



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ARQUITECTURAS DE INTERNET DE LAS
COSAS PARA LA GESTIÓN DE
INFRAESTRUCTURAS EN CIUDADES
INTELIGENTES

Alejandro J. Sirvent Llamas



Tesis

Doctorales

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

DEPARTAMENTO TECNOLOGÍA INFORMÁTICA
Y COMPUTACIÓN
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

ARQUITECTURAS DE INTERNET DE LAS COSAS PARA LA GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS EN CIUDADES INTELIGENTES

ALEJANDRO J. SIRVENT LLAMAS

TESIS PRESENTADA PARA ASPIRAR AL GRADO DE
DOCTOR/DOCTORA POR LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

PROGRAMA DOCTORADO EN INFORMÁTICA

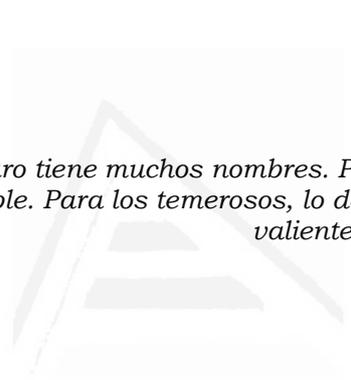
DIRIGIDA POR:

DR. HIGINIO MORA MORA
DR. VIRGILIO GILART IGLESIAS



A Susana, Hugo y Estela

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



*El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo
inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los
valientes es la oportunidad.*

Hugo, Victor

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

AGRADECIMIENTOS

Por fin parece que estoy terminando mi tesis doctoral, parece que fue ayer cuando me lo propusiste Virgilio, pensé que sería asequible para mí, que dedicándole un poco de mi escaso tiempo libre, lo conseguiría, pero me ha costado sudor llegar hasta aquí, no es fácil llevarla adelante con un trabajo de autónomo, donde siempre te están llamando, impartiendo y preparando asignaturas nuevas en la universidad y con una familia a la que dedicarle algo de tiempo. Para mí fue un reto que me propuse, ahora puedo decir que fue un gran reto y tras muchos esfuerzos parece que al final lo voy a lograr.

Quiero agradecer en primero lugar a mis directores de tesis Higinio y Virgilio, por el gran apoyo recibido durante la elaboración de mi tesis doctoral, ya que sin su ayuda esta tarea no habría sido posible. Desde el principio de este trabajo, me fuisteis mostrando el camino, gracias por la rapidez en contestarme a los correos, por esas reuniones que costaban encajar en los horarios de los tres. Se que me habéis encauzado lo mejor posible en la investigación, hasta en los últimos momentos antes de depositarla, pude contar con vosotros para que me guiaseis en los interminables trámites burocráticos, que no son pocos. Felo gracias por la revisión final, ahora te toca a ti con esto del doctorado.

De mi familia no me puedo olvidar, ya que, desde bien pequeño, me animaron a estudiar y nunca dudaron de mí, al final voy a ser Doctor mamá.

Hugo y Estela, perdón por esos momentos perdidos que no estuve en el parque o chutando a futbol. Por último, no me olvido de ti Susana, sin ti no hubiera llegado hasta aquí, gracias por ayudarme y apoyarme, incluso en los momentos en los que pensé en abandonar por no poder abarcar tantas cosas, gracias Susana, gran parte de esto te lo debo a ti.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

RESUMEN

Los Avances tecnológicos en los últimos años, han hecho posible extender el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) hacia nuevas aplicaciones, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Esta idea ha ido tomando importancia en las agendas políticas, así como en los servicios públicos. Los casos donde no existe ninguna planificación de desarrollo coherente con la gestión eficiente y sostenible de los recursos urbanos comienzan a denotar problemas reales.

Las Construcciones inteligentes en las cosas están tomando mayor importancia en el mundo que nos rodea, estas se conectan a la red para transferir datos sin requerir la interacción humana, esto es una tendencia actual de desarrollo tecnológico llamado Internet de las cosas (IoT), que nos permite conocer e interactuar mejor con nuestro entorno. Las tecnologías IoT, tales como detección, computación y comunicación móvil podrían ser empleadas para recopilar datos sobre el funcionamiento de una ciudad. En este sentido, cómo recoger los datos de interés es el principal desafío en la mayoría de los casos. Una vez obtenidos, otra cuestión importante consiste en conectar los sensores a la web para permitir una gestión basada en la nube y la consiguiente prestación del servicio. En este campo, el desarrollo de la infraestructura de sensores distribuidos es una de las áreas de investigación prominentes relacionadas con IoT.

Las TIC se presentan como el principal elemento para lograr una gestión más eficiente y sostenible de los recursos de una ciudad, mientras se asegura de que las necesidades de los ciudadanos para mejorar su calidad de vida queden satisfechas. Un elemento clave será la creación de nuevos sistemas que permiten la adquisición de información dentro del contexto, de forma automática y transparente, a fin de proporcionar ésta a los sistemas de toma de decisiones. En este trabajo, se presenta un modelo novedoso distribuido para la obtención, representación, que proporciona el flujo y la circulación de las personas en zonas geográficas densamente pobladas. Para llevar a cabo estas tareas, se propone un modelo sustentado sobre sistemas de adquisición de datos automáticos basados en tecnología RFID, modelos de fiabilidad y

técnicas de integración. Al contrario de otras propuestas, este modelo representa una solución completa que permite la adquisición de la información del usuario de una manera transparente y fiable en un entorno no controlado.

Este conocimiento será útil en el camino hacia el diseño de Ciudades Inteligentes, en el cual ayudará a la toma de decisiones sobre las estrategias de transporte, evaluación de negocios o iniciativas en el sector turístico, apoyándose en la real obtenida. Como resultado final, se presentará un caso de estudio, lo que permitirá la validación de la propuesta.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

RESUM

Els Avenços tecnològics en els últims anys, han fet possible estendre l'ús de les Tecnologies de la Informació i les Comunicacions (TIC) cap a noves aplicacions, amb l'objectiu de millorar la qualitat de vida dels ciutadans. La idea ha anat prenent importància en les agendes polítiques, Així Com en els serveis públics. Els casos on no existeix cap planificació de desenvolupament coherent amb la gestió eficient i sostenible dels recursos urbans comencen a denotar problemes reals.

