

# Dispositivos móviles y Espacios Inteligentes Personales

Iván Marsá-Maestre, Miguel A. López-Carmona, Andrés Navarro y Enrique de la Hoz  
{ivmarsa, miguellop, andres, enrique}@aut.uah.es  
Departamento de Automática  
Universidad de Alcalá  
Edificio Politécnico – Crtra. N-II Km. 31,600 – 28871 Alcalá de Henares

***Abstract.** Though personal mobile devices like cell phones and PDAs already offer their users some kinds of service personalization, service personalization through personal mobile devices can be taken one step further. In particular, personal devices can be used to integrate services provided within smart environments with the services provided at the personal devices themselves. In this paper, we present an approach for the seamless integration of personal devices and smart environments through the use of personal smart spaces. This would allow personal devices to become even more integrated in our everyday lives.*

## 1 Introducción

Una de las líneas de investigación principales en tecnología de agentes es el uso de agentes software para automatizar la personalización del entorno, de forma que los usuarios se vean liberados de las tareas rutinarias que comúnmente realizan para cambiar el entorno de acuerdo con sus preferencias o para acceder a los servicios disponibles. El objetivo que buscamos es un entorno inteligente, capaz de adaptarse a las necesidades de usuario y de proporcionar interfaces personalizadas para los servicios disponibles en cada momento. Para lograrlo, proponemos el uso de sistemas multiagente, ya que se han revelado como una buena alternativa para el desarrollo de sistemas distribuidos, inteligentes y autónomos.

En trabajos previos [1] hemos diseñado e implementado una arquitectura basada en agentes software para el hogar inteligente. Estamos extendiendo esta arquitectura para hacerla aplicable a otros entornos. En particular, hemos desarrollado una arquitectura jerárquica y modular que llamamos SETH (Smart Environment Hierarchy). La arquitectura puede desplegarse en capas, lo que permite crear espacios inteligentes complejos por medio de relaciones de herencia y agregación. Estamos especialmente interesados en escenarios de computación urbana [2], que pueden crearse combinando, por ejemplo, un cierto número de habitaciones inteligentes para crear un edificio inteligente, y un cierto número de estos edificios para crear una ciudad inteligente.

En el contexto de la ciudad inteligente, donde puede haber miles de usuarios y cientos de servicios disponibles, cobran relevancia los sistemas de personalización de servicios. Uno de los aspectos más cruciales para el éxito de la computación urbana es el descubrimiento de servicios, que relaciona las necesidades y preferencias del usuario con los servicios disponibles en un lugar y momento dados.

Cualquier arquitectura orientada a servicios para ciudades inteligentes debe proporcionar mecanismos para la agregación, herencia y descubrimiento de servicios, que permitan a los usuarios determinar de forma efectiva y eficiente si un servicio está disponible en un determinado momento y cómo se puede acceder a él. El acceso a los servicios, por otro lado, se producirá probablemente a través de dispositivos móviles personales, ya que este tipo de dispositivos (como teléfonos móviles y PDAs) están cada vez más presentes en nuestras vidas. Pero la personalización de servicios a través de dispositivos móviles no se reduce sólo a emplear estos dispositivos como interfaces para los servicios. Los dispositivos personales pueden también prestar servicios. El trabajo que presentamos en este artículo permite complementar los servicios disponibles en el entorno inteligente con aquellos disponibles en los dispositivos personales. De este modo, la percepción del usuario es que su dispositivo móvil genera un espacio inteligente personal dentro del entorno inteligente.

El documento se ha estructurado como sigue. En la sección 2 se hace una reseña del estado del arte en personalización de servicios en entornos inteligentes. La sección 3 describe brevemente nuestra arquitectura para espacios inteligentes. La sección 4 describe los mecanismos empleados para la agregación, herencia y descubrimiento de servicios en la arquitectura SETH. La sección 5 presenta nuestra aproximación específica a la integración de los dispositivos personales en la arquitectura mediante el uso de espacios inteligentes personales. Finalmente, la sección 6 describe el caso de estudio utilizado para validación y pruebas de la propuesta. La sección 7 resume nuestra contribución y plantea algunas líneas futuras de investigación sobre el tema.

## 2 Estado del arte

Hay una gran variedad de líneas de investigación diferentes relacionadas con los entornos inteligentes y la personalización de servicios. Nuestro trabajo está relacionado de manera especial con aquellos que plantean la existencia de grandes entornos, como lugares de trabajo y ciudades, aquellos que organizan los espacios de manera jerárquica (tratando de obtener algún beneficio de esta estructura), y aquellos que hacen uso de sistemas multiagente en su propuesta arquitectónica.

Tanto el proyecto i-room [3] como Gaia [4] presentan escenarios de aplicación para entornos inteligentes en oficinas. El primero se centra en sistemas de interacción persona-máquina en una única sala de presentaciones interactiva. Por su parte, Gaia define la existencia de espacios activos como espacios físicos coordinados por una infraestructura reactiva basada en el contexto. Esa infraestructura se proporciona por medio del desarrollo de servicios y aplicaciones en el marco de un sistema operativo (Gaia OS) que proporciona información acerca del contexto, así como servicios de gestión de eventos para ejecutar los programas adecuados. Como trabajo futuro, los autores de Gaia proponen proporcionar herramientas para la federación de servicios que permitan agregar diferentes espacios activos.

