



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstrucion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

VALDERRAMA, C.; COHEN, A.; LAGIERE, P.; PUIGGALI, J.R.
Análisis del comportamiento energético en un conjunto de edificios multifuncionales. Caso de estudio
Campus Universitario
Revista de la Construcción, vol. 10, núm. 2, abril, 2011, pp. 26-39
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127622720004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

*Analysis of the energy
performance in a set of
multifunctional buildings.*

*Case of study University
Campus*

Análisis del comportamiento energético en un conjunto de edificios multifuncionales.

Caso de estudio Campus Universitario



Autores

VALDERRAMA, C. Doctorante, Laboratorio I2M, Universidad de Bordeaux
Laboratorio I2M y Nobatek, Plateau ECOCAMPUS / ENSAM -
Esplanade des Arts et Métiers / 33405 TALENCE Cedex - France
claudia.valderramauloa@u-bordeaux1.fr

COHEN, A. Ingeniero, Dirección del Patrimonio Inmobiliario,
Universidad de Bordeaux
Dirección del Patrimonio Inmobiliario, 351 Cours de la Liberation /
33405 TALENCE Cedex – France

LAGIERE, P. Responsable científico de Novatek
Laboratorio I2M y Nobatek, Plateau ECOCAMPUS / ENSAM -
Esplanade des Arts et Métiers / 33405 TALENCE Cedex - France

PUIGGALI, J.R. profesor, Laboratorio I2M, Universidad de Bordeaux.
Laboratorio I2M y Nobatek, Plateau ECOCAMPUS / ENSAM -
Esplanade des Arts et Métiers / 33405 TALENCE Cedex - France

Fecha de recepción 20/3/2011

Fecha de aceptación 3/7/2011

Resumen

Cual sea el país, un campus universitario es un lugar compuesto por una diversidad de elementos, distintos usos, distintos edificios, distintos perfiles de ocupación. El campus universitario que sostiene nuestra reflexión es el campus de Ciencias y Tecnologías de la Universidad de Bordeaux. Este campus ha hecho un sinnúmero de esfuerzos por responder a las interrogaciones sobre el desarrollo durable, como por ejemplo la puesta en marcha de las calderas a leña, a gas y la cogeneración, pero a la que se le ha sumado hoy día una indispensable reflexión sobre el patrimonio construido, esencialmente en los años 60, como

sobre la gestión de recursos en el campus, en donde la factura energética llega a los 2 millones de euros anuales en electricidad y gas y en aumento todos los años (aproximadamente un 6%). Es así como en este artículo serán estudiados en una dimensión temporal, en una escala global y en una escala local el comportamiento energético tanto de sus recursos, como así de sus usuarios, entregando los primeros elementos a considerar en la Gestión, como los son los factores climáticos, pero además entregando la visión del comportamiento de la diversidad de usuarios.

Palabras clave: energía, gestión, perfil de ocupación.

Abstract

Whatever the country, a university campus is a place composed of a diversity of elements, different uses, different buildings and different occupation profiles. The university campus that supports our reflections is The Sciences and Technologies University of Bordeaux. This campus has made many efforts to answer questions on sustainable development, such as the implementation of wood and gas fired boilers and cogeneration plant. Today, an indispensable reflection is also being made on the electrical and

gas distribution system of the campus heritage built in the 60's as the annual energy (electricity and gas) bill reaches the 2 million euros and it is increasing every year (around 6%). In this paper, the energy performance of the system will be studied on a time, a global and a local scale. The energy performance of the distribution system and the different behaviors of the users will therefore be considered so as to deliver first elements such as the climate factors and a global vision to the management department.

Key words: energy, management, occupancy profile.

1. Introducción

La problemática energética es un problema actualmente ineludible y la contribución antrópica del vertido de los gases de efecto invernadero, indiscutible.

A partir del Protocolo de Kioto, Francia se apropió del factor 4 dividiendo por 4 sus emisiones de gases de efecto invernadero de aquí al 2050. Este objetivo fue sucesivamente inscrito en su: "Estrategia nacional de desarrollo durable" (junio 2003), Plan Clima (julio 2004), luego en la Ley que fija las orientaciones de su política energética (julio 2005), con la confirmación en el 2007, en la Grenelle del medio ambiente.

De manera general el sector terciario, en donde se encuentran los campus universitarios, está en continua expansión desde una decena de años y sin una importante inversión sobre la mejora y mantención de lo existente, el patrimonio inmobiliario universitario, evaluado en cerca de 13 millones de m^2 construidos (superficie útil) y con un consumo anual energético de 3.905.500 MWh EP¹, necesita hoy día de renovaciones. Una encuesta realizada por la fundación Fondaterra y Caisse des Dépôts et Consignations (2009) permitió establecer los radios medios regionales del desempeño energético, los que fluctúan entre los 208 y 371 kWh EP/ $m^2.año$, y en la Región de Aquitania de 325 kWh EP/ $m^2.año$.

Para acompañar la evolución del patrimonio universitario, el Estado francés lanzó en el 2008 un plan de renovación (La Operación Campus) al que está asociada la Universidad de Bordeaux con la voluntad de construir un sitio piloto de Campus durable, que podrá hacer evolucionar a los edificios renovados en materia de calidad medioambiental y mix energético (NOBATEK *et al.*, 2010), utilización de energías renovables y la optimización de equipamientos energéticos.

Paralelamente a este plan se hace necesario un enfoque educativo que haga desaparecer las conductas energéticas obsoletas y un enfoque de heterogeneidad, relacionado al contexto geográfico, climático y cultural y por otro lado los diferentes tipos de usos (docencia, investigación, otros) (O Gallachoir *et al.*, 2007), distintos niveles de agrupación (individual, conjunto), distintos datos físicos (tamaño, superficie) (Davis y Nutter, 2010) y finalmente los factores psicológicos (confort y comportamiento) (Hwang *et al.*, 2006 y CAO *et al.*, 2010).

En este contexto una reflexión interna está siendo realizada por la Dirección del Patrimonio Inmobiliario (DPI) y un equipo de investigación (Laboratorio I2M) sobre las prácticas energéticas. Estas prácticas y conductas se traducen de manera simple al importante consumo y facturas elevadas que interrogan (aprox. 1 millón de euros anuales en energía eléctrica y otro millón en gas), debido a la constante política de "*laissez-aller, laissez-faire*" (dejar ir, dejar hacer) (BONNET *et al.*, 2002 y ROTURIER *et al.* 1999), sobre el comportamiento, el uso del patrimonio construido y el cumplimiento de las expectativas de los usuarios.

