



---

## NOTAS Y EXPERIENCIAS / NOTES AND EXPERIENCES

---

### Sistema Inteligente de Detección y Orientación de usuarios en Bibliotecas

Bonifacio Castaño\*, Yolanda E-Martín\*\*, M. Dolores R-Moreno\*\*, Luis Usero\*\*\*

\*Dpto. de Matemáticas, Universidad de Alcalá, Madrid, España. Correo-e: [bonifacio.castano@uah.es](mailto:bonifacio.castano@uah.es)

\*\*Dpto. de Automática, Universidad de Alcalá, Madrid, España. Correo-e: [{yolanda,mdolores}@aut.uah.es](mailto:{yolanda,mdolores}@aut.uah.es)

\*\*\*Dpto. de Ciencias de la Computación, Universidad de Alcalá, Madrid, España. Correo-e: [luis.usero@uah.es](mailto:luis.usero@uah.es)

Recibido: 29-11-2011; 2ª versión: 02-02-2012; Aceptado: 09-05-2012.

**Cómo citar este artículo/ Citation:** Castaño, B.; E-Martín, Y.; R-Moreno, M.D.; Usero, L. (2013). Sistema Inteligente de Detección y Orientación de usuarios en Bibliotecas. *Revista Española de Documentación Científica*, 36(1):en003. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2013.1.916>

**Resumen:** Los dispositivos de **identificación por radiofrecuencia** (*Radio Frequency IDentification*, en adelante RFID) son usados desde finales de los años noventa en el entorno de bibliotecas para la gestión del inventario, control de catálogos, seguridad, préstamo y devolución. Durante este tiempo han demostrado ser un componente que, con una inversión moderada, mejora multitud de capacidades tanto para el bibliotecario como para el usuario. En este artículo se expone una nueva funcionalidad con RFID para bibliotecas que ha sido implantada de forma experimental en la Biblioteca Municipal de Meco (Madrid). Su objetivo es abordar un problema común que sufren los usuarios en bibliotecas con diferentes alturas y múltiples espacios: la correcta localización de los libros y la orientación por el edificio. Para solventar este problema se ha desarrollado una aplicación bautizada como SIGUEME (Sistema Inteligente de Guiado para Entornos Multiusuario Extensos). El sistema permite la detección de las personas por el edificio y el guiado personalizado por el mismo gracias a la visualización de la información en pantallas. Para evitar el cableado, se ha utilizado un sistema de comunicaciones inalámbrico basado en la tecnología Zigbee.

**Palabras clave:** RFID; bibliotecas; servicios bibliotecarios; planificación; inteligencia artificial; Zigbee.

#### Intelligent System for Detection and Guidance of users in Libraries

**Abstract:** Since the late nineties, Radio Frequency IDentification (RFID) manages library catalogs, loans, returns and security. RFID, with a moderate investment, improve the capabilities of both, librarian and user. This paper presents a new use for RFID to determine where a book is located and the shortest route to it in libraries with multiple levels and rooms. An application named SIGUEME (Sistema Inteligente de Guiado para Entornos Multiusuario Extensos; Intelligent System to Guide for Multiuser Extensive Environments) was implemented experimentally in the Meco's public library (Madrid). The system allows people detection and customized guiding in the building thanks to different screen placed in strategic points. We have developed a wireless communications system based on Zigbee technology that eliminates the need of wires.

**Keywords:** RFID; libraries; library services; planning; artificial intelligence; Zigbee.

**Copyright:** © 2013 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-Non Commercial (by-nc) Spain 3.0.

## 1. INTRODUCCIÓN

RFID es una tecnología de identificación por radio frecuencia (Radio Frequency IDentification). Consiste en un dispositivo lector vinculado a un detector activo, que se comunica a través de una antena y mediante ondas de radio, con una etiqueta electrónica o *tag* adherida a un objeto y, generalmente, pasiva. De esta forma, en ciertas condiciones de proximidad, es posible rastrear la presencia del objeto portador de la etiqueta.

Las primeras aplicaciones de RFID datan de la segunda guerra mundial para discernir en el radar si un avión detectado era amigo o enemigo. Las primeras aplicaciones no bélicas datan de la década de 1950 donde RFID se empieza a utilizar para acceso a edificios y detección de hurtos (Finkenzyler, 2003).

El primer proyecto para implantar RFID en una biblioteca es de 1998 en *The Library of Rockefeller University in New York* (Singh y otros, 2006). Un poco después, en 1999, *The Farmington Community Library* fue la primera biblioteca pública en utilizar tecnología RFID (Smart, 2004). Posteriormente RFID se implantó en Reino Unido y Japón. También merece la pena citar el caso de la biblioteca del Vaticano en la cual se implantó RFID para facilitar la gestión de su extensa y compleja colección (Libbenga, 2004).