En otro orden de propuestas, Cooltown [5] utiliza los conceptos tecnológicos subyacentes a la arquitectura de la Web para proporcionar computación nomádica y ubicua en entornos urbanos. En Cooltown, tanto los lugares de interés como los recursos accesibles por el sistema se marcan por medio de URLs u otros identificadores que puedan ser obtenidos por los usuarios o sus dispositivos personales mediante la lectura de códigos de barras, la detección de RFIDs (Radio Frequency Identifiers) o transmisores de Infrarrojos. Los URLs pueden ser utilizados para acceder a los diferentes servicios, relacionados con los puntos de interés a los que se asocian. Otros identificadores (del tipo ISBN, mediante códigos de barras) pueden ser transformados en los URLs que relacionan los servicios con los elementos identificados. Los recursos se agrupan en lugares, y para cada lugar definido existe un gestor del lugar, que de encarga del mantenimiento del directorio de recursos. De esta manera, puede actuar ofreciendo las direcciones de los recursos que se encuentran disponibles en ese lugar, a partir de su identificador, o como servidor web que proporciona información acerca de estos.

El modelo de servicios Galaxy [6], trata de proporcionar una estructura de servicios jerárquica para un laboratorio inteligente de pruebas. Galaxy utiliza una serie de dispositivos inteligentes, que denominan u-texturas, así como mobiliario inteligente. Estos dispositivos pueden ser agregados para construir el entorno inteligente. El modelo de

servicios de Galaxy permite exportar servicios proporcionados por los diferentes dispositivos (u-texturas) para crear aplicaciones, que pueden ser compuestas con otras para formar nuevas aplicaciones, obteniéndose una estructura de composición de servicios multi-nivel. El descubrimiento de los servicios disponibles se realiza de manera jerárquica.

Por último, COBRA [7] hace uso de sistemas multiagente para desarrollar aplicaciones independientes del contexto. Se desarrolla a partir de una arquitectura centralizada en un broker, utilizada para proporcionar soporte de ejecución a servicios independientes del contexto en una sala de reuniones inteligente. En COBRA, el entorno se divide en dominios, con un broker en cada uno de ellos, implementado mediante un agente autónomo que mantiene y gestiona el modelo de contexto. Aunque los brokers de COBRA han sido diseñados principalmente para compartir información de contexto, esa capacidad, así como su enfoque centralizado de gestión en cada dominio es lo más parecido que hemos encontrado en la literatura a nuestra propuesta de espacios jerárquicos para la personalización de servicios.

## 3 La arquitectura de agentes SETH

La arquitectura de servicios presentada en este documento se despliega sobre nuestra plataforma SETH (Smart Environment Hierarchy), que es una extensión de la arquitectura iHAP architecture desarrollada para el hogar inteligente [1]. La descripción detallada de la arquitectura SETH va más allá del propósito de este artículo, y puede encontrarse en [8]. En esta sección se describen brevemente las características de la arquitectura que son más relevantes para la comprensión del artículo.

### 3.1 Espacios inteligentes en SETH

Nuestra arquitectura se basa en el concepto de espacios inteligentes (*Smart Spaces*, SS), que son localizaciones específicas y autocontenidas del entorno en el que se mueve el usuario. Desde un punto de vista funcional, un espacio inteligente A se caracteriza por un conjunto de dispositivos, un conjunto de servicios que pueden ser prestados en dicho espacio, y un determinado contexto. Es posible establecer una jerarquía de espacios inteligentes, si las características del entorno así lo requieren. Esta aproximación jerárquica nos permite proporcionar diferentes niveles de servicios, información de contexto y seguridad. En nuestro escenario de demostración consideraremos la existencia de un espacio inteligente que abarca una ciudad, y que incluye una vivienda, un restaurante y un lugar de trabajo, así como un entorno abierto: un monumento. El lugar de trabajo, a su vez, incluye el espacio Segunda Planta, en la que se encuentran un despacho y una sala de reuniones. La Figura 1 describe la

jerarquía de espacios inteligentes del escenario descrito.

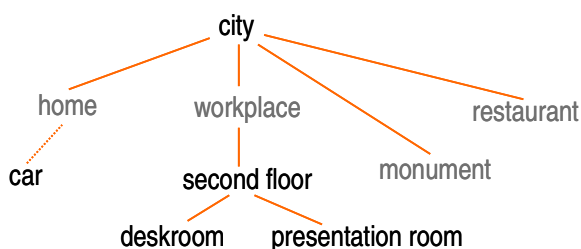


Figura 1: Ejemplo de jerarquía de espacios

En este tipo de escenarios podemos tener reglas de herencia que establezcan qué información de contexto, servicios y dispositivos procedentes de niveles superiores de la jerarquía están disponibles en un espacio concreto. También se pueden establecer reglas de agregación que permitan que un espacio inteligente exporte información de contexto, dispositivos o servicios a niveles superiores de la jerarquía. Las reglas de herencia y agregación pueden ser combinadas para permitir, por ejemplo, que un usuario que se encuentra en su espacio vivienda acceda mediante un proceso de herencia al servicio de reserva que se ofrece en el espacio restaurante y que se ha exportado al espacio ciudad mediante agregación.