El presente artículo tiene por objetivo caracterizar el comportamiento energético del Campus Principal de la Universidad, a partir de la visión global del consumo, basado en un análisis descriptivo de los datos recopilados en sus distintas entidades, teniendo en cuenta el enfoque de heterogeneidad, tanto en los escenarios de ocupación, las diferentes funcionalidades que cumple y el contexto geográfico y climático en el que se inscribe, analizando las diferentes visiones de conjunto y de unidad.

2. Metodología

El análisis se dividió en dos visiones, la del campus y la visión individual (un edificio tipo) y de cómo la comprensión de su funcionamiento, entrega respuestas para la gestión del conjunto global.

El estudio se realizó sobre el patrimonio construido del campus principal de la UBx1, con una superficie útil de 143.800 m^2 (36 edificios) en una área de 120 hectáreas (lista proporcionada por la DPI) y sobre la base de datos del consumo de energía (información principalmente de facturas de los contratos de gas, de electricidad y abastecimiento de leña), de los años 2008, 2009 y 2010.

Primera Parte: Descripción del perímetro del estudio: instalaciones y consumos

Esta consistió en la recopilación de datos e información de utilización y funcionamiento de los recursos energéticos, es decir, la producción de la cogeneración, de la caldera a leña, de gas y el abastecimiento de electricidad.

Paralelamente, la creación de la base de datos de los consumos a partir de la facturación mensual de los recursos, de los datos meteorológicos de la ciudad de Bordeaux y de los datos de usos del campus.

1 EP: energía primaria disponible en la naturaleza sin ser transformada, En Francia 2,58 EP = Energía Final.

Segunda Parte: Análisis de la información

En esta fueron analizadas los valores del consumo facturado de la energía térmica producida por la caldera a leña y de gas y de la energía eléctrica consumida y facturada, relacionando su comportamiento con las variables meteorológicas elegidas: Humedad Relativa, Velocidad del viento, Temperatura Media y DJU (*Degré Jour Unifié*)², en donde estas dos últimas han servido además para el análisis de tendencia y división de los períodos de estudio (información recuperada de la estación meteorológica de Bordeaux) y los datos sobre la ocupación, cuya base fue realizada a partir del calendario universitario, eligiendo los siguientes escenarios e hipótesis de ocupación:

$$\rho(x,y) = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y}, \text{ donde: } -1 \leq \rho(x,y) \leq 1 \cdot Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) \bullet (y_i - \mu_y)$$

En donde $\rho(x,y)$ es el valor buscado, σ_x, σ_y son las variaciones estándar para los valores x, y y finalmente μ_x, μ_y la media de estas variables. A partir de esta ecuación relacionamos la base de datos de X e Y asociadas a las variables, independientes « x » (variables meteorológicas y de ocupación) y dependientes « y » (energía térmica producida por la caldera a leña y de gas y la energía de electricidad consumida y facturada, considerando la presencia estacional de la cogeneración).

Tercera Parte: Curvas de tendencia del comportamiento global

Análisis del sobreconsumo de electricidad, en función a la temperatura media, para visualizar las primeras tendencias y conocer el rendimiento y perfil de comportamiento a nivel global. Sobreconsumo que tiene sus orígenes en la variabilidad del contrato de abastecimiento de electricidad, es decir una base de potencia contratada y una distinción entre el periodo de invierno y verano.

- durante el periodo normal de clases: ocupación del 100% (los estudiantes y personal están presentes).
- durante el periodo de exámenes: personal 100% presente en los edificios administrativos y laboratorios de investigación, sin embargo la presencia de los estudiantes disminuye, por lo que la tasa de ocupación alcanza un 75%
- finalmente durante los diferentes periodos de vacaciones: no hay estudiantes, los edificios administrativos han cerrado y solo existen algunos laboratorios de investigación funcionando, por lo que la tasa de ocupación cae a un 25%.

Para realizar la correlación, se eligió la siguiente relación:

Finalmente se analizó para el año 2008 el comportamiento semanal de las curvas de consumo eléctrico en los tres grupos de meses.

Cuarta Parte: Análisis del comportamiento local

Finalmente, los datos de electricidad, son analizados con una herramienta de gestión de recursos, llamada Yaltene ®, la que nos permitirá verificar las hipótesis del análisis global, pero a una escala de tiempo y de espacio más pequeña (Edificio de Investigación).

En el siguiente esquema (figuras nº1A y 1B) se indican las estructuras de interacción y las diferentes etapas del² estudio.

2 Los Grados Días Unificados (DJU, "Degrés Jour Unifiées" sigla en francés): es un valor representativo de la desviación entre la temperatura de un día dado y el umbral de la temperatura pre establecida dependiendo del lugar (en Bordeaux es de 18° C).

