 33, en la evaluación desarrollada en la Fase 4 del Capítulo 4.

5. Además de los programas desarrollados dentro del ámbito del *Laboratori REAL* y CITIES, presentados anteriormente y en el apartado siguiente, los nuevos edificios y campi en proyecto en los últimos años, o incluso en las reformas parciales en el parque construido existente, los criterios ambientales se habían restringido al discurso teórico de la sostenibilidad de la Universidad, sin sus efectos concretos en las etapas de vida útil de los edificios: planeamiento, construcción y mantenimiento.

Como resultado de la investigación se propusieron algunas pautas para la calificación medioambiental del Campus de Castelldefels:

- Evaluaciones con base en el seguimiento automatizado del consumo de los recursos en el PMT,

actualmente bajo la coordinación del sistema SIRENA y de los Proyectos de Optimización Energética – POE;

- Redefinición de los criterios y patrones de comparación de indicadores ambientales;
- Re-inclusión de criterios medioambientales en la estructura organizativa en proposición para la creación del *Campus del Baix Llobregat o Parc Mediterràni de la Tecnologia*.

### **Programas e investigaciones en la gestión de los recursos naturales en la UPC**

Las primeras iniciativas de la UPC traducidas en programas y estudios de los recursos naturales y energéticos - UPC-ICAEN en 1993 y *Pla d'Estalvi Energètic del Servei d'Obras i Manteniment* de UPC 1993 - se sumaron al conocimiento generado en las investigaciones dentro del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC y de la estructura de planificación medioambiental de la UPC (Oficina del Plan de Medio Ambient/CITIES); a continuación se hace un relato de estas investigaciones convergentes.

En 1999 se elaboró un análisis del impacto ambiental de la *Escola Superior d'Arquitectura del Vallès*, con el Informe MIES – Modelo de Investigación de Edificación Sostenible (Cuchi i Burgos y López Caballero 1999), impulsado por el *Primer Pla de Medi Ambient* de la UPC, con el objetivo de determinar las condiciones necesarias para la ampliación de la escuela a partir del concurso en 2001, bajo los principios de la sostenibilidad en la construcción y en la enseñanza.

La investigación obtuvo valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la construcción del edificio, al uso, a los transportes de los usuarios y, llegando a una estimativa de las emisiones asociadas a la futura actividad de los licenciados. Estos valores posteriormente se utilizaron como referencia al *Procés ACA2*.

En el ámbito del programa de la UPC para asuntos medioambientales denominado *Laboratori REAL* se ha iniciado el estudio en el campo de las auditorías energéticas, según el desarrollo de la metodología propuesta por Serra Florensa y San Martín Páramo (Diputació de Barcelona 1986), por medio de los análisis de algunas edificaciones representativas elaborados por Cuchi Burgos y López Plazas (2003). Estos análisis generaron los Indicadores de Consumo Energético, para cada una de las tipologías de edificios existentes: edificaciones de uso especializado (aularios, bibliotecas y despachos administrativos), edificaciones de uso mixto, edificaciones autónomas en campus y edificaciones autónomas aisladas.

Como parámetros de estudio, además de las auditorías energéticas se ha realizado un seguimiento de las actividades desarrolladas en cada uno de los 2 edificios representativos para cada una de las tipologías, determinados por la investigación. Por medio de la identificación de los días-tipo del comportamiento del consumo se han permitido análisis comparativos entre las tipologías y sus respectivos patrones de uso y actividades, identificando los factores generadores de consumo.

A continuación, dentro de los ámbitos del *Oficina del Pla de Medi Ambient/CITIES* la propuesta del *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* – PECR (Cuchi Burgos y López Plazas 2004; *Oficina del Pla de Medi Ambient* 2004), avanza en la evaluación planteando que los indicadores de desempeño energéticos resultantes puedan generar la programación de las actuaciones e inversiones de UPC para concretar la economía, la eficiencia y el confort en los



términos de un planeamiento estratégico global de la Universidad, de manera que redireccionan los valores de referencia de los planes ambientales hasta entonces desarrollados, tanto para nuevos edificios como para el parque construido existente.

Estos objetivos han sido desarrollados por medio de la creación de una línea de proyectos de final de carrera (PFC) por estudiantes de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB) con la coordinación de los profesores de diferentes departamentos y con el apoyo de todas las unidades académicas de UPC, además del CITIES.

La metodología fue compilada por Bosch González et al. (2006) - Figura 148, presentando algunos resultados obtenidos en las Convocatorias 2003-2004 y 2004-2005; una gran aportación del proceso es la aplicabilidad y la importancia de la realización de las evaluaciones como proceso pedagógico, donde los estudiantes ampliaron sus conocimientos y aptitudes en los temas medio ambientales y de la construcción sostenible, utilizando la experiencia teórica y práctica como elemento de motivación y comprometimiento, o sea de la Educación para la Sostenibilidad (ES), según también la evaluación de Catalapiedra, Bosch y López (2006).

Dentro del ámbito del PECR, hasta 2012, fueron evaluados 29 edificios del total de los 96 que forman parte del patrimonio edificado de la UPC (Bosch González et al. 2006; Bosch González, Rodríguez Catalapiedra y Sabaté Ibáñez 2013). Las evaluaciones de los edificios, han permitido una primera toma de conocimiento de las condiciones arquitectónicas, constructivas y de las instalaciones de climatización y de iluminación del parque de edificios, con la identificación de los puntos débiles y/o potencialidades para las mejoras en el desempeño de los edificios y ajustes en sus demandas energéticas, resultando en una lista de actuaciones concretas de ahorro y de eficiencia.

Estas evaluaciones han sido instrumentalizadas por el control en tiempo real de algunos edificios de UPC gestionado por el programa informático *Power Studio*<sup>113</sup> (UPC 2012a), que ha permitido acompañar el consumo de energía desde el 2006, resultando en información automatizada acerca de la demanda distribuida en el tiempo, y de esta manera, generando la identificación de los horarios y de los perfiles de consumo. Estos perfiles, cuando son cruzados con las características constructivas y tipológicas de cada uno de los edificios y de sus instalaciones, actividades y usuarios, componen los indicadores de la auditoria energética.

Las auditorías energéticas generaron indicadores fiables con el desarrollo del sistema SIRENA - Sistema de Información Energética y de Agua (UPC 2012b), lo que ha permitido la inclusión del plan de eficiencia PECR para todos los edificios de la universidad como una de las líneas estratégicas de gestión del *Pla UPC Sostenible 2015*, es decir, ya ha obtenido su objetivo inicial de contribuir concretamente en la política de ahorro de energía, además de impulsar cambios en los procesos institucionales de UPC que garanticen los retos de la sostenibilidad.

---

<sup>113</sup> El control del consumo energético *on-line* del parque construido de UPC por el *Power Studio SCADA* estaba integrado al Sistema SIRENA de gestión y control, con datos disponibles en <http://www.upc.edu/sirena/index.php/start/powerstudio> y <http://147.83.195.65:1025/html/index.html> (acceso restringido). Actualmente el acceso esta disponibilizado sin restricciones como se presenta más adelante.

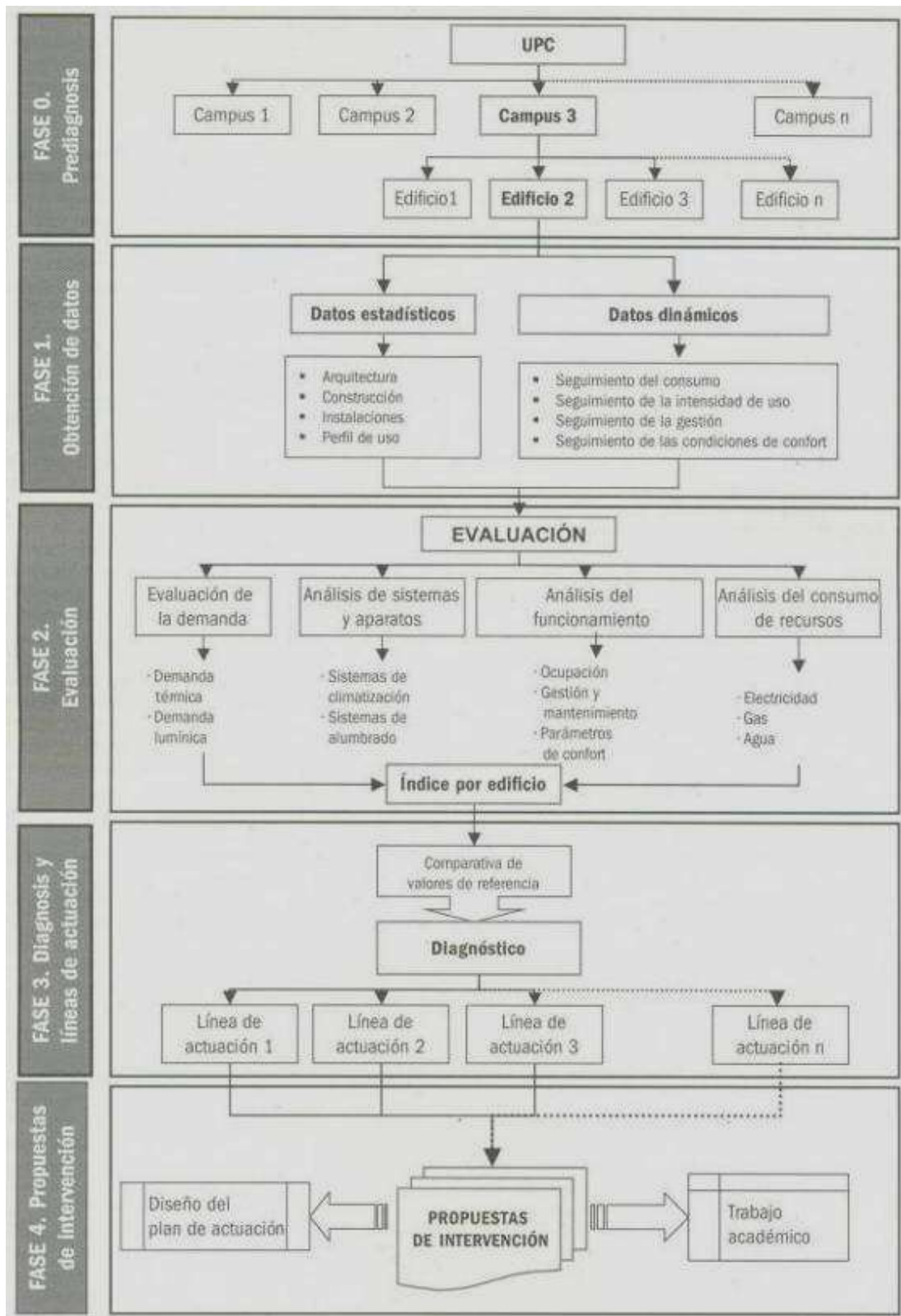


Figura 148 Metodología de auditoría energética PEER (Bosch González et al. 2006, 174).

Bajo esta misma perspectiva, otro proyecto del programa *Laboratori REAL* desarrollado por Cuchi Burgos y López Plazas (2004) ha estudiado la influencia del uso de los edificios en el consumo de energía, analizando 2 tipologías de edificios de UPC: 3 edificios autónomos y 3 edificios agrupados en el campus. Además del uso, ha relacionado

las condiciones de situación y las características del edificio, concluyendo que la gestión de energía consumida por un edificio depende también de la gestión de las actividades y de la intensidad de uso de los espacios.

Figura 149 Día-tipo de referencia para consumo de energía en la UPC (Cuchi Burgos; López Plazas 2004).

Dicha investigación identificó perfiles de utilización que resultaban en un consumo de energía considerable en periodos “*in-off*” (noches, fines de semanas y turnos intermedios), generando un consumo de fondo con potencial de ahorros en caso de cambios en las políticas de uso de los espacios, de los sistemas o de las instalaciones. En la Figura 149 están representados los días-tipo para cada edificio: el color más claro muestra el consumo de energía mientras que el más oscuro la ocupación.

Algunas de las investigaciones previas presentadas han sido incorporadas en la tesis doctoral de López Plazas (2006) “Sobre el uso y la gestión como factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación: una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios”. Este trabajo definía que para cada uso energético el consumo de energía de un edificio estará relacionado con la demanda (necesidad), el rendimiento de los sistemas que atienden dicha demanda, y el perfil de uso y gestión que en el caso de nuevos edificios se prevea que tendrá el edificio, o en el caso de edificios existentes, que se pueda verificar.

Desarrollando los conceptos básicos iniciales, la investigación propuso una tríada para valorar el peso de cada uno de los factores que inciden en el consumo energético (*CE*) de los edificios, representada por la ecuación 10, también referenciada en el Capítulo 3:

$$CE = \frac{D}{\eta \times Ge} \quad (10)$$

Dónde:

- “*D*” equivale a la demanda, resultado de las características de emplazamiento del edificio y de sus características físicas (materiales y técnicas constructivas) y de las condiciones climáticas externas e interiores;

- “ $\eta$ ” corresponde al rendimiento de las instalaciones y sistemas;
- y “ $G_e$ ” corresponde a la gestión del uso de los espacios y los perfiles de ocupación, representado por las variables de intensidad, distribución espacial y distribución temporal.

La tesis presenta como objetivo la identificación de las relaciones entre los 3 factores de la ecuación, pero en especial, plantea que el factor de uso representa una incidencia determinante en el consumo final de energía, proponiendo una metodología que permita cuantificar, valorar y analizar dicha incidencia (López Plazas y Cuchí Burgos 2005; López Plazas 2006).

A partir de un análisis de los instrumentos y herramientas disponibles para analizar la demanda energética (métodos de estimación global a partir de valores de referencia o métodos basados en el balance energético) y de las otras dos variables, el rendimiento y el uso, López Plazas (2006) propuso una metodología que responda a los planteamientos iniciales, con una visualización grafica del desempeño energético del edificio.

La Figura 150 presenta el análisis del balance energético en términos de pérdidas y ganancias, es decir, del comportamiento del confort interno del edificio y los correspondientes aportes de energía para climatización (frío o calor) para un periodo determinado.

La traducción matemática (con el uso de una función integral) de la diferencia entre la superficie del consumo teórico y del consumo real, según la metodología planteada por López Plazas, indica el grado de eficiencia de la gestión de los recursos ( $G_e$ ). Como ejemplo, según la investigación, para un edificio con “un resultado para  $G_e$  de 0,2 supondría que el 20% de los recursos que se utilizan para calefacción o refrigeración son excedentes y suponen una deficiente gestión”.

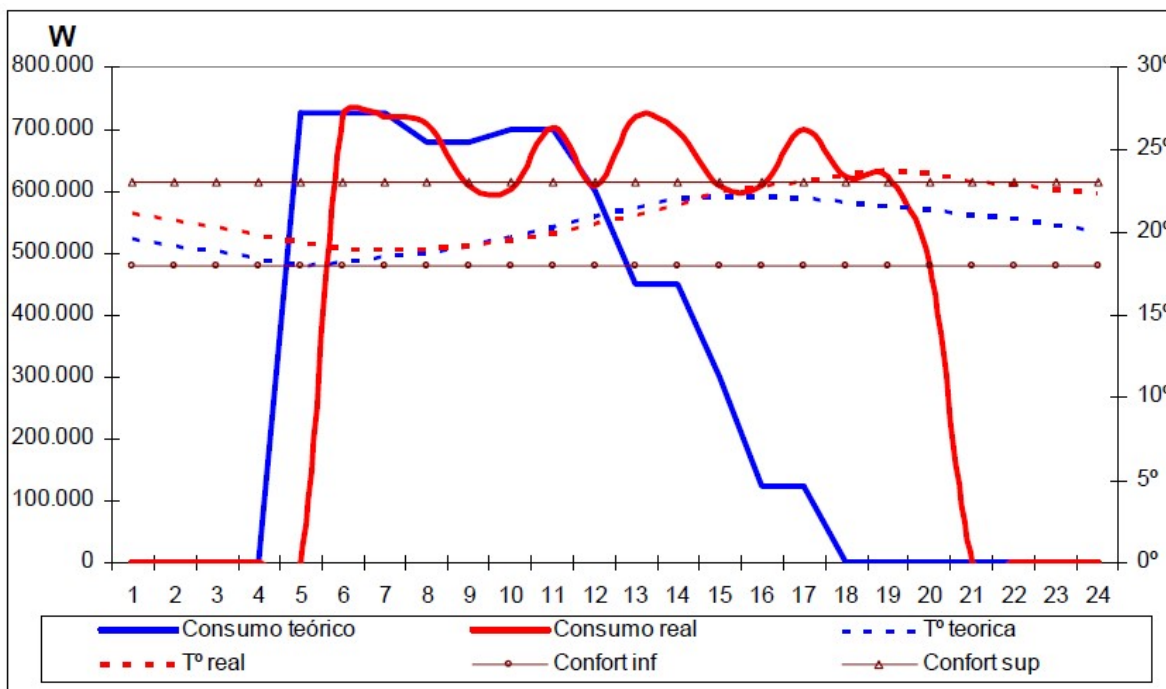


Figura 150 Gráfica comparativa de la utilización de los recursos - día-tipo de invierno (López Plazas 2006, 87).

Si se considera cada uno de estos factores como una variable a conocer, el consumo energético podría comportarse de acuerdo a la solución de la ecuación 3, en la que habría que definir la forma de interactuar y relacionarse de las diferentes variables: consumo de energía -  $CE$ ; demanda energética (Edificio, clima, uso) -  $D$ ; rendimiento medio de las instalaciones -  $\eta$ ; y el factor de gestión -  $Ge$ . La investigación centró su análisis en el uso energético que más peso tiene en el tipo de edificios analizados como es la climatización (calefacción y refrigeración).

Para la evaluación de la demanda energética López Plazas (2006) combina la estimación global a partir de valores de referencia presentada por el programa informático LIDER, referencia para la normativa Código Técnico de la Edificación - CTE (España. Ministerio de Vivienda 2006), con los datos proporcionados por el método de balance energético presentado por el programa informático BALANÇ ENERGÈTIC (de Bobes, 2003). Ya el rendimiento de las instalaciones, ha sido evaluado con la utilización del programa CALENER, también referenciada por el CTE.

Para el análisis de cada una de las otras variables planteadas, se emplearon diferentes instrumentos, desde metodologías de análisis desarrolladas por grupos de investigación especializados en algunos casos, hasta herramientas informáticas sencillas o *software* especializado. En otros casos fue necesario definir, de acuerdo a los objetivos del trabajo, un tipo de metodología o herramienta de análisis apropiada.

La comprobación del planteamiento de partida se realizó en primer lugar, definiendo la forma en que interactúan las diferentes variables para resolver la ecuación propuesta, lo que permite obtener el peso que cada una de las variables tiene respecto al consumo total de recursos energéticos (se hizo de forma separada en el caso de la calefacción y la refrigeración). En la Figura 151 se presenta la valoración de las diferentes variables en el caso de la calefacción que es el uso energético de mayor influencia en los edificios analizados (por encima del 40% del total).