### 3.2 Dispositivos en la arquitectura SETH

Para poder realizar sus funciones, la arquitectura que se propone en este trabajo se apoya en una serie de dispositivos distribuidos a lo largo de todo el entorno inteligente. La *Plataforma de agentes para el espacio inteligente (Smart Space Agent Platform –SSAP–)*, obligatoria en cualquier espacio inteligente SETH, contiene la plataforma de agentes que permite la existencia del resto de los agentes en el espacio inteligente, y alberga los agentes de más alto nivel del sistema, así como aquellos que son necesarios para controlar dispositivos no inteligentes. Los *Dispositivos con Agentes* son sensores y actuadores con cierto grado de autonomía, generalmente proporcionada por agentes ejecutándose en una máquina virtual Java empotrada. Los *Dispositivos sin Agentes* son sensores y actuadores sin autonomía, controlados desde el SSAP. Además, cada usuario debe portar un *Dispositivo de Identificación*, que se utiliza para identificar al usuario ante el sistema y determinar su localización en el entorno. Finalmente, los usuarios pueden portar dispositivos móviles (teléfonos móviles, PDAs), que no sólo pueden proporcionar la funcionalidad de los dispositivos de identificación, sino también albergar los agentes necesarios para aprender, mantener y tratar de satisfacer las preferencias de los usuarios y para mostrar las interfaces adecuadas a los servicios en cada momento.

Para la implementación del sistema propuesto, nuestro grupo de investigación hace uso de la plataforma JADE<sup>1</sup>, disponible como *open-source*. El hacer uso de una plataforma de agentes ya establecida nos libera de una serie de tareas de bajo nivel relacionadas con el ciclo de vida y funcionamiento del agente, así como el establecimiento de los mecanismos de comunicación entre los agentes. Por otro lado, la utilización de JAVA como lenguaje de desarrollo en esta plataforma garantiza la interoperabilidad de los sistemas y la posibilidad de desarrollo de sistemas de menores prestaciones en equipos más potentes, con menores problemas de implantación final. Por otro lado, la plataforma JADE cumple con los estándares de FIPA<sup>2</sup>, una organización de estandarización de la IEEE Computer Society que promueve la tecnología basada en agentes y la interoperabilidad entre estos y con otras tecnologías.

### 3.3 Agentes software en SETH

Podemos encontrar diferentes tipos de agentes software en un espacio inteligente SETH. El *Agente de coordinación de entornos inteligentes –Smart Space Coordination Agent– (SSCA)*, que reside en el SSAP, proporciona descubrimiento de dispositivos y servicios a todos los usuarios o agentes que se encuentran en un espacio inteligente dado, y a los SSCAs de otros espacios. Los *Agentes de Dispositivo* proporcionan una interfaz unificada a los dispositivos, de manera que el sistema puede utilizarlos, independientemente del hardware que realice las funciones. Los *Agentes de Sistema*, como los agentes de contexto o los agentes de seguridad, proporcionan un nivel adicional de inteligencia por encima de los dispositivos que se encuentran en una ubicación concreta mediante mecanismos de coordinación y control. Los *Agentes Personales (Personal Agents, PA)* son, a todos los efectos, los representantes de los usuarios en el entorno y juegan un papel fundamental para alcanzar la percepción de “inteligencia” del entorno [9]. Finalmente, los *Agentes de Servicio* proporcionan servicios finales al usuario, y pueden ser *persistentes*, si siempre están activos en un determinado SSAP, o *no persistentes* o *móviles*, si son creados por el SSCA para cada petición de servicio, se mueven de un SSAP a otro cuando la localización del usuario cambia y se destruyen una vez que se ha prestado el servicio. Los servicios de interfaz, que son un caso particular de los agentes de servicio, y el uso de movilidad de agentes para permitir que los servicios “sigan” al usuario a través de diferentes espacios se cubren en [8]. El descubrimiento y acceso a servicios se describen en la siguiente sección.

<sup>1</sup> Java Agent DEvelopment framework (<http://jade.cse.it>)

<sup>2</sup> Foundation for Intelligent Physical Agents (<http://www.fipa.org>)

### 3 Descubrimiento y acceso a los servicios

La funcionalidad de descubrimiento de servicios se proporciona desde los agentes de coordinación de espacios inteligentes (*SSCAs*). Como coordinador de un espacio inteligente, un *SSCA* debe tener conocimiento de todos los agentes que se encuentran presentes en dicho espacio, así como todos los servicios que pueden proporcionar. Esto es posible gracias a un proceso de registro que se realiza cada vez que un agente o un dispositivo se instalan en el espacio inteligente. El proceso de registro se lleva a cabo haciendo uso del directorio de servicios que tienen las plataformas que siguen el estándar FIPA, por lo que no las describiremos aquí. A partir de este punto, asumiremos que el *SSCA* conoce todos los dispositivos, agentes y servicios que se encuentran disponibles en el espacio del que es responsable. La dirección del *SSCA* es conocida por los agentes de contexto, por lo que cuando un agente personal se instala en un *SSAP*, puede conocer las direcciones de los *SSCA* de la jerarquía de espacios que le sean relevantes.