Figura 1A Metodología del comportamiento global

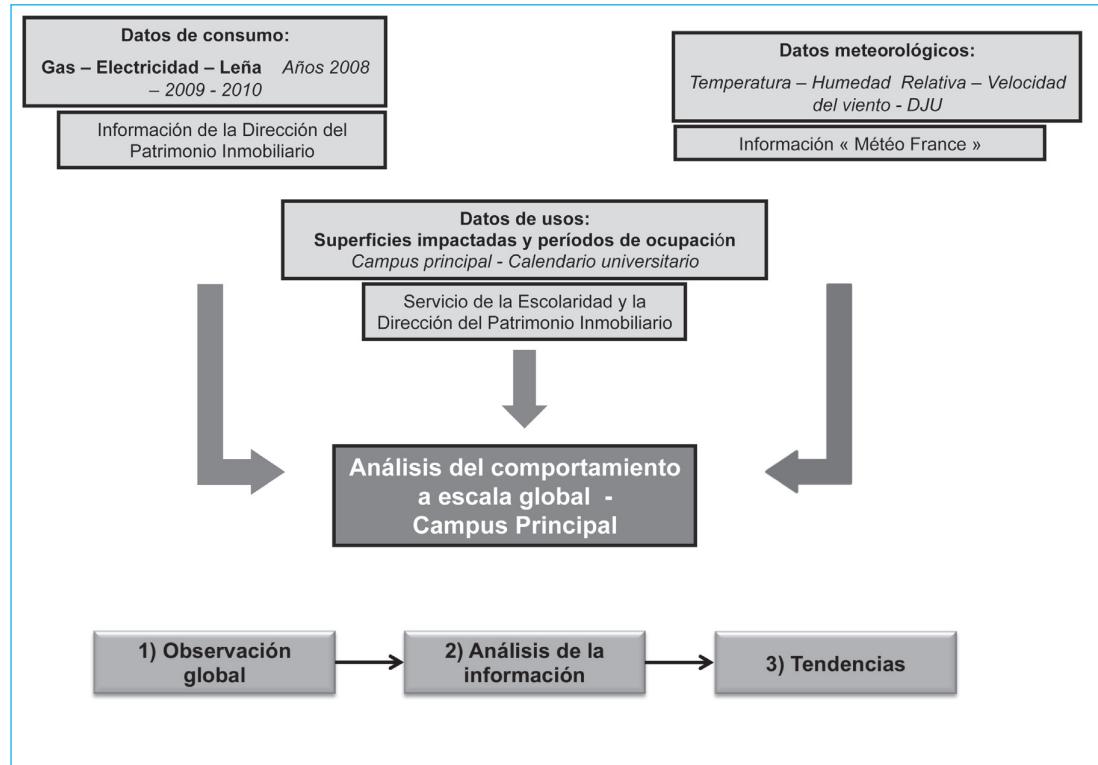
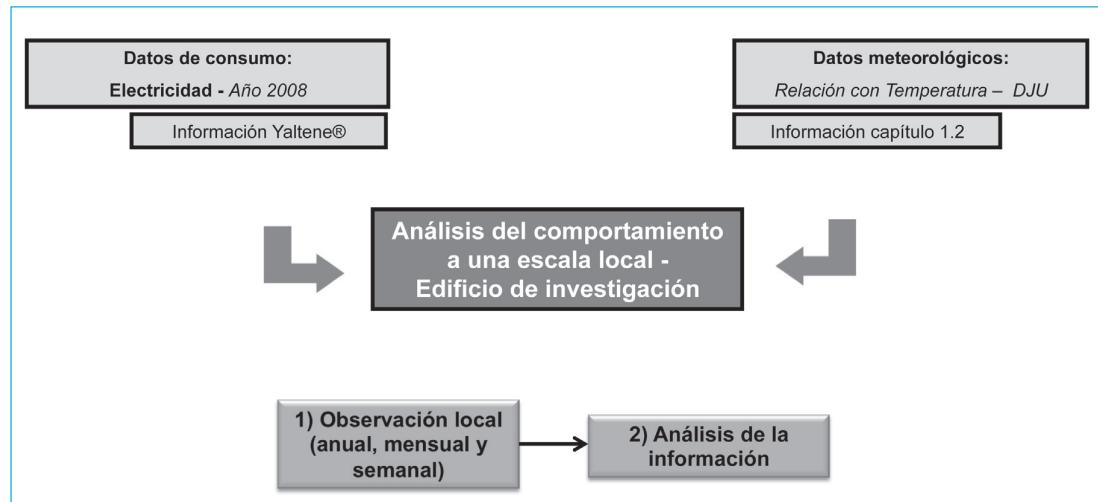


Figura 1B Metodología del comportamiento global



3. Resultados

3.1 Contexto energético del Campus Principal de la Universidad de Ciencias y Tecnologías y climático de Bordeaux

3.1.1 Descripción de las instalaciones y del funcionamiento

El sistema centralizado de calefacción de la UBx1 (Figura nº 2) comprende un cuarto de caldera principal con tres calderas de gas (cada una con 5.000 kW de potencia), donde, existe una que funciona todo el periodo invernal, otra menos del 2% del tiempo y la última, mixta (fuel y gas), concebida inicialmente para el funcionamiento alternado, nunca ha estado en funcionamiento.

A esta estructura se le añadió en 1999 una cogeneración a gas (con 1.260 kW de potencia), situada en el mismo recinto (motor eléctrico que recupera una parte del calor producido y lo convierte en electricidad por medio de un alternador). La cogeneración permite a

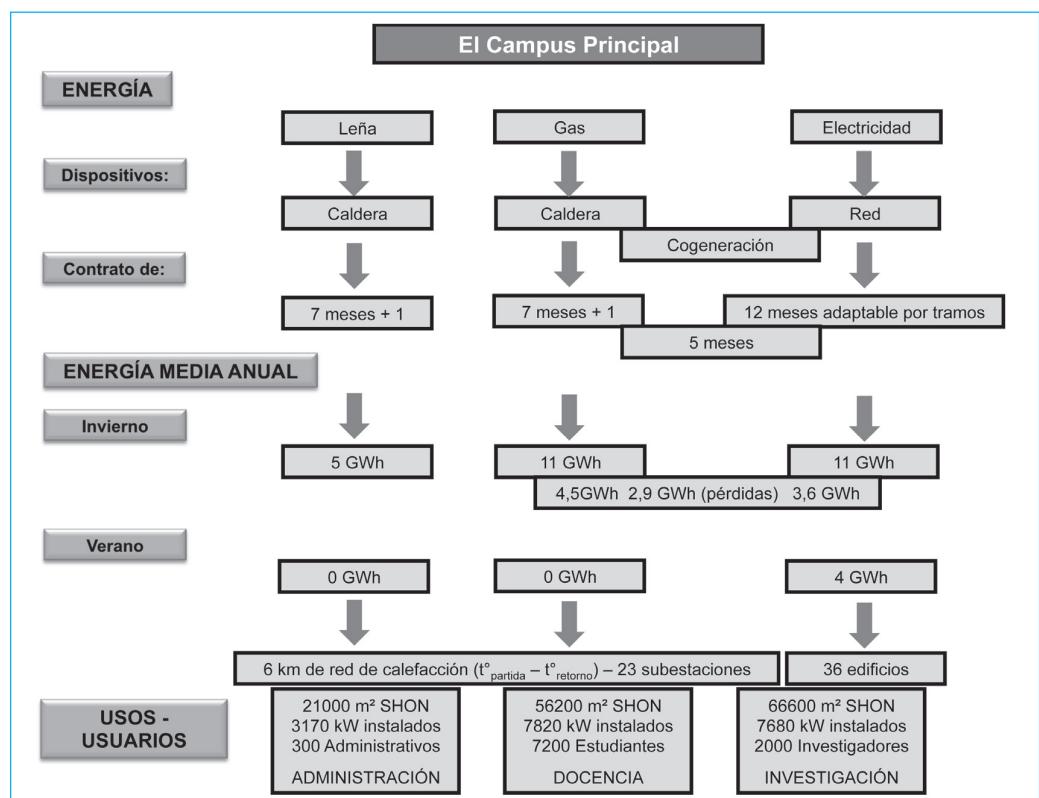
través de la modificación del recurso medio de tensión, reducir el nivel de abonamiento de EDF (Empresa de distribución de electricidad "Electricité de France") de 2.300 kW³ a 1.900 kW (solo durante el periodo invernal, respetando así el contrato de abastecimiento de electricidad).

