

# Análisis de la ocupación real en un edificio como factor de ahorro: el caso Adapt4ee

M. Vidaurre<sup>1</sup>, C. Martín-Gómez<sup>1</sup> y A. Zuazua<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Construcción, Instalaciones y Estructuras. Escuela de Arquitectura. Universidad de Navarra. [instetsaun@unav.es](mailto:instetsaun@unav.es)

**Resumen:** La ocupación real en los edificios es objeto de estudio en diversos campos de investigación entre los que se encuentra la disminución de la demanda energética. En este marco se sitúa el proyecto europeo Adapt4ee - Occupant Aware, Intelligent and Adaptive Enterprises el cual, mediante la integración de los datos de la arquitectura (BIM) y los modelos de proceso de negocio (BPM), ha desarrollado una herramienta de simulación capaz de relacionar el comportamiento energético del edificio con los procesos de negocio, teniendo en cuenta la conducta de los ocupantes.

Los actuales softwares de simulación energética consideran la ocupación de los edificios mediante la aplicación de plantillas prediseñadas para diferentes usos de edificios. Sin embargo, el equipo de ingenieros informáticos y arquitectos del proyecto han implementado una serie de perfiles de uso más próximos al comportamiento humano real.

Con estos antecedentes, desde el proyecto Adapt4ee se ha analizado y evaluado el comportamiento en tiempo real de los ocupantes en relación con los consumos eléctricos y térmicos, mediante la monitorización de dos edificios en uso. Esta ponencia, por tanto, mostrará los resultados referentes a la ocupación extraídos de simulaciones, del estudio del proceso de negocio y de los datos reales obtenidos.

**Palabras clave:** Ocupación, BPM, energía, flujo de personas, *software*.

## 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO ADAPT4EE

La eficiencia energética es un componente clave en la política energética europea, subyacente en los objetivos de la estrategia 2020 de la Unión Europea. Asimismo, estudios recientes indican que los edificios constituyen una parte importante de la demanda total de energía en Europa. Por tanto, los productos y procesos relacionados con la construcción a través de su ciclo de vida, forman parte de esta demanda, comprendiendo no solo el consumo energético estimado de su construcción y uso activo de las instalaciones, sino también la demanda exigida por sus ocupantes a la hora de realizar los procesos de negocio requeridos, procesos que afectan directamente tanto al rendimiento general del negocio como al consumo total de energía.

La práctica y experiencia profesional a través de los años ha demostrado que las decisiones más importantes en relación con el proyecto ocurren en las fases iniciales del proyecto. En concreto, los resultados de investigaciones recientes indican que estas mejoras de diseño iniciales, adaptadas con el apoyo de programas de simulación de rendimiento podrían reducir el uso de la energía tanto en edificios existentes como de nueva construcción. CLARKE, J.A. (2001), KIM, H, et al. (2011). Como resultado, el modelado y la simulación de la eficiencia energética de los edificios se ha establecido como una parte integral en el proceso de diseño y su uso se ha convertido en una práctica común entre los arquitectos, diseñadores e ingenieros, lo que ha propiciado la aparición de numerosas herramientas de simulación en el mercado.

En este contexto surge el proyecto europeo Adapt4ee cuyo objetivo principal es desarrollar una herramienta de simulación capaz de proporcionar a los prescriptores finales resultados de simulaciones que tengan en cuenta tanto los datos descriptivos del edificio tales como materiales, equipos, diseño de espacio... así como la información relacionada con el comportamiento dinámico del edificio debido a su ocupación y al uso del edificio.

De este modo, Adapt4ee ofrece un marco de simulación integral que concentra dos conceptos diferentes pero complementarios como son el Building Information Model (BIM) y el Business Process Model (BPM), ambos con el factor humano como principal catalizador.

A lo largo de los tres años de duración del proyecto (noviembre 2011 - diciembre 2014) el proyecto se dividió en dos partes principales: la creación de un software de simulación y la validación de las simulaciones a través de la monitorización a tiempo real de dos edificios piloto. MARTÍN-GÓMEZ, C. et al. (2013). Se trata de dos edificios situados en Pamplona (España) y Coimbra (Portugal) respectivamente. En esta ponencia, los datos mostrados refieren únicamente a la monitorización del primero.