Cuando sea necesario, un agente personal puede solicitar la lista de servicios disponibles al *SSCA* del *SSAP* en el que se encuentra. Las solicitudes pueden ser generales (todos los servicios disponibles en el espacio en que se encuentre) o específicas (servicios que cumplan determinadas características). La lista de servicios devuelta debe incluir el nombre del servicio, el agente de servicio que lo proporciona y la descripción del servicio, que contiene la información suficiente como para que el agente personal sepa cómo acceder al mismo.

Los servicios pueden ser heredados de espacios superiores en la jerarquía, o agregados desde los niveles inferiores. Los servicios se pueden heredar o agregar al nivel del *SSCA* o al nivel del agente personal. El primer caso ocurre cuando un *SSCA* está interesado en ofrecer un servicio que se encuentra disponible en otro *SSAP*. En este caso, el *SSCA* añade el servicio a su lista de servicios disponibles, indicando la dirección del agente remoto que proporciona el servicio en aquel *SSAP*. En el escenario que proponemos, la herencia de servicios a nivel *SSCA* se produce de manera automática; esto se lleva a cabo mediante consultas periódicas de los *SSCA* a los *SSCAs* de niveles superiores, en busca de servicios heredables. Por su parte, la agregación de servicios se produce mediante un proceso de suscripción. Los agentes de más bajo nivel, suscriben sus servicios en *SSCAs* de más alto nivel, con el objetivo de hacer sus servicios accesibles en otras partes de la jerarquía.

En aquellos escenarios en los que haya un número grande de niveles, los mecanismos de herencia automática pueden generar una lista de servicios poco manejable. Para resolver esto, limitamos la herencia

automática a un conjunto de servicios establecido, proporcionando servicios de propagación de la búsqueda a otros *SSCA* de la jerarquía sólo cuando el proceso de búsqueda de servicios devuelve como resultado una lista vacía. De este modo cuando un agente personal desea un determinado servicio, y éste no es accesible desde el *SSCA* del lugar en el que se encuentra, se propaga la búsqueda a través de la jerarquía, heredando el servicio una vez encontrado. Los procesos de agregación y herencia al nivel del agente personal se pueden realizar en cualquier momento por medio de consultas a los correspondientes *SSCAs*.

Podemos ver un ejemplo de agregación, herencia y descubrimiento de servicios en el escenario de ejemplo que estamos utilizando, en la Figura 2. Supongamos que existe un servicio de localización de usuarios en la sala de presentaciones, que su correspondiente *SSCA\_Saladepresentaciones* ha agregado al nivel más alto del edificio (1). Este servicio de localización de usuarios es heredado por el *SSCA\_segundopiso* (2), por lo que puede proporcionarse a ese nivel. El usuario Alice se encuentra en su despacho del segundo piso y su agente personal sabe que Alice quiere concretar una cita para comer con Bob. El agente personal quiere notificarle a Bob esa propuesta para comer, pero no sabe donde está. Para localizarle, el agente trata de hacer uso de un agente de localización de usuarios (3), pero el *SSCA\_despacho* no conoce este servicio, por lo que propaga la consulta hasta el nivel inmediatamente superior en la jerarquía (4).

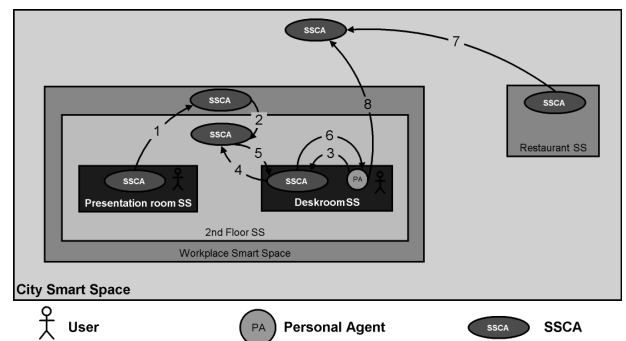


Figura 2: Herencia, agregación y descubrimiento de servicios

En el nivel superior si se encuentra un servicio de localización (5), y se envía su dirección al agente personal (6), para que compruebe donde está Bob. Una vez que el agente sabe donde está Bob, puede enviarle a su agente personal el mensaje más apropiado para informarle de la comida de trabajo. Una vez que se confirma la cita, el agente personal de Alice decide realizar una reserva en un restaurante. El *SSCA* del restaurante ha decidido (7), previamente, ofrecer su servicio de reservas a través de la ciudad, por medio de una agregación de servicios. Sin embargo, ninguno de los *SSCA* del lugar de trabajo de Alice y Bob han heredado ese servicio. Por lo tanto, después de algunas búsquedas infructuosas por la

jerarquía del edificio, el agente personal de Alice pregunta al *SSCA\_ciudad*, donde localiza los servicios que permiten realizar reservas en restaurantes, realizando una para su comida con Bob (8).

Para acceder a un servicio determinado, el agente personal sólo tiene que enviar un mensaje de solicitud al agente que proporciona dicho servicio. El agente de servicio tratará entonces de proporcionarlo, bien sea directamente, bien a través de otros agentes de servicio o de dispositivo. El proceso puede ser más o menos complejo dependiendo de la naturaleza del servicio solicitado. En [8] se detallan los mecanismos para la prestación de servicios en SETH.