En España se puede citar como pionera a la biblioteca del Centro de Humanidades y Ciencias Sociales de Madrid (Gómez-Gómez y otros, 2007) que forma parte de la Red de Bibliotecas del CSIC, y es el resultado de la fusión de las ocho bibliotecas del área de ciencias humanas y sociales que el Consejo Superior de Investigaciones Científicas tenía en la ciudad de Madrid hasta el año 2007 (Martínez y Pérez-Montes, 2008) (Martínez, 2009).

El origen común del uso de tecnología RFID en bibliotecas fue mejorar el inventario de libros disponibles y evitar su hurto. Pero RFID combinado con otras tecnologías podría resolver otro tipo de problemas. Por ejemplo, un problema común que sufren los usuarios en grandes bibliotecas de diferentes alturas y múltiples espacios, es la correcta localización de los libros y la orientación por el edificio. Un modo de resolver este problema es dotar con sistemas inteligentes a los edificios que detecten y orienten a los usuarios. Esto, entre otras cosas, proporcionaría una forma de conocer, en todo momento, el número de usuarios en el edificio y la posibilidad de su localización dentro de él.

Este problema ha sido resuelto de forma experimental en la Biblioteca Municipal de Meco (Madrid) gracias a un sistema que ha sido bautizado como SIGUEME (Sistema Inteligente de Guiado para Entornos Multiusuario Extensos). Desde un punto de vista general, el sistema trabaja de la siguiente forma: cuando un usuario llega a la biblioteca normalmente se encuentra al personal del punto

de información de la biblioteca, allí es identificado, se verifican los libros que tiene pendientes y los que va a buscar mediante su carné de biblioteca que dispone de un identificador RFID. La figura del personal del punto de información de la biblioteca, en horarios no laborales, podría incluso ser sustituida por un sistema de préstamo y devolución automático, en el cual se podrían realizar las mismas gestiones, con la ventaja de hacerlo en cualquier horario.

En esta primera implementación de SIGUEME en Meco, el usuario puede teclear el libro o libros que desea buscar, o elegir una de las salas que quiere visitar, a través del ordenador central en el puesto de control. De forma automática los libros quedan localizados en la sala correspondiente si el bibliotecario ha pasado el libro por la puerta de la sala correspondiente, o previa introducción manual del libro. Tanto como si el usuario quiere buscar un libro, como una sala en concreto, el proceso es el mismo en ambos casos, ya que buscar un libro supone buscar la sala correspondiente. Los planes de rutas se generan en el orden en el que el usuario ha elegido el/los libros o salas de lectura. La meta se considera conseguida si el usuario ha alcanzado la sala donde se encuentra el libro o la sala de lectura que ha marcado. Una vez que el usuario ha decidido cuál es el libro(s) que quiere obtener, el sistema ubica el libro(s) y se genera una ruta a seguir desde la situación en la que se encuentra el lector hasta el lugar donde está el libro. Además, el visitante es ayudado a encontrar su destino gracias a los diferentes sistemas de visualización y guiado ubicados por el edificio. El usuario será guiado tantas veces como sea necesario para ir encontrando los libros que busca, o simplemente las salas de lecturas que quiere visitar. El usuario será guiado tantas veces como sea necesario hasta que termine todas las búsquedas.

Las posibilidades de este sistema no sólo se limitan al guiado, sino que puede ofrecer gran cantidad de datos o estadística sobre la utilización del servicio para el bibliotecario, así como a las entidades públicas o privadas que lo financian. Este trabajo se realiza manualmente, y en cambio, nuestra aplicación puede generar en cuestión de segundos y de forma automática, cualquier tipo de estadísticas, ahorrando tiempo a los empleados de la biblioteca, y, por tanto, justificando la utilización de este sistema.

Este artículo está estructurado de la siguiente forma. La sección 2 describe las tecnologías utilizadas en la aplicación instalada en la biblioteca Municipal de Meco. A continuación, la secciones 3 y 4 explican en detalle la arquitectura y funcionamiento de nuestro sistema, destacando las principales diferencias con implementaciones anteriores propias. La sección 5 presenta la experimentación llevada a cabo. Y por último, se describen las conclusiones de nuestro trabajo derivadas de la experiencia obtenida durante la instalación de este sistema en un entorno real.

## 2. USO DE RFID APLICADO A BIBLIOTECAS

Como se ha comentado con anterioridad, la tecnología RFID está muy extendida, se usa en industria, transporte, aeropuertos, trazabilidad, etc.

RFID utiliza tres elementos fundamentales: una etiqueta electrónica o *tag*, un lector de etiquetas o *reader* y una base de datos. Los *tags*, incorporan una microantena, y un microchip de silicio, que contiene un código único de identificación de la tarjeta y, con ello, del objeto al cual están adheridas. El lector, envía ondas de radiofrecuencia a la etiqueta electrónica, que ésta capta a través de su microantena. Las ondas emitidas por el lector activan el microchip que, a través de la microantena y mediante ondas de radio, transmite al *reader* el código único vinculado a ella y al objeto. Una vez el lector recibe el código lo transmite a la base de datos, de modo que se hace posible conocer la identidad del objeto.