Les Construccions intel·ligents en les coses estan prenent major importància en el món que ens rodeja, estes es connecten a la xarxa per a transferir dades sense requerir la interacció humana, açò és una tendència actual de desenrotllament tecnològic cridat Internet de les coses (IoT), que ens permet conèixer i interactuar millor amb el nostre entorn. Les tecnologies IoT, com ara detecció, computació i comunicació mòbil podrien ser empleades per a recopilar dades sobre el funcionament d'una ciutat. En este sentit, com arreplegar les dades d'interés és el principal desafiament en la majoria dels casos. Una vegada obtinguts, una altra qüestió important consistix a connectar els sensors a la web per a permetre una gestió basada en el núvol i la consegüent prestació del servici. En este camp, el desenrotllament de la infraestructura de sensors distribuïts és una de les àrees d'investigació prominents relacionades amb IoT.

Les TIC es presenten com el principal element per aconseguir una gestió més eficient i sostenible dels recursos d'una ciutat, mentres s'assegura de que les necessitats dels ciutadans per a millorar la seua qualitat de vida queden satisfetes. Un element clau serà la creació de nous sistemes que permeten l'adquisició d'informació dins del context, de forma automàtica i transparent, a fi de proporcionar esta als sistemes de presa de decisions. En este treball, es presenta un model nou distribuït per a l'obtenció, representació, que proporciona el flux i la circulació de les persones en zones geogràfiques densament poblades. Per a dur a terme estes tasques, es proposa un model sustentat sobre sistemes d'adquisició de dades automàtiques basats en tecnologia RFID, models de fiabilitat i tècniques d'integració. Al contrari d'altres

propostes, este model representa una solució completa que permet l'adquisició de la informació.

Este coneixement serà útil en el camí cap al disseny de ciutats intel·ligents, en el qual ajudarà a la presa de decisions sobre les estratègies de transport, avaluació de negocis o iniciatives en el sector turístic, recolzant-se en la real obtinguda. Com resultat final, un cas d'estudi es presentarà el que permetrà la validació de la proposta.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ABSTRACT

Technological advances in recent years have made it possible to extend the use of information and communication technologies (ICT) to new applications, with the aim of improving the quality of life of citizens. This idea has been gaining importance in political agendas as well as in public services. Cases where there is no development planning consistent with the efficient and sustainable management of urban resources begin to denote real problems.

Intelligent Constructions in things are becoming more important in the world around us, they connect to the network to transfer data without requiring human interaction, this is a current trend of technological development called the Internet of Things (IoT), which Allows us to know and interact better with our environment. IoT technologies such as sensing, computing and mobile communication could be used to collect data on how a city works. In this sense, how to collect the data of interest is the main challenge in most cases. Once obtained, another important issue is to connect the sensors to the web to allow a cloud-based management and the subsequent provision of the service. In this field, the development of the distributed sensor infrastructure is one of the prominent research areas related to IoT.

ICTs are presented as the main element to achieve a more efficient and sustainable management of the resources of a city, while ensuring that the needs of citizens to improve their quality of life are satisfied. A key element will be the creation of new systems that allow the acquisition of information within the context, automatically and transparently, in order to provide this information to decision-making systems. In this paper, we present a novel model distributed for obtaining, representing and providing the flow and circulation of people in densely populated geographic areas. To carry out these tasks, a sustained model is proposed on automatic data acquisition systems based on RFID technology, reliability models and integration techniques. Unlike other proposals, this model represents a complete solution that allows the acquisition of user information in a transparent and reliable way in an uncontrolled environment.

This knowledge will be useful on the way to the design of intelligent cities, in which it will help the decision making on transport strategies, business evaluation or initiatives in the tourism sector, based on the real obtained. As a final result, a case study will be presented which will allow validation of the proposal.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Contenido

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN	1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS DEL TRABAJO	4
ESTADO DEL ARTE	5
TECNOLOGÍAS PARA LA GEOLOCALIZACIÓN	6
ALGORITMOS DE TRAZABILIDAD APLICADOS A LAS CIUDADES INTELIGENTES	14
INTERNET DE LAS COSAS Y BIG DATA APLICADO A LAS CIUDADES INTELIGENTES	16
HIPÓTESIS DE TRABAJO	17
ESPECIFICACIÓN DE LA NOMENCLATURA PARA LA REPRESENTACIÓN FORMAL	17
METODOLOGÍA DE TRABAJO	21

CAPITULO 2

PROPUESTA GENERAL DE LA ARQUITECTURA	25
DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE LOCALIZACIONES	25
IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE OBTENCIÓN DE LOCALIZACIONES	26

DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS DE ADQUISICIÓN DE LOCALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO	30
ESTRUCTURACIÓN Y COMUNICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOCALIZACIONES DE LOS CIUDADANOS	34
DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INTELIGENTES RFID	36
DISEÑO DEL SERVICIO DE ADQUISICIÓN DE LOCALIZACIONES	42
DISEÑO DEL SISTEMA DE ESTRUCTURACIÓN DE LOCALIZACIÓN CIUDADANA	47
ESTRUCTURACIÓN DEL FLUJO DE MOVIMIENTO CIUDADANO	47
DISEÑO MODELO DE ALMACENAMIENTO	48
GENERALIZACIÓN DEL MODELO DE ALMACENAMIENTO	50
ESTRUCTURA DE DATOS DEL MODELO DE ALMACENAMIENTO	52
DISEÑO DEL SISTEMA DE REPRESENTACIÓN DE FLUJOS CIUDADANOS	56
COMPLETITUD DE DATOS DEL FLUJO DE MOVIMIENTO CIUDADANO	56
INFERENCIA DEL FLUJO DE MOVIMIENTO CIUDADANO	58
EXPLOTACIÓN DE LA INFORMACIÓN	60
MODELO COMPUTACIONAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE FLUJO CIUDADANO	61
CAPITULO 3	
IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN	69
IMPLEMENTACIÓN	69
CASO DE ESTUDIO	75
PRUEBAS Y EXPERIMENTACIONES SOBRE RFID	81

CAPITULO 4

CONCLUSIONES	89
RESULTADOS OBTENIDOS	91
PUBLICACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Figuras