En febrero 2006 la instalación fue completada con la puesta en marcha de una caldera a leña (1.300 kW de potencia instalada), que alimenta preferentemente a la zona donde se ubican en su mayoría los edificios residenciales.

El sistema centralizado de calefacción alimenta de agua caliente al conjunto de edificios (143.800 m²) y en promedio posee una red de 6 km de cañerías Los ratios representativos de abastecimiento van desde, los 3,61 m²/kW en el caso de un edificio de docencia a 20,97 m²/kW en el caso de un edificio de investigación.

³ 2300 kW potencia contratada en invierno de 2010
* SHON: superficie fuera de obra (superficie útil)

Figura 2 Esquema energético, recursos de producción y contexto físico de la Universidad de Ciencias y Tecnologías



3.1.2 Base para el análisis: temperatura ambiente, DJU y ocupación

En esta parte se analizó la tendencia meteorológica de la ciudad de Bordeaux, la que permitió posteriormente agrupar el comportamiento mensual del consumo de energía térmica y de electricidad en tres grupos de meses tipo: verano, invierno y de transición (estaciones climáticas en Europa inversas que en América del Sur).

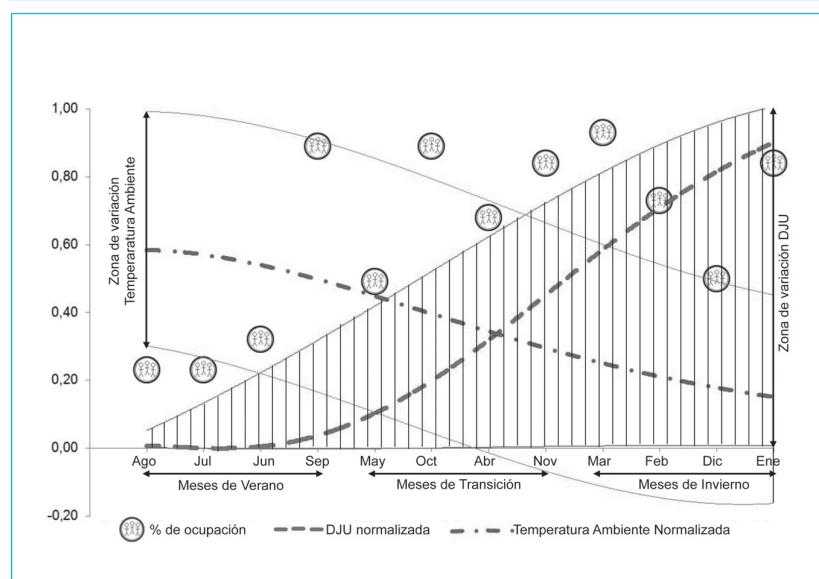
La primera curva obtenida (---) a partir de valores normalizados ($21,5^{\circ}\text{C}$ enero 2010 valor diario máximo encontrado durante los tres años de estudio) es la de la DJU. Al realizar el ordenamiento de los valores normalizados (todos positivos), y trazar la curva de tendencia, se encontraron dos puntos de inflexión, el primero entre los meses de septiembre y octubre identificando así el primer grupo "Verano" y el segundo entre los meses de noviembre y febrero, identificando el tercer grupo "Invierno", entremedio se ubicó el se-

gundo grupo "Transición" (meses de mayo, octubre, abril y noviembre). Como se observa en la figura nº3 la zona de variación (IIIIIIII) diaria de los grados días, es inestable: extremo izquierdo con menos de 10% de variación en relación al extremo derecho.

De la misma forma se trazó la curva de temperatura ambiente media (-•-•-), cuyo valor máximo de normalización fue de $36,7^{\circ}\text{C}$ (valor máximo, enero 2010), esta curva de tendencia también posee dos puntos de inflexión, al igual que la curva anterior, lo que permitió definir los mismos límites de agrupamiento de meses. Pero en su variación la diferencia no se produce en el tamaño, sino en su magnitud.

Finalmente para complementar la información de estas curvas se han dejado los valores normalizados del Porcentaje de Ocupación (valor máximo de normalización 74%, meses de marzo y octubre).

Figura 3 Zonas de variación de la DJU y de la Temperatura Ambiente Media.



3.2 Análisis de las variables "climáticas" en el perfil de consumo.

El objetivo de esta parte es exponer el grado de dependencia de los parámetros «consumo y facturación» del recurso energético, con las variables del clima, los que permitirán posteriormente priorizar los controles y tareas a realizar en la gestión energética de la Universidad.

Para el análisis se ha utilizado la relación de covarianza descrita en la metodología y que permitió relacionar los parámetros de consumos y las variables climáticas y de ocupación:

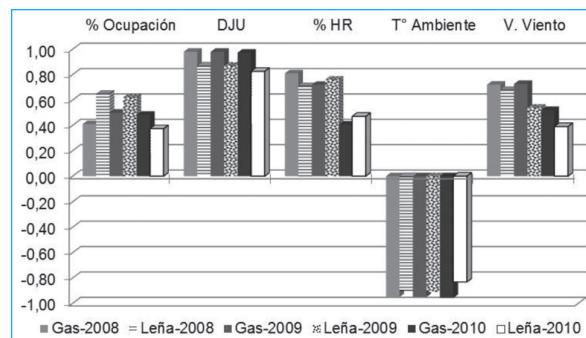
- el % de ocupación cálculo de acuerdo a las hipótesis descritas en la metodología.
- la DJU es la suma mensual de las DJU diarias

- la Humedad Relativa (%) es la media mensual de las medias cotidianas
- la Temperatura Media ($^{\circ}\text{C}$) es el promedio entre el promedio de la temperatura mínima y el promedio de la temperatura máxima
- la Velocidad del Viento (km/hr) es la velocidad media máxima.

3.2.1 Resultados de la energía térmica producida por la caldera a gas y la caldera a leña

Se observa que el comportamiento de gas y de la caldera a leña es casi idéntico y solo varía el valor numérico de la correlación. (Figura n° 4)

Figura 4 Relación entre la energía y las variables del problema



Energía producida por la caldera a gas

En este caso las variables más incidentes fueron la DJU (con un 98%) y la temperatura media (con un 95%), lo que es concordante con el comportamiento de la DJU, ya que si la temperatura disminuye la DJU aumenta y por lo tanto el consumo también.

No menos importante fueron la Velocidad del Viento (66%) y la Humedad Relativa (65%). Relación que se explica debido a que estas variables inciden en el comportamiento de los ocupantes, es decir, a una gran humedad y velocidad de viento fuerte, la sensación térmica disminuye y esto aumenta el consumo, por el aumento de la sensación de frío (Davis y Nutter, 2010).