## 5 Dispositivos móviles y espacios personales

Los dispositivos móviles, como los teléfonos y las PDAs, ya ofrecen a sus usuarios un cierto tipo de personalización de servicios, aunque sea en modo muy primario: directorios telefónicos activables mediante voz, calculadoras que permiten seleccionar diferentes modos de funcionamiento (científico, financiero etc.) y recuerdan el último modo de funcionamiento elegido o agendas que sugieren convertir en periódica una actividad si se programa un cierto número de veces con un cierto patrón (sencillo de obtener). En todo caso, la personalización de servicios mediante el uso de este tipo de dispositivos puede ir más allá. En la arquitectura propuesta en este trabajo, un dispositivo personal contiene su propio *SSAP*, albergando un *SSCA* y todos los agentes de dispositivo, servicio y sistema necesarios como para proporcionar la funcionalidad deseada a los usuarios. De este modo, el dispositivo personal genera un “espacio inteligente virtual”, que se superpone al espacio concreto en el que se encuentre el usuario, aumentando con sus servicios los proporcionados en éste.

Desde un punto de vista arquitectónico, este proceso de solapamiento es bastante simple. Cuando el agente personal inicia un proceso de descubrimiento de servicios en el entorno inteligente en el que se encuentra el usuario, también contacta con el *SSCA* del dispositivo personal y construye la lista de servicios accesibles teniendo en cuenta aquellos que pueden ser prestados directamente por el dispositivo. Esto permite, no sólo incrementar el número de servicios accesibles para el usuario, sino proporcionar un nivel de personalización aún mayor, puesto que podemos ver los dispositivos personales como “dispositivos personales de interfaz”.

La Figura 3 muestra un caso de uso donde un dispositivo personal proporciona un interfaz al usuario. El usuario Alice está en su casa y tiene cerca un dispositivo personal (un teléfono). Su agente personal quiere mostrarle los servicios que se encuentran disponibles en el entorno inteligente

“Casa”. Puesto que el agente personal conoce la existencia del dispositivo personal, ya que ha recibido la información desde los agentes de contexto (1), comienza a realizar la lista de servicios existentes consultando con el *SSCA\_casa* y con el *SSCA\_telefono* (2). Una vez que obtiene las respuestas (3), el agente personal, a partir de las preferencias de Alice, decide si solicita una interfaz al *SSIA* de la Casa o al que se alberga en el teléfono. Supongamos en este caso que el agente personal decide hacer uso de esta segunda interfaz, por ejemplo porque hay otras personas en la sala. En ese momento realiza la petición al *SSIA\_telefono*, que la procesará, construirá la interfaz y pedirá al agente de dispositivo que la muestre a Alice (5 y 6)

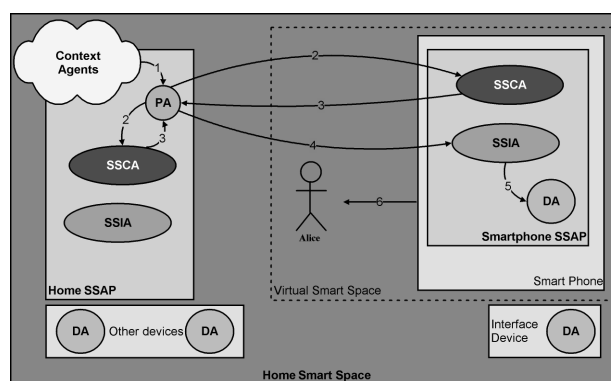


Figura 3: Dispositivos personales y entornos inteligentes virtuales

En el ejemplo que acabamos de ver, el agente personal reside en el *SSAP* de la Casa y puede acceder tanto a los servicios proporcionados por el entorno físico en el que se encuentra el usuario, como a los que se generan en el entorno inteligente virtual que genera el dispositivo personal. El descubrimiento de los servicios se realiza, en primer lugar, consultando a los *SSCA* involucrados, y posteriormente contactando con los servicios elegidos. Sin embargo, el beneficio principal de disponer de un dispositivo personal consiste en que sea en él donde se almacene el agente personal del usuario, ya que, en este caso, el proceso de movilidad del agente personal descrito en [9] se simplifica enormemente. Si el dispositivo personal contiene el agente personal del usuario, cuando éste se mueve a través de diferentes entornos, el agente personal se mueve con él, permaneciendo siempre disponible en el espacio inteligente virtual que genera el dispositivo personal.

Para que el hecho de que el Agente personal viaje con el usuario suponga una ventaja, es necesario que el dispositivo personal pueda ser localizado en el espacio inteligente. Esto se consigue a través de un subconjunto de agentes de contexto empleando un sistema de localización de los dispositivos personales. Este sistema es una extensión del mecanismo de localización mediante dispositivos Bluetooth empleado en iHAP [10], y no lo detallaremos aquí. En nuestra propuesta podemos

asumir que el dispositivo personal tiene conectividad en la red que se encuentra en el entorno (lo normal es que sea mediante TCP/IP a través de una red inalámbrica), por lo que tanto el *SSCA* del entorno físico como el *SSCA* del dispositivo personal pueden ser notificados de los cambios en la localización del usuario. También el agente personal será notificado de la situación en la que se encuentra.