Figura 1	Diagrama ejemplo de procesos mediante notación de Eriksson-Penker.	18
Figura 2	Diagrama genérico de procesos mediante notación de Eriksson-Penker.	22
Figura 3	Visión global de la arquitectura computacional del sistema ciudadano de localización y seguimiento.	22
Figura 4	Modelando con la notación Eriksson-Penker, el proceso de adquisición de localizaciones.	25
Figura 5	Despliegue de red de sensores RFID.	31
Figura 6	Ejemplo de instalación y cobertura del sensor.	32
Figura 7	Arquitectura de Sensores Inteligentes RFID.	37
Figura 8	Arquitectura del servicio de adquisición de localizaciones.	42
Figura 9	Contrato RAML del servicio de adquisición de mensajes de localización.	44
Figura 10	Escenario de captura de información de diferentes tecnologías.	51

Figura 11	Representación de la generación de los patrones de movimiento de flujo ciudadano a través de la notación de Eriksson-Penker.	55
Figura 12	Proceso de completitud.	56
Figura 13	Proceso de inferencia.	57
Figura 14	Modelo computacional y arquitectura del sistema de seguimiento y trazabilidad ciudadano.	61
Figura 15	Contrato RAML del servicio de adquisición de localizaciones.	63
Figura 16	Contrato RAML del servicio de flujo ciudadano.	65
Figura 17	Prototipo Sensor Inteligente RFID: (a) Sensor Inteligente RFID con antenas; (b) Sensor Inteligente RFID con Sistema Embebido.	67
Figura 18	Flujos de Mule ESB. (a) Servicio de adquisición de mensajes; (b) Servicio de generación de flujos ciudadanos	71
Figura 19	Configuración de las antenas y cobertura de los sensores RFID: (a) Una antena en el lado derecho de una acera; (b) Tres antenas a la derecha, izquierda y arriba de una acera.	72
Figura 20	Visualizaciones temporales en el campus de la Universidad de Alicante con patrones de flujo: (a) flujo temporal entre las 7.00 y las 9.00 h; (b) flujo temporal entre las 12.00 y las 14.00 h	77
Figura 21	Distancias máximas detección etiqueta RFID.	83
Figura 22	RSSI empleado (db) Distancia máxima.	84
Figura 23	RSSI empleado (db) Distancia máxima en la cartera.	84

Figura 24	RSSI empleado (db) Distancia máxima en la cartera en el bolsillo.	85
Figura 25	RSSI empleado (db) Distancia máxima dentro de la ropa.	85
Figura 26	RSSI empleado (db) Distancia máxima detrás del cuerpo humano.	86



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Tablas

Tabla 1	(a)(b)(c). Trabajos de trazabilidad basados en RFID en exteriores/interiores.	9
Tabla 2	Principales elementos de la notación Eriksson-Penker.	18
Tabla 3	Comparación de las principales características de las tecnologías de la comunicación.	27
Tabla 4	Representación de la generación de los patrones de movimiento de flujo ciudadano a través de la notación de Eriksson-Penker.	48
Tabla 5	Comparación de los resultados obtenidos entre la propuesta y los trabajos relacionados.	78

Capítulo 1

Introducción

El progreso tecnológico de los últimos años ha permitido extender la utilización de las tecnologías de la información y de las comunicaciones a nuevas aplicaciones con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Esta idea ha ido adquiriendo cada vez mayor protagonismo, tanto en las agendas políticas como en los servicios públicos. Los casos en los que no existe una planificación de desarrollo coherente con la gestión eficiente y sostenible de los recursos urbanos, comienzan a ser problemáticos dentro de las Ciudades Inteligentes.

Es complicado obtener una definición común de Ciudad Inteligente o definir las tendencias globales para estas. Existen varias razones que contribuyen a esto. Por un lado, las ciudades son complejos sistemas caracterizados por un gran número de ciudadanos interconectados, un gran número de empresas, varios tipos de transporte, redes de comunicación, así como los servicios públicos. Por otra parte, esto conduce a una gran diversidad de problemas tecnológicos, sociales, económicos y de organización que exponen la sostenibilidad ambiental de las ciudades. Además, no existe un consenso sobre la importancia de las Ciudades Inteligentes, pero existe un amplio acuerdo en cuanto al hecho de que estas se caracterizan por el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). El objetivo es, en general, hacer un mejor uso de los recursos en las ciudades [1].

Existen numerosos ejemplos de ciudades que se apoyan en los

sistemas TIC para cumplir con este objetivo en los ámbitos de la energía, las telecomunicaciones, la ecología o el transporte [2–5]. Las mejoras en la eficiencia de gestión de esos elementos son percibidas directamente por el ciudadano como mejoras de la vida urbana.

Estos motivos nos han movido a trabajar en el problema de la localización y seguimiento de ciudadanos por entornos urbanos. Los avances en esta materia pueden proporcionar información relevante para la toma de decisiones en muchos de los problemas anteriores relacionados con el funcionamiento de una Ciudad Inteligente, tales como el planeamiento de las infraestructuras de transporte (carreteras, metro, líneas de autobús) o modificando las existentes, en la construcción de nuevos edificios públicos (escuelas, hospitales, museos, áreas deportivas), en el diseño de rutas turísticas por la ciudad, etc. Otros usos de la información obtenida pueden contemplar objetivos económicos, como la calificación comercial de avenidas y calles o el diseño de ofertas turísticas en la ciudad.

Además, desarrollar una inteligencia para las cosas que nos rodean y conectarlas a la red para transferir datos sin requerir interacción humana es una tendencia actual de desarrollo tecnológico llamada Internet de las Cosas (IoT) que nos permite conocer e interactuar mejor con el entorno [6,7]. Las tecnologías de IoT, como la detección mediante sensores, la informática y la comunicación móvil, podrían emplearse para recopilar datos sobre el funcionamiento de la ciudad. A este respecto, la forma en cómo se recopilan los datos de interés es el principal reto en la mayoría de los casos. Una vez obtenida, otra cuestión importante es cómo conectar los diferentes sensores a la web [8] para permitir el aprovisionamiento y administración de servicios basados en la nube. En este campo, el desarrollo de la infraestructura de sensores distribuidos es una de las principales áreas de investigación relacionadas con IoT [9, 10].