## 2. METODOLOGÍA DE LA OBTENCIÓN DE DATOS

La Clínica Universidad de Navarra fue uno de los dos edificios piloto seleccionados para la monitorización y obtención de datos a tiempo real. De uso hospitalario, constituye un edificio complejo donde se congregan diversidad de espacios y funciones. Esta variedad se define claramente en las funciones diarias de gestión del negocio y esta directamente relacionada con los procesos de negocio y patrones de ocupación.



**Figura 1.** La Clínica Universidad de Navarra cuenta con más de 75,000 m<sup>2</sup>, 400 camas y 16 quirófanos con más de 130.000 consultas y 9.000 urgencias anuales (datos 2010).

### 2.1 Selección del área monitorizada

El área monitorizada se seleccionó pues cumplía la siguiente serie de requisitos:

- Los espacios seleccionados son suficientemente amplios como para abarcar un grupo razonable de ocupantes y poder extraer modelos de procesos de negocio, pero lo suficientemente pequeños para poder costear la instalación y los equipos con el presupuesto disponible.
- La ocupación de los espacios es representativa de su uso.
- Viabilidad práctica y aceptación de la instalación por parte de los usuarios.

Finalmente, el área monitorizada comprendió el espacio ocupado por el Departamento de Oncología en la planta 8<sup>o</sup>, el cual reúne usos como salas de reuniones, boxes, puntos de admisión y control, aseos y pasillos.



**Figura 2.** Plano de la planta 8º de la Clínica Universidad de Navarra. Se observa en rojo la segunda fase de monitorización (pre-pilot) y en gris la fase tercera.

## 2.2 Antecedentes de la medición y modelado de la ocupación

Existen diferentes técnicas para detectar e incluso rastrear el movimiento de los ocupantes de un espacio. Éstas oscilan desde las entrevistas o encuestas a sistemas de sensores más o menos complejos. Es preferible combinar varios tipos de sensores para lograr mejores resultados debido a la falta de precisión que suelen presentar los sensores individualmente. LAM, K. P. et al. (2009).

Con las técnicas de sensores actuales es difícil determinar un patrón de movimiento así como el número de ocupantes en un espacio predefinido, es más, el ámbito de los sensores de bajo coste y no intrusivos no está lo suficientemente estudiado.

En cuanto al modelado y la simulación, en los últimos años el principal algoritmo para la presencia de los ocupantes se ha representado a través de diversos perfiles, ABUSHAKRA, B. Et al. (2001), donde la ocupación de los edificios se representaba mediante modelos de variación estacional descritos a través de horarios y factores de diversidad. DAVIS, J. A. y NUTTER, D. W. (2010). Estas plantillas tienden a simplificar horarios y generalizar ocupaciones por persona/m<sup>2</sup>.

Actualmente, los investigadores intentan aproximarse al comportamiento humano real añadiendo variables y marcos específicos a los roles desempeñados en para determinadas funciones. Estudios recientes han opuesto un nuevo marco denominado método de simulación y evaluación de actividades basado en BIM cuyo objetivo es llevar a cabo una evaluación previa de la ocupación en edificios en fase de diseño para proporcionar soluciones para el diseño del espacio a utilizar. SHEN, W. et al. (2012).

Aquí es donde el modelado del proceso de negocio se presenta como un papel fundamental a la hora de definir tanto usos de espacios como funciones llevadas a cabo por los ocupantes.