En el marco de las bibliotecas existe un gran número de aplicaciones que hacen uso de esta solución tecnológica, por lo que profundizar en este aspecto sería muy extenso, y de ahí que nos centremos únicamente en sus principales usos en el ámbito bibliotecario, que son los siguientes: (Edwards y Fortune, 2008) (Martínez y Pérez-Montes, 2008):

- Conversores de etiquetas de barras a RFID.

Se dispone de diferentes conversores de código de barras a microchip RFID diseñados para facilitar el proceso de migración a la tecnología RFID. Con estos dispositivos, una biblioteca que utiliza códigos de barras puede efectuar la transición a etiquetas RFID, mientras los clientes sacan y devuelven materiales. El sistema de conversión de códigos de barras a RFID reduce la cantidad de tiempo, trabajo y costos que requiere la migración de una colección bibliotecaria entera del código de barras a RFID. Puede integrarse el lector de códigos de barras con una impresora de etiquetas en un carrito móvil, o dispositivos conectados a pc, según necesidades.

- Lectores portátiles.

Para la gestión de la biblioteca y la búsqueda de manuales dispersos, así como para revisar la colocación de los manuales, se dispone de un equipo portátil de lectura de dispositivos RFID. Este lector portátil, generalmente, está formado por una antena portátil y un asistente digital personal (*personal digital assistant* o PDA). El personal encargado del catálogo, equipado con este dispositivo, puede recorrer las diferentes salas de forma que la antena vaya detectando los identificadores RFID de todos y cada uno de los libros y enviando los datos a la PDA. Esta última, comprueba la correcta ubicación de todos los ejemplares, puede avisar de la presencia de un material determinado o de situaciones de colocación indebida de algún elemento (en este

caso podría conducir al operario al lugar correcto donde ese objeto debe ubicarse).

- Estaciones de autopréstamo y devolución.

El usuario de la biblioteca que desea sacar un libro puede realizar las gestiones de forma autónoma. Una vez elegido el objeto, el lector debe buscar la estación de autopréstamo y realizar las gestiones oportunas, que suelen ser aproximar su carné de biblioteca y el libro a retirar. La estación, lee los dispositivos RFID tanto del carné del usuario como del libro, y se comunica con la base de datos de la biblioteca verificando y actualizando los datos. Entonces decide el préstamo del libro, siempre y cuando no sea de solo lectura en sala y el usuario del carné no tenga algún tipo de suspensión. Al mismo tiempo, la estación de autopréstamo desactiva la opción de antihurto, para que no salte la alarma al cruzar las puertas de seguridad, y le indica al usuario el plazo de préstamo junto con la fecha de devolución, pudiendo, incluso, emitir un justificante para su almacenamiento.

- Arcos de seguridad.

Este tipo de dispositivos pueden colocarse en cualquier punto del recinto de la biblioteca para detectar el paso de cualquier material catalogado por el punto en el que se encuentre. La ubicación más común es en la entrada y salida de la biblioteca para controlar el tránsito de cualquier elemento identificado entre el exterior e interior del centro. El uso principal de estos arcos es determinar si cada uno de los libros detectados ha sido prestado o no, leyendo el byte asignado para esta función. En el caso de leer una etiqueta con el indicador antihurto activo, la puerta emite un sonido y una luz de color rojo parpadea para alertar al bibliotecario del mostrador de la entrada sobre la existencia de una situación anómala. En el caso de leer una etiqueta cuyo indicador antihurto está desactivado, la puerta permanece inactiva. Aunque este sistema no es peor que otras tecnologías para evitar el robo, tiene ciertas deficiencias como la posibilidad de anular la etiqueta con una gruesa capa de papel de aluminio (Boss, 2003).

- Préstamo automático:

Existen aparatos que permiten al usuario realizar de manera completamente autónoma la solicitud de préstamo, siendo necesario únicamente acercarse su carné y el libro o libros que desea extraer. La estación aceptará el préstamo si se cumplen ciertas condiciones impuestas previamente, bien sea la no suspensión del usuario o que el libro no esté calificado como de consulta sólo en el interior de la biblioteca.

- Devolución automática:

La devolución de documentos con este sistema resulta aún más sencilla ya que el usuario, sin necesidad de identificarse, al existir una relación unívoca con el préstamo, no ha de presentar el carné

y sólo ha de depositar el libro en un buzón de recepción. El sistema detectará la etiqueta del libro y realizará las transacciones necesarias para reflejar su entrada.

### 3. TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

Hasta aquí, se ha presentado el uso habitual de la tecnología RFID y de los dispositivos portátiles de lectura RFID en bibliotecas. En este artículo se da un paso más, combinando esta tecnología con técnicas de Inteligencia Artificial, con el objetivo de mejorar y personalizar los servicios a los usuarios. Para ello, se introduce un dispositivo RFID pasivo en la propia tarjeta de usuario de la biblioteca. Además, se sitúan varios sistemas de detección RFID (arcos RFID), en lugares especialmente elegidos de la biblioteca, que utilizan la tecnología inalámbrica Zigbee para intercomunicarse. El uso de un sistema inalámbrico de comunicaciones tiene varias ventajas, siendo la más interesante que no necesita instalar un cableado dedicado. Este hecho, además, permite la reubicación de los arcos de detección cuando sea necesario. En los siguientes subapartados se explican brevemente las distintas tecnologías utilizadas en este proyecto, además de RFID.