La movilidad del agente personal sigue las mismas reglas que se describen en [9], teniendo en cuenta que el espacio inteligente virtual que genera el dispositivo personal ofrece cierta personalización de algunos servicios de manera automática por lo que, cuando se sabe que el usuario se encuentra en las proximidades de su dispositivo personal, el agente personal será invitado a moverse al dispositivo. El agente personal, por regla general, aceptará esta invitación, salvo que el entorno físico del usuario sea el que se corresponde con la *Home Agent Platform* del agente. Una vez que el Agente personal se encuentra en el *SSAP* del dispositivo, el usuario puede moverse de un entorno inteligente a otro y, mientras mantenga consigo el dispositivo personal, el agente personal no necesitará moverse más, puesto que ya se encuentra en el mismo espacio en el que está el usuario (a través del espacio inteligente virtual).

Las dificultades de esta propuesta llegan cuando el dispositivo personal pierde conectividad en la red, por ejemplo, debido al autoapagado del dispositivo, o cuando el usuario abandona el espacio inteligente en el que se encuentra, dejando atrás su dispositivo personal. En cualquiera de estos dos casos es posible que el usuario, identificado por el entorno, quiera solicitar un servicio, o simplemente, se dispare uno de los servicios automáticos, como, por ejemplo, la iluminación del nuevo entorno. En ese momento, el *SSCA* del lugar en el que se encuentra el usuario necesita contactar con el agente personal. El proceso de localización es análogo al descrito en [8]. En primer lugar, si el agente personal no se encuentra en el lugar donde está el usuario, propaga la búsqueda hacia los niveles superiores de la jerarquía. Puesto que los *SSCA* saben (a través de los agentes de contexto) cuándo un dispositivo personal con un agente personal ha entrado en su *SSAP* asociado, saben cuál es la última localización conocida y mantienen esa información hasta que los agentes personales abandonan esa rama del árbol de jerarquías. En caso de que la búsqueda no tenga éxito, se terminará buscando al agente personal en el *HAP* del usuario, que sabe que el agente se encuentra en su dispositivo móvil. En ese momento, el *SSCA*, informado de esta situación, puede utilizar una interfaz adecuada para notificar al usuario este hecho (y recordarle que debe encender el dispositivo portátil, si este es el caso).

Si, después del proceso descrito en el párrafo anterior, se contacta finalmente con el agente personal, éste podrá contactar directamente con el *SSAP* del lugar en el que se encuentra el usuario o

podrá decidir moverse al nuevo *SSAP*. El agente personal puede tomar la decisión de moverse por diferentes motivos: cuando el usuario se encuentre físicamente en otro entorno inteligente, y, por lo tanto, ya no se obtiene ventaja alguna del hecho de que el agente se encuentre en el dispositivo personal, o cuando se detecte que el dispositivo personal tiene poca autonomía (batería) y sea conveniente ubicarse en otro lugar más seguro. Para ello se realiza una copia del agente personal, que se mueve como ya ha sido descrito anteriormente. Tan pronto como el usuario vuelva a tener operativo y cercano el dispositivo personal, el agente volverá allí, como si el dispositivo personal constituyera un *HAP* temporal.

En caso contrario, si no se consigue localizar al agente personal (por ejemplo porque el dispositivo personal tiene las baterías completamente agotadas), el *SSCA* del entorno inteligente en el que se encuentra el usuario puede solicitar una nueva copia al *HAP* del usuario. A partir de ese momento tendremos dos copias circulando en el sistema (una en el *SSCA* y otra en el dispositivo personal, no operativo). Es necesario establecer mecanismos de sincronismo para el momento que todos ellos puedan estar activos.

## 6 Escenario de estudio

Para la evaluación y validación del trabajo propuesto, estamos implementado el siguiente caso de estudio. En la Figura 4, asumamos como punto de partida el final del ejemplo anterior: Alice se encuentra en su casa, y su teléfono le está mostrando una lista de servicios disponibles en la sala en la que se encuentra. En ese momento, Alice abandona la casa, llevando su teléfono con ella (1). Este hecho se notifica, tanto al *SSCA* de la sala donde se encontraba Alice como al del espacio virtual, así como al agente personal, por medio de los agentes de contexto. En ese momento, el agente personal da las órdenes para que la vivienda se ponga en modo “vivienda vacía” (apague las luces, reduzca la calefacción y conecte la alarma, por ejemplo), se clona y migra al dispositivo personal (2). Al abandonar Alice la vivienda, la lista de servicios disponible debe ser actualizada, y el agente personal elimina aquellos que se prestan dentro de la casa, solicita los que la ciudad presta en ese punto (si hay alguno) (3) y solicita la interfaz adecuada para mostrar estos servicios en el teléfono. Cuando el usuario entra en el entorno inteligente correspondiente al monumento (4), los agentes de contexto notifican al Agente personal y a ambos *SSCAs* que el agente personal puede preguntar directamente al monumento por la lista de servicios disponible (5), para actualizar la lista de servicios que puede demandar Alice. Cuando ésta activa el panel de interfaz del monumento para obtener información del mismo, el *SSCA Monumento* ya sabe que el agente personal de Alice se encuentra en su teléfono, por lo que no es necesario contactar con su *HAP*.