La variable menos incidente fue la del % de ocupación

(46%) debido a que es el gestionario quien decide el funcionamiento de los radiadores.

Energía producida por la caldera a leña

Aquí las variables más incidentes fueron la DJU (86%) y la temperatura media (- 88%). Para las otras tres variables la relación fue parecida, es decir las % de Humedad Relativa, la Velocidad del Viento y el % de ocupación, los valores fueron de un 65%, 54% y 55% respectivamente.

Si bien la magnitud de estas variables es importante, no debemos olvidar que la producción energética de la caldera, en la realidad no está fuertemente condicionada a estas variables, debido a que el ideal es que independiente del comportamiento de las variables meteorológicas y de uso, durante la estación invernal, esta debe funcionar de forma constante y a su máxima producción para disminuir así el consumo de gas.

3.2.2 Resultados de la energía eléctrica

Antes de continuar se explicará el comportamiento energético de la electricidad, debido a que su contrato varía entre los meses de invierno y verano y también entre la electricidad consumida y facturada, por el aporte de energía que realiza la cogeneración.

Como se explicó en el Capítulo 1.1, durante los meses de invierno y de acuerdo al contrato eléctrico (enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre) al recurso eléctrico de la universidad se le incorpora la cogeneración que aporta aprox. 720 MWh mensuales, esta diferenciación separa el recurso eléctrico en dos comportamientos: electricidad facturada (que entrega EDF 900 MWh) y la electricidad consumida (electricidad facturada + la producción interna de la cogeneración).

Electricidad Facturada

Como se observa en la figura n° 5, la variable más incidente es la temperatura media de 74%, por el contrario y como es coherente la DJU con un valor de - 80%.

Luego con un valor negativo también, las variables de % de ocupación con la menor relación (30%), y la Humedad Relativa y la Velocidad del Viento con valores de 43% y 56%, respectivamente.

En este análisis podemos deducir que los meses de verano tienen una fuerte incidencia en la electricidad facturada, debido a que cuando la temperatura aumenta, también lo hace la electricidad. Por lo que

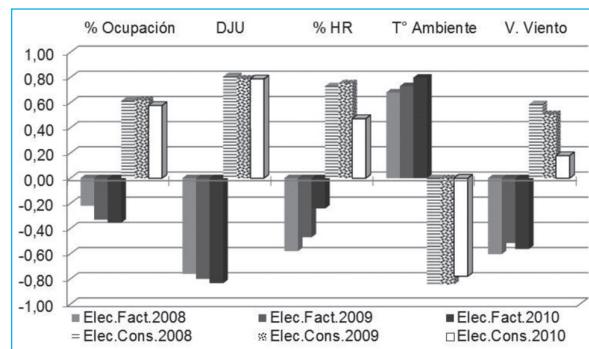
es importante observar la relación con el % de Ocupación, ya que aunque solo sea un valor pequeño (-30%), existe y podemos deducir que se ponen en marcha dispositivos de climatización que tienen una fuerte incidencia en el consumo.

Electricidad consumida

Por el contrario en este caso todas las relaciones son positivas salvo la temperatura (-82%). Y es así como la variable más incidente es la DJU con un 80% y la más baja la Velocidad del viento con un 42%.

Una variación importante sufrió el % de ocupación de un -30% a un 60%. Lo que entrega los primeros índices de que son ellos los que demandan más consumo de electricidad debido a fallas en la calefacción (utilización de radiadores individuales).

Figura 6 Relación entre la energía y las variables del problema



3.3 Clasificación de las variables

A partir del análisis descrito por las figuras nº 4 y nº 5, hemos agrupado la relación del comportamiento energético en dos tipos de variables meteorológicas, las variables de sensación y las variables de comportamiento.

3.3.1 Variables de sensación

La Humedad Relativa y la Velocidad del Viento son variables de sensación que no están directamente relacionadas con el consumo, debido a que ellas im-

pactan fuertemente la variación de la temperatura de "Sensación" y poco o nada el comportamiento del funcionamiento de los recursos energéticos. Sin embargo estas repercutirán en el comportamiento de los usuarios, como por ejemplo:

- si una mañana de invierno la temperatura es de 0°C y no existe viento, la sensación de frío no será muy marcada, al contrario con un viento del orden de 40km/hr se percibirá una sensación térmica equivalente a -15 C;
- un día de verano sin viento y con una humedad relativa elevada, la evaporación es entonces baja, la sensación térmica aumenta y por consecuencia el usuario tenderá a utilizar la ventilación al máximo.

El mismo fenómeno se produce con la temperatura interior del edificio porque si al exterior la humedad relativa es baja y la velocidad del viento es grande, un edificio que no está correctamente aislado se enfriará más rápidamente que otro que sí lo esté. Esto hace que, para mantener la misma temperatura de confort interna, se consumirá más energía para la calefacción.

3.3.2 Variables de comportamiento

Estas variables se refieren a la Temperatura Media y la DJU bajo dos contextos:

- un contexto técnico, es decir cuando la temperatura desciende y entonces la DJU aumenta, el servicio de gestión de la universidad da el comienzo a la temporada de calefacción
- un contexto de usuarios, debido a cuando la temperatura baja y la DJU aumenta, o a la inversa y por consecuencia el estado de confort cambia, los usuarios harán funcionar sus propios medios de calefacción o de climatización.

3.4 Tendencias Globales

El régimen de ocupación de un edificio universitario ha sido un factor importante para comprender su comportamiento, considerando la diversidad de sus edificios (administración, docencia e investigación) y las especificidades que posee (horarios diferidos, distintos usuarios, usos y comportamientos). Es por ello que durante el análisis hemos decidido descender en esquemas de ocupación (anual, mensual y semanal).

3.4.1 Comportamiento anual de los consumos de electricidad facturada y consumida según la temperatura media

La figura n° 6 muestra que independiente del cambio estacional (a partir de los 12°C) el consumo de electricidad total [▲+■] no muestra una disminución significativa, en promedio de 1.700.000 kWh a 1.400.000 kWh (solo un 17%), en comparación a la disminución que representa la ocupación de la universidad que baja de 66% a un 17% (49%). Lo que permite inferir, que existe un consumo base ligado al recurso informático de la universidad.

Para la electricidad facturada en cambio se observa más marcadamente el cambio estacional, el consumo aumenta del orden de 600.000 kWh y luego como es normal posee el mismo comportamiento de la electricidad consumida al no existir el aporte de la cogeneración. Se constata también que a partir de los 18 °C (temperatura de referencia de la DJU), el comportamiento de los puntos es más irregular, lo que se puede explicar por una predominancia del comportamiento individual de los usuarios y los equipamientos de ventilación no administrados a nivel de la universidad.

