

UN ENFOQUE SEMÁNTICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS: EXTENDIENDO CITYGML PARA INTEGRACIÓN E INTEROPERABILIDAD

Francisco Javier Finat Codes

Profesor Ingeniería Informática, Universidad de Valladolid

jfinat@agt.uva.es

D. González-Lasala

Arquitecto

diegolasala@gmail.com

Antonio Hurtado

Investigador Becario Grupo MoBIVA

antonio.hurtado.garcia@gmail.com

Departamento de Algebra, Geometría y Topología.

Grupo MoBiVAP, Laboratorio 2.2, Parque Científico, 47011 Valladolid

Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica.

ETS de Arquitectura, 47014 Valladolid, Universidad de Valladolid, España.

EdificioTIC, Campus Miguel Delibes s/n, 47011, Valladolid.

Teléfono +34 983 423000 Ext 5681 / + 34 983 184398

Fax + 34 983 423788

Palabras clave: Modelado, eficiencia energética, CityGML, integración de procesos, software

Resumen

El objetivo general de la Eficiencia Energética es la reducción del consumo de energía y del impacto de los edificios sobre el entorno a lo largo de su ciclo de vida. Ello requiere nuevas herramientas de diseño y seguimiento de los procesos, que incluyen el análisis de los casos existentes y la simulación de nuevas soluciones para facilitar un soporte a la toma de decisiones por parte de los expertos. La diversidad de aproximaciones a la eficiencia energética y de contextos requiere un esfuerzo de modelado, conceptualización y representación del conocimiento capaz de articular el marco normativo (directrices, legislación), los protocolos de actuación, el diseño, y el seguimiento y control de las intervenciones realizadas. En este trabajo se muestra una aplicación software que, a partir de una especificación de metadatos, permite insertar información relativa a intervenciones sobre edificios para flujos de energía y una evaluación del impacto medioambiental, junto con una estimación de costes. Con ello, se pretende contribuir al desarrollo de modelos para mejorar la sostenibilidad del entorno construido a nivel de edificios.

1. Introducción

La reducción del consumo de energía y del impacto sobre el entorno se puede plantear a nivel de edificio ó de distrito urbano. En este trabajo se adopta el enfoque correspondiente a edificio. La creciente implantación de sistemas de sensores y sistemas físicos para la captura de información discurre de forma paralela al desarrollo de una inteligencia distribuida en entornos físicos que afecta a la identificación del contexto externo (circunstancias ambientales, microclima, respuesta del edificio) y a los procesos internos ligados al interior (ocupación, temporización, sectorización, climatización, etc). Una respuesta adaptativa del entorno inteligente a la interacción humana requiere el análisis de modelos de comportamiento, la simulación de las condiciones ambientales y la capacidad de respuesta dentro de un modelo dinámico espacial que evoluciona a lo largo del tiempo. Existe una larga tradición en la aplicación de los SIG para la evaluación de las condiciones ambientales a media ó gran escala con simulaciones para entornos 2D.

El desarrollo de SIG 3D para entornos urbanos es mucho más reciente y su integración en BIM (Building Information Modelling) está en fase de realización. Existe un consenso generalizado sobre la necesidad

de utilizar lenguajes capaces de soportar diferentes significados (enfoque semántico), pero donde toda la información está vectorialmente referenciada. El Consorcio Geográfico Abierto (OGC) está promoviendo la utilización de Geographic Markup Language (GML) dentro del marco CityGML adoptado como estándar en el verano de 2008. Este marco es abierto y cuenta con un número creciente de módulos que están siendo aplicados a entornos urbanos y edificios. En cierto modo, este trabajo se puede entender como una contribución al desarrollo del módulo correspondiente a la Eficiencia Energética en Edificios (EEE) en CityGML.

Algunos de los retos más importantes conciernen a la integración de a) modelos adaptados a los diferentes parámetros que afectan al espacio físico interior/externo y las redes de sensores relacionadas, b) los diferentes tipos de usuarios, las variaciones de su comportamiento en el transcurso del tiempo y las tareas relacionadas con el contexto. Para avanzar en esta dirección se requiere añadir una evaluación de comportamientos integrados a las pasarelas residenciales (típicas en Domótica) dentro de un marco semántico para la interacción entre diferentes tipos de usuarios y el entorno. En este caso, el marco semántico proporciona una especificación formal para la representación de objetos, conceptos y relaciones ligados a la energía y sostenibilidad en entornos AEC (Architecture, Engineering, Construction).