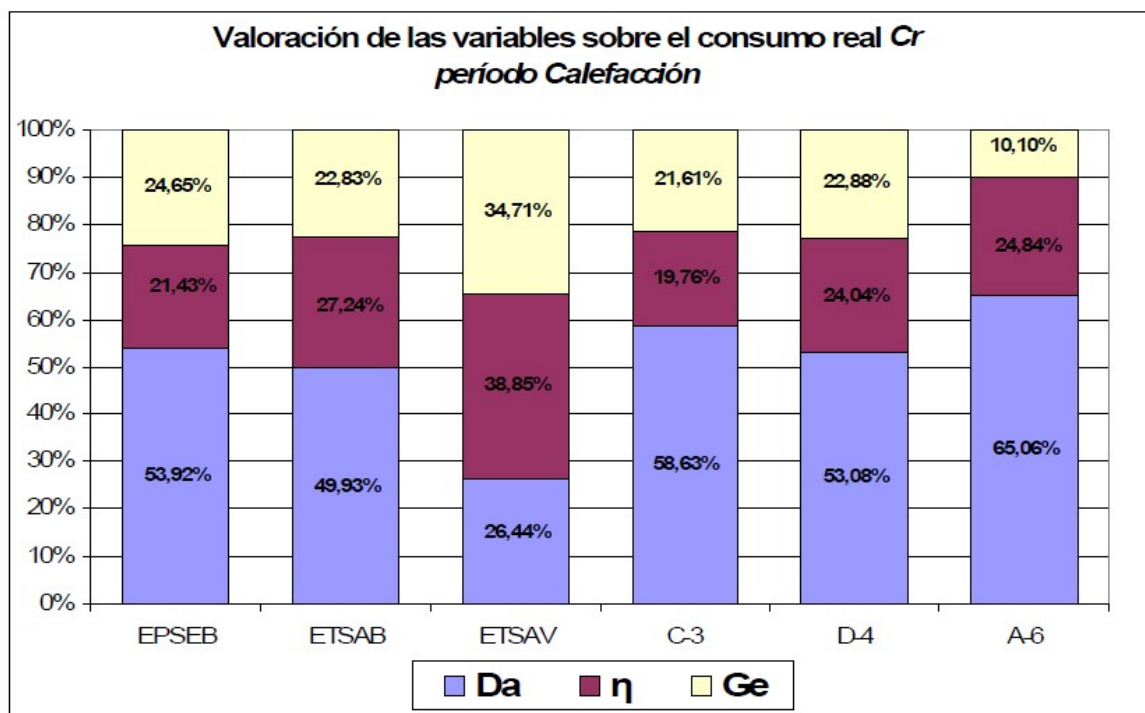


Figura 151 Valoración de las variables sobre el consumo real de calefacción (López Plazas 2006, 100).

El Consumo Energético ( $CE$ ) teórico, obtenido al despejar esta ecuación se compara con el Consumo real ( $Cr$ ) de cada edificio y permite conocer lo que se denomina Demanda ajustada ( $Da$ ) que sería la cantidad de demanda de energía que realmente se atiende en los edificios y lo que ello supone respecto al 100% de los recursos que se consumen en el edificio.

Como conclusiones finales, López Plazas considera que el modelo de análisis puede ser aplicado tanto a los edificios existentes como los nuevos, sea para un análisis basado en la situación existente y que resulte en la optimización de los resultados, buscando un mejor desempeño del edificio en términos energéticos y de su utilización, como también para establecer los patrones de eficiencia de consumo por medio de un diagrama de previsión de la gestión de las nuevas instalaciones, siempre garantizando las condiciones de confort de los usuarios.

Sobre esta formulación de López Plazas se basaron las premisas para la continuidad de las evaluaciones de los edificios de la UPC, es decir, se utilizó la ecuación como instrumento de análisis del desempeño energético del parque construido de la Universidad.

En la última convocatoria de investigaciones desarrolladas dentro del ámbito del *Laboratori REAL*, está el proyecto “*Factors claus per a la integració dels criteris ambientals als edificis: experiència de la UPC*”<sup>114</sup>. El proyecto tuvo como objetivo elaborar una estrategia para insertar la eficiencia en el uso de los recursos asociados al parque construido de la UPC, permitiendo la priorización de las actuaciones en función a su rentabilidad ambiental (reducción del uso de los recursos financieros) por medio de un sistema de indicadores.

En esta investigación fueron evaluados el cumplimiento de las metas y de los procesos de planificación ambiental de la UPC. Los resultados específicos al *Campus del Baix Llobregat* contribuyeron para alimentar los datos del informe del CITIES (2005) que evaluó las políticas y estrategias contenidas en el Plan Ambiental y los resultados efectivos en el nuevo campus y edificios.

Para el análisis del parque construido de la UPC se utilizaron los métodos e instrumentos adoptados por las investigaciones previas, comentadas anteriormente, en especial las auditorías energéticas y la aplicación de los programas informáticos de referencia para la normativa del Código Técnico de la Edificación (LIDER y CALENER), según el instrumento metodológico propuesto por López Plazas (2006).

El informe final del proyecto de investigación (Cuchí i Burgos; López Plazas; Leite Frandoloso 2006) señaló la importancia y la necesidad de estrategias que conduzcan a un aumento continuado de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos de los edificios de la UPC, así como con el máximo aprovechamiento de los recursos empleados para obtenerlo, implementando por fin un diagrama óptimo de la gestión de estos recursos dentro de la estructura de decisión y de responsabilidades de la Universidad, véase el Anexo VIII.E - Figura 199 y Figura 200.

Para cada uno de los factores que determinan el consumo energético el estudio (Cuchí i Burgos; López Plazas; Leite Frandoloso 2006) concluyó:

- Sobre la demanda: divergencias entre el perfil de uso y la gestión de los edificios; proyectos algunas veces

---

<sup>114</sup> Proyecto de investigación coordinado por el Prof. Dr. Albert Cuchí i Burgos, con participación del entonces doctorando Fabián López Plazas, responsable de construcción sostenible de la Oficina de Coordinació del Pla de Medi Ambient de la UPC, además del autor (Cuchí, 2004).

basados en un programa provisional que cambia en la fase de construcción; la toma de decisiones para los nuevos edificios no considera la experiencia de los existentes por la falta de información y registro histórico; exigencia de limitación de demanda propuestas en los concursos sin seguimiento y control en las fases de construcción y uso;

- Sobre el rendimiento de los sistemas: falta de información de los sistemas utilizados para definir los límites de rendimiento; cambios de equipos en función de recortes de presupuestos; no se evalúan los parámetros de confort de manera integrada;
- Sobre la gestión: sistema de gestión centralizado impide trasladar la responsabilidad de la eficiencia en el uso de los recursos a los usuarios; sin indexación entre los gastos energéticos e indicadores administrativos o académicos - número de crédito académico, campus, escuela, etc.; usuario final sin participación en el proceso de toma de decisiones, los mecanismos de gestión y control de los recursos disponibles son prácticamente nulos.

En el eje específico del *Pla UPC Sostenible 2015* para las edificaciones y energía, serían analizados los efectos sobre el consumo energético del sector de la edificación y sus contribuciones al cambio climático global. Otro reto del Plan era incorporar las energías renovables y mejorar la eficiencia energética de los edificios universitarios. Dentro de este tema se ha creado UPCO<sub>2</sub> (UPC 2010a), programa de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) de la UPC, lo cual identifica básicamente como fuentes de emisiones de GHG en las actividades de la universidad la movilidad de sus más de 40 mil usuarios, el consumo de recursos necesarios a las actividades de formación, investigación y administración, en especial el consumo de energía en su parque construido con casi 400 mil metros cuadrados, y a los materiales de construcción de nuevas edificaciones y equipamientos.

En el marco del programa UPCO<sub>2</sub>, la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès - ETSAV-UPC, tomó la decisión de utilizar sus edificios como un banco de pruebas para el estudio de estrategias de reducción del impacto ambiental asociado al consumo de los recursos energéticos, con la posibilidad de extrapolar las acciones a la mayoría de los demás edificios de la Universidad. La investigación se desarrolló en el invierno de 2006-2007, con el apoyo permanente de la dirección de la ETSAV y de los usuarios de la escuela (Mata; López y Cuchí 2007; Mata Las Eras et al. 2007).

La evaluación se basó en las investigaciones previas del *Laboratori REAL* y de la tesis doctoral de López Plazas (2006), las cuales identificaron que la climatización, fundamentalmente la calefacción, supone más de 61% del total de energía facturada. La metodología mantiene la premisa de los factores incidentes en el consumo (demanda, rendimiento de los sistemas y gestión). Según los resultados para la ETSAV, se identificó la ineficiencia en la gestión -  $G_e$  (34,7%) y del rendimiento de los equipos -  $\eta$  (38,85%) como ya mostrado en la Figura 152. De manera que permita la planificación de acciones concretas, pasible de ejecución inmediata por la dirección de la ETSAV, fueron necesarias etapas que coinciden con la metodología de Auditoría Energética, ya adoptadas en los estudios anteriores: *a.* obtención de datos sobre las características de los sistemas; *b.* conocimiento de los perfiles de gestión (funcionamiento de los equipos en el tiempo); *c.* determinación del perfil de ocupación (número de personas, usos, horarios, etc.); *d.* evolución de las condiciones del clima; *e.* análisis de la capacidad de respuesta del edificio.



A partir de las informaciones obtenidas fue trazado el plan de las actuaciones (Cuchi i Burgos 2009, 158-167), considerándose 2 fases distintas, la primera de estudios y propuestas y la segunda de las acciones ya en marcha, con el objetivo final de establecer un Protocolo de Gestión para transferir la experiencia a los gestores e incorporarlo al nuevo modelo de uso y ocupación - Figura 152. En comparación al mismo período del año anterior, las medidas resultaron en una reducción de 38% en el consumo de energía, correspondiente a 80Tn de emisiones de CO<sub>2</sub>.

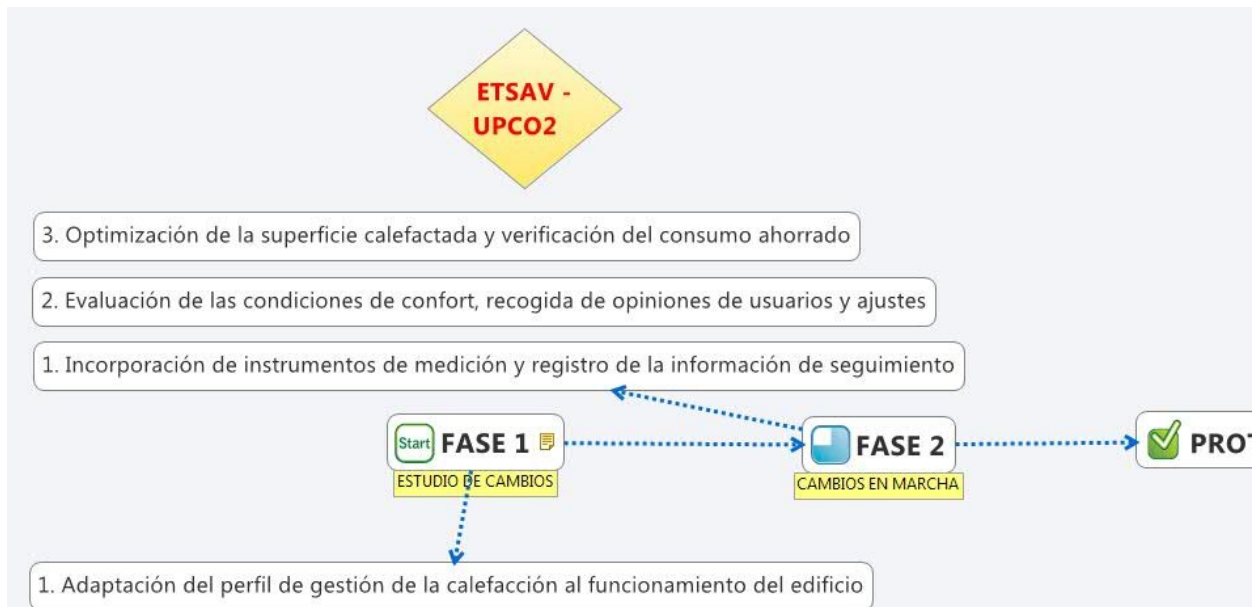


Figura 152 Cuadro resumen de las actuaciones para la ESTAV - UPCO<sub>2</sub> (Adaptado de Cuchi 2009, 164).

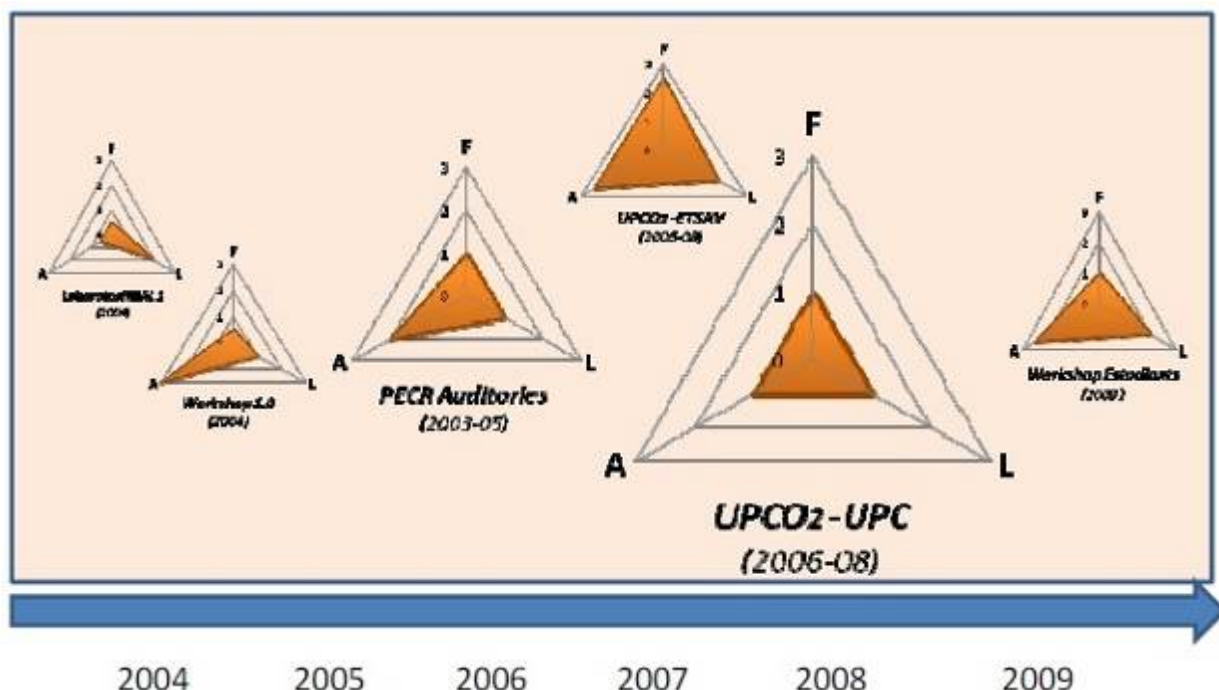


Figura 153 Esquema cronológico de los proyectos y programas de la UPC como "laboratorio vivo de sostenibilidad" (Ruiz et al. 2009, 11).

En la observación y evaluación de los proyectos de investigación en los marcos de la gestión de los recursos en la UPC, Ruiz et al. (2009) destacan lo que ha sido llamado como "laboratorio vivo de sostenibilidad", considerando los

campus universitarios como un ecosistema, lo que permite conocer y gestionar sus "metabolismos" (consumos de recursos y generación de residuos). A partir de la aplicación de la metodología *FLA* (Jansen 2003; Ferrer-Balas et al. 2008), anteriormente comentada con relación a su aplicación a toda la UPC más amplia, el proyecto  $UPCO_2$ -ETSAV es aquel con un mayor potencial de transformación, con una distribución gráfica más equilibrada entre los 3 ejes - Figura 153.

Con la Figura 153, Ruiz et al. (2009, 11) identifican la progresiva mejora y profundización en los resultados, traducidos cuantitativamente por la superficie resultantes entre los ejes de la gráfica *FLA*, donde los proyectos han sido representados según sus escalas de inversiones de recursos humanos y económicos. En este sentido, el proyecto  $UPCO_2$  en su aplicación piloto en la ETSAV, obtuvo éxito por considerar, además de la dinámica de coordinación y diálogo, con la toma conjunta de decisiones contenidas en la aplicación a la UPC como un todo ( $UPCO_2$ -UPC), todos los agentes como parte activa del proceso, con la aportación de "aprendizaje de la organización basada principalmente en la capacidad de ganar autonomía para la acción".

Por otro lado, los consumos en la ETSAV para el año de 2010 volvieron a aumentar después de 3 años de resultados positivos y con de la aplicación de las estrategias de control y gestión - Protocolo de Gestión, propuestos por el grupo de investigación del Proyecto  $UPCO_2$ . Según la evaluación del Sistema SIRENA para el año de 2010, la falta de inversiones también en la mejora de los sistemas de calefacción contribuyó para el no mantenimiento de los ahorros obtenidos, concluye que "para mantener y consolidar los ahorros se requiere una implicación alta y constante de los gestores de las instalaciones, lo que requiere un igual esfuerzo de las unidades académicas y del reconocimiento institucional" (UPC 2011f, 42).



Figura 154 Sistema SIRENA. Datos de salida para el nivel UPC (UPC 2012b).

Cabe subrayar la implementación del SIRENA - *Sistema d'Informació sobre el Consum de Recursos Energètics i Aigua de la UPC*, una herramienta informática que integra y gestiona toda la información relacionada con el consumo de recursos en los edificios de la universidad, a partir de la cual se generan automáticamente

comparativas, gráficas, indicadores de consumo (kWh/m<sup>2</sup>, kWh/usuario, kWh/crédito, kWh/uso, etc.) y de impacto ambiental asociado. La información se obtiene con las compañías suministradoras, pero en especial, con los datos directos de los puntos consumidores de diferentes campus de la UPC, cubriendo un 99% en electricidad, 32% del suministro de agua y 65% en el gas (UPC 2012a). La Figura 154 presenta un ejemplo de uno de estos puntos; el sistema permite el análisis de informaciones sobre energía, electricidad, gas, agua y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el nivel del propio edificio, además del nivel de campus donde está ubicado y de forma más general en toda la UPC (UPC 2012b).

Los datos históricos para toda la UPC enseñan una pequeña reducción entre 2008 y 2009 - Figura 155, después de constantes aumentos en los periodos anteriores; la correspondencia directa a las edificaciones fue de 158,97kWh/m<sup>2</sup>, 70,07kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> y 0,25m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de agua (UPC 2011e).

Indicador	Valor 2010	Tendència respecte 2009	Variació respecte 2009	Variació respecte 2003
Superfície construïda	417.456 m <sup>2</sup>	→	0,44%	13%
Aigua	Consum	↓	-12%	-31%
	Despesa	↓	-5%	+13%
	Preu mitjà	↑	+6%	+45%
Electricitat	Consum	↑	+6%	+62%
	Despesa	↓	-7%	+70%
	Preu mitjà	↓	-10%	-8%
Gas	Consum	↑	+24%	n.a.*
	Despesa	↑	+15%	n.a.*
	Preu mitjà	↓	-9%	n.a.*
Emissions de CO <sub>2</sub>	17.988 Tn	No disponible	-6% (respecte 2005)	
Residus radioactius	22,9 g			
Superfície monitoritzada	Aigua: 32,9%	↑	+5%	-
	Electricitat: 99%	↑	+14%	-
	Gas: 65,7%	↑	+46%	-

\*El consum de gas fluctua d'any en any degut a la variació de la temperatura exterior, per la qual cosa no se n'analitza l'evolució del consum respecte 2003.