Figura 6 Consumo de la electricidad facturada y consumida versus la temperatura media - años 2008, 2009 y 2010

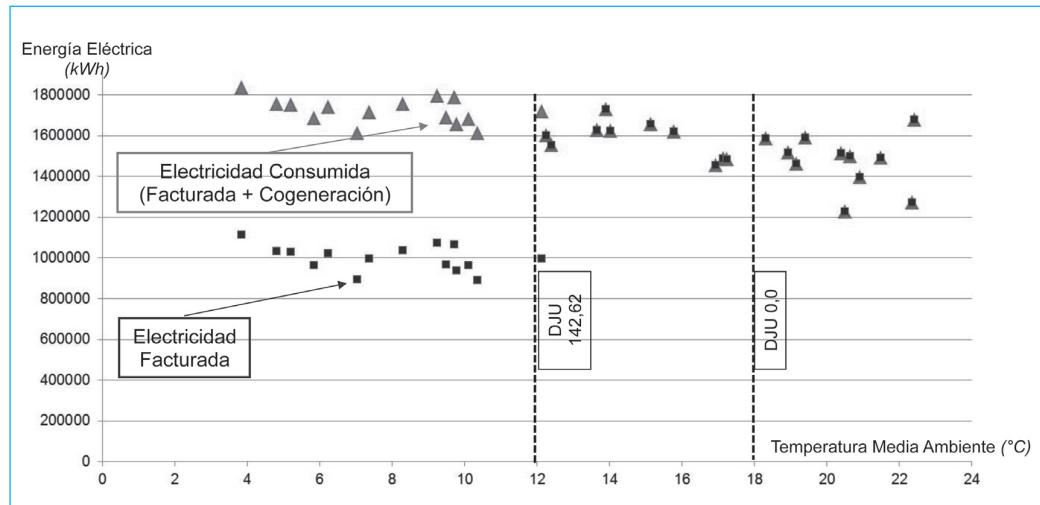
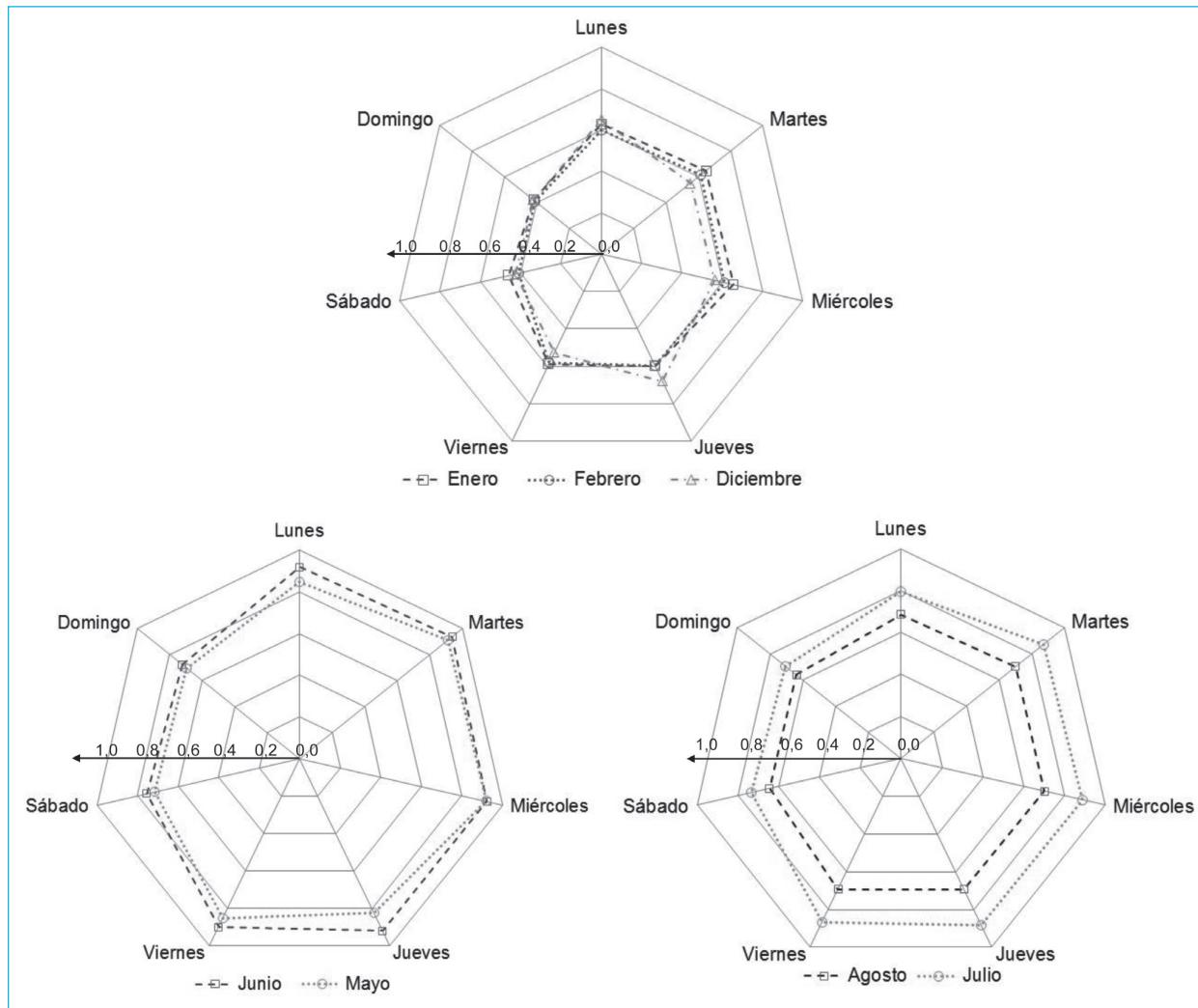


Figura 9 Tendencia semanal de electricidad facturada versus la ocupación - año 2008



3.4.2 Comportamiento mensual y semanal del consumo de la electricidad facturada según la ocupación

Basado nuevamente en la información de la figura n° 3, este análisis se realizó sobre los tres grupos de meses y las semanas son construidas sobre las medias de los días del mes y normalizadas a los valores máximos de esas medias.

Como se observa en la figura n° 7, en invierno, existen disminuciones significativas durante el fin de semana, en comparación a los otros dos grupos estudiados.