La integración de plataformas software con acceso a diferentes repositorios es necesaria para gestionar procesos y proveer servicios web ligados a los diferentes agentes que intervienen en entornos AEC. Por ello, la interoperabilidad entre plataformas es el punto crucial a resolver. La adopción de estándares para los dispositivos físicos no es suficiente; se requiere una integración de los dispositivos lógicos. La interoperabilidad entre plataformas software afecta a diferentes Sistemas Operativos, Bases de Datos Relacionales, Acceso (local ó remoto via web) a Herramientas de Procesamiento, Análisis y Visualización, así como a las funcionalidades ligadas a los correspondientes servicios. Hay un consenso sobre modelos de datos orientados a objetos para la gestión de la información en un marco semántico; Los dos estándares promovidos por OGC (Open Geographic Consortium) que son dominantes dentro de los Sistemas BIM (Building Information Modelling) son las IFC (Industry Foundation Classes) como soporte para la base de datos en servicios ligados a líneas de negocio y CityGML (City Geographic Markup Language) como marco para la Visualización Avanzada de los recursos urbanos a diferentes niveles de detalle.

Una cuestión clave para facilitar el reconocimiento entre plataformas software es el diseño e implementación de ontologías ligadas a los diferentes dominios, tipos de usuarios y tareas, según un esquema de complejidad creciente, con sus correspondiente referenciación a un Sistema de Información 3D. Para abordar este problema, en este trabajo se presenta el diseño e implementación de un módulo para Eficiencia Energética en Edificios (EEE) desde el punto de vista semántico basado en CityGML. Esta extensión se desarrolla dentro del marco normativo proporcionado por el Código Técnico de la Edificación (CTE) y protocolos regionales del Ente Regional de la Energía y ligados a la calificación energética de edificios de la C.A. de Castilla y León. No obstante, a pesar de su carácter prolijo y cambiante, el CTE presenta aún lagunas importantes, debido en parte al escaso desarrollo de soluciones integradas. La herramienta diseñada tiene un carácter modular y presenta diferentes niveles de gestión relacionados con características físicas (ubicación del edificio, contexto urbano, aspectos ambientales) y de comportamiento (evaluación de la eficiencia energética del edificio atendiendo a diferentes parámetros). Se muestran algunos ejemplos recientes ligados a la construcción de dos bloques de viviendas en el Polígono Villa del Prado de Valladolid (España) con un seguimiento del rendimiento energético validado por las certificaciones ISO 88591 obtenidas a lo largo del ciclo de vida de la construcción del edificio

2. Hacia un diseño sostenible para mejorar la EEE

La EEE se enmarca dentro de una aproximación integrada al diseño urbano sostenible, es decir, a la mejora del edificio y su entorno para incrementar el bienestar, el confort, la seguridad y la productividad en edificios y entornos urbanos. Esta aproximación integrada afecta a la definición, el diseño y la producción de objetos inicialmente virtuales (diseño) y luego físicos (realización de la intervención). La conversión de un objeto virtual (correspondiente a la fase de diseño) en un objeto físico (el edificio o el área de intervención) afecta al proceso de construcción o de rehabilitación. La evaluación de la EEE afecta a los servicios ligados al final de dichos procesos, pero debe ser tomada en cuenta desde la fase

inicial del diseño de la intervención para garantizar la sostenibilidad del producto final. Los *bloques mas importantes* para la fase de diseño conciernen al modelado, la coordinación y la gestión de la información:

- a) El *modelado* incluye factores externos y factores internos. Entre los factores externos cabe destacar los relativos a la climatología del entorno, la localización en distritos (insolación, microclimas urbanos) y el carácter de la edificación (exento o agrupado, construcción reciente o rehabilitación, tipología de la edificación). Algunos de los factores internos afectan a la distribución del espacio incluyendo elementos estructurales (diferentes tipos de muros y huecos, chimeneas solares, etc), ó la elección de materiales apropiados desde el punto de vista de eficiencia energética.
- b) La *coordinación de procesos* afecta al diseño del proceso de intervención en el edificio (secuencia temporal de procesos), la sensorización y monitorización de las condiciones ambientales (incluyendo al menos, control solar y del viento, hvac, flujos entre zonas activas y pasivas, diferentes tipos de energías renovables), a la evaluación del rendimiento de las soluciones físicas incorporadas (análisis individual de componentes y diferentes tipos de agregaciones) y al diagnóstico y propuesta de soluciones para mejorar el rendimiento de los dispositivos de EEE.
- c) La *gestión de servicios* afecta a la evaluación de los diferentes ciclos diarios según las condiciones ambientales locales, la simulación (basada en modelos físico matemáticos) el uso y la ocupación del edificio (según tipo de actividad y a lo largo del día) y las adaptaciones de los mecanismos regulatorios según el comportamiento observado