- Zigbee.

La tecnología Zigbee es un estándar de comunicaciones inalámbricas basado en IEEE 802.15.4, que se centra en la automatización y control remoto para aplicaciones que requieren comunicaciones con baja tasa de envío de datos, bajo consumo de energía y bajo coste, de manera segura y fiable. Una de las motivaciones en el desarrollo de Zigbee fue permitir la interoperabilidad entre dispositivos fabricados por distintas compañías. Es decir, permite la interconexión y funcionamiento conjunto entre diferentes sistemas, de manera compatible. Por eso, su principal característica es su capacidad para comunicar varios dispositivos permitiendo que trabajen de un modo más eficiente entre sí.

- Planificación Automática.

La planificación automática es una importante rama de la Inteligencia Artificial que estudia la búsqueda de un conjunto de acciones cuya ejecución alcance unos objetivos determinados partiendo de un estado inicial (Russell y Norvig, 2009). Un sistema de planificación clásico o determinista necesita dos entradas para dar una respuesta a un problema: un dominio, donde se especifican las acciones que se pueden llevar a cabo, y un problema, que define los actores disponibles, el estado inicial del problema y las metas que se quieren alcanzar. Ante estas entradas, el planificador proporciona una solución que consiste en una secuencia ordenada de acciones, que tras su ejecución, permiten alcanzar el estado final deseado dada una situación inicial particular. Aunque también es posible que el pla-

nificador falle y no encuentre solución al problema deseado. Los lenguajes empleados en planificación automática se basan en lógica proposicional. El más destacado es PDDL (Gerevini y Long, 2005). Existe gran variedad de sistemas de planificación determinista que realizan la búsqueda de la solución basándose en diferentes técnicas y algoritmos. Los más utilizados son los basados en funciones heurísticas, grafos de planificación y satisfacción de restricciones basado en lógica proposicional.

### 4. SISTEMA INTELIGENTE DE DETECCIÓN Y GUIADO: SIGUEME

Tradicionalmente, era necesario contactar con el documentalista de la biblioteca, o hacer una búsqueda vía web, para informarnos del manual a buscar y localizarlo en las diferentes salas. Con la aplicación SIGUEME (R-Moreno y otros, 2011) incluimos elementos software y hardware para resolver el problema de detección, orientación y guiado, de forma personalizada, de los distintos usuarios que acudan a las dependencias de la Biblioteca Municipal de Meco. Hasta su implantación en Meco, SIGUEME había sido utilizado en pruebas de simulación realizadas en ordenador con soporte experimental de un prototipo desarrollado únicamente en el laboratorio. Pero lo que describimos en este artículo, se trata de una experimentación en un recinto concreto y una aplicación real con usuarios reales. También hemos tenido que solucionar problemas de interferencias y comunicación de las puertas RFID y Zigbee, que no se presentaban en los prototipos desarrollados en el laboratorio.

La Biblioteca Municipal de Meco no se caracteriza por su gran tamaño, de hecho se puede calificar como biblioteca "pequeña", pero ha servido para probar nuestro prototipo, extensible a grandes superficies gracias a la utilización de tecnología inalámbrica de largo alcance como es Zigbee, que permite reducir enormemente el cableado por el edificio. El sistema está formado por cinco módulos, cada uno con una misión bien definida, y combinados en un sistema global que coordina y controla todo el conjunto de elementos.

- Módulo de detección.

Se compone por una parte, de un conjunto de arcos RFID ubicados en diferentes puntos estratégicos del edificio y que se han elegido por ser lugares de paso para salas de lectura, zonas de préstamo o zonas de acceso a información de los libros en la biblioteca y por otra del conjunto de los carnés de los usuarios de la biblioteca con sus dispositivos RFID insertados. Con estos dos elementos, es posible identificar a cualquier usuario cada vez que pase por cualquiera de los arcos RFID instalados. Además, cuando un usuario busca un libro, bien para su lectura o para su préstamo, la aplicación podrá saber dónde se encuentra dicho libro y por tanto el arco RFID asociado que detectará si el usuario ha llegado a la sala donde se encuentra.

- Módulo de Información.

Uno de los principales problemas con los que tiene que enfrentarse cualquier usuario cuando visita un edificio es la falta de información y señalización que pueda guiarle de forma personalizada a la zona donde está el libro/sala que él/ella busca. Generalmente, el usuario se tiene que enfrentar en sus primeras veces a un inmenso entorno que no conoce, y en el que se encuentra desprotegido. Las paradas a lo largo del camino para preguntar o buscar la localización del lugar al que uno se dirige, están, seguro, en la mente de todos.