Figura 155 Resúmen de los indicadores de evolución, Informe SIRENA 2010 (UPC 2011f, 7).

En 2010 el Campus Nord de Barcelona fue responsable por el consumo de electricidad de un 51% del total, ya para el Campus Sud correspondió un 22%, al Campus de Terrassa un 12% y al del Baix Llobregat - Castelldefels un 7%, En la evaluación de los indicadores de consumo por superficie (kW/m<sup>2</sup>) de la Tabla 44 se observa la concentración en el Campus Nord, especialmente por el *Barcelona Supercomputing Centre* (BSC) cuyo consumo en 2010 fue de un 24% de toda la UPC - 11GWh (UPC 2011f). Para los datos de 2014 en el Campus Nord el BSC fue considerado aparte de los edificios.

Tabla 44 Parque construido e indicadores de consumo de electricidad en UPC – 2010 y 2014 (adaptado de UPC - SIRENA).

Campus	Superficie construida (m²)	Electricidad 2010 (kWh)	Electricidad 2010 (kWh/m²)	Electricidad 2014 (kWh)	Electricidad 2014 (kWh/m²)
Total	384.172	44.948.124	117	46.397.824	121
Barcelona Nord	140.534	28.668.936	204	7.966.145	57
Barcelona Sud	96.738	6.868.398	71	5.516.664	57
Terrassa	69.054	4.350.402	63	3.082.444	45
Castelldefels	36.070	2.416.690	67	2.199.638	61
Sant Cugat del Vallès	10.130	413.433	41	339.351	33

Según los datos del sistema SIRENA (UPC 2012b), en todas las unidades académicas de la UPC para 2011 el consumo de energía anual llegó a 65,68GWh, sumándose electricidad (78,4%) y gas (21,6%), cantidades relativamente menores en relación a los años anteriores, pero con una contribución de emisiones asociadas de 14,5kT de CO<sub>2</sub> y consumo de 100,4m<sup>3</sup> de agua, mayores que los periodos anteriores, según los datos de la Figura 156.

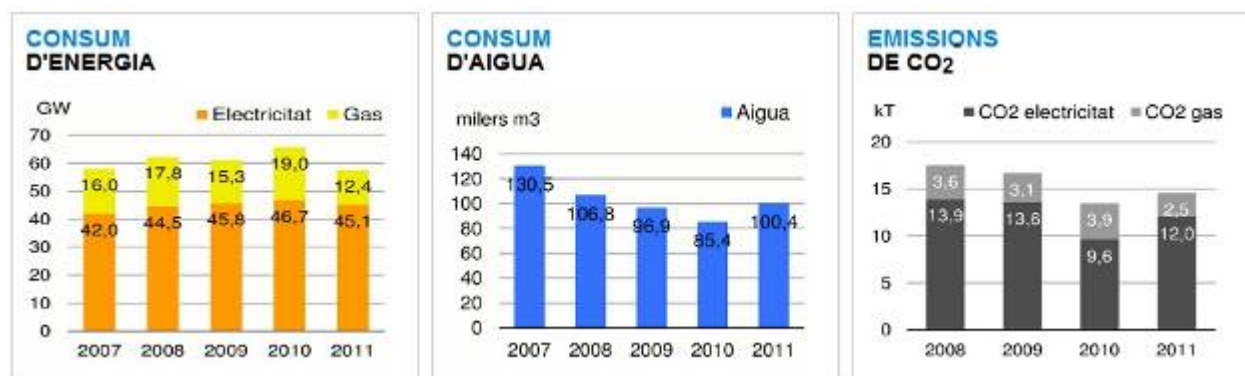


Figura 156 Consumo de recursos en la UPC - 2007- 2011, según el sistema SIRENA (UPC 2012b).

El informe relativo al año 2010 (UPC 2011f) reconoce el gran potencial de ahorro y de disminución de los impactos medioambientales identificados en las investigaciones y seguimiento de consumo, especialmente cuanto a la gestión, pero también reconoce que es necesario ampliar las inversiones para lograr buenos resultados. La herramienta SIRENA debería ser ampliada y consolidada con el objetivo de permitir una usabilidad mayor y aportando nuevas funciones para la reducción de los impactos ambientales y de los correspondientes costes económicos. En este sentido, el Informe SIRENA 10 recomienda líneas estratégicas para la ejecución de una política energética en la Universidad.

Con base en estos datos, en 2011 la UPC aprobó el *Pla d'Estalvi Energètic* (UPC 2011c) para el período 2011-2014, incluyendo un programa de actuaciones para la reducción de los presupuestos para el suministro de los recursos naturales en la Universidad; dichas actuaciones también fueron motivadas por las dificultades económicas en que la UPC se encuentra en los últimos años.

El Plan tiene como objetivo la reducción en 25% del consumo energético absoluto en comparación con 2010; para lograrlo está basado en los principios de la sostenibilidad, eficacia (asegurar el funcionamiento de los servicios básicos de la Universidad), suficiencia (eliminación de cualquier consumo superfluo), eficiencia (optimización de los

recursos), transparencia e información sobre el uso de los recursos, responsabilidad e ejemplaridad individual y colectiva y la colaboración y participación (UPC 2013a).

De entre las actuaciones se propusieron medidas de organización y de gestión energéticas de los edificios, basados en el compromiso colectivo y de un sistema de seguimiento de consumos bien definidos, utilizándose las experiencias previas ya comentadas.

Un eje importante para la puesta en marcha del programa son los Proyectos de Optimización Energética – POE, organizados en grupos de trabajo compuestos por el coordinador y 3 o 4 miembros del personal clave en la organización y funcionamiento de cada edificio. Un punto importante subrayado en una de las sesiones de trabajo de 2012 es que el “ahorro energético está sobre las voluntades políticas, y es necesario apoyarse en las medidas ya adoptadas” (UPC 2012c). Los resultados alcanzados con la reducción de los costes energéticos permiten la inversión en nuevos proyectos, según la representación de la Figura 157.

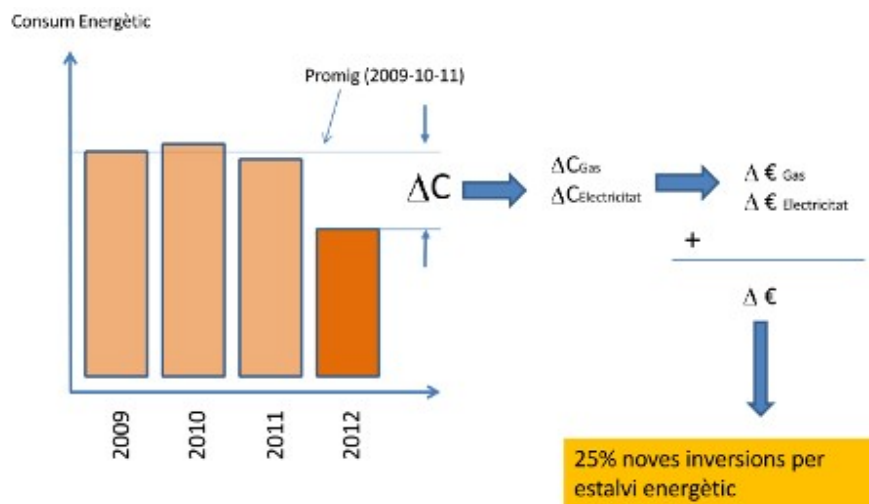


Figura 157 Representación de los incentivos económicos para los POEs (UPC 2012d).

Entre las acciones está la Guía 2.0, como un espacio para involucrar cada miembro de la comunidad universitaria como responsable, en cada nivel de decisión, acerca del uso racional y eficiente de las instalaciones, y asegurar el mínimo consumo energético en sus actividades. Este espacio hace el papel de difusión de las experiencias y de aprendizaje, con un canal de contacto para ampliar el efecto educativo del programa.

Los resultados para 2012 fueron positivos según el informe del *Grup de Treball d'Eficiència i Estalvi Energètic* (UPC 2013b), con la tendencia de reducción en electricidad de 10% respecto al año de referencia 2010; el gas presenta una fluctuación con aumento en 2012 comparándose a 2011, pero todavía 27% menos en relación a 2010. En este sentido, el consumo de energía está en 70% respecto al año de referencia (Figura 158); el en ANEXO VIII.F se presentan datos complementares, incluso los correspondientes ahorros económicos obtenidos, que significaron en 96 mil euros para ser invertidos en los POEs previstos en el Plan, correspondiendo a los objetivos del Plan (Figura 157).



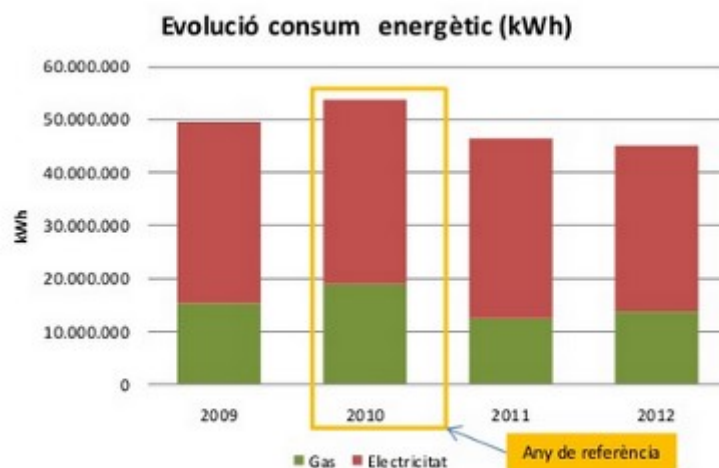


Figura 158 Evolución del consumo energético UPC 2009-2012 (UPC 2013b, 7).

Además según el informe de 2012, de entre las prioridades para los próximos periodos estaba asegurar la implicación de los “grandes” consumidores, constituidos por el Campus *Nord*, *Sud* y Terrassa, que presentan un impacto de más del 80% en los recursos energéticos de la UPC, ya identificado en el estudio de 2011 - Tabla 44. Siguiendo las evaluaciones positivas, el grupo de gestión concluyó que en 2012 hubo una disminución de consumo global de 16% respecto al 2010.

Otro elemento clave para el éxito de las mejoras de la calidad ambiental es disponer de información de las condiciones interiores de las variables ambientales (temperatura, humedad relativa, niveles de CO<sub>2</sub>, etc.) para retroalimentar los requisitos y rendimiento de los sistemas de acondicionamiento, teniendo en cuenta el reglamento para las instalaciones térmicas de los edificios administrativos - Real Decret 1826/2009 (España. Ministerio de la Presidencia 2009), al cual obliga el mantenimiento de la temperatura del aire interior entre 20°C en invierno y 26°C en verano, además de exigir un dispositivo para cada 1000 m<sup>2</sup> del edificio en que se visualice la temperatura y humedad. Estos mismo patrones han sido incorporados en las medidas adoptadas por la UPC en el *Pla d'Estalvi Energètic* – véase resumen en la Figura 201 del Anexo VIII.

Siguiendo la línea de tiempo de la gestión energética en la UPC, los datos de 2013 (UPC 2014a), tales resultados confirman la relevancia del Plan y de los efectos de las medidas puestas en marcha, con resultados efectivos menores que los escenarios de ahorro propuesto y tendencial presentados en la Figura 159 para el periodo 2009-2013 (UPC 2014a). En términos de reducción del consumo energético global fue alcanzado un 20%, mayor que los periodos anteriores – un 16% en 2012 en comparación con el año de referencia 2010, este resultado es equivalente a un ahorro económico de 1,1 millón de euros, de acuerdo con las comparativas detalladas en la Figura 203 y Figura 204, del Anexo VIII.

Hay que señalar que la herramienta SIRENA ha evolucionado, basada actualmente en el software *DexCell* (UPC 2014b). La configuración de los datos obtenidos y evaluados por la versión SIRENA 3.3.37 (UPC 2014c) puede ser visualizada en el ANEXO VIII.F (Figura 202), ampliándose los análisis con las comparativas de consumo de electricidad, gas y agua y los respectivos costes individualizados por edificio o campus, además de las condiciones climáticas de temperatura, y sobre todo con la información del panel de control y alerta (*dashboard*) con la potencia

eléctrica<sup>115</sup>.

El sistema ha sido planteado en el ámbito de la edificación, sin embargo los gestores de IS.UPC pretenden en el futuro establecer como una plataforma que integre la información relacionada con todas las actividades desarrolladas en la UPC, y se convierta en una herramienta de soporte para la planificación de estrategias hacia la sostenibilidad a partir de la eficiencia en el consumo de recursos energéticos.

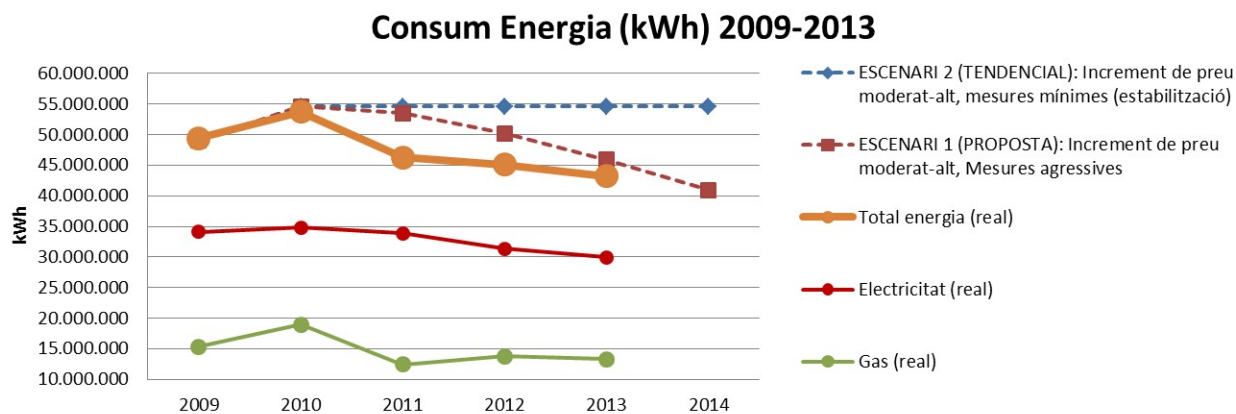


Figura 159 Resultados globales de gas y electricidad UPC 2009-2013 (UPC 2014a, 7).

Para la gestión sostenible, actualmente bajo la coordinación de la *Oficina de Gestió Sostenible i d'Igualtat d'Oportunitats de la UPC*, las principales líneas de trabajo según Ferrer i Balas (2013) habrían de permitir avances hacia a la autosuficiencia (menor dependencia de la coyuntura económica) y satisfacer las necesidades de forma sostenible:

- Integrar la variable energética en todas las decisiones tomadas e internalizar costes reales;
- Evaluar la sostenibilidad energética de la política de TIC – Tecnología de Información y Conocimiento - y de las infraestructuras de investigación y docencia;
- Establecer mecanismos para la atracción de inversiones externas en eficiencia de los sistemas del campus y en energías renovables;
- Y, hacerlo desde la responsabilidad social (mitigación del cambio climático, motor de innovación).

### C.3 La Universidade de Passo Fundo

El segundo, y principal, campo de estudio es la Universidade de Passo Fundo - UPF, ubicada en el sur de Brasil, en la ciudad de Passo Fundo (véase la Figura 206 - Anexo IX.A), con cerca de 190 000 habitantes. La economía de la ciudad está basada en la agricultura, agroindustria y servicios (comercio, salud y educación), lo que la caracteriza como capital regional del norte del estado de Rio Grande do Sul y del oeste de Santa Catarina, con una influencia en 1.321 municipios y alrededor de 1,10 millones de personas (IBGE 2008).

Las características climáticas de Passo Fundo fueron objeto de estudio de Frandoloso (2001), evaluando todas las

<sup>115</sup> Accedido de la versión 3.3.387, disponible en <http://sirenaupc.dexcell.com/dashboard/widgets.htm>.



informaciones de las normales climatológicas considerándose las temperaturas, humedad relativa, velocidad de viento, radiación solar, de entre otras variables presentadas en el Anexo IX - Tabla 11. El estudio indicó veranos amenos (2.730 grados-día para enfriamiento, base 10°C) e inviernos fríos (776 grados-día de calefacción, base 18°C), según el archivo climático elaborado por Roriz (2012a; 2012b).

En la clasificación climática de Köppen, modificada por Trewartha (1980, 223-238) el clima local es considerado como mesotérmico húmedo del tipo subtropical húmedo - *Caf*, es decir, con temperaturas medianas del mes más frío entre 18°C y 0°C y en el mes más caluroso por encima de los 22°C, con un régimen pluviométrico bien distribuido en todo el año (Cunha, Frandoloso y Mascaró 2003); por otro lado el archivo climático elaborado por el *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações* de la Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE-UFSC 2006), la caracterización está considerada como de tipo *Cas*, mediterráneo.

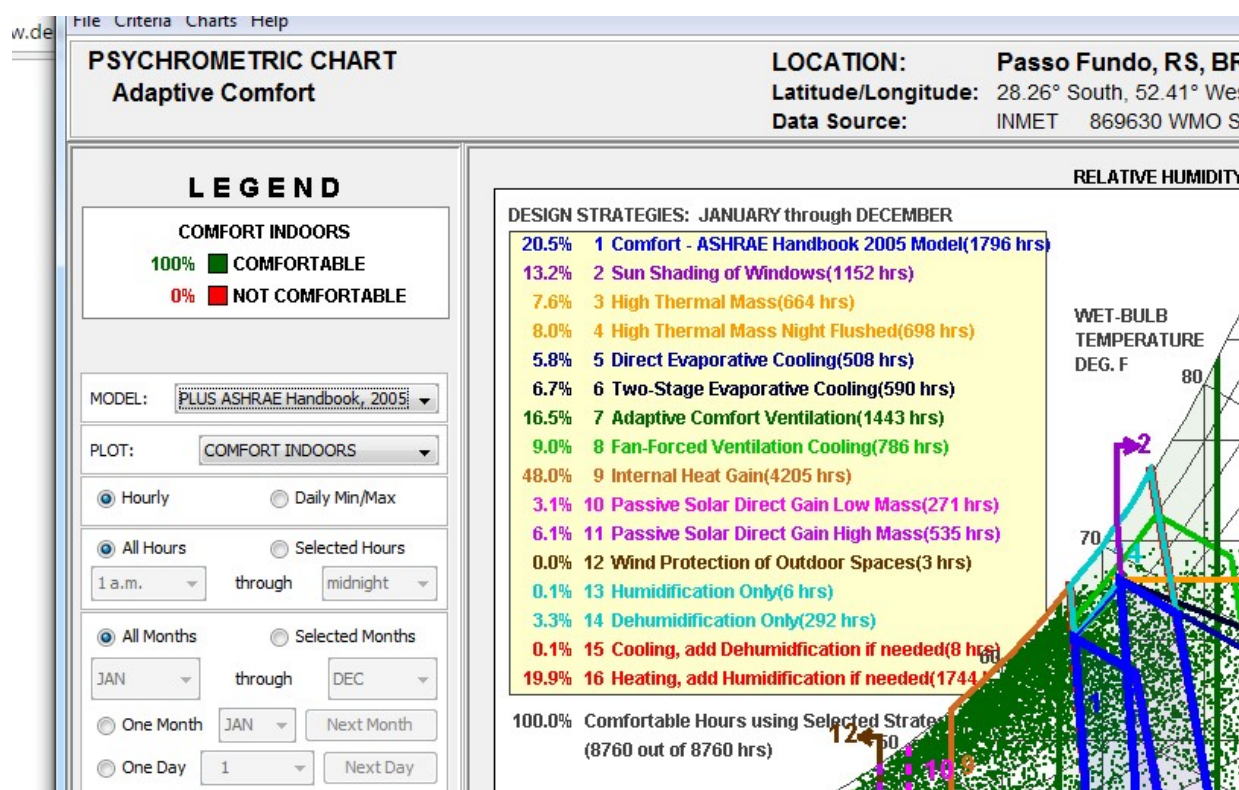


Figura 160 Carta Psicrométrica para Passo Fundo – Brasil; Climate Consultant (Ligget y Milne 2012).