Actualmente, sólo se dispone de números índices para algunos de los aspectos mencionados en los tres bloques precedentes, pero carecemos de modelos para identificar la más que plausible correlación entre factores significativos (componentes principales para el caso lineal) de dichos modelos. A pesar de los avances realizados en los últimos años, la estimación de parámetros significativos para cada uno de los bloques precedentes presenta aún muchas deficiencias y requiere desarrollos adicionales, que permitan realimentar los diferentes bloques para mejorar el rendimiento energético a nivel de edificio y distrito urbano. En un trabajo como éste es imposible desarrollar un análisis para los tres bloques recién descritos y se remite a la literatura especializada para más detalles; ver [Mumovi, 2009] para detalles y referencias.

3. Elementos de una Ontología para Eficiencia Energética en Edificios

La diversidad morfológica urbana, la multiplicidad de articulaciones espaciales y sociales y la heterogeneidad funcional de los diferentes agentes que llevan a cabo tareas complejas requieren una aproximación semántica con ontologías bien especificadas para el dominio, los agentes y las tareas. Según T.R.Gruber, una Ontología es una especificación de una conceptualización. Esta especificación se puede formular en diferentes marcos que afectan a campos de conocimientos tales como la filosofía (cuya formalización conduce a diferentes servicios y modalidades de interacción entre sujetos y objetos) u otras más propias de la Ingeniería del Conocimiento (diseño e implementación de software). Este reconocimiento ha dado lugar a que los SIG más recientes para entornos urbanos y edificios hayan adoptado un marco semántico para facilitar la interoperabilidad entre diferentes plataformas; ello justifica que, en particular, estemos desarrollando un marco semántico para la accesibilidad y el control remoto de soluciones para EEE.

Las representaciones asociadas a EEE para el espacio físico (medioambiental e interno), las relaciones entre los diferentes agentes que intervienen en dicho espacio y los sistemas complejos evolutivos que se derivan de ellas proporcionan un soporte para la interacción entre los SIG y las aproximaciones basadas en lógica e ingeniería para las Ontologías Urbanas. Este soporte proporciona un identificador para cada edificio (similar al DNI, pero con más campos) sobre el que se superponen contenidos en diferentes formatos multimedia. A medio plazo está previsto el procesamiento y análisis de dichos contenidos de acuerdo con las directivas y normativas de cada comunidad (local, regional, nacional, europea); el resultado de dicho procesamiento debe proporcionar un seguimiento y una validación que complementan

las certificaciones (CEN/ISO) emitidas de acuerdo con los estándares adoptados por las correspondientes organizaciones nacionales ó internacionales.

El diseño e implementación de herramientas software para mejorar las funcionalidades (relaciones y operadores) de una aproximación semántica a la Eficiencia Energética en Edificios es un reto al que pretende contribuir este trabajo. Una primera delimitación afecta a la especificación del léxico (diferentes vocabularios relativos a los términos más significativos), los Thessauri (glosarios que incluyen definiciones y que deben traducirse a relaciones entre conceptos) y las taxonomías (conjunto de reglas lógicas) propias de cada Ontología.

Una especificación de los Lexicon y Thessauri para entornos urbanos ha sido llevada a cabo en (UrbanOntologies, 2007); esta especificación está siendo complementada actualmente por la correspondiente a la EEE según el CTE. Las reglas que afectan a las relaciones entre términos deben ser especificadas en términos de diagramas de flujo (inspección, captura de datos, análisis, emisión de informes) y deben ser validadas usando diferentes tipos de lógica (de clases, proposicional, descriptiva para los diferentes agentes) que puedan ser inteligibles por las máquinas para facilitar la evaluación de procesos y la provisión de servicios de forma remota.