Para resolver esta situación, este módulo se encarga de visualizar la información sobre la dirección que debe seguir cada usuario, utilizando para ello pantallas LCDs colocadas en lugares visibles y generalmente, en bifurcaciones, sobre todo en aquellos puntos en los que hay varias posibilidades y se debe tomar una decisión. La información que se visualiza es: el identificador de usuario (un número de cuatro cifras, ya que por razones de privacidad no se muestra ni su nombre ni sus apellidos), y un mensaje de orientación (que será diferente dependiendo del punto en el que se encuentra el visitante). La biblioteca de Meco sólo consta de dos plantas, la del nivel inferior, a nivel de la entrada de la biblioteca, y una superior. Obviamente, esta información sólo se muestra en aquellas pantallas que por la situación del lector son susceptibles de ser leídas por éste.

- Módulo de Comunicaciones.

Este módulo se encarga de gestionar la transmisión de toda la información proveniente de los arcos RFID, cuando detectan a los distintos usuarios, y la información que se debe mostrar en pantalla a los usuarios que se mueven por el edificio. Para ello, se utiliza una red Zigbee con los nodos situados a lo largo del edificio en los lugares idóneos. Este módulo de comunicaciones se ha creado específicamente para probar SIGUEME en la biblioteca de Meco. Esta red se encarga de recibir y enviar información al sistema de forma muy eficiente. El empleo de este sistema Zigbee permite evitar el cableado del edificio y reubicar los elementos de la red con facilidad. Este módulo permite la comunicación del módulo de detección con el sistema de control y con el de guiado, y es el responsable de transmitir la información entre el módulo de guiado y el módulo de información.

- Módulo de Guiado.

Este módulo está formado por un sistema de planificación inteligente que calcula, bajo demanda, el camino a seguir entre dos puntos determinados. En este caso, el punto origen es aquel en el que se encuentra el usuario, y el destino es el lugar donde se encuentra el libro o la sala de lectura que el usuario tiene intención de visitar. Este guiado se realiza gracias a los diferentes sistemas de visuali-

zación ubicados por el edificio tal y como se explicó en el Módulo de Información.

Mientras la persona camina por la biblioteca, pasa a través de diferentes detectores de RFID sin darse cuenta. Sin embargo, cada vez que pasa a través de un arco de RFID el sistema lo detecta y calcula su posición, comprobando si la dirección de movimiento es adecuada (sigue la ruta inicialmente diseñada) o no (en dicho caso habría que calcular una nueva con su posición actual). Para ello se utiliza el sistema de planificación PIPSS (Plaza y otros, 2008).

PIPSS está basado en PDDL y por tanto requiere, como se ha expuesto en la sección anterior, de dos ficheros de entrada: el fichero de dominio y el fichero de problema. El primer fichero contiene las acciones que pueden realizar los usuarios por el edificio basado en el mapa de colocación de los arcos RFID, y donde cada acción tiene precondiciones y efectos, y éstos a su vez pueden ser efectos de añadido o efectos de borrado. Por tanto, la planificación sólo dará como resultado los puntos por los que el usuario puede moverse, y que coincidirán con la situación de los arcos RFID, lo que pase entre dos arcos no se puede detectar. Una vez definidas las acciones de movimiento de los usuarios, se tiene que definir el fichero del problema que contendrá toda la información de todos los usuarios. Es decir, contendrá la información de posicionamiento de cada persona. Por ejemplo si queremos definir que Ana se encuentra en la sala de entrada utilizaríamos el siguiente predicado (persona\_en\_sala Ana SEntrada). También en esta parte del fichero, se representan las conexiones entre las distintas partes del edificio, por ejemplo, la sala de entrada está conectada con la sala 1, para ello se utilizaría el predicado (conectada SEntrada Zona1) Y como objetivos que se quieren conseguir son: que Ana llegue a las sala de lectura o que María que está en la sala de lectura, abandone el edificio. Como resultado, PIPSS genera un plan individualizado para cada usuario.

- Módulo de Control.

Es el encargado de supervisar que toda la información que viene de los arcos RFID se traduzca en los correspondientes predicados que necesita el planificador para realizar un plan. De esta forma, el usuario será guiado tantas veces como sea necesario hasta que termine todas las búsquedas. Durante sus movimientos en el edificio, el visitante puede despistarse, en este caso, este módulo detectará esta situación y corregirá el error. Con el fin de resolver el problema, el planificador genera un nuevo plan para el usuario de la biblioteca, y se le informará de la forma habitual, es decir, a través del sistema de pantallas. Además, este módulo se encargará de traducir el plan dado por el planificador al sistema de visualización que requiere el módulo de información.

## 5. EXPERIMENTACIÓN REALIZADA EN LA BIBLIOTECA

La experimentación llevada a cabo en la Biblioteca Municipal de Meco ha consistido en la instalación completa del sistema SIGUEME, con todos sus módulos, en la misma. Aunque se trata de una biblioteca pequeña, reúne las condiciones básicas para realizar todas las pruebas necesarias para la instalación, desarrollo, puesta a punto y recolección de datos del sistema. Esto ha hecho posible realizar una prueba completa de todos los aspectos del funcionamiento de SIGUEME.