La Figura 160 presenta la Carta Psicrométrica (Givoni 1969) con la indicación de las estrategias solares pasivas, según las condiciones climáticas de Passo Fundo calculadas por el programa informático *Climate Consultant 5.4*<sup>116</sup>. (Ligget y Milne 2012), cabe mencionar que solamente un 20,5% del año las condiciones de confort son adecuadas (1.796 horas) de acuerdo con los modelos de confort adaptativo y la normativa ASHRAE (2005); además, el programa indica las estrategias pasivas de diseño para la obtención del confort, con la presentación de ejemplos para cada una de las zonas/estrategias.

En términos administrativos, la UPF es una Universidad privada de carácter comunitario y filantrópica, sin fines

<sup>116</sup> El programa *Climate Consultant* es una buena herramienta para la etapa de prediseño del edificio, permitiendo elegir el modelo de confort para la evaluación: ASHRAE Handbook of Fundamental Comfort 2005; ASHRAE Standard 55-2004 - PMV Model y Adaptive Comfort Model - ASHRAE Standard 55-2010, comentadas en el Apéndice B.

lucrativos (véase nota 1 – Capítulo 1), además de los *campi* en Passo Fundo, donde está ubicado el principal y otros dos dentro del casco urbano, cuenta con una estructura *multicampi* en otras 6 ciudades de la región Norte del estado de Rio Grande do Sul, demostrando su carácter regional y comunitario (Guareschi 2001, v. 3 y 4; 2012); véase Figura 206 – Anexo IX.

El Campus I de la UPF fue implantado a partir del 1968, fuera de la zona urbana Figura 161 y Figura 207 - Anexo IX-A), según el modelo anglosajón de centros universitarios periféricos, comentado en el Apéndice A. Sin embargo, el proceso de crecimiento de la ciudad ha cambiado este panorama y actualmente tiene sus bordes ocupados con urbanizaciones con un gran potencial de ocupación y construcción de viviendas para clase media y comercio, como presenta la Figura 162. En los límites al Norte todavía están ocupados por áreas naturales y de protección ambiental del manantial del Río Miranda que proporciona el agua potable al municipio.

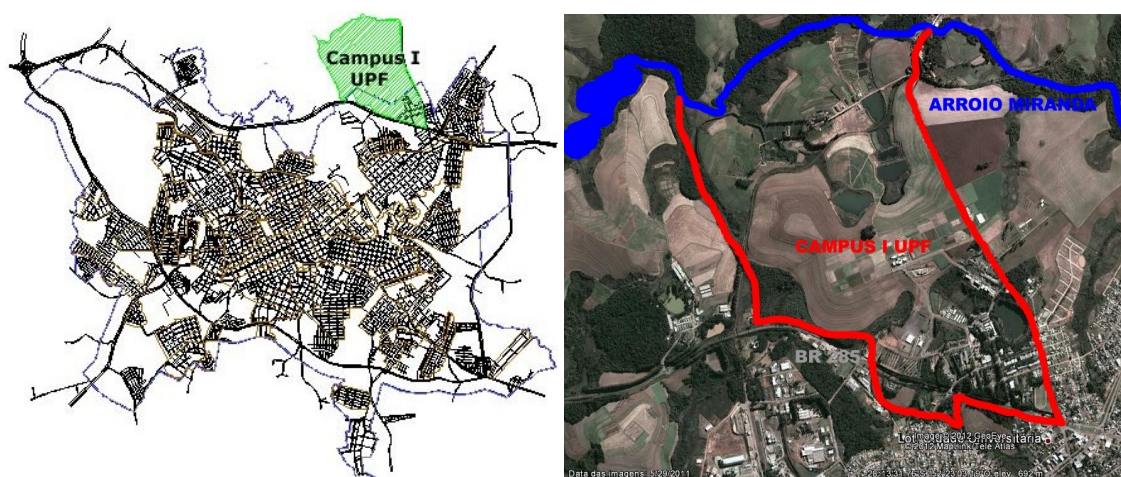


Figura 161 Mapa del área urbana de Passo Fundo (Frndoloso 2006) y localización del Campus I (adaptado de Google Earth 2011).



Figura 162 Campus Universitario da UPF y área urbana periférica (Frndoloso 2006).

El campus principal (Campus I) en Passo Fundo tiene una superficie de 341ha (Figura 208 - Anexo IX-A), con un área construida de 88.987,99m<sup>2</sup> según los datos de 2004 (UPF 2005a), pasando para 114.928,36m<sup>2</sup> en 2014 (UPF 2015), es decir, presenta una continua ampliación de su estructura física (alrededor de un 30% de aumento). La comunidad académica de la Universidad está formada en 2015 por 20.687 estudiantes, 1.095 profesores y 1.297

funcionarios (UPF 2015), del total del alumnado alrededor de 77% está ubicado exclusivamente en el Campus I.

El Campus I de la UPF está caracterizado según el modelo de distribución (Campos Calvo-Sotelo 2000, 43-44), como una *universidad local* por estar su sede central implantada en torno a una ciudad en concreto, aunque presenta la estructura de otras representaciones en ciudades cercanas, añadiéndose un componente parcialmente *territorial* de estructura policéntrica. En cuanto al modelo de localización la UPF es una *universidad urbana periférica*, por estar directamente vinculada con la ciudad con un borde compacto yuxtapuesto a la estructura urbanística, como se puede verificar en la Figura 161 y Figura 162.

En lo que respecta a los aspectos del paisaje, el Campus aunque en su origen era una área agrícola - Figura 207 del Anexo IX-A, actualmente por sus dimensiones y por presentar una gran superficie cubierta con vegetación, puede ser considerado como un gran parque urbano (Quevedo Melo, Refosco y Frandoloso 2008), con diversas especies vegetales nativas características de la selva umbrófila mixta. Además de la importancia como "invernadero" de especies en vías de extinción, la masa verde configura una característica paisajística que contribuye no solo con el microclima como en las perspectivas visuales, proporcionando un ambiente colorido y diferente a lo largo de los períodos y estaciones del año, en las Figuras 163 momentos de primavera y verano. El Anexo IX-B presenta el estudio de las variables ambientales de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, según la investigación de la influencia de la vegetación en el microclima del Campus I (Quevedo Melo et al. 2007).



Figuras 163 Vistas del Campus I – vegetación y paisajismo (Fotografías del autor 2011).

Las características del paisaje del campus hacen con que el espacio resultante pueda ser considerado por Magro (2006, 79) como un gran jardín con diversos ambientes, definido y delimitado por elementos físicos, compuesto por materia viva, teniendo la vegetación como elemento principal de este espacio urbano. En su estudio, Magro (2006) analiza la percepción de los usuarios de los espacios abiertos del Campus I de la UPF, identificando las condiciones de las áreas verdes, relacionándolas con el comportamiento de los usuarios y de respectivas preferencias de uso.

### **Las acciones para el planeamiento físico y ambiental de la UPF**

Según los criterios de la ISO 140001 (ABNT 2004) uno de los puntos de partida para un Sistema de Gestión Ambiental - SGA es la definición institucional de una política medioambiental, tema este ya comentado en el Capítulo 2 a nivel conceptual. En este sentido, la UPF definía cuatro dimensiones de su política de responsabilidad social y formación de profesionales (UPF 2005b, 12): el compromiso con las acciones de inclusión social y promoción de la ciudadanía, la defensa del medio ambiente, especialmente en el ámbito de la región que se



encuentra, y el compromiso con las acciones que promuevan el desarrollo económico sostenible, tales dimensiones reflejan los principios de desarrollo sostenible en todos sus aspectos.

Por otro lado, la planificación global de la Universidad no estaba consolidada; la creación en 2002 de una Comisión Especial para el Plan Director, subordinada a la Fundação Universidade de Passo Fundo, tuvo como objetivo elaborar directrices de planeamiento, sin embargo, tuvo un carácter consultivo limitado, responsable por pautas puntuales del planeamiento de los diferentes *campi*, por lo que actualmente dicha comisión no está activa. El Plan Estratégico de la UPF (UPF 2003) definía la formación de un organismo concreto de planificación, que hasta el momento no ha sido creado. La etapa inicial de planificación del Campus I está descrita en el Apartado D.

La estructura de planificación de UPF está organizada a partir del Sector de Proyectos, vinculado a la *Vice-Reitoria Administrativa*, a la que le compete el desenlace del proceso de Licenciamiento Ambiental junto al órgano estadual de medio ambiente, reflejándose de forma directa en la operación del Campus. La *Licença de Operação* LO nº3863/2007 de la FEPAM (Fundación Estadual de Protección Ambiental) certifica que la UPF está ambientalmente correcta y adecuada a la legislación vigente. A partir de las demandas legales para adecuación de la Universidad a las normativas medioambientales, se ha desencadenado la creación en 2004 del *Setor de Saneamento Ambiental* - SSA, y para cumplir los requisitos para la renovación del permiso ambiental en el 2011 se elaboró el Manual de Gestión Ambiental (Assumpção, Peluso y Freschi 2011), renovándose el permiso hasta 2016 (LO 14/2012-DL).

Además, cuenta con el Centro de Ciencia y Tecnología Ambientales – CCTAM, constituido en 1998 bajo la supervisión de la *Vice-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários* responsable por coordinar, orientar y ejecutar las actividades de investigación y extensión comunitaria en las áreas ambientales (Carpes et al. 2012, 32-34). Dicho Centro ha actuado en proyectos de educación ambiental y en la gestión de los residuos químicos y de los residuos contaminados, producidos por los departamentos del área de sanidad y por el tratamiento de las aguas grises, colaborando con el *Setor de Saneamento Ambiental*; actualmente pasa por un periodo de reestructuración administrativa con el objetivo de concentrar y coordinar las acciones dispersas en términos de extensión comunitaria, formación académica y actividades administrativas hacia la integración de los esfuerzos así como para la toma de decisiones para la construcción de la Política Ambiental Institucional - PAI.

Sin embargo, el análisis de las acciones desarrolladas por la UPF por el Proyecto de Investigación *Análise e Diagnóstico da Utilização de Recursos Naturais na Universidade de Passo Fundo, Visando a Eficiência Ambiental e Econômica* (Frاندoloso 2006; 2012<sup>117</sup>) muestra que todavía no está consolidado un proceso de planificación ambiental institucional, es decir, con la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental convencional, teniendo en cuenta el gran potencial de crecimiento de la estructura física de la Universidad y de sus diferentes campus.

Para la evaluación de las acciones ambientales en la UPF, se adoptó como punto de partida el modelo propuesto por Tauchen (2006) y del estudio previo de las prácticas ambientales desarrolladas por 42 universidades ubicadas en diferentes países y continentes (Tauchen y Brandli 2006).

En este sentido, las acciones se numeraron y se clasificaron observándose la Norma ISO 14001 (ABNT 2004)

---

<sup>117</sup> La evaluación de la situación de las acciones ambientales en la UPF ha generado el proyecto de investigación en la misma a partir de 2006, con la elaboración de informes y publicación de artículos en diferentes congresos y periódicos, descritos en el Anexo XXII.

según el ciclo PDCA; se identificó (Brandli et al. 2007; Frandoloso et al. 2008) que las acciones estaban en su mayoría relacionadas con la etapa *Do* (Hacer). No obstante, esta etapa contempla otros aspectos que no aparecen en las iniciativas de la UPF. La universidad poseía una acción importante que es la ambientalización de sus currículos de graduación y muchas investigaciones elaboradas con el tema “sostenibilidad”. En lo que se refiere a la vida universitaria, cabe destacar la recogida selectiva y la destinación de residuos y el descarte de los mismos respetando la clase y la exigencia legal. El control en el consumo de energía y agua también son acciones ya implantadas, sin embargo, el uso del agua de la lluvia debería ser más explotado en todo el campus para usos diversos, especialmente para la limpieza y la conservación de los espacios verdes.

En lo que se refiere a los aspectos de la infraestructura, merece destacar la construcción de la Estación de Tratamiento de Agua Residual con una capacidad de atendimento para 18 mil personas (Figura 164), en funcionamiento desde 2006; este sistema anaeróbico y compacto puede ser aplicado a diversos municipios del entorno, lo que sirve de referencia, o simplemente como ejemplo de planificación de sistemas de tratamiento de efluentes, además de permitir la investigación académica en este área por medio de una monitorización continua. La gestión y seguimiento de los indicadores de calidad del agua son responsabilidad del *Setor de Saneamento Ambiental*.



Figura 164 Estación de Tratamiento de Agua Residual UPF con sistema anaeróbico (fotografía del autor 2008).

Aunque estuviera incluido implícitamente en el término de Responsabilidad Social de la UPF (UPF 2005b), había la falta de un plan de gestión ambiental para el campus, que fuera definido un equipo responsable, que desarrollase una política ambiental, un análisis crítico de las condiciones actuales y de la mejoría, y una gestión basada en la mejora continua.

Según Brandli, Frandoloso y Tauchen (2011), la gestión ambiental en las universidades debe abordar los siguientes aspectos:

- incluir análisis responsables y detallados de cada flujo en un campus debiendo estar basados en unidades físicas, aunque, permitiendo del mismo modo que sean consideradas cuestiones económicas.
- incluir la evaluación de indicadores consistentes; envolver el estudio detallado de estos indicadores para comprender y estimar el potencial de mejora del sistema;

- servir para la mejoría continua de los parámetros ambientales del sistema, de acuerdo con el comprometimiento ambiental ejemplar que las instituciones necesitan demostrar.

Los estudios previos apuntaron que el primer paso para la implantación del SGA en la Universidade de Passo Fundo es la definición de la Política Ambiental Institucional, que será la que norteará las demás etapas del sistema. Otro aspecto importante son las colaboraciones y redes con otras universidades para desarrollar la cuestión de la planificación ambiental de las infraestructuras (campus y edificaciones).

Tomar una decisión de usar un abordaje de sistema a la gestión ambiental es un gran paso; significa volverse proactivo en lugar de reactivo, definir y cumplir objetivos, y usar una política ambiental, que guiará toda la IES – Institución de Enseñanza Superior - en temas ambientales. Para Brandli et al. (2007) y Frandoloso et al. (2008) este comprometimiento debería venir de la alta administración, en este caso, de las rectorías, directores de facultades y coordinadores de curso.

La implantación del SGA implica crear y capacitar los mecanismos de apoyo a la política, objetivos y metas ambientales, para esto, es necesario inversiones, no solo financieras sino también de capital humano. La Tabla 45 presenta una síntesis de las acciones que podrían ser implementadas en la UPF, de acuerdo con las etapas del PDCA.

Tabla 45 Directrices para la aplicación del SGA en la UPF (Brandli, Frandoloso y Tauchen 2011, 50).

PDCA	ACTIONS
<b>P- PLAN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• identification and evaluation of environmental aspects potential impacts</li> <li>• identification of legal requirements inherent to activities developed in the campus;</li> <li>• definition of objectives and goals according to previous items;</li> </ul>
<b>D- DO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• creation of department for environmental management – definition of responsibilities;</li> <li>• training and sensitization of employees; professors and students;</li> <li>• internal and external communication in the campus;</li> <li>• documentation of actions/procedures and control of this documentation;</li> <li>• preparation and reply to emergencies;</li> <li>• environmental awareness programs directed to population;</li> <li>• incentive to use of organic feed;</li> <li>• rationalization of fuel use – alternative fuel;</li> <li>• constructions and renovation in the institution following sustainable patterns;</li> <li>• promotion of biodiversity of ecosystems in the campus.</li> <li>• guide with good sustainable practice</li> </ul>
<b>C- CHECK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• collection and monitoring of environmental indicators;</li> <li>• definition of corrective and preventive actions;</li> <li>• control of records of monitored data;</li> <li>• development and edition of materials of environmental evaluation;</li> </ul>
<b>A- ACT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• creation of tool for sustainability analysis;</li> <li>• solutions based on the pattern of environmental management of ISO 14001;</li> <li>• action plan for continuous improvement.</li> </ul>

Para que el SGA se consolide, es necesario que las etapas de verificación y análisis crítica se efectiven y que haya una mejoría continua en la proposición y alcance de objetivos y metas. La implantación de un Sistema de Gestión Ambiental, parte de la premisa de la definición de una política ambiental institucionalizada, además de establecer una estructura administrativa específica de la IES encargada de coordinar, monitorizar y gestionar todas las

acciones y los respectivos resultados concretos.

En el proceso de planeamiento estratégico de la UPF para el periodo 2012-2016 - Plan de Desarrollo Institucional - PDI, iniciado en 2011, entre las líneas de acción propuestas en la versión preliminar (UPF 2011), se trataba de enfatizar su responsabilidad social, con la necesidad de consolidarse en la sostenibilidad regional en cuatro temas: inclusión social, desarrollo económico y social, medio ambiente y preservación de la memoria y patrimonio cultural. Pero, en los temas de la sostenibilidad de las infraestructuras, las acciones eran restrictas puntualmente a la movilidad interna en el campus y respecto a la calidad de los edificios y espacios internos, proponiéndose la instalación gradativa de equipos de aire acondicionado en todas las clases y otros sectores de la Universidad, sin reflexionar sobre criterios o indicadores para evaluar las reales demandas.

Con la apertura de la recogida de opiniones y sugerencias en el proceso, fue posible la inserción de un campo específico para "elaborar un programa institucional de gestión medioambiental sostenible y de promoción de la ecoeficiencia" (UPF 2012a, 14; 2013b) - Tabla 49 del Anexo IX.F, gracias a la contribución a partir de los estudios de la presente investigación y de la Comisión de Planeamiento Estratégico de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura - FEAR. Este nuevo instrumento podría contribuir para cambiar la actual situación de la gestión medioambiental en la Universidad, bajo el desarrollo y la implantación concreta de los programas propuestos.

Específicamente para la unidad académica, el Plan Estratégico de la FEAR (Pandolfo et al. 2011), define claramente como puntos prioritarios desarrollar una política e implantar la gestión sostenible de la FEAR, así como promover prácticas para la ecoeficiencia de la unidad, véase la Tabla 50 en el Anexo IX.G. Para la mejoría de la ecoeficiencia y del desempeño ambiental de los edificios de la FEAR, el instrumento propuso la evaluación de los ambientes existentes y a construir, en relación a las condiciones de habitabilidad (confort térmico, acústico y visual). El Apéndice D presenta con mayor detalle este proceso de planificación.