Más formalmente, un *marco semántico para los objetos arquitectónicos* presentes en entornos urbanos que permitan evaluar la *eficiencia energética en edificios* debe especificar los tres “niveles” de una Ontología para EEE:

- Un *léxico* dado por las palabras clave relativas al espacio físico;
- *thessauri*, que incluye definiciones (glosario) que deben traducirse en relaciones estructurales entre palabras clave de acuerdo con los estándares seleccionados;
- una *taxonomía*, es decir, un conjunto de reglas con la especificación de tipos lógicos para la gestión de recursos en relación con la EEE.

La parte más difícil concierne a la especificación de las taxonomías para la EEE. De una forma general, es conocido que hay diferentes tipos de lógica (de clases, proposicional, descriptiva) para gestionar los diferentes niveles. En la fase actual de desarrollo de la aplicación sólo se han considerado sistemas de reglas relativas a las características externas de la edificación; así, p.e. en relación con la insolación, algunas variables significativas son el ángulo de inclinación de tejado, variabilidad en la incidencia solar a mediodía, dimensiones de huecos en fachada, entre otros.

Es necesario avanzar en la cuantificación del rendimiento de las diferentes componentes y la inserción (manual, actualmente) de dichos datos cuantitativos sobre los correspondientes Sistemas de Información y de Gestión ó MIS (Management and Information Systems) para la EEE. La monitorización del edificio en términos de Redes Integradas de Sensores y la incorporación de esa información al misEEE permitirá automatizar el proceso y llevar a cabo una gestión semi-automática para la EEE que, gracias al marco semántico, podrá ser controlada y evaluada de forma remota en un futuro próximo.

4. Un soporte multimedia para la anotación de EEE

Frecuentemente, se utilizan tres tipos de Ontología para la gestión de datos, sistemas y procesos que se etiquetan como Ontologías de Dominio, Usuarios y Tareas. Cada Ontología tiene sus componentes (correspondientes a léxicos, thessauri y taxonomías). Una vez diseñada una aplicación para la gestión de una Ontología específica, es necesario “poblarla” con datos relativos a cada una de las componentes; la inserción de datos se lleva a cabo actualmente de forma manual, pero es necesario avanzar hacia la generación semi-automática de Ontologías utilizando diferentes tipos de sensores que proporcionen información de forma automática y continua, con objeto de mejorar el rendimiento energético del edificio.

La monitorización basada en redes integradas de sensores está bastante avanzada, pero aún no se dispone de sistemas inteligentes para la generación semi-automática de procedimientos para “poblar” las Ontologías. La parte más sencilla concierne a las Ontologías de Dominio, pero incluso ésta presenta dificultades importantes en relación con los problemas de Reconocimiento semi-automático de componentes ó con el reaprovechamiento de los croquis realizados in situ.

La simulación del comportamiento energético se beneficia de un modelado 3D para el entorno físico; el modelado CAD es sencillo para espacios regulares, pero en espacios complejos puede requerir herramientas adicionales de Reconstrucción 3D basadas en información de imagen ó de rango. Una vez construido el modelo 3D es importante superponer la información mediante etiquetado a partir de información procedente de sensores ó bien de anotaciones manuales realizadas por inspecciones in situ. Los dispositivos móviles de bajo coste permiten realizar fotografías que luego es posible referenciar a modelos planimétricos ó volumétricos; así, por ejemplo, la plataforma UvaCad proporciona un soporte para la reproyección de vistas (no calibradas en general) sobre modelos métricos.

Es necesario avanzar en procedimientos de consulta y reconocimiento ligados a las propiedades detectadas en las vistas (ó, con más generalidad, procedentes de cualquier otro tipo de sensores) utilizando los interfaces apropiados con herramientas de Procesamiento y Análisis de la información. El cluster DAVAP (Documentación, Análisis y Visualización Avanzada del Patrimonio) de la Universidad de Valladolid está desarrollando una plataforma software que incluye Sistemas de documentación (incluyendo fusión de información 2D y 3D), Sistemas de Información y Sistemas de Gestión para intervenciones en edificios ó en entornos urbanos. Esta plataforma es compatible con el estándar (CityGML) recomendado por el OGC.