En la actualidad, se están desarrollando varios proyectos sobre Ciudades Inteligentes [104, 105]. Estas propuestas utilizan nuevas tecnologías de computación, detección y telecomunicaciones para proporcionar conocimiento e inteligencia a una ciudad [106]. En general, el objetivo es hacer un mejor uso de los recursos. La convergencia y madurez experimentadas por las tecnologías, permiten el despliegue de aplicaciones en el contexto de una Ciudad Inteligente, para generar conocimiento para la gestión de procesos urbanos. Además, mejoran la eficiencia en el diseño de

políticas para la gestión sostenible de los recursos y la accesibilidad pública [8].

En este trabajo se propone una arquitectura y un modelo computacional para determinar los movimientos de personas en una ciudad. La investigación realizada tiene en cuenta las tecnologías de comunicación actuales, la facilidad de implementación y despliegue y aspectos clave sobre la privacidad del usuario. La principal contribución científica de esta investigación es la integración de nuevas tecnologías y soluciones de IoT para la construcción de un sistema integral de localización y seguimiento de los ciudadanos en los entornos de trabajo de la ciudad. Como resultado, se proponen tecnologías inteligentes de detección con capacidades de procesamiento y comunicación para producir servicios en la nube que nos permiten realizar una trazabilidad ciudadana.

El documento se organiza de la siguiente manera: El capítulo 1, cubre el análisis del problema, la metodología de trabajo empleada, la hipótesis de trabajo y el estado del arte actual sobre la materia; El capítulo 2 presenta la propuesta general de la arquitectura, en la cual partiendo del diagrama general mediante la notación Eriksson-Penker, se desarrollan los diferentes métodos para conocer los movimientos de los ciudadanos, la identificación y análisis de las diferentes tecnologías, el diseño de infraestructura de adquisición de información, la estructuración de la información obtenida, el diseño de una red de sensores, así como el diseño de la estructura de almacenaje, finalmente se describen los mecanismos de completitud e inferencia, para la generación de rutas y se describen las principales características de los servicios prestados para el uso de la información generada así como su posterior explotación; A continuación, el capítulo 3 se describe la implementación basada en un caso de estudio en un ambiente universitario para comprobar el desempeño correcto; Finalmente, el capítulo 4 concluye con unas conclusiones donde analizar todo lo desarrollado en este trabajo y revisar los resultados obtenidos.

Definición del Problema

El problema general que aborda este trabajo se centra en generar información estructurada sobre los hábitos de movimiento de individuos en un área geográfica determinada, dicha información será obtenida de forma desatendida sin la

intervención del usuario, anónima, transparente y fidedigna. A partir de esa información se podrán deducir las necesidades y tendencias de transporte que asistan la toma de decisiones de infraestructuras en muchos ámbitos, como la creación de nuevas vías (calles, líneas de metro, líneas de autobús) o modificación de las existentes, planificación de crecimiento urbanístico, construcción de nuevos centros públicos (colegios, hospitales, museos, centros deportivos), etc. Otros usos de la información obtenida pueden contemplar objetivos económicos como las valoraciones comerciales de avenidas y calles o el diseño de la oferta turística.

Como principal cuestión a resolver se encuentra la forma en la que la población va a ser rastreada sin que para ello se requiera necesariamente su colaboración. En este problema se debe tener en cuenta que el conjunto de habitantes puede ser muy numeroso aun considerando un área geográfica urbana no demasiado extensa de una ciudad de tipo medio.

El otro aspecto a resolver se centra en la propia creación de las tendencias y flujos de transporte a partir del estudio de los movimientos individuales con esa cantidad de personas. Se debe tener en cuenta en este asunto que la información generada debe ser dinámica en un sentido temporal y presentar cambios y evolución en diferentes horas del día, días de la semana y épocas del año.

Finalmente, el almacenamiento, representación y procesamiento de esta información debe proporcionar la versatilidad necesaria que permita la extracción de la información relevante en cada caso que facilite la toma de decisiones para diferentes escenarios de aplicación.

Objetivos de trabajo

Los objetivos del presente trabajo son plantear un modelo y una arquitectura capaz de generar información sobre el movimiento ciudadano dentro del entorno de una Ciudad Inteligente, para posteriormente ser consumida por terceros y de esa forma poder mejorar finalmente la calidad del transporte en bus, metro, taxi, la planificación urbana y otros elementos susceptibles de ser

planificados. El punto de partida será la obtención de la información a partir de los ciudadanos, para la cual se verán las diferentes tecnologías más apropiadas para este ámbito, se evaluarán dichas tecnologías para la captación de la información sobre el ciudadano, determinando finalmente la tecnología más acorde con nuestro modelo, posteriormente dicha información dentro de la arquitectura que se planteará, podrá ser explotada, para poder mostrar información relevante dentro del ámbito de la Ciudad Inteligente, dentro de las necesidades de la ciudad.

Estado del Arte

El problema de localización y seguimiento de usuarios por ámbitos urbanos no es nuevo, como así lo demuestra la cantidad de trabajos encontrados, de hecho, existe cierta preocupación por mantener la privacidad del usuario ante la proliferación de estos sistemas debido a la alta tasa de penetración en la ciudadanía de dispositivos móviles conectados [16, 17]. Sin embargo, los beneficios de conocer esta información para el diseño de las ciudades hacen necesario que se produzcan cada vez más estudios que traten de obtenerla en las mejores condiciones preservando la intimidad de los ciudadanos.

La planificación del transporte es un ejemplo de una tarea donde el análisis de los datos obtenidos de los flujos humanos y flujos de tráfico pueden ser muy útiles. Este tema es fundamental ya que las poblaciones de las ciudades están aumentando drásticamente. Decisiones de este tipo han sido estudiadas durante muchos años. Como consecuencia, se han realizado numerosas propuestas y sugerencias sobre planificación mediante la obtención y proceso de datos y posterior toma de decisiones dentro de la planificación del transporte [18–21]. Estas decisiones implican a muchos actores como miembros de los ayuntamientos, representantes de las empresas de transporte y hasta los ciudadanos. Generalmente, los miembros del ayuntamiento junto con los representantes de la empresa se reunirán para formar un consorcio regional. Por lo tanto, este consorcio es el escenario donde se toman las decisiones en cuanto a transporte público. Establecer las rutas de los diferentes servicios como autobuses o trenes subterráneos es una de las principales decisiones a realizar por el consorcio.