El programa de gestión de todo el experimento está instalado en el ordenador central que se coloca en el puesto de control, inmediatamente antes de la puerta de entrada al recinto de la biblioteca. Todos los lectores deben pasar a través de este punto antes de entrar en la misma. Aquí, son reconocidos mediante su tarjeta de lector, se registra su identificador RFID en el sistema, se determina su sala de destino y se les asigna un número de usuario (generalmente de 4 cifras), asociado a la tarjeta RFID que llevan. Este número les permitirá reconocer los mensajes que el módulo de información les envíe a través de las pantallas informativas instaladas en su camino. En este ordenador central se registran todas las señales producidas por el paso de los usuarios a través de las puertas RFID, y se envían los mensajes a las pantallas informativas. También se ejecuta el programa de planificación que constituye el sistema de guiado.

La biblioteca, como recinto físico, dispone de cuatro salas distribuidas en dos niveles. En el primer nivel, el piso bajo, se encuentra el acceso a la sala principal (esta sala se denominará la sala 1) y que actúa tanto de entrada como de salida a la biblioteca. Una vez en esta sala 1, se accede, de forma única e independiente, al resto de las salas. Dos de ellas se encuentran al mismo nivel que la sala principal. Estas son: la sala 2 dedicada a la literatura infantil y la sala 3 de literatura juvenil. La sala 4 está en una planta superior, a la que se accede por una escalera, y es de carácter generalista.

La disposición del edificio hace que sea muy sencillo dividirlo en zonas disjuntas (cada sala corresponde a una zona) y controlar el acceso a cada una de estas mediante un detector RFID de tipo puerta formado por dos arcos. El hecho de que exista una sala central, la sala 1, que sea el paso obligado desde la entrada a cualquiera de las otras, y que, además, comunique el resto de las dependencias de la biblioteca entre sí, permite controlar el tránsito de los usuarios con cuatro puertas RFID. Cada una de estas puertas tiene un número de identificación independiente, formado por 16 cifras hexadecimales, y ocupa la misma posición durante todo el desarrollo de las pruebas de funcionamiento. Obviamente, desde un punto de vista operativo, a cada puerta se le asigna un número, de 1 a 4, para distinguirlas con más facilidad.

La disposición y funcionamiento de las puertas en el recinto es la siguiente:

- La puerta 1 está colocada a la entrada de la biblioteca e inmediatamente después del punto de control de acceso del sistema. Nada más pasar esta puerta, existe una pantalla informativa que indica a cada persona que la atraviesa la dirección que debe tomar para llegar a su destino.
- La puerta número 2 está colocada en el camino de acceso entre las salas 1 y 2. Todos los visitantes que accedan a la sala 2 deberán atravesar la puerta 2, tanto cuando entran como cuando salen. Una pantalla informativa colocada a continuación de la puerta indica a la persona que la acaba de pasar que ha llegado a su destino o que ha cometido un error.
- La puerta 3 está en la entrada de la sala 3 desde la 1, y es el único camino de comunicación, entre dichas salas. También dispone de una pantalla informativa con un funcionamiento análogo a la de la sala 2.
- La puerta 4, entre las salas 1 y 4, se coloca en la parte superior de las escaleras con el ánimo de asegurar que la persona que la atraviesa ha entrado realmente en la sala 4. En esta sala también existe una pantalla informativa.

De esta forma, la sala 1 está delimitada por 4 puertas RFID y cada una de las otras salas por una sola puerta. Como hecho curioso, que permite detectar fallos en el sistema de detección, se puede decir que cualquier persona que transite por la biblioteca deberá dejar un número par de señales en el sistema SIGUEME. También es importante mencionar que la alimentación de todas las puertas RFID se ha hecho mediante la propia instalación eléctrica de la biblioteca.

Una vez establecido el módulo de detección se ha instalado el módulo de comunicación basado en la tecnología Zigbee. Este sistema está especialmente indicado en un caso como el de la Biblioteca Municipal de Meco porque es un recinto muy diáfano y en el que las distancias son de tamaño medio. Además, el consumo de energía es bajo, no necesita cableado, y la cantidad de información que tiene que transmitirse no es muy elevada aunque se pueden necesitar una gran cantidad de envíos.

El elemento principal de este sistema, el coordinador Zigbee, se conecta a uno de los puertos serie del ordenador central. Este coordinador es el encargado de encauzar toda la información registrada en los detectores y transmitida, de forma inalámbrica, por la red hacia el módulo de control. Cada uno de los detectores RFID está conectado con un *end device* (dispositivo final) que son los encargados de recibir la información recogida por el sistema de detección y enviarla hasta el ordenador central a través de los routers Zigbee. Asimismo, las pantallas informativas reciben la información que deben presentar a través de un dispositivo final conectado

a ellas. Estos dispositivos finales tienen la propiedad de permanecer inactivos (dormidos) cuando no reciben ninguna información. Por último, la red inalámbrica ZigBee se configura con un conjunto de routers, colocados en lugares estratégicos, para asegurar que la información se transmite correctamente.