## 2.3 Instalación de cámaras y sensores

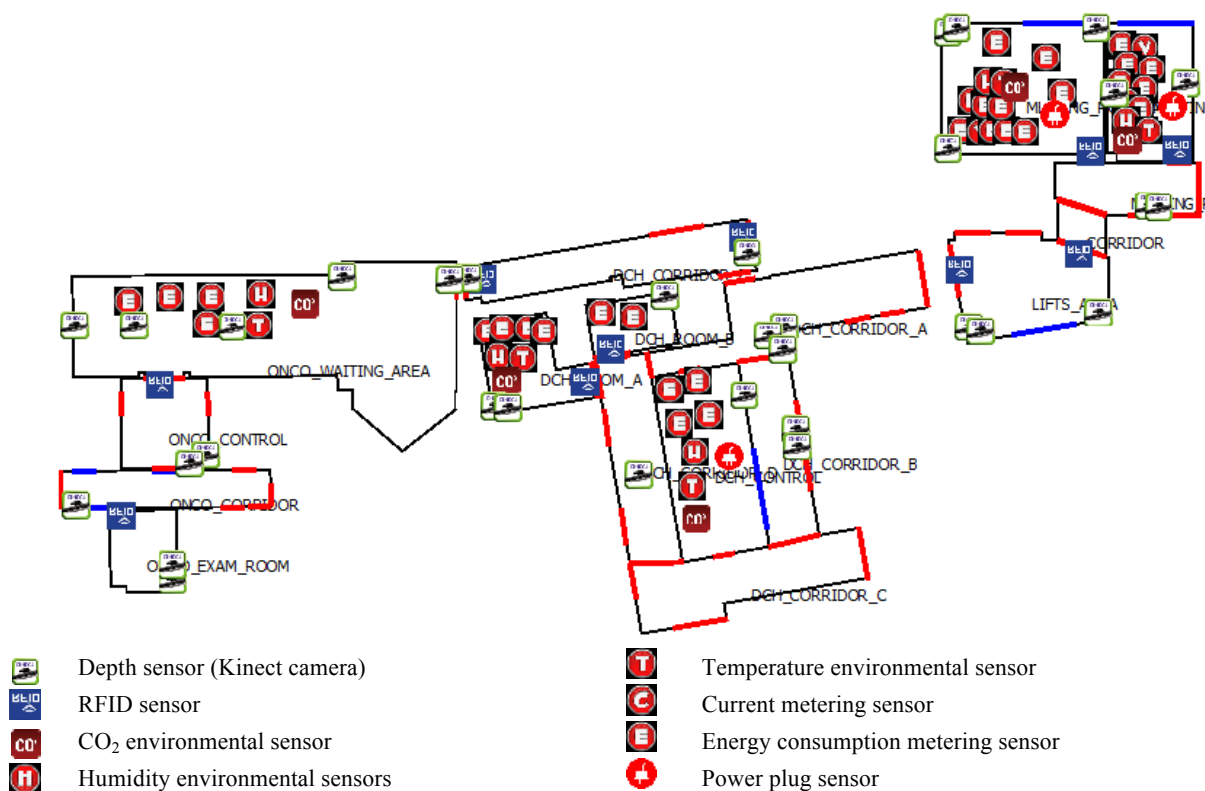
Los problemas existentes en las tomas de datos anteriores, se resuelven en este proyecto con el uso de un software que recoge las trayectorias de las personas sin registrar en NINGÚN momento información personal de los usuarios de esos espacios. La extracción de datos de la ocupación se realiza a través de un sistema de coordinación común. KRINIDIS, S. et al. (2014).

La instalación de los equipos se realizó en 3 fases. La primera fase comprendía la creación y desarrollo de un software para la extracción de datos de ocupación realizada en la sede de uno de los socios del proyecto. Posteriormente, durante la segunda fase denominada pre-pilot, se instalaron los sensores y cámaras en una parte del área seleccionada (sombreada en rojo en la Figura 2). Finalmente, en la tercera fase se completó la instalación en toda la zona acordada desde un inicio.

En este apartado se va a exponer la instalación in situ y características de los equipos utilizados para el rastreo de los ocupantes, que da comienzo con la montaje de las redes de soporte técnico en la fase 2. Fue necesaria la instalación de una red de área local (LAN), una red privada virtual (VPN) para asegurar el acceso remoto a los equipos y el protocolo de tiempo de red (NTP) para la sincronización de los relojes.

Los equipos a instalar para el proyecto Adapt4ee fueron lo siguientes:

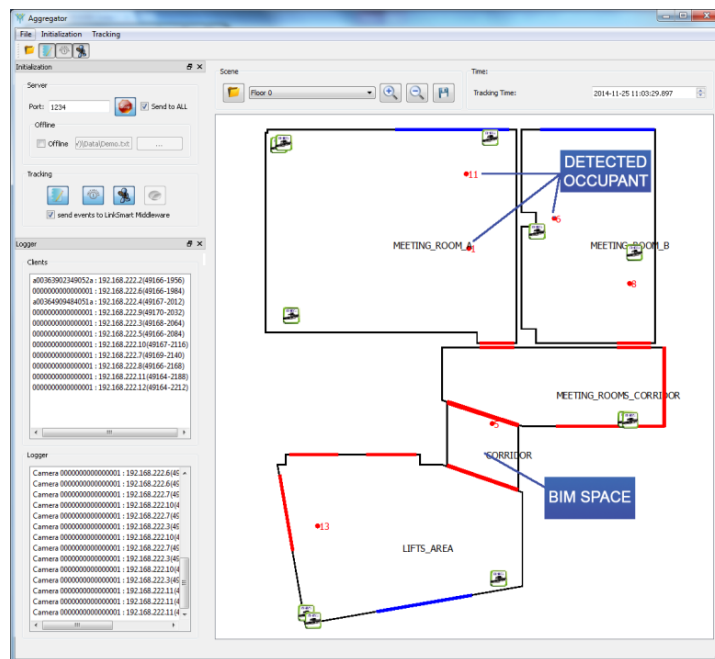
- Cámaras kinect.
- Sensores de CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura.
- Sensores de consumo eléctrico para la iluminación y tomas de corriente.
- Antenas RFID.



**Figura 3.** Imagen de la planta monitorizada con la instalación final. Se muestra la localización de cada dispositivo. En total se instalaron 31 cámaras, 10 pares de antenas RFID, 6 grupos de sensores de calidad del aire y 22 de medición del consumo eléctrico.

En cuanto a las cámaras Kinect, como se indicaba anteriormente, se diseñó un software capaz de recoger la información sobre el movimiento de los ocupantes sin grabar imágenes de los mismos. IOANNIDIS, D. et al. (2014). Dado el ángulo de visión de las cámaras (57° horizontal y 43° vertical) y la longitud máxima de alcance (6 m aproximadamente), son necesarias 2 o 3 cámaras por estancia para recoger y relacionar el movimiento de las personas, así como identificar los recorridos. Las cámaras se instalan con un miniPC de apoyo que queda oculto en el falso techo. Desde este ordenador (modelo ZOTAC ZBOX ID89 plus) se calibra cada cámara para extraer los datos obtenidos.

Todas las cámaras se calibran de independientemente ya que cada una responde a un punto de vista concreto de un espacio. Sin embargo, esta red de cámaras está coordinada desde un sistema central común por lo que la información de las mismas queda relacionada (Figura 4).



**Figura 4.** Captura de pantalla del software que recoge la información de las cámaras Kinect. Se observa la detección realizada de los ocupantes.



**Figura 5.** Momento de instalación de una cámara Kinect con su correspondiente miniPC.



**Figura 6.** *Imagen de la instalación final de dos cámaras Kinect en un pasillo.*



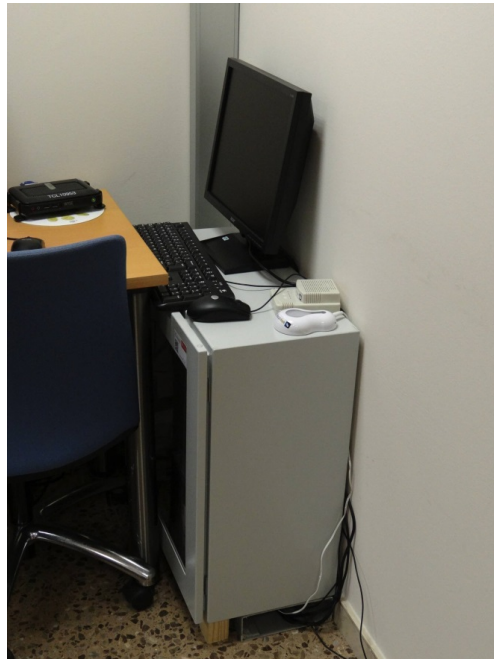
**Figura 7.** *Imagen de tres cámaras Kinect instaladas en una esquina para la detección de ocupantes de dos pasillos.*

Con el objetivo de facilitar la instalación y debido al número de cámaras Kinect a colocar, el área a monitorizar se dividió en tres grupos según el uso del espacio: (1) salas de reuniones de los MIR, pasillo y zona de ascensores, (2) hospital de día, (3) área de consultas, pasillos y zonas de espera. De este modo, se colocó un ordenador central en cada una de las zonas.