Deben de analizar los datos sobre la ciudad y sus ciudadanos con el fin de extraer conocimiento acerca de sus hábitos y sus necesidades de transporte, es decir, el análisis de las tendencias de movimiento humano en las zonas urbanas. Sin embargo, aunque estas directrices proporcionan un marco bien estudiado para la toma de decisiones sobre el transporte, hay algunas deficiencias críticas que se han detectado en algunos estudios sobre Ciudades Inteligentes [22,23].

En primer lugar, se plantea muy a menudo el problema de la obsolescencia de los planes de diseño. Los procesos de planificación tradicionales pueden quedar obsoletos cuando las ciudades crecen significativamente. Si pasa demasiado tiempo entre cuando un proyecto se planea y su posterior ejecución, entonces el proyecto estará anticuado y sin duda habrá perdido parte de su utilidad. Para resolver este problema, hay trabajos que proponen sistemas basados en el uso de herramientas de Ciudades Inteligentes que permiten proyectos que evolucionan dinámicamente con los posibles cambios de escenario en estas [24].

En segundo lugar, hay otra cuestión importante relativa a los procedimientos utilizados para obtener los datos y sobre todo cómo se pueden utilizar para proporcionar ayuda a la toma de decisiones. Tradicionalmente, la información utilizada en estos procesos se obtiene a través de estudios de campo (por ejemplo, recuentos manuales de personas y vehículos, encuestas, censos, etc.) junto con información obtenida de entrevistas con los diferentes actores involucrados: los ciudadanos, las empresas de transporte y gestores de eventos, entre otros [22]. Sin embargo, estas encuestas masivas y entrevistas son muy caras y por lo tanto no se pueden realizar con frecuencia. Debido a este hecho, se quedan rápidamente obsoletas y si se confía en esa información obsoleta no se tendrá en cuenta la situación actual. Además, estas fuentes de datos carecen de información sobre las trayectorias individuales y por lo tanto no se podrán computar los movimientos reales de personas de forma individual [22,23], pero se debe ser capaz de obtener una visión global por una parte y por otra una visión simple de los movimientos ciudadanos.

Tecnologías para la geolocalización

Es conveniente, por tanto, la utilización de la tecnología para obtener de una forma eficaz los flujos de tráfico ciudadano. La

principal tecnología creada para este objetivo es el *Global Positioning System* (GPS) [25]. Con el GPS se puede conseguir de forma precisa y fácil la posición en el mapa del mundo, así que es utilizado por conductores y peatones con el fin de orientarse ya que es bastante asequible. Además, se ha integrado en muchos dispositivos como teléfonos móviles u otros dispositivos ubicuos [26].

Ejemplos de su aplicación a este problema se encuentran en el estudio realizado en las ciudades de Milán (Italia) y Beijing (China). En el caso de la ciudad italiana, los datos vienen de los GPS instalados en el parque de coches de alquiler [27]. En la ciudad china los dispositivos GPS se instalaron en taxis de la ciudad [28].

A partir de la información obtenida sobre las trayectorias, hay varios estudios que se centran en su análisis y manipulación para extraer información de interés. En este sentido, se han creado lenguajes de consulta y herramientas para el análisis de trayectorias orientadas a trayectorias obtenidas desde dispositivos GPS [29]. Estas investigaciones desarrollan una técnica de agrupamiento que permite extraer los patrones de tráfico en un determinado periodo de tiempo. Los resultados de estos análisis permitieron trazar rutas de comunicación por carretera mucho más rápidas que los patrones existentes y que los resultados obtenidos por herramientas como Google o Bing maps.

Sin embargo, el uso del GPS plantea algunos problemas a tener en cuenta. Uno de los más relevantes es la transparencia de uso: el acceso a los datos de posicionamiento de los usuarios requiere que éstos permitan, configuren o instalen una aplicación creada para llevar a cabo tal recolección de datos en sus dispositivos móviles. Dicha configuración conlleva un esfuerzo adicional que no cualquier persona estará dispuesta o capacitada para llevar a cabo y, además, en caso de que lo active, el usuario será consciente de que está transmitiendo datos en todo momento. Por tanto, se hace evidente que no es un mecanismo transparente para el usuario. Además, tendrá el problema de la preservación de privacidad [30]. Al disponer de la localización exacta de las personas en tiempo real y las rutas que han seguido en el tiempo, es posible estudiar sus hábitos de movimiento e, incluso, predecir su localización a una determinada hora del día. En malas manos dicha información puede comprometer ya no solo la privacidad del ciudadano, sino también su seguridad. Por ejemplo, se podría conocer con gran precisión a qué horas no está en casa un ciudadano con objeto de

perpetrar un posible robo. Finalmente, a estos dos problemas se unen el problema del consumo de energía, pues requiere de una fuente de energía propia para funcionar, y el del coste económico de los propios dispositivos. A pesar de estar integrados en muchos teléfonos móviles de gama media y alta, aún resultan relativamente caros si se adquieren por separado.

Por otra parte, el uso de la infraestructura instalada de redes inalámbricas también ha sido considerada [31] para este uso. En este conjunto se incluye la red de telefonía móvil y red inalámbrica local (Wifi) y la red inalámbrica de largo alcance (Wimax). Estas redes no fueron concebidas para este fin sino para acceder a los servicios de comunicaciones e internet que ofrecen las compañías de telecomunicaciones. Sin embargo, desde el momento en el que cada estación base es consciente de la presencia e identidad de cada dispositivo conectado es posible plantear operaciones de seguimiento conforme el usuario se va moviendo de una estación a otra [32], [33]. Algunas investigaciones, incluyen además operaciones de filtrado e interpolación para predecir dónde se encuentra el usuario [34-36]. Sin embargo, debido a su alcance y actual cobertura no pueden proporcionar una situación precisa de por dónde ha pasado el usuario y colocar un mayor número de estaciones para este fin, dispararía considerablemente el coste de la infraestructura.