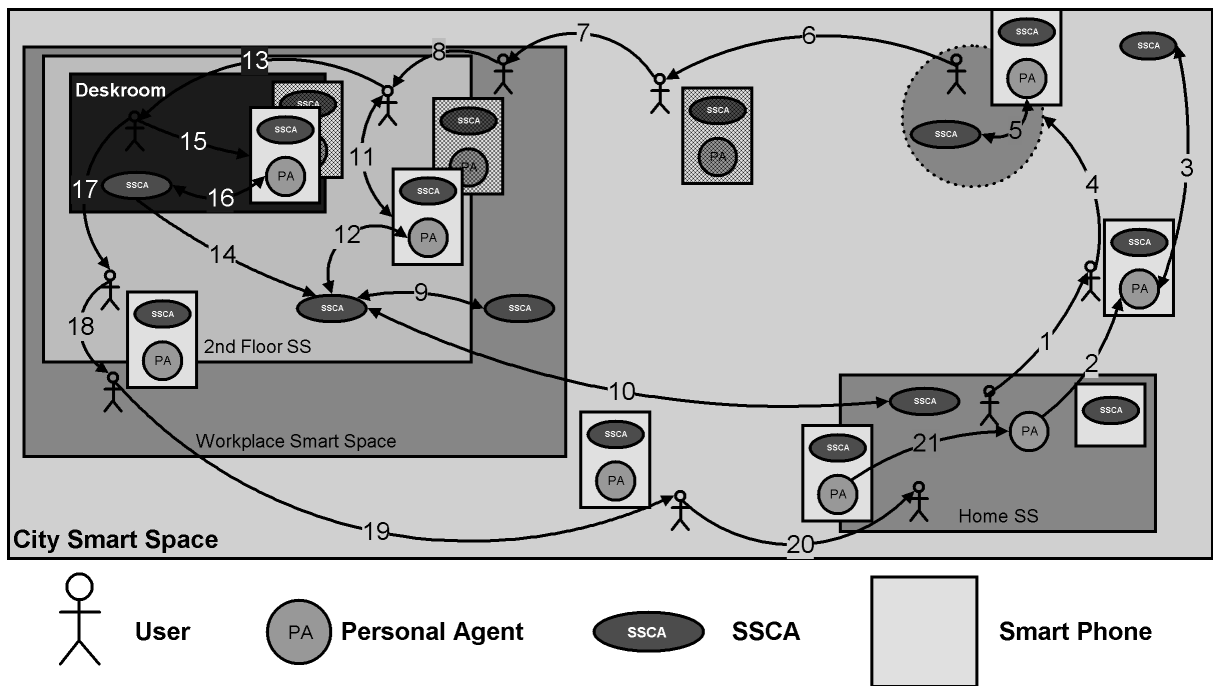


Figura 4: Caso de estudio utilizado para validación y pruebas

Supongamos ahora que, una vez que Alice abandona el monumento y se encamina hacia su trabajo (6), deja de utilizar el teléfono para acceder a los servicios disponibles y éste entra en modo de ahorro de energía, perdiendo la conectividad con la red. Cuando Alice llega al edificio en el que trabaja (7), el sistema no puede detectar la existencia del dispositivo personal, ni éste puede darse cuenta de que el usuario se encuentra en nuevo entorno inteligente. Por lo tanto, cuando Alice llega a la segunda planta y activa el panel que se encuentra allí (8), el *SSCA\_Segundaplanta* realiza la búsqueda habitual a través de la jerarquía de entornos, hasta llegar al *HAP* del Alice (9 y 10), que le informa que Alice lleva un dispositivo personal con ella que incorpora a su agente personal, así como información necesaria para contactar con el dispositivo. El *SSCA\_Segundaplanta* puede hacer uso del panel que está utilizando Alice para enviarle el mensaje de que debe encender el dispositivo. Cuando Alice lo hace (11), la conectividad con el dispositivo se reestablece, por lo que el *SSCA* ya puede comunicarse directamente con el Agente personal de la manera habitual (12). Supongamos ahora que Alice permanece en ese lugar un tiempo suficiente como para que el dispositivo personal vuelva a entrar en modo de ahorro de baterías. Cuando Alice entra en su despacho, el *SSCA\_despacho* no detecta la existencia del dispositivo personal, por lo que como en el caso anterior, trata de localizar al agente personal en la jerarquía de espacios. Al llegar al *SSCA\_segundaplanta* (14), el primero al que pregunta, recibe la información de que el agente personal viaja con Alice en un dispositivo. El *SSCA\_despacho* decide hacer uso de una interfaz de la sala para informar a Alice de que debe activar el dispositivo (15) para poder conectarse al Agente personal de la forma normal (16).

Después de trabajar durante algún tiempo, Alice abandona el despacho (17), el segundo piso (18) y el edificio donde trabaja (19), llevando el teléfono con ella. Cuando llega a casa (20), el agente personal vuelve al *HAP* y se sincroniza con el que quedó allí (21).