Para el grupo de transición el comportamiento es casi idéntico a los meses de enero y febrero, pero con un consumo importante (cerca del 95%) durante los días laborales y una baja significativa durante el fin de semana.

Finalmente para el grupo de verano se observa que el consumo se mantiene casi constante a lo largo de toda la semana, sobre todo para el mes de agosto en el que este consumo no baja del 60%, lo que nos permite deducir una vez más, que durante estos grupos de meses existe una base de consumo estable que nos interroga sobre el comportamiento de ocupación de la Universidad, ya

que son los meses de vacaciones de estudiantes y del personal administrativo.

3.5 Para verificar tendencias: Análisis a escala de tiempo y de espacio específicas – Edificio de Investigación

Esta cuarta parte y final, tuvo como objetivo corroborar el comportamiento global en términos energéticos de un conjunto universitario “heterogéneo”, con el comportamiento individual de uno de sus edificios (Investigación). Y realizar el seguimiento a diferentes escalas de observación, apoyados de una herramienta de seguimiento llamada Yaltene®.

El análisis comienza con una escala anual, que nos permitirá relacionar el consumo local con el comportamiento global del campus, luego se desarrolla un análisis mensual y diario, para observar el cambio estacional del comportamiento energético e inferir acerca del comportamiento de los usuarios, como se observará en las figuras nº8 y nº9.

De todos los tipos de edificios que forman parte del campus se eligió un edificio de Investigación, debido a que de los tres tipos existentes (docencia, administración e investigación), es el que posee gran diferencias en su estructura (recordar Figura nº 2 del capítulo 1.1), es decir sus edificios son los que tienen más diferencias de años de construcción (años 60 y esta última década), las superficies construidas son diferentes (entre 900 m² útiles a 11.069 m²), formas de utilización diferente (vacaciones diferidas, horarios distintos y equipos diferentes) y su presencia a nivel de superficie representa el 46% de

todos los m² construidos, en comparación a los 34% de docencia y 19% de administración.

3.5.1 Descripción de Yaltene

La herramienta utilizada para recuperar la información de la energía eléctrica consumida, del edificio de Investigación, fue Yaltene®, desarrollada por la empresa Nobatek, Centro de Investigación Tecnológico del laboratorio de investigación I2M de la Universidad. Es un sistema online que permite el seguimiento de múltiples energías en tiempo real, recupera la información a través de captores instalados en los recursos de electricidad, agua y gas y permite el seguimiento técnico, financiero y de consumos. La información que entrega está en períodos actuales, de 10 minutos, diarios, semanales, mensuales y anuales.

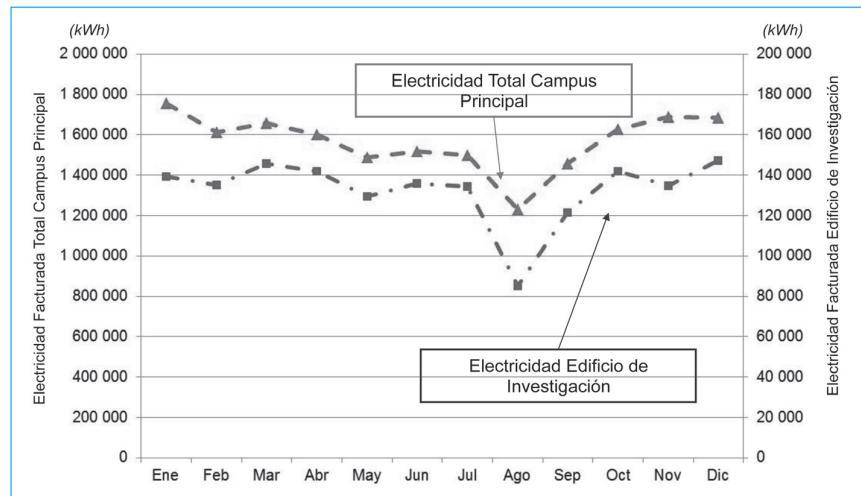
3.5.2 Comportamiento local de la electricidad facturada

Consumo anual

Al descender a una escala física más específica (figura nº 8), observamos el mismo comportamiento, en los dos casos (análisis global y análisis local) existe un consumo base (mes de agosto) para el conjunto global de 143.800 m² un consumo base de 1.200.000 kWh (8,05 kWh/m²) mensuales y para el edificio de investigación con 11.069 m² de 80.000 kWh (7,22 kWh/m²).

Además en los casos se extraña la misma conducta de comportamiento, con la distinción que posee la ocupación del edificio de laboratorio.

Figura 11 Consumo anual de las electricidades facturadas - año 2008



Consumo mensual y diario

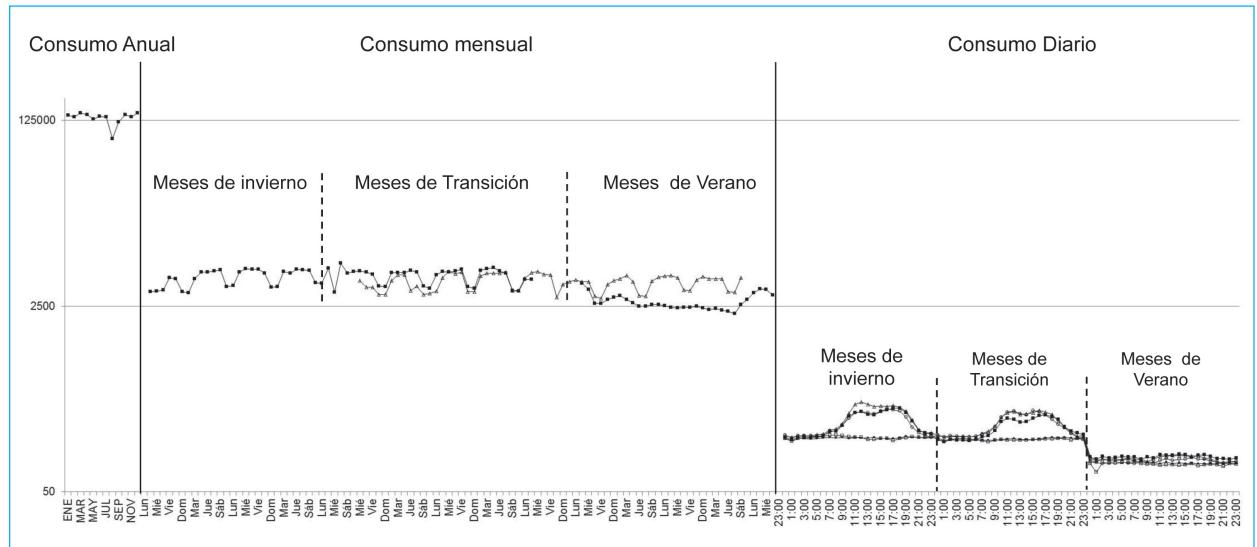
En este caso también se pudo corroborar el perfil de comportamiento y que dividida, en los tres meses tipos de análisis, son en los meses de invierno cuando encontramos el consumo más elevado (sistemas de calefacción que funcionan constantemente), luego el periodo de transición también con un consumo elevado y sobre todo con el consumo base igual que el de los meses de verano, de 150 kWh.