Dado que el objetivo principal del proyecto Adapt4ee era la creación de un software para el ahorro de energía, se monitorizó igualmente la calidad del aire con sensores de temperatura, humedad, CO<sub>2</sub> y los consumos eléctricos con sensores inteligentes para el circuito de iluminación y las tomas eléctricas.



**Figura 8.** Imagen de los medidores de consumo eléctrico instalados en una sala de reuniones correspondientes a un ordenador (con doble entrada para medir el consumo de CPU y monitor al mismo tiempo) y una impresora.



**Figura 9.** Imagen del ordenador central del área de consultas junto con dos sensores de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>.

Durante la segunda fase del proyecto se obtuvo información a tiempo real sobre la ocupación y movimientos de los ocupantes, así como de los consumos energéticos. Sin embargo, no es hasta la tercera fase, con la instalación de antenas RFID, cuando se identifica a los ocupantes con roles específicos de los procesos de negocio (BPM).

El reparto de las tarjetas RFID permitió identificar cada ocupante rastreado por las cámaras con una actividad. Así, se distribuyeron 47 tarjetas que el personal del departamento de oncología debía llevar consigo durante el horario de trabajo. Los procesos de negocio definidos para dichas tarjetas comprendían los roles de enfermera, doctor, médico residente, auxiliar de enfermería, personal de limpieza, farmacéutica y personal de administración. Para la detección de las tarjetas se instalaron antenas en los accesos a las diferentes estancias como se muestra en las figuras 10, 11 y 12.



**Figura 10.** *Instalación de antenas RFID.*



**Figura 11.** *Imagen de una antena RFID instalada a la salida de una sala de espera.*



**Figura 12.** *Antena RFID sobre la puerta de acceso de una sala de reuniones.*



### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

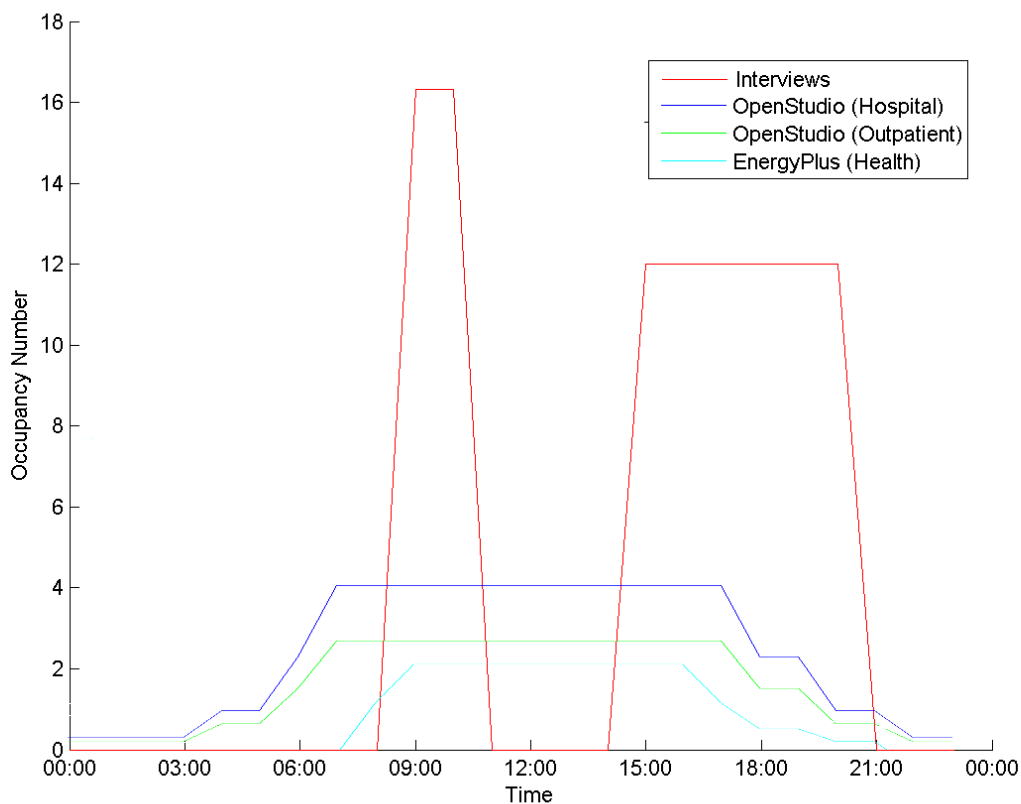
Dado el espíritu de esta comunicación, los resultados mostrados en este apartado se limitan a la monitorización de la zona de la fase 2 (pre-pilot) antes mencionada. Esta zona se compone de dos salas de reuniones de los médicos residentes, un pasillo y una zona de ascensores que a su vez contiene una pequeña área de espera.