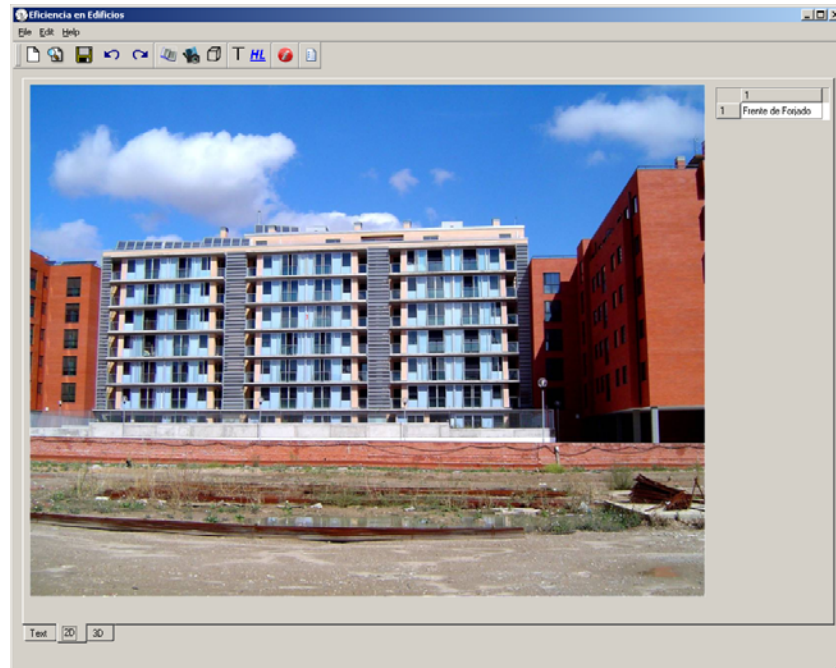
Para resolver el Reconocimiento semi-automático de componentes del dominio y asistir de forma inteligente a las tareas llevadas a cabo por el usuario, es necesario avanzar en el desarrollo de herramientas de segmentación y agrupamiento de información multisensorial relativas a entornos 2D y 3D. Aún estamos lejos de una solución satisfactoria, pero mientras tanto se ha desarrollado una aplicación que facilita la inserción de documentos multimedia 1D (texto, voz, termografía), 2D (planimetría, imagen estática, video) y 3D (Informática Gráfica, estructuras de alambres típicas de CAD, nubes de puntos, mallas, objetos sólidos). Los interfaces desarrollados proporcionan un soporte digital sobre el cual es posible realizar anotaciones de acuerdo con el léxico característico de la Ontología.

La aplicación, por otro lado, permite generar informes en formato HTML. El formato elegido no ha sido al azar. Este formato nos permite extraer los datos de interés de cierta actuación y poderlos utilizar en cualquier otro dispositivo móvil. Los dispositivos móviles juegan un papel creciente en servicios y más recientemente en el control remoto de procesos.

El acceso a esta información se puede realizar de 2 formas: de manera estática, cargando un informe en HTML o bien de forma dinámica, mediante una aplicación desarrollada para un SmartPhone (o similar) que acceda a los datos de forma remota. Mediante el uso de roles (distintos usuarios con distintos privilegios) se provee a la aplicación de la capacidad de habilitar ciertas acciones a los usuarios que tengan los permisos adecuados. Esto permite una interacción entre usuarios creadores y consumidores de contenido .

Toda la información introducida por cualquier usuario se guarda en una base de datos; de este modo, se tiene un histórico de todos los cambios y actuaciones llevadas a cabo (con toda la información como el edificio sobre el que se actúa, el creador, la fecha, etc, siguiendo el esquema DCS, Dublin Core Standards). Al estar en una base de datos remota, el acceso es global por parte de todos los usuarios (siempre que tengan los permisos oportunos), y cualquier cambio que se realice es visible por todos los demás, pudiendo insertar comentarios ó anotaciones como un primer paso para el desarrollo de un entorno colaborativo.

Figura 1. Captura de aplicación



5. Un caso de uso

La Directiva EPBD (European Energy Performance of Buildings, 2008) de la Declaración de Productos Medioambientales (EPD) proporciona el marco general para el análisis y diseño de la aplicación; existen diferentes normas ISO que son relevantes para el confort en el interior (ISO 7730; 2005) ó el uso de energía para calefacción y refrigeración (ISO 13790; 2008) y para España el DB-HE del Código Técnico de la Edificación; pero aún no se dispone de normas ISO para el aprovechamiento de la insolación solar en fachadas, p.e., una cuestión crucial para mejorar el confort ó para avanzar en la autonomía energética del edificio de acuerdo con la normativa reciente.