Las tecnologías de telecomunicaciones móviles (GSM, 3G, LTE, etc.), también pueden utilizarse para realizar a gran escala procesos de localización y seguimiento de los ciudadanos, sin embargo, no se han tenido en cuenta para este trabajo, debido a la falta de precisión necesaria y la necesidad de disponer de un dispositivo móvil. Aunque su grado de penetración en la población es muy alta, su uso para este propósito conlleva otros inconvenientes sobre la privacidad del usuario y coste. Se descartan otras alternativas tales como CCTV, debido a la dificultad técnica de desarrollo de métodos automáticos para el seguimiento de usuarios individuales en contextos no controlados y el hecho de que puede causar una fuerte invasión de la privacidad debido a la sensación de ser "vigilado" por cámaras de vigilancia.

Una alternativa a las anteriores es el sistema de comunicación denominado *Radio Frequency Identification* (RFID) [37-39]. Esta tecnología también ha sido ampliamente utilizada para obtener esta información de localización y seguimiento de objetos y

usuarios. Las Tablas 1a, 1b resumen los principales trabajos actuales sobre esta cuestión como una muestra representativa. Todas las propuestas analizaron trabajos en ambientes controlados, es decir, el despliegue de infraestructura se ha diseñado previamente y es proporcionado por los administradores de sistema. Cuando los usuarios acceden al sistema reciben una etiqueta para llevar el ambiente analizado.

En este sentido, se han realizado estudios de localización y seguimiento en interior y exterior. Por ejemplo, para exteriores, la ciudad de Londres implantó un sistema de recogida de datos en su sistema de transporte que incluía autobuses, metro y trenes de cercanías [40]. La idea era hacer el seguimiento de los usuarios de la red de transporte con tarjetas de pago y acceso dotadas con esta tecnología de comunicación. Con la información recabada se pudo determinar el grado de utilización, volumen de viajeros y hábitos de la red de transporte público de la ciudad y conocer las estaciones, puntos de parada, origen y destino del flujo de viajes de la red. Para interiores, también se han implantado sistemas en recintos cerrados para conocer los flujos de movimiento de los visitantes [41], por ejemplo, por un museo [42]. Con los resultados se extrajeron patrones de visita de los distintos expositores y áreas, se identificaron participantes con comportamientos atípicos e incluso las relaciones entre los grupos de visitantes. El uso de estos datos claramente podría utilizarse para la mejora del museo y sus exposiciones, como, por ejemplo, eliminando aquellos expositores que menos interesan y ampliando aquellos donde más tiempo pasan los visitantes. También para esta tecnología se dispone de software de interpretación y representación de los resultados [89], [90] usado en los trabajos anteriores.

Trabajo	Aplicación	Despliegue Etiquetas	Despliegue Lectores
<i>RFID enabled supply chains [11–14]</i>	Servicios de trazabilidad	Etiquetas pasivas embebidas en objetos	Lectores fijos o móviles A lo largo de la cadena de suministro
<i>RFID delivery system [15]</i>	Sistemas de transporte inteligente	Etiquetas pasivas embebidas en objetos	Lectores fijos o móviles A lo largo del sistema de entrega
<i>RTSV [43]</i>	Sistema de localización para vehículos	Etiquetas pasivas instaladas en coches	Distribuidas a lo largo de la ciudad
<i>The London Oyster Card Data [40]</i>	Planificación del transporte público	Etiquetas pasivas dentro de tarjetas de transporte	Instaladas en las entradas y salidas de los sistemas de transporte
<i>Blind User [47]</i>	Sensores de localización y proximidad	Etiquetas pasivas; Interiores: Cuadrícula desplegada sobre la planta; Exterior: A lo largo de la acera	Lectores llevados por los usuarios
<i>Privacy-Preserving Solution [49]</i>	Seguimiento de personas en entornos críticos	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Distribuidos a lo largo del entorno
<i>RFID Inside [53]</i>	Seguimiento e identificación de personas	Etiquetas pasivas implantadas en los usuarios	Lectores llevados por trabajadores (medico, seguridad, etc.)
<i>REACT [58]</i>	Localización niños	Etiquetas pasivas llevadas por los niños	Distribuidos a lo largo del entorno

Tabla 1a. Trabajos de trazabilidad basados en RFID en exteriores.

Trabajo	Aplicación	Despliegue Etiquetas	Despliegue Lectores
<i>RFID enabled supply chains [11–14]</i>	Servicios de trazabilidad	Etiquetas pasivas embebidas en objetos	Lectores fijos o móviles A lo largo de la cadena de suministro
<i>The London Oyster Card Data [40]</i>	Planificación del transporte público	Etiquetas pasivas dentro de tarjetas de transporte	Instaladas en las entradas y salidas de los sistemas de transporte
<i>iWalker [44]</i>	Servicios de asistencia de localización y detección de obstáculos	Ubicado en cualquier parte del entorno	Embebido en el objeto.
<i>Tracking science museum [42]</i>	Trazabilidad Personas	Etiquetas pasivas en tarjetas de identificación que llevan los usuarios	Distribuidos en toda la planta
<i>SIP-RLTS [45]</i>	Seguimiento de la localización	Etiquetas pasivas, que llevan los pacientes	Lectores llevados por los trabajadores (médicos)
<i>LANDMARC [41,46]</i>	Detección de localizaciones en interiores	Etiquetas activas	Distribuidos a través del entorno
<i>Blind User [47]</i>	Sensores de localización y proximidad	Etiquetas pasivas; Interiores: Cuadrícula desplegada sobre la planta; Exterior: A lo largo de la acera	Lectores llevados por los usuarios
<i>Pervasive mining [48]</i>	Seguimiento de personas	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Distribuidos a través del entorno
<i>Privacy-Preserving Solution [49]</i>	Seguimiento de personas en entornos críticos	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Distribuidos a lo largo del entorno
<i>Social interaction [50]</i>	Seguimiento de personas	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Distribuidos a través del entorno
<i>Cameras and RFID [51,52]</i>	Seguimiento e identificación de personas	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Distribuidos a través del entorno
<i>RFID Inside [53]</i>	Seguimiento e identificación de personas	Etiquetas pasivas implantadas en los usuarios	Lectores llevados por trabajadores (Medico, seguridad, etc.)