Las zonas que no están directamente relacionadas con funciones del trabajador, como pueden ser los pasillos, no tienen plantillas por defecto asignadas, por lo tanto, los resultados analizados corresponden a las salas de reuniones, que comprenden un espacio de 50m<sup>2</sup>. Por un lado, se comparan las plantillas de ocupación existentes con la plantilla creada por el equipo del proyecto Adapt4ee tras realizar entrevistas con los ocupantes. Por otro, se analizan los datos reales.

#### 3.1 Plantillas existentes vs. plantilla entrevistas Adapt4ee

Al evaluar el comportamiento energético de un edificio en las fases iniciales de diseño de un proyecto, EnergyPlus y OpenStudio son dos de las herramientas que proporcionan plantillas predeterminadas y ejemplos para la simulación.

OpenStudio 1.4.0 ofrece 17 plantillas de las cuales *Hospital* y *Outpatient* (ambulatorio) han sido las utilizadas para este estudio. A su vez, el software EnergyPlus incluye los tipos de edificios recogidos en ASHRAE, con datos de horarios de usos comunes como puede ser el de oficina. En este caso, para la comparación se ha utilizado la plantilla para los edificios de tipo hospitalario.



**Figura 13.** Se muestra la comparación entre los datos obtenidos de las entrevistas realizadas y los datos de las plantillas predeterminadas tanto de OpenStudio como de EnergyPlus. Se puede comprobar la notable diferencia entre la ocupación extraída de las entrevistas y las tres plantillas tipo de los software, tanto en número de ocupantes de las salas como en el horario.

A su vez, a la hora de definir los procesos de negocio de los ocupantes (BPM), se realizaron numerosas entrevistas a los trabajadores del departamento y de aquí, con el objetivo de aproximarse al uso real, se extrajeron los datos necesarios para realizar un primer modelo de plantilla de ocupación y horarios (Figura 13).

Según los trabajadores, el punto máximo de la ocupación puede llegar a ser hasta 4 veces mayor que lo previsto en las plantillas. Además, dividen visiblemente dos momentos del día donde el uso de la sala aumenta notablemente: a primera hora de la mañana (donde se da la ocupación máxima) y durante la tarde, donde la ocupación es menor pero más prolongada.

Las plantillas de OpenStudio y EnergyPlus en cambio, muestran un uso continuado durante el día con una ocupación constante. Las dos plantillas de OpenStudio (*hospital* y *outpatient*) corresponden al mismo esquema de ocupación diferenciándose únicamente en la densidad de ocupación, siendo menor la plantilla de *outpatient*.

### 3.2 Datos reales

Los datos de las mediciones reales, lógicamente, muestran una variación de la ocupación mucho más pronunciada (Figura 14). Los puntos de máxima ocupación se dan a primera hora de la mañana, hora en la que se reúnen diariamente residentes y doctores. Por la tarde se incrementa la ocupación (hasta 6 personas de media), y sobre las 18h vuelve a reducirse. Se distingue el jueves como día de la semana con mayor ocupación por las tardes.