En el caso de uso presentado se utilizan como referencia dos edificios semejantes con 43 viviendas cada uno situados en la calle Monasterio San Millán de la Cogolla del Plan Parcial "Villa del Prado" de Valladolid, promovido por la Sociedad Cooperativa Vecinal de Viviendas de Valladolid.

Estos edificios disponen, entre otros elementos de ahorro energético, de muros Trombe que, mediante el *efecto invernadero*, permiten aprovechar la radiación solar para calefactar la vivienda sin incrementar las emisiones de CO₂ y contribuyendo al ahorro energético. El efecto invernadero se funda en lo siguiente: la radiación solar que nos llega tiene una longitud de onda comprendida entre 0,3µm y 3,5µm. Los vidrios comunes en edificación son permeables a estas longitudes de onda corta, lo que hace que aproximadamente un 80% de la radiación incidente sobre el vidrio lo atraviese (el otro 20% se refleja o lo absorbe el propio vidrio). Esta radiación que ha atravesado el vidrio calienta las paredes, el suelo, y todas las superficies sobre las que incide, de forma que estos cuerpos, al calentarse, reirradian al ambiente una energía que, en esta ocasión es de onda larga (del orden de los 11µm) frente a la cual el vidrio se comporta como un cuerpo opaco. De esta forma, el vidrio se comporta como una trampa de calor, que permite la entrada de la energía pero no su salida, con lo que se calienta el aire situado tras el vidrio.

El sistema de captación solar presentado, realizado a modo de una galería estrecha, consiste por tanto en una superficie acristalada en la fachada Sur, con cristal de 6 mm en carpinterías de aluminio sencillas al exterior, que crea una cámara de 10 cm de espesor medio, y 2 m³ de volumen, con el muro de fachada. Este muro queda revestido exteriormente con cemento y pintura, e interiormente con aislamiento y cartón-yeso y sus huecos se cierran hacia el interior con cristales dobles 6/10/4 en carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico, clase de estanqueidad A3, con persianas enrollables de aluminio. A lo largo de

la galería se forma una terraza exterior de 60 cm de ancho para el mantenimiento del sistema y a modo de parasol.

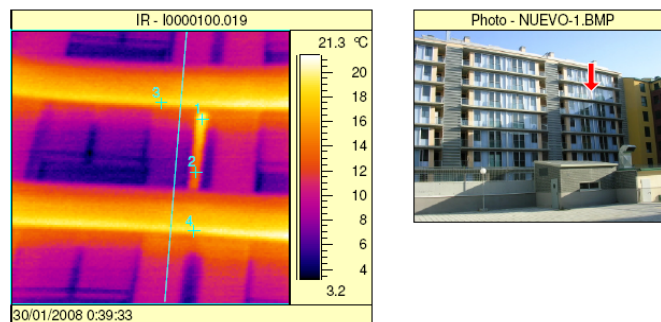
- En Invierno la radiación solar entra directamente al salón y a la cocina a través de las ventanas. Y entra también en la cámara de aire, que funciona como una “trampa de calor” al aprovecharse del “efecto invernadero” de los cristales. El calor acumulado en el muro y el interior de la cámara es transferido a la parte fría de la vivienda (dormitorios al norte), mediante un ventilador de pequeña potencia activado por un termostato de funcionamiento inverso situado en la galería. Para evitar las pérdidas desde el interior de la vivienda, por conducción a través del cristal cuando la temperatura exterior desciende, el sistema cuenta con persianas enrollables interiores. En todo caso la galería forma una cámara cerrada de aire que aísla del exterior.

- En Verano se necesita protección de la radiación del sol. Para ello contamos con una protección solar fija, la terraza de mantenimiento, que hace las veces de alero, y con una protección solar móvil, la persiana interior. Para evitar el efecto invernadero la carpintería exterior debe permanecer abierta y ventilada; por esto y por motivos de mantenimiento todos los elementos de esa carpintería son correderos.