Una vez que todo el sistema está colocado (el ordenador central, las puertas, las pantallas y los routers) y funcionando, es necesario decidir cuáles serán los datos que se deben transmitir. Estos datos son de dos tipos: los resultantes de la detección del paso de los usuarios por cada una de las puertas RFID, y los mensajes que el sistema de orientación envía a las pantallas informativas. Además de estos datos, también se debe transmitir la información necesaria para el control de la red y el mantenimiento de las comunicaciones entre los diferentes dispositivos que conforman el sistema.

Los datos que el sistema de detección recoge y transmite al módulo de control cada vez que un lector pasa por una puerta RFID son los siguientes: un identificador del tipo de dato transmitido (2 caracteres), el número de la puerta atravesada (4 caracteres), la fecha (con el formato ddmmaa), la hora (hhmmss) y el identificador RFID de la tarjeta que porta el usuario (16 caracteres). Esta información se almacena en un registro de 34 caracteres y tiene el siguiente aspecto: **RM7970040411180139E-9AF220100000001**. Cada vez que uno de estos mensajes se recibe en el módulo de control, el sistema comprueba la posición del lector, verifica si está de acuerdo con el destino de éste y le envía el mensaje informativo a la pantalla correspondiente. Para personalizar el mensaje dirigido a cada usuario se utiliza un número identificativo de cuatro caracteres, asociado a la tarjeta RFID, y que solamente el usuario debería conocer. Este tipo de mensajes informativos son más abiertos y deben adaptarse, en cada caso, a la disposición de la biblioteca. Por ejemplo, si el usuario 0001 acaba de entrar atravesando la puerta 1, y su destino es la sala 2, el mensaje que recibiría es: **Lector 0001 Gire a la derecha**. En algunos casos, dependiendo de la disposición física del edificio, puede ocurrir que el usuario necesite también las informaciones locales, en forma de carteles o paneles, para completar su orientación. Por otro lado hay que mantener un compromiso entre la longitud del mensaje y su precisión. Esto es importante, sobre todo, cuando hay que utilizar una pantalla para dar indicaciones a muchos visitantes. En estos casos se utiliza un sistema de renovación de mensajes cíclico en el que los últimos usuarios en acceder a la zona de la pantalla van apareciendo en los primeros lugares. Obviamente, una vez que un lector abandona una zona, atravesando alguna de las puertas RFID que la delimitan, la pantalla correspondiente lo elimina de su lista.

La totalidad del sistema descrito se ha instalado de forma completa, se han hecho pruebas de fun-

cionamiento y se han tomado datos durante una semana (cuatro horas de la tarde ya que ese es horario de apertura de la biblioteca a los usuarios). Los datos que se han recogido son de tres tipos:

1. En primer lugar, se pueden llamar de tipo experimental. Estos datos se refieren a las pruebas de que el sistema está funcionando correctamente y transmitiendo los mensajes de paso de los usuarios por las distintas puertas RFID de forma rápida y correcta. Para este tipo de pruebas se utilizan tarjetas RFID que se pasan varias veces consecutivas por la misma puerta y, con ello, se determina que la puerta está funcionando bien. Estos datos se reconocen porque indican pasos sucesivos a través de la misma puerta en periodos cortos de tiempo.
2. En segundo lugar, datos reales sin guiado. Este tipo de datos registra el paso de los diferentes lectores, entre las diferentes salas de forma espontánea, esto es, sin tener en cuenta su destino. Con estos datos se puede averiguar el aforo de cada sala en función del tiempo, los valores de ocupación media de cada sala, el tiempo medio de estancia de los usuarios en la biblioteca, etc. Estos datos están siendo analizados en la actualidad y, por ejemplo, en la figura 1 se muestra el histograma de tiempo máximo de estancia de los lectores en intervalos de 15 minutos. Para esta gráfica se han elegido 100 personas al azar. Como se puede comprobar, prácticamente la mitad de los visitantes de la biblioteca permanecen en ella menos de 15 minutos. Estos son, obviamente, los que utilizan el servicio de préstamo.
3. En tercer lugar, se han tomado datos de los visitantes moviéndose a través de las diferentes salas de la biblioteca de acuerdo con las instrucciones de guiado. En este caso, el objetivo principal de esta experimentación ha sido constatar que el sistema generaba indicaciones correctas, tanto a la hora de confirmar el itinerario de un visitante como al corregirle. En la mayoría de los casos se ha podido comprobar que SIGUEME proporcionaba toda la información necesaria para dirigir a los visitantes. En general, las causas de funcionamientos erróneos se han debido principalmente a distracciones por parte de los usuarios y, en menor medida, a errores esporádicos de detección de las tarjetas RFID.

Otra aplicación interesante de este sistema es que permite conocer la ubicación de los lectores que todavía permanecen en la biblioteca a la hora de cerrar.