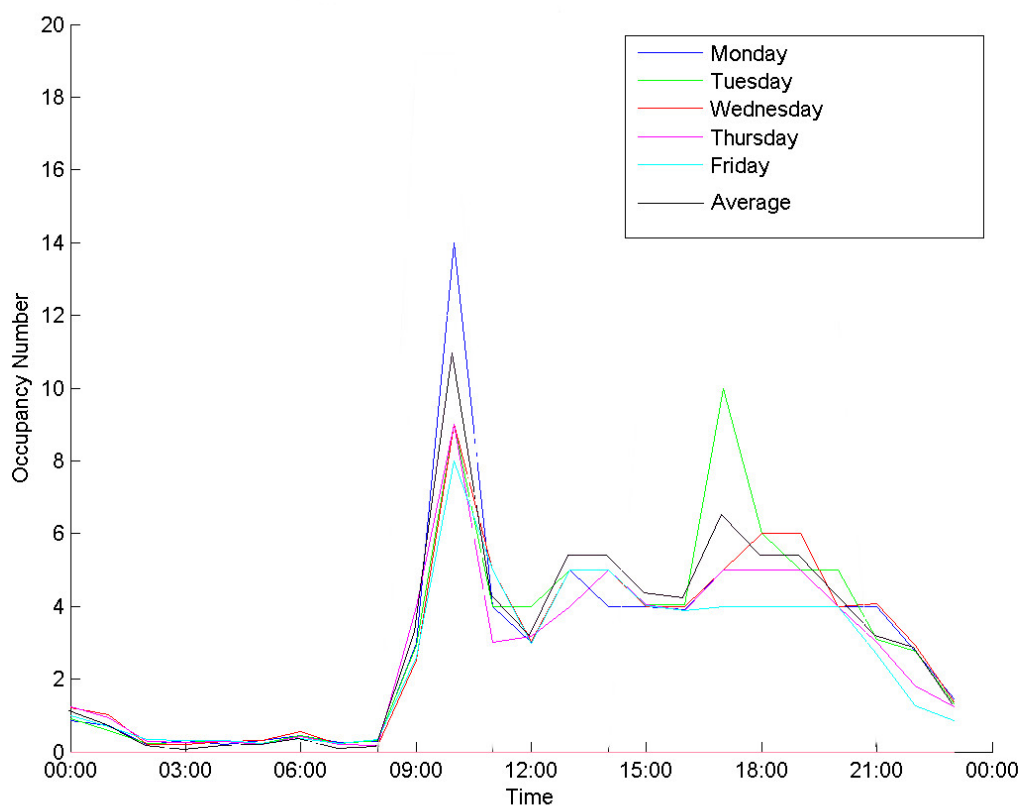
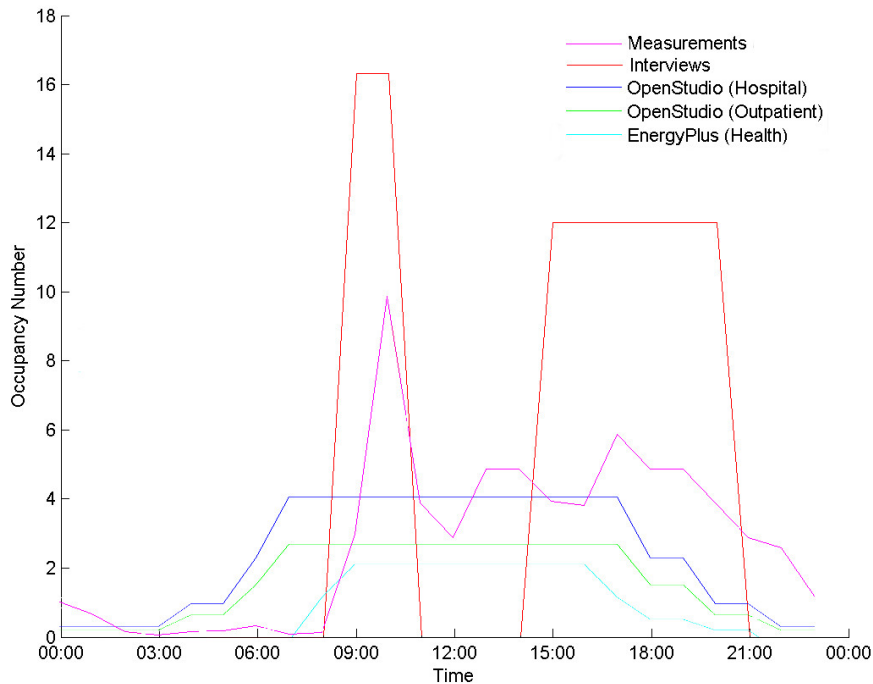


Figura 14. Datos reales de ocupación media de las salas de reuniones.

## 4. CONCLUSIONES

El conjunto del proyecto desarrollado durante estos años demuestra como decisiones tomadas a partir de simulaciones o estimaciones de demandas o comportamiento energético pueden quedar lejos de la realidad a la hora de analizar el uso real del edificio y el proceso de negocio llevado a cabo en el mismo.



**Figura 15.** Comparación de simulaciones, información extraída de entrevistas y datos reales de la ocupación de las salas de reuniones.