<i>Tagging Demented Patients [54]</i>	Seguimiento e identificación de personas	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Lectores llevados por los trabajadores (médicos)
<i>WSN and RFID [55]</i>	Seguimiento de personas	Etiquetas pasivas, instaladas en objetos o personas	Distribuidos a través del entorno
<i>Elderly Living Alone [56]</i>	Seguimiento de personas	Etiquetas pasivas llevadas por los usuarios	Distribuidos a través del entorno
<i>Peer-to-Peer Networks [57]</i>	Sistema de seguimiento de localizaciones	Etiquetas activas llevadas por los usuarios	Distribuidos a través del entorno

Tabla 1b. Trabajos de trazabilidad basados en RFID en interiores.

La tecnología RFID supera algunos de los inconvenientes expuestos para GPS, ya que no requiere tanta colaboración por parte del usuario y reduce su coste energético. Sin embargo, su utilización para el seguimiento no obtiene localizaciones exactas, sino que, al igual que las otras redes inalámbricas, las marcas de situación temporal están limitadas a las ubicaciones de las antenas o los lectores de esta señal y al análisis del *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) de los lectores [56]. De esta forma la resolución de las trayectorias seguidas por los usuarios será mucho menor que en el caso del GPS. El alcance de esta tecnología tampoco es comparable a la cobertura del GPS, ya que depende de la posición en la que se coloquen las antenas y de la ganancia que presenten. Existe una variante de menor alcance denominada *Near-Field Communication* (NFC) [59] que requiere mucha menos potencia para funcionar.

Por otra parte, las tecnologías RFID/NFC pasivas pueden estar presentes en multitud de dispositivos y objetos que las personas pueden llevar [38]. En muchos casos se están integrando en tarjetas estándar hechas de material de plástico con funciones de identificación y acceso [60], o incluso en tarjetas de crédito o débito [61–63] o incluso etiquetas de papel en la ropa [64–67], sin embargo, las funciones para las cuales fueron diseñados estos elementos no fueron de seguimiento personas en sí, sino más bien otras aplicaciones tales como identificación, proceso de pago o seguimiento en las tiendas.

Tras la revisión realizada, se constata que las actividades de localización y seguimiento pueden proporcionar información

interesante para mejorar el desarrollo de las infraestructuras y la satisfacción del ciudadano. Si bien, su uso malintencionado puede suponer un problema para la intimidad del usuario.

De la literatura repasada sobre los sistemas de localización y seguimiento, las soluciones más citadas muestran desventajas significativas. El sistema de posicionamiento global es el más adecuado y proporciona mejores resultados debido a su precisión y exactitud, sin embargo, necesita de la participación de los ciudadanos para las actividades de localización y seguimiento. El ciudadano debe tener un dispositivo con capacidad de computación y comunicación que le permita proporcionar la información capturada, generalmente teléfono móvil con una aplicación previamente instalada y configurada. Estos requisitos consumen una considerable cantidad de energía que puede afectar la autonomía y la disponibilidad del dispositivo. Además, estas soluciones implican el conocimiento de los datos personales del ciudadano como puede ser el número de terminal. Estas características implican que el sistema estará restringido a un conjunto limitado de ciudadanos, por lo que la muestra no sería representativa, para poder proporcionar un buen servicio para la gestión de los recursos de todos los ciudadanos. Los ciudadanos de edad avanzada que no están familiarizados con las TIC, los ciudadanos que no tienen acceso a este tipo de tecnología o ciudadanos no dispuestos a facilitar los datos personales, entre otros, no estarían representados en los conjuntos de datos. Por otra parte, estas propuestas sólo son válidas para los entornos exteriores de la ciudad, no pudiendo seguir a los ciudadanos en ambientes de interior donde la tecnología GPS no es adecuada. Sin embargo, estos espacios también requieren una gestión eficiente de sus recursos.

Para aprovechar el amplio conjunto de dispositivos móviles conectados, así como la infraestructura instalada, el uso de las redes inalámbricas es otra opción en la que ya se han hecho propuestas. Sin embargo, los resultados que obtiene no son muy precisos y también producen intrusiones de privacidad al conocer la identificación del usuario.

Otra alternativa que se puede emplear es el uso de RFID / NFC, una tecnología cada vez más incorporada en los dispositivos móviles. El principal obstáculo es que la tecnología está en desarrollo y en general, las redes de antenas preparadas para este fin no están disponibles.

La mayoría de los trabajos relacionados que utilizan tecnologías de RFID se centran en sistemas de seguimiento (tracking) y sólo pocas propuestas han contemplado el problema conjunto de la localización y seguimiento. La mayoría de los trabajos, aplican soluciones en entornos cerrados y limitados, donde las características de fiabilidad, calidad de servicio y escalabilidad no son necesarias. Sin embargo, el desarrollo y la proliferación de la tecnología RFID entre los ciudadanos durante los últimos años, abre nuevas posibilidades para su uso en las tareas de localización y seguimiento en esquemas donde el actor principal es el usuario. Las características de esta tecnología pueden permitir un despliegue mixto tanto en interiores como en exteriores. En los trabajos analizados, el uso de la tecnología RFID se limita a la lectura de las etiquetas homogéneas proporcionadas por el propietario del sistema y al envío de información a un sistema central, sin procesamiento previo, almacenamiento o filtrado, como estas tareas son delegadas a un nodo central, este puede generar un cuello de botella

Cabe señalar que ninguna de las propuestas revisadas, se centra en la provisión de la información recopilada a terceros, de forma dinámica, personalizada y abierta. Para ello, el desarrollo de arquitecturas basadas en la nube puede representar una buena opción para el diseño de arquitecturas de gestión flexibles y proveedores de servicios. Este aspecto podría mejorar el desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión eficiente de los recursos y orientados a satisfacer las necesidades de los ciudadanos. El alcance de las limitaciones y ventajas mencionadas se discutirá en las siguientes secciones para conducir al diseño de la arquitectura propuesta de acuerdo con los objetivos.