Como resultado del Plan estratégico, en mayo de 2012 fue constituida la Comisión de Planeamiento de la Política Medioambiental de la FEAR, actualmente en desarrollo de las etapas iniciales de recogida de datos.

Igualmente en la escala institucional el año 2012 enmarca un cambio de paradigmas hacia el planeamiento ambiental, empezando por la formación del Fórum de Gestión Ambiental en 2012, coordinado por el CCTAM, ya mencionado, y con la contribución de las diferentes acciones aisladas de los grupos de investigación y extensión comunitaria. Bajo los marcos del instrumento del PDI 2012-2016 en agosto de 2012 fue formalizada la Comisión de Elaboración de la Política de Responsabilidad Social y de Medio Ambiente; dicha Comisión conjuntamente con el *Setor de Saneamento Ambiental (SSA)* ha constituido el punto de partida para la elaboración del Plan de Gestión Ambiental de la UPF.

La aprobación interna en la Comisión (Comissão .... 2012; 2013) ha sido enviada a la esfera administrativa de la UPF, de manera que desencadene en conjunto con la *Fundação Universidade de Passo Fundo* (la mantenedora, o sea, la figura jurídica de la Universidad) el proceso de consolidación de la Política Ambiental, y la efectiva puesta en marcha del programa institucional de gestión, insertado en la *Política de Responsabilidade Social da UPF 2013/2016*, aprobada por el *Conselho Universitário – CONSUN* - en septiembre de 2013 (Dalmolin y Moretto, 2014).

Dentro del marco del PDI, el CCTAM ha recibido nuevas tareas para el "*Programa Gestão Ambiental*", de manera



que dé continuidad al plan de gestión vigente, y también anclado en la comisión responsable por la articulación y sistematización de la política de responsabilidad social y medioambiental. En las acciones está el programa de educación ambiental convencional de las 5Rs: repensar, reducir, reutilizar, recuperar y reciclar, y la campaña de concienciación para la recogida de residuos en todos los espacios de la Universidad, con carteles educativos y cubos de basura diferenciados para reciclables y no reciclables, según la Figura 209 de Anexo IX. En 2015 forma parte del material de divulgación institucional, impreso en el cuaderno-agenda entregado a los alumnos y profesores.

La Figura 165 presenta el resumen de las acciones institucionales para el planeamiento físico y medioambiental de la UPF, así como de las iniciativas individuales del grupo de investigación en que este autor está ubicado. La visión crítica sobre la cuestión de planeamiento ambiental en la Universidad está desarrollada en el Apéndice D.

### **Análisis de la educación para la sostenibilidad**

El Ministerio de Educación de Brasil a partir de la Ley 9795/1999 (Brasil 1999) y del Decreto 4.281/2002 (Brasil 2002) instituyó la Política Nacional de Educación Ambiental, considerándola un componente esencial y permanente de la educación, debiendo estar presente de manera articulada en todos los niveles y modalidades del proceso educativo (formal o no); en este sentido, determina que también los cursos universitarios incorporen sus contenidos en la docencia y la vida académica, en una perspectiva de inter, multi y transdisciplinaridad. En los mecanismos y procedimientos para la evaluación de todos los cursos universitarios desarrollados por el Ministerio de Educación Brasileño, la Educación Ambiental forma parte de los criterios para la emisión de los permisos de apertura, reconocimiento y reevaluaciones de los cursos e IES (Brasil 2012).

De entre las diferentes metodologías, como el método *FLA - Framework-Level-Actors* (Jansen 2003), aplicado para evaluar siete universidades, incluso la UPC (Ferrer-Balas, Buckland y de Mingo 2007; Ferrer-Balas et al 2008), la herramienta adoptada para evaluar los niveles de sostenibilidad asociados a la educación en la UPF fue la metodología AISHE<sup>118</sup>, desarrollada por Roorda (2001); de esta manera se hace referencia indirectamente a la UNDESD - UNESCO comentada en el Apéndice A.3.

La metodología AISHE en su versión 1.0 se aplicó en el Campus I en Passo Fundo, a partir de la tesis de maestría de Fraga (2011), a los coordinadores de los cursos de graduación, partiendo de la idea que serían las personas más indicadas para responder por sus cursos, pues están directamente relacionados con las actividades cotidianas de los mismos y los conocen con mayor profundidad. La evaluación fue aplicada a los 40 cursos de graduación de la institución, de los cuales 30 participaron efectivamente de la investigación, lo que representa un 75% de la población objetivo, una vez que en esta etapa del estudio no se incluyeron los 14 cursos superiores de formación tecnológica.

---

<sup>118</sup> La UPF forma parte del grupo de investigación de evaluación de la versión 1.0 y de desarrollo de la versión 2.0, con la participación de este autor.


Universidade de Passo Fundo - UPF 			
	Documentación complementaria	Estructura Administrativa	Investigaciones
	Pré-Plano da Cidade Universitária de Passo Fundo (1958)		
Criação Universidade (1968) e do Campus I	Implantação Campus I (Faculdade de Agronomia - 1968) Plano Diretor (1972) - Construção edificações 1a. etapa (1973) Comissões para plano de expansão física (1986, 1990)		
Plano de Desenvolvimento ✔ Institucional - Rumo ao Século 21 (1994)	Ⓜ Atualização do Plano Diretor: proposta-sugestão (1996)		
Ⓜ Comissão Especial Plano Diretor (2002-2004)	Ⓜ Planejamento Estratégico (2003)	✔ Centro de Ciência e Tecnologia Ambiental - CCTAM (1998)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✔ Políticas de Responsabilidade Social UPF (2005)</li> <li>✔ Licença de Operação FEPAM nº3863/2007</li> <li>✔ Manual do Sistema de Gestão Ambiental (2011)</li> <li>✔ Licença de Operação FEPAM nº14/2012 - Renovação 2012-2016</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✔ Setor de Conservação do Campus - VRAdm</li> <li>✔ Setor de Saneamento Ambiental (2004)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✔ Tratamento de efluentes e resíduos sólidos</li> <li>✔ Análise e Diagnóstico da utilização de recursos naturais na UPF, visando a eficiência econômica e ambiental (2006-2012)</li> <li>✔ Pesquisas e ações Unidades Acadêmicas</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ⓜ Aspectos de Gestão</li> <li>Ⓜ Aspectos Ambientais</li> </ul>	✔ Planejamento Estratégico FEAR (2010-2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✔ Indicadores de consumo energético edificação</li> <li>✔ Indicadores de consumo e conforto ambiental</li> <li>✔ Metodologia AISHE 1.0 (Educação para a Sustentabilidade)</li> </ul>
	Ⓜ Workshops		✔ Indicadores de consumo energético

Figura 165 Resúmen de las iniciativas de Planeamiento Ambiental en la Universidade de Passo Fundo.

Los criterios establecidos en la evaluación AISHE 1.0 fueron respondidos de forma individual por los coordinadores, con el auxilio de tablas explicativas para cada criterio, encuadrándolos de acuerdo con uno de los niveles posibles. Para la apreciación de los resultados, la metodología AISHE nos permite usar la media de las puntuaciones, incluso con la atribución de niveles intermedios.

En la Figura 166 se presentan los resultados de las medias de los cursos, atribuido por los coordinadores de curso, dónde se puede observar que estos presentan diferentes niveles de sostenibilidad: algunos llegaron a niveles considerados elevados, Niveles 4 y 5 (16,7%), aunque se percibe que son excepciones; debe ser observado que cerca del 70% de los cursos evaluados se encuadró entre los Niveles 0 y 1, demostrando la falta de visión estratégica y de gestión universitaria que englobe un comportamiento uniforme en todos los cursos.

Para cada uno de los criterios y campos de actuación fue posible identificar la percepción del estado de la sostenibilidad, con destaque al criterio "metodología educacional" con el Nivel 3, predominando para los demás criterios el Nivel 1 - Figura 217 y Figura 218 Anexo IX.E, este análisis potencializa la percepción de qué criterios están presentando diferencias mayores y auxilia en la definiciones de futuras prioridades para la mejora de la sostenibilidad de la IES.

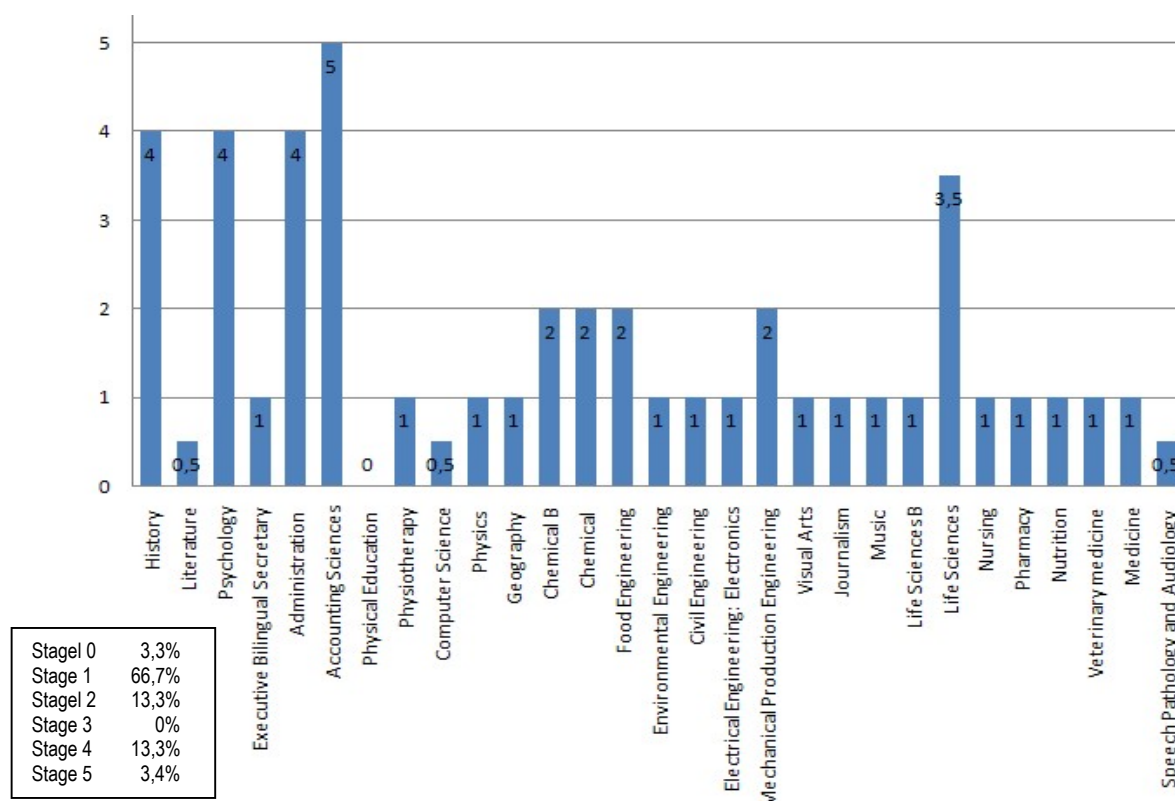


Figura 166 Gráfico de las medias de los cursos de graduación (Brandli et al. 2010).

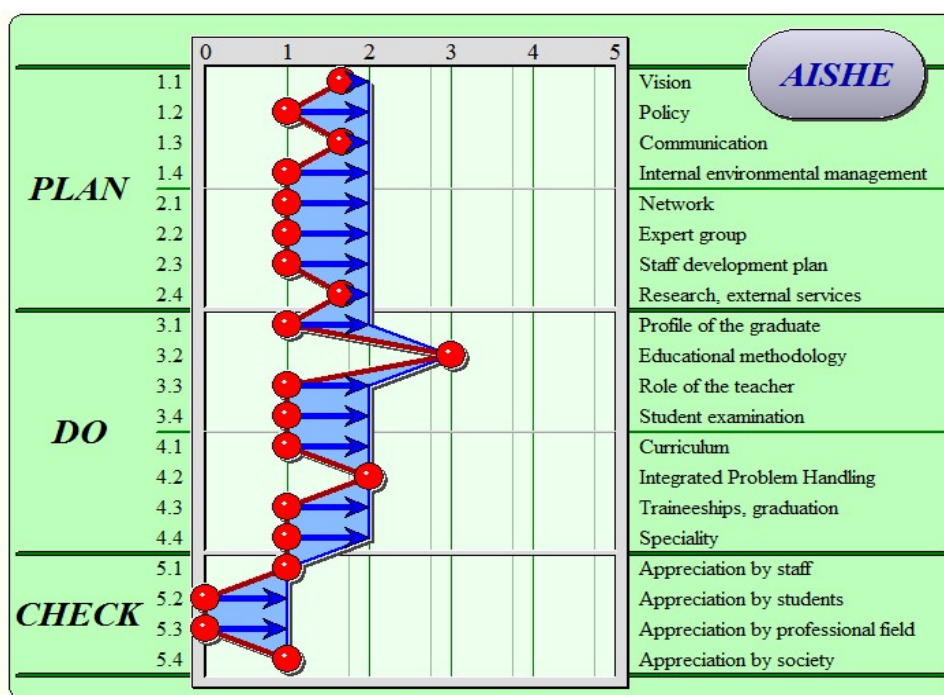
En una etapa posterior fueron aplicadas encuestas tipo *quickscan* a todos los profesores y alumnos, de los cursos con resultados de los coordinadores, complementando de esta manera la percepción de toda la comunidad académica (véase comparativa en la Figura 219 - Anexo IX.E).

Como resultado general, este estudio (Fraga 2011, Brandli et al. 2012; 2014) identificó las dificultades de la UPF en

incluir la temática del DS en los currículos, reflejo de la falta de una política integrada y consolidada, confirmando las diagnósis de la investigación sobre las prácticas ambientales con base en la ISO 14001.

La visión de la Universidad sobre sostenibilidad todavía estaba apenas implícita, pero no generaba necesariamente cambios, sino que representa tan sólo una opinión. La política es una estructura que genera la solidez de esa visión, pues proporciona su traducción en planes, de esta forma los objetivos son formulados. La comunicación de la universidad con la sociedad es fundamental, aunque es necesario que el tema Sostenibilidad sea realmente abordado. Con relación a la gestión, la UPF posee varios programas y proyectos de mejora de la calidad ambiente, aunque, se constituyen como prácticas aisladas. Lo que se propone en la situación futura planteada en la Figura 167 es la definición de un plan de acciones que posibiliten que la universidad se encuadre en un nivel más adelante, con prácticas sostenibles interconectadas, donde existan una política clara y personas responsables por la planificación, implantación, evaluación y acciones de mejora continua.

Analizando el campo de la evaluación (*Check*) la puntuación fue menor en relación a los otros campos, pues como se constató que no existe una fuerte presencia de la sostenibilidad en la Universidad, no sería lógico que hubiese datos sobre una evaluación de la apreciación de los alumnos, sociedad, profesores y campo profesional.



● Present situation  
 → Desired situation

Figura 167 Nivel de sostenibilidad de la UPF según AISHE 1.0, situación actual y deseada (Brandli et al 2011).

En la continuidad del estudio de Fraga (2011) y del grupo de investigación (Brandli et al. 2012, 2014), el trabajo propuso la aplicación de la versión AISHE 2.0 (Roorda 2010), incorporándolo en la elaboración del plan de gestión medioambiental para la FEAR, a partir de la evaluación de los demás campos de la herramienta (operación, investigación, sociedad e identidad), según presentado en el Apéndice A.3.

## UPF y el uso de los recursos energéticos

Como ya ha sido comentado anteriormente, la Universidad de Passo Fundo presenta una estructura *multicampi* en el norte del estado de Rio Grande do Sul; el campus principal, Campus I, localizado en Passo Fundo, tiene una superficie de 341ha, con cerca de 21.000 usuarios entre alumnos, profesores y funcionarios.

Hasta 2009 el control de consumo de energía en el Campus I era centralizado en una única unidad consumidora, lo que no permitía conocer los patrones de consumo de cada uno de los diferentes edificios. A partir del segundo semestre de 2009, UPF empezó con la instalación de un sistema de controladores de energía eléctrica y utilidades multipuntos – controlador *SmartGateM* – Gestal, ver Figura 216 Anexo IX.D, actuando como concentrador de las mediciones sectoriales sincronizadas con las mediciones de la concesionaria de energía, con el acceso a las informaciones *on-line* y *on-time*.

Este sistema permitía la gestión de consumo de energía de aquellas unidades identificadas como de alto consumo en horarios punta y con una tarificación diferenciada, como auditorios, centros de eventos y de convivencia, monitorizando cuando son ultrapasados los límites preestablecidos, inclusive con la posibilidad de “desenchufar” estas instalaciones o activando los equipos de generación propia de energía, alternativa encontrada para frenar el aumento de consumo y de los costes identificado en 2009, como se detalla en el Capítulo 4.

Específicamente en lo que se refiere al Campus I, el consumo de energía corresponde alrededor de un 87% de toda la UPF; no obstante, la evolución de estos indicadores en los últimos años se presenta en la Tabla 46.

En términos general, en el período evaluado entre 2004 y 2014 el parque construido se amplió en 29,15%. Se percibe que la expansión de la estructura física es constante para el período a partir de 2004, sin embargo presentó un crecimiento significativo del área construida entre 2005 y 2006 (8,41%). Por otro lado, el consumo presentó un descenso de 7,76%, con una economía de más de 45% en el valor de la factura de energía eléctrica, debido a la instalación de un sistema de generación propio de 1.45MW, a diesel, para atender no solo la falta de energía por la concesionaria de energía eléctrica, sino que también le permitió a la UPF encuadrarse en la modalidad “energía interrumpida” horo-sazonal A4<sup>119</sup> (ANEEL 2005), en el horario punta (entre las 18h00min y las 21h00min), con la reducción de tarifas.

Para los años siguientes la ampliación de la estructura física se mantuvo dentro de los porcentuales de hasta 4,45% (2009), sin embargo el consumo de energía presentó diferencias considerables.

En el período de 2008/2007 hubo una reducción de costes y la estabilización del consumo de energía eléctrica, sin embargo, la creciente demanda debido al aumento del número de matrículas de la UPF en el año de 2009, así como el aumento de la informatización de todas las actividades administrativas y académicas y, en especial, en el incremento del uso de acondicionadores de aire en los laboratorios, hizo que el consumo aumentara en 24,15%, suponiendo un aumento en los costes de casi un 60%, ya que también incidió para el período la diferencia de subsidios de la concesionaria para el uso de la generación propia.

El período 2010-2011 no presentó una gran ampliación de las infraestructuras (0,07% y 1,16%, respectivamente),

---

<sup>119</sup> Consumidores comerciales de alta tensión, entre 2,3 a 25,0kV (ANEEL 2005, 11).

sin embargo empezaron algunos cambios en el patrón de consumo de energía (2,65% y 4,59%); no obstante, los gastos con energía presentaron un importante aumento de un 11,73%.