## 7 Conclusiones

Los dispositivos móviles personales están a un paso de integrarse completamente en nuestra vida cotidiana. No sólo nos permiten acceder a diferentes tipos de servicios; también nos proporcionan una capacidad de comunicación infinitamente superior a la disponible hace tan solo 10 años. Al mismo tiempo, los entornos en los que nos movemos cada día, nuestra casa, el coche, nuestro puesto de trabajo, tienden a ofrecernos un nivel e comodidad cada vez mayor. En este artículo presentamos una propuesta para la integración de los dispositivos móviles personales y los entornos inteligentes mediante el uso de espacios inteligentes personales. Parte del enfoque de que un dispositivo personal crea un espacio de adicional de servicios que se solapa con el espacio inteligente donde el usuario se encuentra. De este modo, el usuario es capaz de acceder a todos los servicios disponibles desde su dispositivo personal, a la vez que el entorno inteligente puede aprovecharse de los servicios disponibles en el dispositivo personal para ofrecer un mayor nivel de personalización.

El trabajo presentado se ha desarrollado sobre la plataforma SETH, que es una arquitectura para espacios inteligentes basada en agentes desarrollada con conformidad con los estándares del IEEE-FIPA. SETH permite desplegar fácilmente espacios inteligentes en diferentes escenarios, desde hogares inteligentes a aplicaciones de computación urbana.

Las primeras simulaciones y pruebas del sistema propuesto han dado resultados satisfactorios, pero quedan algunos aspectos pendientes para trabajo futuro. Por ejemplo, El diseño modular y jerárquico de la arquitectura que proponemos para el establecimiento de entornos inteligentes permite utilizar diferentes estrategias y niveles de relación entre los agentes personales, los dispositivos personales y los de identificación. En el escenario anterior se ha mostrado cómo el agente personal se mueve al dispositivo personal cuando es necesario y puede volver a su HAP o a otro SSAP si lo cree necesario. Además, el dispositivo de identificación no coincide con el dispositivo personal. En todo caso, podemos pensar en una estrategia de mayor acoplamiento entre dispositivos, en la que el de identificación y el personal coincidan, por lo que para poder acceder a servicios personalizados, Alice debe llevar siempre encima su dispositivo personal. Incluso podemos establecer que el HAP del agente personal se encuentra en el propio dispositivo, de manera que nunca tenga que moverse de allí (en el sentido de saltar de un sistema hardware a otro), ya que la movilidad a través de los diferentes espacios se consigue moviendo el dispositivo completo. Por supuesto, estas estrategias tienen también desventajas, y será necesario implementarlas, validarlas y evaluarlas para determinar su adecuación a los problemas que pretendemos resolver. Otras posibles líneas de trabajo relacionadas son el refinamiento de los mecanismos de gestión del contexto y la arquitectura de seguridad del sistema, que consideramos crucial para su despliegue en entornos reales. Por último, estamos extendiendo el sistema de localización de usuarios basado en Bluetooth descrito en [10] para hacerlo compatible con otras tecnologías inalámbricas, como Zigbee, que podrían verse pronto en dispositivos móviles personales.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Junta de Comunidades de Castilla La-Mancha, a través del proyecto JCCM-PBC-05009-2, así como de la Comunidad Autónoma de Madrid, mediante el proyecto CAM-CCG06-UAH/TIC-0424.

## Referencias

- [1] Velasco, J.R., et al.: Location-aware services and interfaces in smart homes using multiagent systems. In: Proceedings of the 2005 International Conference on Pervasive Systems and Computing (PSC 05), Las Vegas, USA (2005)
- [2] Shklovski, I., Chang, M.F.: Urban computing: Navigating space and context. *Computer* 39(9) (2006) 36–37 Guest Editors Introduction of the Special Issue on Urban Computing.
- [3] Johanson, B., Fox, A., Winograd, T.: The interactive workspaces project: Experiences with ubiquitous computing rooms. *IEEE Pervasive Computing* (2002) 67–74
- [4] Román, M., Hess, C.K., Cerqueira, R., Ranganathan, A., Campbell, R.H., Nahrstedt, K.: Gaia: A middleware infrastructure to enable active spaces. *IEEE Pervasive Computing* (2002) 74–83
- [5] Kindberg, T., Barton, J.: A web-based nomadic computing system. *Computer Networks* 35 (2001) 443–456
- [6] Yura, J., Nakazawa, J., Tokuda, H.: Galaxy ds: Directory service for service composition based on smart space structure. In: Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05). (2005)
- [7] Chen, H.: An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-Aware Systems". PhD thesis, University of Maryland, Baltimore County (2004)
- [8] Marsá-Maestre, I.: A hierarchical, agent-based architecture for smart spaces. Technical Report TR-2006-101, Grupo de Ingeniería de Servicios Telemáticos, Universidad de Alcalá (2006) Available at <http://www.it.aut.uah.es/ist/papers/TR2006-101.pdf>.
- [9] Marsá-Maestre, I., López, M.A., Velasco, J.R., Navarro, A.: Mobile personal agents for smart spaces. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Services 2006 (ICPS 2006), Lyon, France (2006) 299–302.
- [10] Marsá-Maestre, I. et al: A practical approach to user location awareness in smart homes using bluetooth. In: Proceedings of 1st Iberoamerican Congress on Ubiquitous Computing (CICU 2005). Alcalá de Henares, SPAIN. 2005