Respecto a las plantillas utilizadas, esto es, los input data de los software:

- A pesar de las diferencias, el perfil dado por los ocupantes se acerca más a los datos reales que las plantillas de los software analizadas.
- Es difícil establecer una ocupación máxima, incluso teniendo la información directa de los ocupantes, ya que de las entrevistas se extraía un punto máximo de 16 personas pero la media real sitúa esta ocupación máxima en 10 personas.
- Los momentos en los que no se espera ninguna actividad, como la hora de la comida, no se puede considerar una ocupación nula.

En cuanto a la tecnología utilizada, las conclusiones serían las que siguen:

- El uso de este tipo de cámaras permite conocer la ocupación real, preservando la privacidad de los ocupantes, ha demostrado la calidad de los resultados que aporta.
- Las comparaciones que se han mostrado advierten a los ingenieros y arquitectos encargados de modelar del uso de las plantillas predeterminadas para la simulación de los

edificios, que es necesario un análisis y comprensión del proceso de negocio para proporcionar resultados más rigurosos no solo para la estimación del comportamiento energético del edificio sino también para la seguridad del mismo.

- La tecnología utilizada para este proyecto, como han sido las cámaras Kinect, abren la puerta a su aplicación en otras áreas como pueden ser el análisis de contaminantes de aire interior o el estudio de la seguridad según la ocupación. Asimismo, es una herramienta útil para evaluar la eficacia de los procesos de negocio.

El proyecto Adapt4ee finalizó con la creación de un nuevo software denominado Visual Analytics, que mejora la información requerida por arquitectos, ingenieros e incluso la propiedad para ahorrar energía en edificios. Esta herramienta fue testada y validada por alumnos y profesionales del sector obteniendo resultados altamente satisfactorios.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido posible gracias al proyecto ‘Occupant Aware, Intelligent and Adaptive Enterprises’, Adapt4EE, cofinanciado por la Comisión Europea dentro del 7º Programa Marco (FP7/2007-2013) en virtud del acuerdo de subvención número 288150.

Agradecemos la colaboración mostrada por el Departamento de Oncología y la Dra. Lozano Guerra, subdirectora general de la Clínica Universidad de Navarra.

## 6. REFERENCIAS

ABUSHAKRA, B. et al. (2001).: “Compilation of diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations. ASHRAE Research Project, 1093-RP”.

CLARKE, J. A. (2001).: Energy simulation in building design. Ed. ChielBoonstra, Ronald Rovers, and Susanne Pauwels. International Conference Sustainable Building 2000. Vol. 2003. Butterworth-Heinemann.

DAVIS, J. A. y NUTTER, D. W. (2010).: “Occupancy diversity factors for common university building types, “ Energy Build., 42 (9): 1543-1551.

IOANNIDIS, D. et al. (2014).: "Human Tracking & Visual Spatio-Temporal Statistical Analysis", International Conference on Image Processing (ICIP'14).

KIM, H. et al. (2011).: Analysis of an energy efficient building design through data mining approach. Automation in Construction 20(1): 37-43.

KRINIDIS, S. et al. (2014).: “A robust and real-time multi-space occupancy extraction system exploiting privacy-preserving sensors”, 6<sup>th</sup> International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP'14).

LAM, K. P. et al.(2009).: “Information-theoretic environmental features selection for occupancy detection in open offices”, in Building Simulation 2009, 11th International IBPSA Conference, 2009, pp. 1460–1467.

MARTÍN-GÓMEZ, C. et al. (2013).: "Análisis del Business Process Model (BPM) como medida de ahorro en el diseño de nuevo edificios y en la mejora de los existentes". III Congreso de Servicios Energéticos. Organizado por AMI, ANESE, A3E, Editorial El Instalador, Gobierno Vasco. Palacio Euskalduna, Bilbao.

SHEN, W. et al. (2012).: "Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications," *Autom. Constr.*, vol. 21, pp. 148–160, Jan. 2012.

FULL VERSION IN:

"Análisis de la ocupación real en un edificio como factor de ahorro: el caso Adapt4ee". Book of abstracts XIII Congreso Ibero-Americano de Climatización y Refrigeración CIAR 2015, pp.171-183. Madrid, 28-30 April 2015. M. Vidaurre, C. Martín-Gómez, A. Zuazua.