Tabla 46 Evolución del área construida, consumo de energía y costes en la UPF (2004-2015)<sup>120</sup>.

año	Área construida (m <sup>2</sup> )	Consumo (kWh)	Coste (mil R\$)	Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>2004</b>	88.987,99	3.914.408	1.557,56	43,99
<b>2005</b>	90.735,15	3.981.060	1.912,87	43,88
variación 2005/2004	1,93%	1,67%	18,57%	-0,26%
<b>2006</b>	99.071,34	3.694.457	1.314,78	<b>37,29</b>
variación 2006/2005	<b>8,41%</b>	-7,76%	-45,49%	-17,66%
<b>2007</b>	99.147,84	4.421.650	1.439,72	44,60
variación 2007/2006	0,08%	16,45%	8,68%	16,38%
<b>2008</b>	103.293,84	4.422.510	1.384,08	42,81
variación 2008/2007	4,01%	0,02%	-4,02%	-4,16%
<b>2009</b>	108.104,47	5.490.587	2.214,30	50,79
variación 2009/2008	4,45%	<b>24,15</b>	59,98%	18,63
<b>2010</b>	108.183,65	5.639.818	2.131,39	52,13
variación 2010/2009	0,07%	2,65%	-3,89%	2,57%
<b>2011</b>	109.457,87	5.911.441	2.414,65	<b>54,01</b>
variación 2011/2010	1,16%	4,59%	11,73%	3,47%
<b>2012</b>	109.909,61	4.275.696	1.496,60	38,90
variación 2012/2011	0,41%	<b>-38,26%</b>	<b>-61,34%</b>	-38,83%
<b>2013</b>	111.794,95	4.946.512	1.531,83	44,25
variación 2013/2012	1,69%	13,56%	2,30%	12,08%
<b>2014</b>	114.928,36	5.758.720	2.044,59	50,11
variación 2014/2013	2,73%	14,10%	25,08%	11,70%
<b>2015</b>	118.599,28	5.767.925	3.362,05	48,63
variación 2015/2014	3,19%	0,16%	<b>64,44%</b>	-2,94%

Para el año de 2012, aunque la estructura física no presentó aumentos relevantes, los datos referentes al consumo energético han disminuido en 38,26%, equivalente a una importante reducción de costes de 61,34%.

Para 2013 los valores se han mantenido casi estables; en este año hay que diferenciar la energía suministrada por la concesionaria RGE – Rio Grande Energia, equivalente a 4.333.776,00KWh y correspondiente a R\$1.156.472,97, de la generación propia 612.736,00KWh y R\$375.368,03. Para el 2014 se percibe otra vez el aumento tanto de la energía suministrada como la generación propia: 5.015.876,00kWh y 742.849kWh respectivamente; para la correspondencia con los costes han importado en R\$1.590.126,00 y R\$454.465,00.

En la comparación entre los indicadores de consumo en relación a la superficie construida para 2004 representaban 43,99kWh/m<sup>2</sup>, ya para 2011 pasó para 54,01kWh/m<sup>2</sup>, es decir, un aumento en un 22,78%, especialmente relacionado con la ampliación de las demandas para la instalación de equipos de aire acondicionado y de la informatización de las actividades académicas.

<sup>120</sup> Datos basados en los *Relatórios de Atividades* de 2004 (UPF 2005a) hasta 2014 (UPF 2015) y del Sector de Conservación del Campus UPF; en destaque los valores límites.

Entre el 2012-2011 hubo reducciones importantes de consumo y consecuentemente de costes, con 38,90kWh/m<sup>2</sup>, pero con aumentos otra vez para el periodo más reciente entre 2013 y 2014, con el indicador de 50,11kWh/m<sup>2</sup>.

La tendencia de aumento de costes, insertada en las nuevas políticas tarifarias nacional, para el año de 2015 ha sido muy significativa: los costes se ampliaron en un 64,44% respecto al año anterior, con R\$3.362.052,39; este dato representa un aumento de un 115,85% en todo el periodo de seguimiento 2004-2015. Para los indicadores de área construida sigue la tendencia de crecimiento continuo y del consumo casi estables, equivalente a 48,63kWh/m<sup>2</sup>.

En los últimos años la ocupación del Campus I ha tenido una expansión de las zonas construidas en la dirección Norte - Figura 161 y Figura 162, inicialmente con la construcción de la Facultad de Derecho y el Parque Científico y Tecnológico, y más recientemente las nuevas instalaciones de la FEAR con el edificio V2, comentado en el Apéndice D. Esta expansión del parque construido ha generado discusiones a cerca del modelo centralizado de las infraestructuras de suministro energético. Estas nuevas demandas de infraestructuras y de energía, deberán evaluar las condiciones actuales del sistema de generación y distribución, debería también considerar las fuentes renovables de energía.

Igualmente que en la UPF, otros grandes consumidores de energía han optado por el suministro alternativo con motogeneradores a diésel. Sin embargo, hay pocas investigaciones más profundizadas relacionando la autogeneración y las emisiones a los gases de efecto invernadero asociados; no solo en términos de la propia universidad, sino también en Brasil hay una falta de control de los impactos de la implantación de generadores con fuentes no renovables en amplia escala por grandes consumidores. Según Barros (2007) esto impide el control de las emisiones; para la investigadora, hace falta la elaboración de una base de datos con la participación de los órganos ambientales, compañías suministradoras y las municipalidades para evaluar y controlar los impactos medioambientales.

Los motogeneradores no poseen el mismo control que para los vehículos, que el caso del CO, por ejemplo, el límite de emisión del *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores* (PROCONVE), es de 0,85g/kW.h; el PROCONVE está ligado al *Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis* (IBAMA), órgano del Ministério do Meio Ambiente, pero por otra parte las referencias a los límites para los motogeneradores no está definidas. Para la agencia estadounidense equivalente, el factor de emisión para fuentes estacionarias – motores movidos a diésel es de 335g/kW.h. Aunque diferentes estudios buscan definir los patrones de desempeño para los motogeneradores (por ejemplo Piamba Tulcan 2009) hacen falta más investigaciones e indicadores de desempeño.

Los análisis decorrentes de la investigación de Korf et al. (2015) a cerca de la calidad del aire en el Campus I, en el punto de monitorización ubicado cerca del generador apuntan los valores más altos en la concentración de NO<sub>x</sub>, con valores de 6,75 y 8,13µg/m<sup>3</sup> observados en el periodo de 18 meses del estudio (2012-2014), todavía por debajo de los límites máximos por la Resolución CONAMA (Brasil 1990). En lo que se refiere a la concentración de O<sub>3</sub> el punto máximo cerca del generador fue de 9,5 µg/m<sup>3</sup>; el estudio también valoró la concentración de SO<sub>x</sub>. Aunque con valores dentro de los límites, los autores concluyeron que esto no significa que la UPF no necesite buscar alternativas para las emisiones, sean de la cantidad de coches y autobuses que circulan en el campus, sea por su



matriz de autogeneración.

En la Fase 1 de la aplicación de la metodología para evaluación y diagnóstico de la ecoeficiencia de la UPF - Capítulo 4, compuesta del inventario y levantamiento de datos, se comenta el papel de la gestión de energía en la Universidad, pero enseña una irregularidad de acciones para frenar el consumo y los gastos con la energía eléctrica.



## **D DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE ECOEFICIÊNCIA AMBIENTAL E ENERGÉTICA DA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**

### **D.1 O processo de planejamento físico e ambiental da UPF**

A Universidade no Brasil, conforme já comentado no Apêndice A, tem início apenas em princípios do século XX, resultado de uma reconfiguração de instituições isoladas do século XIX, a partir da proposta de um modelo clássico (cursos de Direito, Medicina e Engenharia), cuja função seria a formação dos quadros necessários ao Estado, de lideranças políticos-culturais e de profissionais liberais, de acordo com o estudo da evolução dos espaços acadêmicos brasileiros de Pinto e Buffa (2009).

Na análise dos autores para a Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, implantada em 1920, Universidade de São Paulo – USP, de 1934, e Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, em Porto Alegre de 1934) se percebe um processo administrativo longo e truncado para sua configuração espacial, marcado por idas e vindas de comissões específicas para o planejamento da implantação das cidades universitárias, principalmente no Rio de Janeiro e São Paulo, sendo apenas realmente executados, porém parcialmente, nos anos 50/60. Na verdade, as implantações resultaram em espaços segmentados e descontínuos com a cidade formal, e sem grande parte dos serviços complementares incluídos nas bases iniciais.

Conforme ocorreu com as demais universidades brasileiras, a criação da Universidade de Passo Fundo em 1967 se deveu à incorporação de centros de educação superior isolados e autônomos já existentes, não seguindo um modelo preestabelecido de organização universitária, mas sim, "foi sendo constituído de forma gradativa em meio às circunstâncias locais atendendo às normas da legislação do ensino superior" (Guareschi 2001, v.2, 17).

Em termos da estrutura física, a primeira referência remete ao Pré-Plano da Cidade Universitária<sup>121</sup>, elaborado em 1958 - cuja imagem do projeto está representada na Figura 168, o qual previa uma população de 7.600 alunos para o prazo de 40 anos, adotando-se a diretriz de construir uma "cidade-parque", valorizando o elemento verde da arborização. O plano também previa uma zona residencial para alunos, professores e funcionários: por questões econômicas da época, o plano foi considerado inviável; porém incorporado na consolidação do Campus na década de 1970. As referências a esta proposta, embora constem de comentários na imprensa local da época, não foram encontradas nos arquivos da universidade.

Nesta primeira proposta, nota-se a utilização do termo "cidade universitária", assim como nos anteriores planejamentos da implantação da UFRJ e USP, bem como o estudo para os edifícios se assemelham às demais propostas da Cidade Universitária da UFRJ, naquele momento ainda com a denominação de Universidade do Brasil, de Piacentini e Mopurgo em 1935, Le Coubusier em 1936 - Figura 94 - e Lucio Costa em 1936. As propostas

---

<sup>121</sup> Ariel (1958) apud Guareschi (2001, v.5). Nota-se a utilização do termo "cidade universitária", assim como nos anteriores planejamentos da implantação da UFRJ e USP, conforme comentado no Apêndice A.

são notadamente modernistas, com edifícios altos concentrados em um eixo longitudinal sobre uma base mais baixa em “U”, conectando-os, como pode ser observada no alto da Figura 168, em área onde atualmente se concentram as edificações do Campus I; na área mais à esquerda concentraram-se os serviços esportivos. Os condicionantes de topografia, no entanto, não indicam terem sido considerados nesta proposta de Partido Geral.

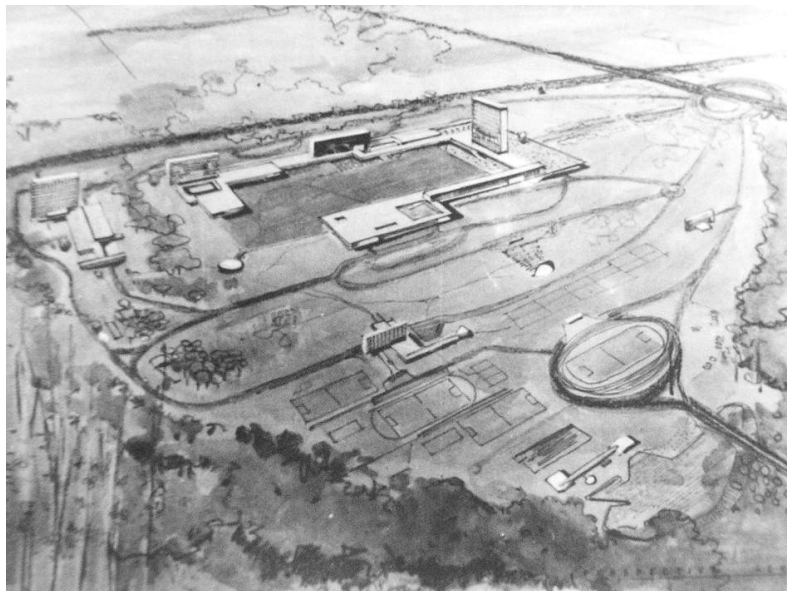


Figura 168 Imagem do projeto de concurso para o campus da UPF (Universidade de Passo Fundo, apud Magro 2006, 74).

Este processo foi registrado por Guareschi (2001<sup>122</sup>; 2012), descrevendo o nascimento e implantação, a organização *multicampi*, o campus físico e a experiência de planejamento, avaliação e gestão. A concepção do Campus I de acordo com o Plano Diretor de 1972 seguiu nitidamente o modelo norte-americano, comentado no Apêndice A, com base nas seguintes premissas (Guareschi, 2001, v.5, 16):

- a concepção de um campus aproximado, que facilitasse a circulação e a convivência da comunidade acadêmica;
- idealização de uma avenida estruturadora, que direcionasse os usuários às unidades de ensino e administrativas;
- implantação gradativa, por áreas de conhecimento;
- integração com a cidade de Passo Fundo, "de forma a evitar que o campus se tornasse uma ilha, separada da vida urbana, mas que mantivesse uma complementaridade";
- concepção arquitetônica modular e horizontal "de estilo simples e com tijolos à vista";
- equilíbrio entre os espaços construídos e a arborização, de maneira a oferecer um ambiente de tranquilidade;
- campus como um espaço aberto à comunidade externa.

A referência ao modelo norte-americano se evidencia com a participação efetiva de consultores técnicos<sup>123</sup> a partir

---

<sup>122</sup> A obra de Guareschi está constituída de 8 fascículos, dentre os quais foram destacados aqueles diretamente relacionados com o planejamento físico.

<sup>123</sup> F. R. Brotzen, J. Demichele e R. P. Atcon, este último consultor e estruturador do CRUB em 1966, bem como do Plano Atcon para a Universidade Brasileira (Fávero 2006), conforme concepção comentada na nota seguinte.

de convênio entre universidades brasileiras e o Conselho de Reitores das Universidades Brasileiras - CRUB, dentro dos acordos posteriores ao programa MEC/USAID<sup>124</sup>, cujo objetivo era implantar reformas profundas no sistema universitário brasileiro, porém alinhados com as políticas norte-americanas. Em termos do planejamento físico, o manual estruturado nas propostas de Atcon (1970) orienta a implementação da reforma universitária recém-elaborada, com o objetivo de reorganizar e modernizar a educação superior brasileira (Pinto e Buffa 2009, 109-117), porém inserida nas políticas pós-golpe militar de 1964.

Com o objetivo de "promover estudos, pesquisas e planejamento tendentes à promoção do desenvolvimento regional", foi criado em setembro de 1969 pelo Conselho Universitário - Parecer 9/69 - o IPEPLAN - Instituto de Pesquisas e Planejamento (IPEPLAN s.d.), inicialmente com uma atuação genérica, porém incorporando o planejamento físico e a elaboração de orçamentos para as primeiras edificações do campus principal (IPEPLAN 1973).

A partir da implantação do Campus I em 1973 - Figura 207 do Anexo IX.A - houve a necessidade de planejamento específico da expansão física, com a designação de comissões internas em 1986 e 1990, concentradas em aspectos funcionais de novos edifícios e de um novo sistema viário e infraestrutura, em termos meio ambientais, a ênfase se concentrava aos aspectos paisagísticos, tanto para a preservação da vegetação nativa existente em uma pequena porção da área, como a construção da paisagem nas áreas predominantemente ocupadas por vegetação rasteira<sup>125</sup>.

Novamente em 1994, o Plano de Desenvolvimento Institucional - Rumo ao Século 21 (UPF 1994) retoma o tema da expansão física, especialmente abordando as políticas institucionais para a captação de recursos externos para viabilizá-la. Como resultado disto, em 1996 foi elaborada a "proposta-sugestão" [sic] de atualização do Plano Diretor de 1972, porém com diretrizes genéricas e parciais (UPF 1996).

Conforme anteriormente comentado no Apêndice C, o processo de planejamento físico na UPF (UPF 1991; 2003), representado pela Figura 165, foi parcial e desvinculado de uma estrutura administrativa que permitisse a consolidação do planejamento de forma estratégica e contínua, bem como integrada, não apenas como instrumento para definir a expansão da área física segundo as necessidades pontuais (Frاندoloso et al. 2013).

A Universidade de Passo Fundo obteve em 2007 a Licença de Operação LO nº3863/2007, da FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - em função de estar ambientalmente correta e adequada a legislação vigente; de acordo com o licenciamento, estava prevista a elaboração do Manual de Gestão Ambiental para 2011, como requisito da sua renovação.

Para atender os dispositivos legais da LO, a Divisão Administrativa da UPF contratou uma empresa especializada, gerando o Manual do Sistema de Gestão Ambiental – MSGA (Assumpção, Peluso e Freschi 2011); o instrumento faz um rápido diagnóstico da instituição e contém informações para a implementação e manutenção de um Sistema

---

<sup>124</sup> Série de convênios realizados a partir de 1964, durante o regime militar brasileiro, entre o Ministério da Educação (MEC) e a United States Agency for International Development (USAID). Pelo acordo MEC/USAID "o ensino superior exerceria um papel estratégico porque caberia a ele forjar o novo quadro técnico que desse conta do novo projeto econômico brasileiro, alinhado com a política norte-americana" (Menezes; Santos 2002), propostas geradoras de grandes discussões nos meios estudantis e intelectual da época.

<sup>125</sup> Entrevista com o Prof. Elydo Alcides Guareschi, reitor ou vice-reitor da UPF entre 1968 e 1998, em 08 de março de 2013.

de Gestão Ambiental - SGA, para o Campus I da Universidade de Passo Fundo. "As orientações técnicas foram fundamentadas nos ditames dos requisitos legais e das normas pertinentes e nas boas práticas de SGA. O ponto de partida foi dado quando da visita técnica à unidade para conhecerem a situação existente" (idem, 4); como mencionam os autores este diagnóstico foi desenvolvido em apenas uma visita técnica.

Ainda que o documento esteja constituído em uma grande parte de aspectos normativos genéricos (Assumpção, Peluso e Fresch 2011, 9-51), com breves e parciais caracterizações de cada um dos aspectos a serem abordados no âmbito específico da UPF, estabelece as atividades de gestão mínimas determinadas pelas normativas pertinentes visando a melhoria do desempenho ambiental da instituição. O objetivo de obter a renovação foi alcançado, a nova LO 14/2012-DL compreende o período de 02 de janeiro de 2012 a 01 de janeiro de 2016, determinando os procedimentos a serem adotados, dentre eles a realização de auditorias ambientais, no mínimo a cada dois anos, e ser implementado e mantido o MSGA proposto.

No âmbito do planejamento institucional a partir de 2010, o GPI – Grupo de Planejamento Institucional desencadeia um “esforço disciplinado e consistente destinado a produzir decisões fundamentais e ações que orientassem a universidade, em seu modo de ser e de fazer, para resultados, com forte visão de futuro” (Bertolin 2012a, 115), que culminou na elaboração do Plano de Desenvolvimento Institucional - PDI, da UPF para o quinquênio 2012-2016 (UPF 2011; 2012). Este processo entendeu-se que fosse ascendente, participativo, buscando envolver todos os integrantes da comunidade acadêmica, de forma a que promovesse uma proposta coletiva e consensual para a UPF.