En los dos primeros gráficos, podemos observar el comportamiento de ocupación, ya que las curvas entregan la información sobre el perfil horario del uso, diferencias

entre los días, diferencia entre los tiempos de usos, lo que entrega referencia a los períodos en que o los investigadores dan cursos o los estudiantes están en curso y los perfiles "hora de almuerzo" y horarios máximos de trabajo.

Finalmente observamos un descenso en verano, pero con una base constante de 100 kWh, lo que otra vez nos permite observar el perfil de uso del edificio, lo que finalmente entrega la última tendencia en donde esta está supeditada permanentemente al funcionamiento de los centros de cálculos y servidores de la Universidad, pues su porcentaje dentro de la factura eléctrica corresponde al 36%.

Figura 10 Diferentes escalas temporales del consumo eléctrico 2008



Discusión y conclusiones

De manera general la problemática energética de un sitio universitario debe considerar la demanda ligada a las características de los edificios, el desempeño del sistema de producción y del recurso de distribución, el uso y su pilotaje. Todo esto debe ser integrado a una zona climática y debe responder a necesidades de confort particulares traducidas por las percepciones y opiniones de los usuarios en relación a la sensación de confort.

Como se ha dicho el objetivo principal fue realizar una descripción global del comportamiento energético, analizando algunas de las variables que intervienen en su comportamiento, por lo que las principales conclusiones han sido las siguientes:

- Dentro de los factores directamente influyentes en la variabilidad del consumo energético, están los factores climáticos y por consecuencia la sensación de confort térmico que percibirán los usuarios, es así como se demostró a través de los valores de correlaciones que las variables más incidentes fueron la DJU y la temperatura, en cambio las variables de velocidad del viento y la humedad relativa, son factores subjetivos que se relacionan con la sensación de confort.

- Otro factor que debe ser considerado en la gestión, es el perfil y escenarios de ocupación, ya que iniciando el análisis de una manera general y luego descender a una escala de tiempo y espacio más pequeña, se pudo identificar el mismo perfil de comportamiento, lo que permite dar a esta variable un peso para la reflexión de la gestión universitaria, ya que con

un seguimiento en tiempo real de estos perfiles se puede hacer la diferenciación oportuna en la entrega de los recursos energéticos (distinción de períodos, cantidad de aprovisionamiento y horarios de entrega divididos).

Aunque el análisis de algunos de los factores que influyen en el comportamiento energético, puedan mejorarse o añadirse otros, los resultados obtenidos son la primera fase para comenzar el mejoramiento de la Gestión energética del Campus, ya que los resultados han permitido demostrar la singularidad en este sistema de gestión, las variables analizadas son un mero elemento en este complejo sistema y por lo tanto el tratamiento de los datos no es igual como el común de los edificios terciarios, hay muchas variables que participan en el comportamiento y varias especificidades que dificultan aún más la reflexión, por lo tanto el estudio seguirá analizando las variables, tanto las técnicas sobre la gestión en el funcionamiento de los recursos energéticos, como las del usuario y sus expectativas.

Antes de finalizar se hace importante recalcar que además de mejorar la manera de gestionar, es importante entregar una formación más adecuada a los estudiantes, personal y a todos los usuarios del campus, sobre cuestiones energéticas y ambientales y estos deben ser considerados en las decisiones políticas de la Universidad, ya que al fin y al cabo es por ellos que las Universidades existen.

Agradecimientos

A los interlocutores de la DPI de la Universidad UBx1, quienes nos permitieron acceder a los diferentes datos recopilados y que entregaron parte importante de su tiempo (Sr. Ballofet, Sr. Dudziak y Sra. Lasserre). Y al Sr. Blanchard de EDF.

Bibliografía

1. Comisión Europea (2008) Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Dos veces 20 para el 2020 - El cambio climático, una oportunidad para Europa, [en línea], consultado en enero del 2011, URL: http://ec.europa.eu/climateaction/key_documents/index_es.htm
2. República de Francia (2009) LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, Chapitre 1er : Réductions des consommations d'énergie des bâtiments [en línea], consultado enero 2011, URL: <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020949548>
3. Caisse des dépôts y Consignations (CDC) y Fundación Fondateira (2009), La premiere étude sur la performance énergie/CO₂ du Campus universitaire, resumen p.4, información complementaria en línea, consultada en enero del 2011, URL : <http://www.cartoco2campus.com/>
4. J.F. BONNET, C. DEVEL, P. FAUCHER, J. ROTURIER, (2002), Analysis of electricity and water end uses in university campuses: case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration, Journal of Cleaner Production, vol. 10 pp. 13-24.
5. J. ROTURIER, J.F. BONNET, C. DEVEL, P. LAGIERE y P. FAUCHER (1999), Environmental management policies in the Higher Education (HE) sector: quantified aspects from 5 case studies in France under the ECOCAMPUS initiative, ECEEE99 Conference, Cannes Mandelieu, France, 200
6. NOBATEK, Universidad de Bordeaux, Universidad de Ciencias y Tecnologías y EDF (2010), "Initiatives Campus Verts – Exemples de mises en œuvre et retours d'expérience dans les universités durables en France, Europe et Amérique du Nord", Bordeaux – France, pp 144
7. B.P. O'GALLAHOIR, M. KEANE, E. MORRISSEY, J. O'DONNELL, (2007) Using indicators to profile energy consumption and to inform energy policy in a university - A case study in Ireland, Energy &Buildings vol. 39, pp. 913-922.
8. J.A. DAVIS III, D.W. NUTTER, (2010) Occupancy diversity factors for common university building types, Energy & Buildings, vol. 42, pp. 1543-1531.
9. R.-L. HWANG, T.-P. LIN, N.-J. KUO, (2006), Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan, Energy & Buildings, vol.38, pp.53-62.
10. B. CAO, Y. ZHU, Q. OUYANG, X. ZHOU, L. HUANG, (2010), Field study of human thermal comfort and thermal adaptability during the summer and winter in Beijing, Energy & Buildings vol. xx pp. XXX-XXX.