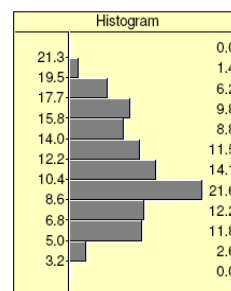
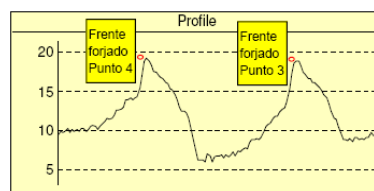
Figura 2. Estudio Térmico de la fachada sur (acristalada) en enero

El vidrio no responde bien a la termografía, los puntos 1 y 2 reflejan la temperatura del muro por estar abierta la carpintería exterior, los puntos 3 y 4 corresponden a parasoles.

Fachada Sur



Punto 1: Capa interior paño 5º piso	19.7 °C
Punto 2: Capa interior paño 5º piso	13.7 °C
Punto 3: Frente de forjado	17.5 °C
Punto 4: Frente de forjado	18.6 °C
Temperatura Ambiente	4.0 °C



A los efectos de nuestro trabajo los edificios de referencia tienen la ventaja de que se incluyeron en el programa “Aplicación de los requisitos de Ahorro de Energía del CTE, del programa LIDER y CALENER a un edificio de viviendas”, para su evaluación energética. La iniciativa parte del AEMVA (Agencia Energética Municipal de Valladolid) de acuerdo con la Cooperativa y está financiado por el EREN (Ente Regional de la Energía).

Se dispone por ello de estudios y análisis iniciados en la etapa del proyecto de ejecución (años antes de la obligatoriedad de la calificación energética), contrastados con lo construido, tras ocuparse las viviendas, con distintos estudios y análisis (termográficos, termoflujométricos, etc.).

El interés de la comunidad de vecinos ha llevado a establecer el seguimiento de los consumos energéticos globales y de cada vivienda lo que supone una oportunidad para integrar en la propuesta todo el abanico de situaciones desde el proyecto del edificio hasta su utilización por los usuarios.

6. Conclusiones

En este trabajo se propone un marco semántico geoméricamente referenciado para alcanzar una solución integrada para la Eficiencia Energética en Edificios (EEE). Las limitaciones actualmente existentes en la implantación de redes sensoriales integradas para la monitorización automática de EEE han condicionado la selección de una estrategia manual para la captura e inserción de información. Para recoger y gestionar esta información se ha desarrollado una *aplicación software* que, tras la identificación del edificio y del técnico que interviene según un esquema DCS (Dublin Core Standards), permite insertar anotaciones sobre diferentes formatos multimedia y proporciona un soporte para el cálculo de la eficiencia energética de diferentes componentes, de acuerdo con modelos lineales desagregados. Se ilustra esta aplicación con actuaciones llevadas a cabo recientemente en dos edificios de Valladolid en los que se ha alcanzado una mejora en eficiencia energética en torno al 15 %.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado con cargo al "Proyecto Singular Estratégico PATRAC (Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras)", PS-380000-2006-2 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Bibliografía

Graham, Sheila. Review of College Contemporaries. *Urban Studies*, 1975, vol. III, núm. 4, p.243-256.

J. Finat, F.J.Delgado, R.Martinez, J.J.Fernández, J.I.San José y J.Martínez-Rubio: "Constructors of Geometric Primitives in Domain Ontologies for Urban Environments", *Urban Ontologies*, Presses de l'Université de Liège, 2009.

Kolbe, T. & Gröger, G. 2003. Towards unified 3D city models. Proceedings of the ISPRS Comm. IV Joint Workshop on "Challenges in Geospatial Analysis Integration and Visualization II2 September 8-9, 2003 in Stuttgart

Kuhn, W.: "Ontologies in Support of Activities in Geographic Space", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol 15, N°7, 613-631, 2001.

Mumovi, D. and M.Santamouris, eds: "A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering, 2009.

Teller, J, J.R. Lee and C.Roussey (Eds.): "Ontologies for Urban Development. Studies in Computational Intelligence", Vol. 61 Springer-Verlag 2007, ISBN 978-3-540-71975-5.

UrbanOntologies, <http://www.towntology.net>. 2007-02-13

Zlatanova, S. and Prospero, D. (eds.), *Large-scale 3D data integration—Challenges and Opportunities*, Taylor and Francis, London, 2006