Bertolin (2012b, 142) descreve este processo identificando que um dos principais desafios sobre a gestão universitária estava relacionado com a necessidade de deslocar-se o foco da “gestão de problemas intermediários e emergenciais para questões efetivamente relacionadas à missão institucional”. Também identifica que a universidade encontrava problemas em dar uma resposta aos novos contextos socioeconômicos e culturais de sua área de influência, e às transformações da educação superior nacional e internacional. O planejamento institucional estratégico, neste sentido, proporcionou um momento de autoavaliação e de elaboração de propostas proativas.

Infelizmente nas linhas conceituais da proposta do MSGA não se abordava os aspectos da sustentabilidade ambiental de forma consistente, incorporada à sustentabilidade econômica, ou melhor, da garantia da gestão econômico-administrativa e acadêmica, embora um dos capítulos da compilação da proposta do PDI-UPF esteja direcionado à responsabilidade social e ambiental (Dalmolin e Moretto 2012). Nas referências utilizadas desconsideram-se totalmente os princípios que levaram a UNESCO a estabelecer a Década para a Educação para o Desenvolvimento Sustentável, para o período de 2005-2014 (UNESCO 2004). Cabe mencionar que o reconhecimento da relevância do papel das universidades no processo de transformações sociais necessários para atender a sustentabilidade social, econômica, cultural e ambiental está a mais de 20 anos incorporada na Declaração de Talloires (ULSF 1990), temas estes discutidos no Apêndice A.

De acordo com a Declaração de Talloires é de competência da universidade incluir os objetivos de sustentabilidade em seus programas de educação, pesquisa e difusão de conhecimentos, além de incluí-los na formação de suas próprias políticas internas. Deste modo “ser um exemplo de responsabilidade ambiental estabelecendo programas de conservação de recursos, reciclagem e redução de resíduos...”, se constitui num dos desafios para as IES

estabelecerem em seus instrumentos de gestão.

O PDI-UPF na linha de ações das relações e interação com a comunidade, dentre os objetivos para ampliar o compromisso social da instituição, destacava-se a ação de readequar e implementar a política de responsabilidade social sustentável que afirme a UPF como universidade compromissada com a sustentabilidade regional, para tanto propõe como uma das metas/indicadores a atual política de responsabilidade social sustentável aprovada em 2013 e implantada contemplando as quatro grandes áreas: inclusão social; desenvolvimento econômico e social; meio ambiente; e preservação da memória e patrimônio cultural, com indicadores de avaliação em cada área.

No entanto, as ações relacionadas com a infraestrutura, definidas na proposta como "qualificar as condições do ambiente de estudo e trabalho"<sup>126</sup> as ações (Anexo IX.F) são parciais:

1. No aspecto da mobilidade não se consideram meios alternativos para a redução das emissões decorrentes do grande fluxo de veículos no campus; aproximadamente 65 mil veículos circulam no Campus diariamente (sic), de acordo com o Manual do Sistema de Gestão Ambiental (MSGa) da UPF (Assumpção, Peluso e Freschi 2011), tanto de carros com de ônibus provenientes das várias cidades onde a UPF tem atuação; estas estratégias devem incluir campanhas para a redução do uso de veículos particulares com apenas um ocupante (adoção de programas de *carpool*, por exemplo), aumento e qualificação do transporte público urbano para o campus e interno ao campus, e ainda mudança gradativa das fontes combustíveis com menos emissões e do controle das emissões dos escapamentos dos veículos que ingressam no campus, especialmente ônibus - esta ação está incorporada no Manual de SGA;
2. Quanto à acessibilidade universal, apresenta ações para implementar melhorias na acessibilidade de deficientes do campus central;
3. Nos aspectos de resíduos sólidos propõe-se a ampliação da quantidade de lixeiras, porém não trata da separação de resíduos, coleta seletiva e sua destinação;
4. É proposta a implantação de campanhas permanentes de conscientização e racionalização de uso de recursos, atualmente em curso, conforme já descrito;
5. Quanto a real melhoria da qualidade dos edifícios e de seus espaços internos, com a eco-eficiência dos mesmos nos aspectos energéticos, de habitabilidade, e dos usos de recursos apenas é proposto "instalar gradativa e progressivamente ... climatizadores de ar em todas as salas de aula e setores da universidade" (UPF 2012a). Infelizmente, esta instalação não prevê um estudo das condições de cada um dos edifícios, para verificar as cargas térmicas, estratégias para a melhoria do desempenho, dentre outras estratégias que fazem parte dos objetivos específicos desta pesquisa, conforme outros resultados apresentados.

Na versão final do PDI (UPF 2012a), a partir das contribuições da pesquisa institucionalizada "Análise e diagnóstico da utilização de recursos naturais na Universidade de Passo Fundo, visando à eficiência ambiental e econômica"<sup>127</sup>,

---

<sup>126</sup> Linha Estratégica 3: qualidade do ambiente interno e das relações humanas, objetivo 3.1.

<sup>127</sup> Pesquisa desenvolvida desde 2006, institucionalizada na UPF e com apoios externos de projetos com recursos financeiros do CNPq (Edital MCT/CNPq 14/2209 - Processo 480419/2009-40 e FAPERGS (Processo 11/1089-6, vigência 10/2011 a 09/2013), ambos coordenados pela Pro<sup>fa</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Londero Brandli, especialmente direcionados à aquisição de equipamentos para monitoramento e controle das variáveis ambientais das edificações (Frandoloso 2006; 2012; 2014).



coordenado pelo autor (Frardoloso 2006; 2012; 2014), foi incluída uma ação específica para elaborar um programa institucional de gestão ambiental sustentável e de promoção da ecoeficiência, representado na Tabla 49.

A elaboração do citado Manual do Sistema de Gestão Ambiental não trata de nenhum aspecto relacionado com a ecoeficiência das edificações, apenas inseridos nos temas de resíduos e efluentes de laboratórios.

O Fórum de Gestão Ambiental, criado pela Reitoria da UPF em 2012 a partir do marco geral do PDI 2012-2016, foi formalmente transformado em Comissão de Elaboração da Política de Responsabilidade Social e Meio Ambiente, cujo trabalho inicial foi o de estabelecer os termos da política da Universidade, encaminhada aos órgãos administrativos (Reitoria e Fundação Universidade de Passo Fundo) para discussão e aprovação no final de 2013. Desta forma, na esfera institucional o ano de 2012 marca uma nova visão em direção ao planejamento sustentável.

A Política de Desenvolvimento Social e Meio Ambiental da Universidade de Passo Fundo passa a ser a seguinte:

“A Universidade de Passo Fundo, visando melhorar a qualidade de vida em sua estrutura multicampi, a geração e a socialização de conhecimentos e tecnologias para a comunidade, estabelece como princípios orientadores em busca do desenvolvimento sustentável, o estímulo à educação ambiental, o atendimento a legislação vigente, a melhoria contínua de seu desempenho e a integração da perspectiva ambiental às atividades de ensino, pesquisa e extensão” (Comissão..., 2012).

A Universidade de Passo Fundo buscando a sustentabilidade ambiental plena propõe desenvolver suas atividades administrativas, de ensino, pesquisa e extensão orientada por uma Política Ambiental clara e objetiva, adequada a sua realidade, no contexto comunitário, através do planejamento e gestão em torno dos seguintes eixos temáticos:

- 1) Conservação, preservação e sustentabilidade ambiental;
- 2) Gestão de Resíduos e combate à poluição;
- 3) Eficiência Energética;
- 4) Urbanização e Ocupação Racional;
- 5) Educação e Comunicação Ambiental.

Desencadeia-se, assim, o processo de consolidação de um programa de gestão ambiental dentro da estrutura universitária, a ser ainda discutido no grupo propositivo, a partir da definição das diretrizes, princípios e metas de cada um dos eixos temáticos, e posteriormente aberto para discussão e aprovação pela comunidade acadêmica e aprovada pelas estruturas administrativas (Reitoria e Fundação Universidade de Passo Fundo).

A observação da Figura 169 indica um direcionamento para uma mudança de paradigmas, passando de ações isoladas e sem continuidade, ao estabelecimento de instrumentos normativos, embora ainda a serem detalhados e verificados a sua aplicação efetiva, conforme as considerações já mencionadas sobre os processos do SGA, apresentados nos Apêndices A e C.

Universidade de Passo Fundo - UPF 	
	Documentação
	Pré-Plano da Cidade Universitária de Passo Fundo (1958)
Criação Universidade (1968) e do Campus I	Implantação Campus I (Faculdade de Agronomia - 1968) Plano Diretor (1972) - Construção edificações 1a. etapa (1973) Comissões para plano de expansão física (1986, 1990)
 Plano de Desenvolvimento Institucional - Rumo ao Século 21 (1994)	 Atualização do Plano Diretor: proposta-sugestão (1996)
 Comissão Especial Plano Diretor (2002-2004)	 Planejamento Estratégico (2003)
	 Políticas de Responsabilidade Social UPF (2005)  Licença de Operação FEPAM nº3863/2007   Manual do Sistema de Gestão Ambiental (2011)   Licença de Operação FEPAM nº14/2012 - Renovação 201
	 Planejamento Estratégico FEAR (2010-2011)   Comissão de Gestão Ambiental FEAR (2012-)  Fórum de Gestão Ambiental (2012-201

Figura 169 Resumo da situação dos instrumentos para planejamento físico e ambiental na UPF.

A partir destas ações, a Política Ambiental da UPF inicia a ser enquadrada nas recomendações da Agenda 21, em que o ensino é também fundamental para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos em consonância com o desenvolvimento sustentável e do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – SINAES, bem como as demais legislações aplicáveis (Brasil 1999; 2002; 2012), o qual destaca a responsabilidade da Instituição quanto à defesa do meio ambiente (Mistura et al. 2013).

Os eixos temáticos especificamente relacionados à eficiência energética e ao planejamento físico do parque construído ficaram estruturados conforme Tabla 47.

Como estratégia para a solidificação da política ambiental institucional foi proposta (Mistura et al. 2013) uma estrutura participativa, porém a implementação e efetivação da Política ainda depende de discussões nos órgãos universitários superiores. Desta maneira, sua aprovação estava condicionada a um processo de decisões que possibilitem a incorporação na estrutura administrativa e acadêmica, principalmente com o detalhamento de cada uma das metas, bem como a definição dos agentes responsáveis pela sua execução e, principalmente, o estabelecimento de indicadores e prazos.

Tabla 47 Eixos temáticos de eficiência energética e planejamento físico para a UPF (Mistura et al, 2013).

Eixo temático	Diretriz	Princípios	Metas
<b>Eficiência energética</b>	<p>Promoção do uso eficiente, do combate ao desperdício, do uso de fontes alternativas e da geração sustentável de energia, em todas as suas formas, no âmbito da comunidade universitária da UPF.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência Energética em todos os setores;</li> <li>• Desperdício de energia gerenciado e minimizado;</li> <li>• Busca por novas fontes de energia não convencionais e sustentáveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimizar a utilização da energia;</li> <li>• Implementar programa integrado e medidas de combate ao desperdício da energia;</li> <li>• Reduzir os custos relativos ao consumo da energia;</li> <li>• Incentivar pesquisas voltadas à geração sustentável de energia.</li> </ul>
<b>Planejamento, urbanização e ocupação dos espaços</b>	<p>Os campi da UPF deverão se transformar em modelos de referência de construção sustentável, buscando um cronograma de adaptações que gradativamente inclua princípios de sustentabilidade, primando para melhoria da logística das vias de acesso, consolidando um processo de extensão e ocupação dos próprios campi que viabilize o crescimento das atividades da comunidade acadêmica, tanto quantitativamente como qualitativamente, respeitadas às características e limitações ambientais locais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento e urbanização, estacionamentos, transportes, vias de deslocamento interno dos campi ampliados e melhorados;</li> <li>• Projetos de Urbanização e Ocupação na UPF planejados e executados com respeito aos preceitos sustentáveis;</li> <li>• Observação da política ambiental da instituição ao planejar ações de expansão e edificações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover a discussão da criação participativa de um plano diretor que contemple a sustentabilidade ambiental como princípio orientador na forma de um marco regulatório;</li> <li>• Garantir a evolução sustentável do processo de expansão e ocupação do campus da UPF intrinsecamente relacionado ao processo de desenvolvimento de sua infraestrutura interna;</li> <li>• Modernizar e adequar a infraestrutura das construções do campus da UPF para seguirem as boas práticas de sustentabilidade ambiental;</li> <li>• Readequar e aperfeiçoar as vias de deslocamento nos campi sejam elas para carros, transportes coletivos, pedestres ou outros tipos de transportes, visando sua eficiência e conciliando a relação entre o fluxo interno e externo correspondente;</li> <li>• Criar áreas de preservação ambiental e verdes ao longo do processo de expansão dos campi, contribuindo com a qualidade de permanência da comunidade acadêmica;</li> <li>• Implantar a recuperação das Áreas de Preservação Permanentes – APPs;</li> <li>• Elaborar estudo para implantação e criação de Reservas de Proteção Particular Natural (RPPN) no âmbito das comunidades de influência da UPF.</li> </ul>

Retomando o Plano de Desenvolvimento Institucional (UPF 2012), com relação a sua execução, o próprio instrumento de gestão propõe um processo contínuo e coletivo para o acompanhamento e contribuição, valorizando e buscando uma interação entre os diversos segmentos da Universidade. Especificamente sobre a linha estratégica relacionada com este trabalho, o relatório mais recente divulgado em 2015 (UPF 2015b) – vide a Tabla 49 do Anexo IX.F - elaborado pelo Núcleo de Estudos Estratégicos – NEE aponta que as ações ainda permanecem em estágios iniciais, conforme apresenta a Figura 170.




Plano de Desenvolvimento Institucional - UPF 	
	Estratégias
<b>Linha Estratégica 3: Qualidade do ambiente interno e das relações humanas</b>	
 qualificar as condições ambientais e dos	 instalar gradativa e progressivamente recu todas as salas de aula e climatizadores de aula e setores da Universidade

Figura 170 Situação das ações relacionadas com a gestão e planejamento ambiental no PDI - UPF.

Para desencadear um processo de consolidação e implementação efetiva, em abril de 2014 a Vice-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários da UPF divulgou para a comunidade a sua “Política de Responsabilidade Social 2013/2016” (Dalmolin e Moretto, 2014), elaborada dentro dos marcos da normativa NBR 26000 de 2011. Conforme a divulgação “o documento expressa um conjunto de valores, princípios, diretrizes e metas a serem assumidas coletivamente na Instituição, considerando os desafios que as instituições de ensino superior têm em relação ao impacto de suas ações, destacando a promoção do desenvolvimento sustentável de forma ética e transparente”. O documento, além de apresentar o texto elaborado pela Comissão (2012; 2013), define um objetivo que incorpora esta temática, através do Objetivo 7 que consiste na “implantação de ações na gestão, no ensino, na pesquisa e na extensão condizente” (Dalmolin e Moretto 2014, 91). Conforme consta na ata de aprovação deste instrumento (CONSUN 2013) “o processo de sua implantação se dará de forma gradativa e envolverá toda e qualquer prática institucional”.

De acordo com a Figura 171, as estratégias encontram-se em estágios intermediários de implantação, algumas delas ainda necessitando um detalhamento mais ampliado para a definição de critérios e indicadores. Por outro lado, com ações relacionadas com os aspectos de gerenciamento de resíduos, efluentes e prevenção da poluição, estão em estágio mais avançado, pois estão diretamente vinculados com os processos legais de licenciamento ambiental junto à FEPAM e prescritos no Manual do Sistema de Gestão Ambiental, já comentados anteriormente.

Ainda que tenham sido estabelecidas as pautas para a implementação da Política Ambiental na Universidade, infelizmente não foram igualmente determinados os responsáveis por cada uma das estratégias, bem como um cronograma para o cumprimento de prazos; ou seja, o processo está aberto, com lacunas para auxiliar a tomada de decisões.

<b>Política de Responsabilidade Social 2013/2016</b>
<b>Meta 7. Implantação de ações na gestão, no ensino, na pesquisa e na extensão condizentes com a Política Ambiental da UPF</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratégia 7.1 Finalizar e socializar a política ambiental a qual p orientar a gestão institucional de forma que os diferentes setores e pro instituição sejam planejados e implementados com base em princípios e garantam a preservação, conservação e sustentabilidade ambiental.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratégia 7.2 Contextualizar a Política Ambiental a todos os documentos construídos na instituição, ao PDI e aos Planos de Gestão e</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratégia 7.3 Implementar mecanismos de comunicação e divulgação interna e externa das ações ambientais realizadas na instituição</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratégia 7.4 Implementar ações de gerenciamento de resíduos</li> </ul>

Figura 171 Política de Responsabilidade Social: ações relacionadas com a Política Ambiental da UPF.

A análise da pauta de diretrizes para o processo de eleições para a administração da UPF<sup>128</sup> em 2014 reitera a visão da universidade “... como comunitária e regional, formadora de sujeitos críticos, autônomos e comprometidos com seu entorno...” (Somos todos UPF 2014).

De acordo com o programa de gestão (Somos todos UPF 2014), no campo da universidade com sustentabilidade acadêmico-financeira pretende-se “intensificar o trabalho da responsabilidade social universitária, especialmente nas dimensões da inclusão social, do desenvolvimento econômico e social, da defesa do meio ambiente, da memória cultural, ...”.

O plano (idem) ainda apresenta prioridades e desafios no campo do planejamento físico, foco deste estudo:

- Aperfeiçoar a infraestrutura da universidade, qualificando a mobilidade, organizando o tráfego, fortalecendo a segurança e agregando soluções tecnológicas;
- Melhorar a infraestrutura de acessibilidade, de modo a construir uma UPF mais inclusiva;
- Qualificar espaços de convivência no Campus I para ser utilizado pela comunidade acadêmica e comunidade externa;
- Qualificar o transporte interno, gratuito no Campus I;
- Elaborar o Plano Diretor do Campus I;
- Dar continuidade ao processo de climatização das salas de aula, dos laboratórios e setores meio da UPF;

<sup>128</sup> O mandato da Reitoria e suas Vice-Reitorias é de um período de 4 anos, com eleições diretas pela comunidade acadêmica; a administração 2010-2014 foi reeleita para o período 2014-2018.

- Qualificar a infraestrutura de salas, laboratórios, equipamentos e espaços acadêmicos e administrativos.

Estas metas dão continuidade ao processo de qualificação do planejamento ambiental da Universidade, desencadeado pela configuração do Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) e da Política de Responsabilidade Social 2013/2016, comentados anteriormente. Porém, igualmente fica uma lacuna na definição de responsabilidades e tempo para a execução de cada umas propostas.

Para 2016 está em processo inicial a implementação de processos participativos sob os quatro eixos temáticos da Política Ambiental Institucional (PAI) - Figura 172, envolvendo uma fase de planejamento, na qual serão desenvolvidas oficinas de trabalho/plenárias envolvendo delegados representantes da comunidade acadêmica (docentes, discentes e funcionários/colaboradores), eleitos pelas unidades acadêmicas de origem. Como resultado, serão apresentados os resultados para discussão e reelaboração do documento final da política de desenvolvimento social – meio ambiente da UPF, de acordo com a proposta de solidificação e descrição da composição por 55 membros (Dalmolin y Moretto 2014, 114-115).



Figura 172 Eixos temáticos da Política Ambiental Institucional da UPF.