En lo que respecta a la parte económica de la inversión, el coste de implantación de este sistema en bibliotecas o centros de gran tamaño está directamente relacionado con el número de puertas RFID que se necesiten. El resto de los elementos: ordenador central, sistema de comunicación Zigbee

**Figura 1.** Tiempo de los usuarios en la biblioteca



(los Routers y *end-devices* son baratos), software de control y planificación, tienen prácticamente el mismo coste independientemente del tamaño de la biblioteca.

## 6. CONCLUSIONES

En este artículo se ha demostrado la potencia del uso de la tecnología RFID para la potencialización y optimización de los servicios que se pueden ofrecer a los usuarios en una biblioteca. El prototipo desarrollado combina tecnología inalámbrica (RFID y Zigbee) con técnicas de Inteligencia Artificial (planificación automática) para detectar, orientar y guiar a los usuarios por la biblioteca y facilitarles encontrar los libros que desean prestar, o las salas de lecturas que desean acceder. Pero los beneficios no se limitan a los usuarios, sino también a los que facilitan el servicio, es decir, el personal de la biblioteca. Gracias a SIGUEME, los bibliotecarios pueden generar de forma automática estadísticas de uso de las instalaciones, libros, uso por edad, etc., datos que son requeridos periódicamente por los organismos competentes.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en este artículo no es sólo obra de las 4 personas que lo firmamos. No hubiera sido posible sin la colaboración y dedicación de las siguientes personas: Jesús A. Villalobos, Melquíades Carbajo y Patricia Iturriaga en el desarrollo del sistema de comunicaciones RFID y Zigbee, y Pablo Muñoz, Daniel Díaz y Miguel Doctor, por su colaboración en la instalación en la Biblioteca Municipal de Meco.

También queremos expresar nuestro agradecimiento a las personas del ayuntamiento de Meco que nos han ayudado en esta empresa. En primer

lugar a Olga Guisado Fernández, Coordinadora de Juventud, por haber sido la persona imprescindible que nos ha conectado con Meco y su Biblioteca Municipal, al Concejal de Cultura Francisco Javier Moreno Carlavilla por haber confiado en nuestra idea y facilitarnos el acceso a las instalaciones, a la bibliotecaria María del Carmen Calvo Calvo y su ayudante María del Carmen Jarillo Martínez que nos han permitido trabajar a su lado, nos han ayudado y nos han orientado en todas las cuestiones que hemos necesitado.

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos de Castilla-La Mancha PEII11-0079-8929 y PEII09-0266-6640. El equipo de investigación ha contado, en todo momento, con el apoyo y el beneplácito de la Junta de Castilla-La Mancha para decidir sobre la ubicación geográfica de este experimento.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Boss, R.W. (2003). *RFID Technology for Libraries*, American Library Association.
- Edwards, S., Fortune, M. (2008). *A Guide to RFID in Libraries*, Book Industry Communication, London.
- Finkenzeller, K. (2010). *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*. (3ª ed.) United Kingdom; John Wiley & Sons Ltd, p.462.
- Geverini, A.; Long, D. (2005). Plan Constrains and Preferences in PDDL3. The Language of the Fifth International Planning Competition. *Technical Report, Department of Electronics for Automation, University of Brescia, Brescia, Italia.*

- Gómez-Gómez, A.; Ena-Rodríguez B.; Priore, P. (2007). RFID en la gestión y mantenimiento de bibliotecas. *El profesional de la información*, vol. 16 (4), 319-328.
- Libbenga, J. (2004). Vatican library adopts RFID. [http://www.theregister.co.uk/2004/07/09/vatican\\_library\\_rfid/](http://www.theregister.co.uk/2004/07/09/vatican_library_rfid/)
- Martínez Olmo, M.P.; Pérez-Montes Salmerón, C. (2008). La Tecnología RFID aplicada a Bibliotecas. La experiencia de la Biblioteca Tomás Navarro Tomás. *X Jornadas de Gestión de la Información*, p.75-88. Madrid, España: SEDIC.
- Martínez Olmo, M.P. (2009). 20.000 metros cuadrados de viaje por las ciencias humanas y sociales. *Mi Biblioteca*, 18, 84-89.
- Plaza, J.; R-Moreno, M.D.; Castaño, B.; Carbajo, M.; Moreno, A. (2008). PIPSS: Parallel Integrated Planning and Scheduling System. *The 27th Annual Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group*, Edimburgo, Reino Unido.
- R-Moreno, M.D.; Castaño, B.; Carbajo, M.; Moreno, A.; F-Barrero, D.; Muñoz, P. (2011). Multi-Agent Intelligent Planning Architecture for People Location and Orientation using RFID. *Cybernetics and Systems*, vol. 42 (1), 16-32.
- Russell, S. J.; Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. (3ª ed.) New Jersey; Prentice Hall, Upper Saddle River, p.1148.
- Singh, J.; Brar, N.; Fong, C. (2006). The state of RFID applications in libraries. *Information Technology and Libraries*, 25, 24-32.
- Smart, L. (2004). The market place; Laura Smart gives a guide to the leading providers of integrated RFID solutions. <http://www.accessmylibrary.com/article-1G1-124007734/market-place-laura-smart.html>.