Esta meta também contempla as diretrizes legais para a Licença de Operação da IES junto à FEPAM, a ser renovada em 2016, com auditoria ambiental realizada em abril de 2015.

O processo de avaliação documental e de campo das auditorias externas (UPF 2013a; 2014; 2015) apontou avanços em todos os aspectos ambientais, com o resultado de um índice de 83% de adequação ao MSGA, superando o índice de 54% obtido em 2014. De acordo com as considerações da auditoria externa e dos responsáveis pela Universidade - Setor de Saneamento Ambiental e CCTAM) ficou evidenciada a significativa evolução nas questões ambientais, indicando para um futura implementação de certificação ISO14001.

## D.2 O planejamento estratégico e ambiental na FEAR

O planejamento estratégico é o processo administrativo que proporciona sustentação metodológica para se estabelecer a melhor direção a ser seguida pelas organizações, visando ao otimizado grau de interação com o ambiente e atuando de forma inovadora e diferenciada (Oliveira 2007, 4-5).

Com base nesta premissa, para atuar de forma inovadora e diferenciada, e reagir de maneira proativa às interferências das forças que atuam no ambiente externo, foi “eminente necessário” (Medeiros e Rodrigues 2012, 106) desencadear-se o planejamento da unidade acadêmica FEAR - Faculdade de Engenharia e Arquitetura. De acordo com as autoras, desta forma, se ampliariam as possibilidades de orientar e priorizar as atividades a serem desenvolvidas, bem como possibilitar a participação de todos os sujeitos no estabelecimento de objetivos, estratégias e planos de ações, constituindo-se em um fator propulsor de motivação e de envolvimento.

O processo de planejamento foi implementado um grupo de trabalho, formado por representantes de cada um dos nove cursos que compunham a faculdade naquele momento, sistematizadas por um Grupo Núcleo de Planejamento. De acordo com o relatório final (Pandolfo et al. 2011) a primeira e uma das mais importantes etapas do processo de planejamento é a definição de visão e valores, na qual é expressa a concepção de Universidade e sua missão Institucional, identificando "os desejos da comunidade acadêmica em relação à condição futura da universidade, ou seja, o objetivo maior do planejamento e com base em quais princípios se devem desenvolver os planos, ações, metas". Responder à pergunta: “para onde vamos?” consiste em definir o estado que a instituição deseja atingir no futuro e pode ser vista como “desafio estratégico” (Thompson Jr. 2004).

Na aplicação do processo de planejamento da University of Warwick – UK, Dyson (2004) descreve a adoção da análise *SWOT*<sup>129</sup>, frequentemente apresentada como um método de atender rapidamente uma estratégia concertada. Porém, ressalva que certamente pode ser uma ajuda para a geração de novas iniciativas estratégicas, mas também um processo de desenvolvimento estratégico, o qual requer a análise e testes destas iniciativas e ações antes da sua adoção. Este teste deve considerar todos os cenários desenvolvidos, e uma avaliação financeira seria certamente ser aconselhável, ou até mesmo obrigatória. A análise *SWOT* pode, assim, ser encarada como uma injeção em processo em curso, em vez de ser um processo de *per se*.

Com base nestas premissas, no processo de Planejamento Estratégico específico para a Faculdade de Engenharia e Arquitetura, a metodologia utilizada englobou as seguintes etapas:

I - definir aonde se quer chegar: visão e definição de qual a razão de existir da FEAR: missão;

II – identificar onde se está: análise ambiental, através da matriz *SWOT* (pontos fortes e pontos fracos/ oportunidades e ameaças);

III - estabelecer as linhas estratégicas (Análise *5W2H*<sup>130</sup>).

O planejamento começou a ser realizado no segundo semestre de 2010, inicialmente através de reuniões com

---

<sup>129</sup> Matriz *SWOT*: strengths, weakness, opportunities and treaths; criada nos anos 1960 por Kenneth Andrews e Roland Cristensen, professores da Harvard Business School (Learned et al. 1973; Dyson 2004); conhecida no Brasil como FOFA e na Espanha como DAFO ou FODA.

<sup>130</sup> Análise *5W2H*: What? Why? Where? When? Who? How? How much? (Daychow 2007; SEBRAE, 2008).



membros do Planejamento Institucional e Direção da Faculdade. Posteriormente, foram indicados pela direção professores que assumissem a coordenação do trabalho e dessem andamento ao planejamento.

Para o diagnóstico interno, foram aplicados questionários para professores, funcionários e alunos (incluindo os formandos). Para o diagnóstico externo, foram aplicados questionários para os empregadores da região. Através da tabulação desses questionários, foram identificados os pontos fortes e os pontos fracos dos cursos da Unidade.

As oportunidades e ameaças foram avaliadas através de pesquisa em periódicos, revistas, jornais, mídia, com o conhecimento de informações referentes à economia, política e tecnologias emergentes que pudessem influenciar de alguma maneira o andamento dos cursos da unidade acadêmica. Todas essas informações serviram de base para a formação do diagnóstico da FEAR e, em seguida, para a elaboração da matriz *SWOT*, a qual relaciona as oportunidades e ameaças externas com pontos fortes e pontos fracos internos.

Para estabelecer as ações foi utilizada a técnica 5W2H, uma ferramenta prática que permite, a qualquer momento, identificar dados e rotinas mais importantes de um projeto ou de uma unidade de produção (SEBRAE, 2008).

De acordo com o documento final (Pandolfo et al. 2011) os temas ambientais foram abordados de forma mais sistêmica e ampliada, tendo em vista a composição do grupo de elaboração, representantes dos cursos da área tecnológica (Arquitetura e Urbanismo, Engenharias Ambiental, de Alimentos e Civil). Dentre as estratégias nos âmbitos acadêmicos, apresentam ações para "elaborar uma política e implantar a gestão ambiental na FEAR", como a proposta de um SGA específico para a unidade acadêmica, e para "promover práticas para a ecoeficiência na unidade": implantar práticas racionais de consumo de recursos ambientais, melhorar a ecoeficiência e o desempenho ambiental dos edifícios da FEAR através da avaliação dos ambientes existentes e a construir quanto às condições de habitabilidade (conforto térmico, acústico e visual, criar campanhas de práticas ecoeficientes).









Planejamento Estratégico Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEAR	
Diretrizes para Gestão Ambiental	Estratégias
<p> elaborar uma política e implantar a gestão sustentável na FEAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li> implantar programas de sensibilização e e</li> <li> elaborar uma política ambiental para a U</li> <li> incorporar conteúdos da área ambiental r</li> <li> integrar projetos com foco ambiental ent</li> <li> implementar um sistema de gestão ambie</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li> implantar práticas racionais de consumo r</li> <li> melhorar a ecoeficiência e o desempenh</li> </ul>

Figura 173 Situação das linhas estratégicas relacionadas com o planejamento ambiental da FEAR.

As linhas estratégicas relacionadas com o planejamento e gestão ambiental configuradas na planilha 5W2H estão representadas no Anexo IX-G. No entanto, dentro das metas definidas pelo Planejamento Estratégico se percebe

que para o estabelecimento das ações e motivações (*What?/O quê?*; *Why?/Porquê?*), na proposição dos agentes e responsabilidades (*Who?/Quem?* e *When?/Quando?*) existe uma falta de detalhamento e fixação de prazos mais concretos. A Figura 173 mostra a situação atual de cada uma das diretrizes e respectivas estratégias, sob a responsabilidade da Comissão de Planejamento da Política Ambiental da FEAR, nomeada em maio de 2012.

Embora o processo tivesse como objetivo a definição de indicadores para controle e avaliação (Medeiros e Rodrigues 2012, 107), o resultado tem sido parcial, sendo imprescindível uma atualização e uma efetiva operacionalização de todas as linhas estratégicas, inerente à metodologia de ser este um processo de retroalimentação e contínua evolução. Com base nestas avaliações, faz parte das decisões recentemente tomadas pelo Conselho de Unidade da FEAR (instância acadêmica deliberativa que envolve todos os coordenadores de cursos), a retomada do programa de planejamento para o ano de 2016.

Esta autoavaliação deverá abordar a metodologia que Porter (2004) denomina como análise da concorrência ou estratégia competitiva, em resposta ao que Bertolin (2012c) chama de “contexto de quase mercado” a que está submetido à educação superior brasileira, e internacional, com uma crescente mercantilização dos serviços educacionais, diretamente relacionados à Universidade de Passo Fundo, instituição não governamental, porém de caráter comunitário e sem fins lucrativos, onde recursos devem ser empregados na função fim: educação superior. Porém não poderão ser deixadas à margem, as pautas resultantes da Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável da UNESCO, e da recente publicação do informe final (UNESCO 2014), comentado no Apêndice A.3.

Nesta mesma abordagem, Halila e Tell (2013) citando inclusive Porter, na abordagem empresarial, as organizações despendem altos recursos em seus recursos ambientais em buscar regulamentações e normativas, e não o bastante em buscar as soluções inovadoras, elementos chaves também na análise de posicionamentos em relação aos seus planejamentos estratégicos, e em especial naquelas ações voltadas para os Sistemas de Gestão Ambiental.

Entende-se que no caso da Universidade, estas barreiras na inovação (Lozano 2013) deverão se constituir no elemento diferenciador e propulsor da quebra de paradigmas a que se insere a Educação para o Desenvolvimento Sustentável, baseadas não na competitividade, mas nas redes de cooperação interinstitucionais, visto que uma rede é formalmente constituída com o objetivo principal de aumentar o conhecimento, expresso como o aumento da capacidade de fazer algo (Bessant e Francis 1999).

A partir dos estudos do grupo de pesquisa FEAR, no qual se está inserido este trabalho, foram analisadas as universidades brasileiras e identificadas as barreiras e as dificuldades para a implementação da sustentabilidade ambiental. O estudo (Brandli et al. 2015) teve como referências os trabalhos de Leal Filho (2011) e Wass et al. (2012).

O grupo de entrevistados composto por expertos procedentes de diferentes IES – Instituição de Ensino Superior - identificou várias barreiras em comum: falta de estratégias obrigatórias dos programas institucionais, que motivem funcionários, professores e estudantes para se envolverem com a sustentabilidade; a falta de interesse sobre sustentabilidade; falta de conhecimento sobre sustentabilidade; e o envolvimento com as atividades acadêmicas,

incluindo ensino, pesquisa e gestão universitária, não propiciam um espaço para a implementação de medidas de sustentabilidade, além de outras questões pontuais como o que se comentou anteriormente com a falta de trabalhos conectados em redes interinstitucionais.

A Figura 174 apresenta a relação entre os processos de participação no ensino superior para a promoção de práticas de sustentabilidade, e para a promoção da cidadania e dos valores democráticos, e as barreiras nos países em desenvolvimento como o Brasil.

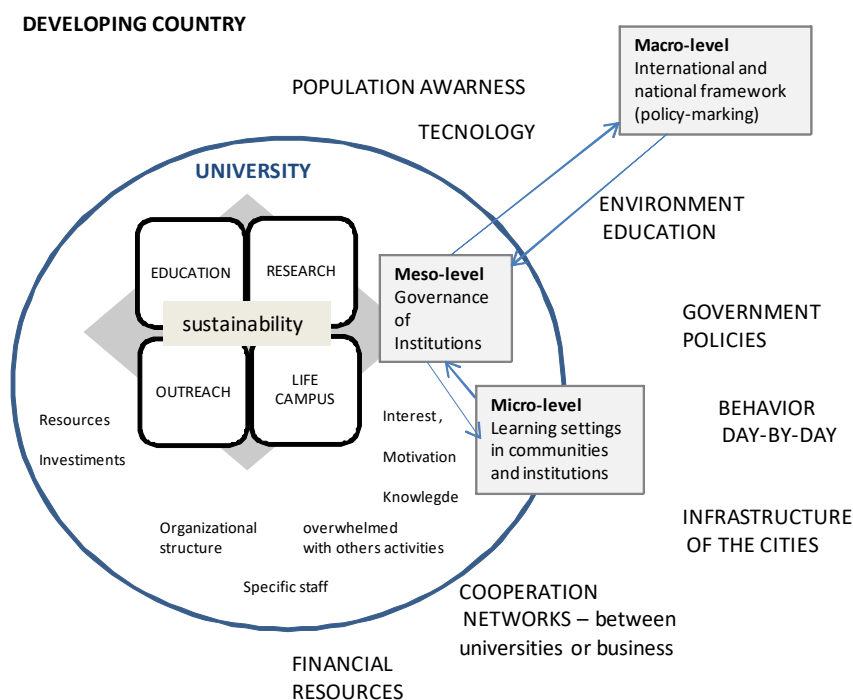


Figura 174 Barreiras enfrentadas pelas universidades na implementação da sustentabilidade em países em desenvolvimento (Brandli et al. 2015, 69).

Entende-se que tais questões não podem permanecer isoladas ou coadjuvantes no processo de planejamento estratégico institucional, seja no âmbito da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, ou no da própria Universidade, e sim consistirem na diretriz central, com vistas à promoção da Educação para a Sustentabilidade na educação superior, e indiretamente nas demais esferas de educação e da efetiva prática profissional dos egressos.

Com a oportunidade de ampliação da infraestrutura da FEAR, com o planejamento do conjunto de edifícios denominado Nova FEAR, já resultado do Planejamento Estratégico, se abrem perspectivas para aplicar as diretrizes de construção e gestão sustentável para a promoção de práticas para a ecoeficiência na unidade, e seu respectivo monitoramento. Estas pautas estão incluídas nas linhas de ação da Fase 3 e da Fase 4: propostas de intervenção, apresentadas no Capítulo 4 e Anexo XIX, com a avaliação da implementação dos critérios de projetos apresentadas no início do processo representada pela Figura 293.

### D.3 Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética para a Universidade de Passo Fundo

A partir das análises e diagnósticos resultantes do estudo, foi proposto um Programa de Ecoeficiência Ambiental e

Energética para a Universidade de Passo Fundo que deverá estar integrado ao Manual de SGA, ao Plano de Desenvolvimento Institucional da UPF e ao Planejamento Estratégico da FEAR, para contemplar ações nos seguintes itens:

- Análise da vida útil dos edifícios e a aplicação dos princípios da construção sustentável;
- Revisão dos parâmetros construtivos para os novos edifícios, com o uso da envoltória com massa térmica adequada segundo os requisitos mínimos de  $U$  indicados pelo RTQ-C apontados nas Lonhas de Ação; bem como isolamento das pontes térmicas;
- Adoção de critérios para a definição de orientação solar adequada às restrições de habitabilidade dos diferentes setores da programação arquitetônica: como laboratórios com condicionamento artificial para direções entre SO e SE, com menores ganhos de radiação; salas aulas, secretarias e salas de professores com permanência prolongada preferentemente para orientações entre NNO e E;
- Programas de *retrofit*, com a implementação de melhores condições de conforto térmico, em ao menos 80% das horas ocupadas, que correspondam às condições climáticas complexas locais (quente/úmido no verão e frio/úmido no inverno);
- Condicionamento artificial com temperaturas *setpoint* máximas de 20°C em inverno e mínimas de 24°C no verão;
- Uso de estratégias passivas de refrigeração e aquecimento, adequadas às características climáticas locais, representados na Carta Psicrométrica (Figura 160 Apêndice C.3), que a partir da relação entre a umidade relativa e temperatura de cada 8.760 horas do ano, apresenta estratégias para obter as condições de conforto razoáveis nos edifícios - detalhados no Capítulo 4, já que em 20,50% das horas do ano se registram situações confortáveis;
- Aplicação de sistemas de ventilação mecânica (caso necessário de acordo com os usos) ou de ventilação cruzada natural, segundo os indicadores apontados nas direções da Carta Psicrométrica e os resultados de avaliação do conforto adaptativo;
- Adoção de projeto de esquadrias com proteção solar exterior para garantir a redução efetiva dos ganhos solares, associadas com as estratégias de aquecimento passivo;
- Retomada dos programas de controle e monitoramento dos recursos desenvolvidos pelo Setor de Conservação de Campus, tais como o sistema *SmartGateM - Gestal* aplicado ao consumo de energia elétrica e adoção de sistemas *smart grids* (medidores e redes inteligentes) e *demand side response* – controle automatizado de demanda na rede elétrica para reduzir os picos de energia e diminuição de custos por diferenças de nas faixas tarifárias de consumo, com o adicional benefício financeiro na relação entre a concessionária de geração e distribuição com a consumidora – UPF;
- Identificar as fontes de geração dos consumos de fundo e propor limites de consumo em horas-pico para as unidades consumidoras ou unidades acadêmicas;
- Fomentar e implementar o uso eficiente dos recursos naturais (água, materiais, mobilidade e emissões de

CO<sub>2</sub>, resíduos sólidos, etc.) e a redução dos impactos ambientais associados, seguindo-se a Política de Responsabilidad Socioambiental.

Esta propostas podem ser implementas de acordo com linhas de atuação, baseadas em processos participativos para a tomada de decisões, apresentados na Fase 3 e 4 da aplicação da metodologia constante no Capítulo 4. Neste sentido, são válidas experiências como a dos *Projectes d'Optimizació Energètica* – POE (UPC 2012a, 2012b) em implementação pela Universitat Politècnica de Catalunya - UPC.

São pertinentes ao Programa de Ecoeficiência, o Guia para a Eficientização Energética nas Edificações Públicas (CEPEL 2014) implementando as diretrizes incluídas nas normativas de certificação energética (Brasil 2013a; 2013b; 2014), comentados no Apêndice B.3. Igualmente são relevantes as ações propostas pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS 2014) conforme matriz de avaliação de políticas – Anexo XX, principalmente na área da tecnologia, tanto para o tema da energia, como também para água e materiais.

Conforme apontado nas Fases 3 e 4 - Capítulo 4, a partir do levantamento de consumo energético no ano de 2012 pelo sistema *SmartGateM*, ao ser ampliado para outros edifícios localizados no Campus I percebe-se o desempenho energético relacionando-se com a superfície construída (kWh/m<sup>2</sup>). Com base nestes indicadores deve ser elaborada a hierarquização de prioridades para a aplicação da metodologia de auditoria energética, considerando-se além dos aspectos quantitativos absolutos (kWh/m<sup>2</sup>), outros fatores estratégicos a serem definidos no detalhamento e implementação do Programa de Ecoeficiência Ambiental e Energética para a Universidade de Passo Fundo, como por exemplo, edificações com projetos de reforma/*retrofit* já programados para atender necessidades programáticas como mudança de usos e reestruturação física. A cada um destes aspectos caberá detalhamento de ações, com o estabelecimento dos instrumentos, responsabilidades e prazos.

Como tema para a continuidade dos estudos para todo o parque construído da Universidade, de acordo com a metodologia aplicada ao G1 e L1 aqui apresentada, uma ação eficiente seriam as auditorias energéticas desenvolvidas pelos alunos dos cursos de Engenharia Civil, Mecânica e Elétrica (TFGs) e Arquitetura e Urbanismo (Conforto IV), constituindo-se em uma integração de conhecimentos multidisciplinar e transdisciplinar com exemplos de boas práticas para a vida profissional, de acordo com as experiências positivas alcançadas pelos PECE – *Pla d'Eficiència en el Consum de Recursos* - da UPC (Bosch Gonzáles et al. 2006), relatados no Apêndice C.2.