Algoritmos de trazabilidad aplicados a las Ciudades Inteligentes

Parte de esta arquitectura hace referencia a la generación de flujos, bien infiriéndolos o bien completándolos, como se verá más adelante. Se va a incidir en sistemas capaces de completar un camino incompleto por una parte y por otra parte obtener un camino siguiendo los patrones del movimiento ciudadano en una ciudad, se han encontrado trabajos relacionados con la materia, basados en diferentes técnicas los cuales se verán a continuación.

Por una parte, se puede ver en estudios sobre Ciudades Inteligentes, referentes a la planificación de rutas de vehículos como [107], en el cual basándose en información de una serie de sensores y en los casos donde no se pueda obtener una información fiable, emplear un Gaussian Process Regression, este estudio es muy interesante ya que teniendo en cuenta una serie de factores como la peligrosidad del camino (accidentes, inundaciones) y la congestión del tráfico nos da un camino óptimo para nuestra ruta.

En [108], se presentan diferentes métodos para el análisis de la trazabilidad y la minería. Se nos encauza por un método de análisis u otro, dependiendo del problema a resolver. Se dividen las técnicas en cinco tipos: clustering, clasificación, ranking, regresión, y modelado físico estadístico. El ranking se utiliza para encontrar los caminos más destacados por su uso excesivo o por desuso. La regresión es útil para medir las relaciones sociales basadas en la localización y el ajuste de un modelo de movilidad.

En [110], primero se realizan estimaciones Origen-Destino de los datos extraídos desde los GPS de taxis y localizar algunos patrones significativos en virtud de esos flujos origen-destino a través de la agrupación. Luego proceden a realizar un análisis espacio temporal a esos patrones y revelan que tienen estrecha relación con la semántica de los flujos de Origen-Destino. Después de esto, se propone un método para extraer la semántica de los flujos Origen-Destino.

El estudio de los patrones de comportamiento, incluyendo factores como la hora del día es muy importante dentro de las Ciudades Inteligentes [111], donde introducen un nuevo método para la comprensión de la movilidad humana en zonas urbanas densamente pobladas, basado en millones de registros de tarjetas inteligentes.

En los últimos años, el gran despliegue de tecnologías ubicuas en las ciudades ha dado lugar a un aumento masivo en el volumen de registros de seguimientos de personas. Estos registros son la clave de los patrones de movilidad individual. Debido a que los sitios web han evolucionado para ofrecer servicios geolocalizados, nuevas fuentes de datos sobre el comportamiento del mundo real están empezando a surgir. Por ejemplo, [112] utilizando los datos recogidos de un sistema subterráneo con capacidad RFID para

predecir los patrones de localización entre los usuarios de transporte público.

Internet de las cosas y Big Data aplicado a las Ciudades Inteligentes

En la actualidad, internet de las cosas (IoT) es una materia muy investigada en el ámbito de las Ciudades Inteligentes, existe numerosa literatura aplicada a el ámbito del presente trabajo, en el cual existen múltiples investigaciones tanto en líneas actuales como líneas futuras de investigación.

La construcción de una arquitectura general para IoT, es una tarea muy compleja, debido principalmente a la gran variedad de dispositivos, tecnologías de enlace, y servicios que pueden estar implicados en los sistemas de este tipo.

En [116] se realiza un estudio exhaustivo de las tecnologías, protocolos y arquitectura para un IoT en una Ciudad Inteligente. Están presentes y se discuten soluciones técnicas y directrices de mejoras prácticas adoptadas en el proyecto de Ciudad Inteligente de Padua, una implementación de prueba de Internet de las Cosas en la ciudad de Padua, Italia, realizada en colaboración con el municipio de la ciudad.

Existen estudios interesantes donde se realizan estudios exhaustivos sobre Ciudades Inteligentes [117,121] analizando las motivaciones y aplicaciones, en [117] se describen las tecnologías de IoT y los principales componentes y características de una Ciudad Inteligente. Por otra parte, se explican las experiencias prácticas sobre el mundo y los principales desafíos.

A tener muy en cuenta como indica [109], son los Big Data en Ciudades Inteligentes, que juegan un papel muy importante, permitiéndonos conocer que sucede, cuando y como a través de la gran cantidad de sensores que existen en las Ciudades Inteligentes. Cada vez las ciudades cuentan con mayor cantidad de dispositivos capaces de analizar en tiempo real la vida urbana y nos proporcionan la materia prima para poder tener una ciudades más eficientes, sostenibles, competitivas y transparentes de cara al ciudadano, ejemplo de Ciudades Inteligentes que nos proporcionan un gran volumen de Big Data, se pueden ver en [118].

Interesante resultan los trabajos donde se analizan la información generada por este tipo de sistemas, donde se generan una gran cantidad de datos a partir de numerosos sensores y dispositivos en una Ciudad Inteligente. En [119] se analiza la implementación de un sistema, el cual consta de varios pasos, que comienzan con la generación de datos, posteriormente pasan a la recopilación, agregación, filtración, clasificación, preprocesamiento, computación y toma de decisiones.

Hipótesis de trabajo

Si se es capaz de proponer una arquitectura para la adquisición de información de localización de una ciudad y a posteriori se es capaz de detectar las rutas realizadas por parte de los ciudadanos, mediante el uso de las nuevas tecnologías, aplicadas a IoT, se podrá realizar un procesamiento de dicha información para obtener una información de valor agregado para la toma de decisiones en los posibles escenarios dentro de una Ciudad Inteligente.

Una vez que el problema se ha descrito, la hipótesis establecida y el trabajo establecido analizado, es necesario que el sistema de localización y seguimiento se establezca de la forma más clara posible. Este sistema debe permitir la adquisición de localizaciones de personas en entornos heterogéneos y no controlados, en interiores y exteriores, para así facilitar la incorporación de personas de formas transparente al sistema. Por otra parte, la información adquirida permitirá proporcionar una información fiable y de calidad, sobre el movimiento de individuos, para la gestión eficiente de los recursos de las ciudades y para ofrecer mejores servicios a otros individuos.

Especificación de la nomenclatura para la representación formal

Para la representación formal del presente trabajo se va a utilizar la nomenclatura de Eriksson-Penker [70]. Esta consiste en una extensión de lenguaje de modelado UML para la descripción de procesos de negocio, que junto con el lenguaje de restricciones

OCL (*Object Constraint Language*), permite expresar de forma gráfica y sin ambigüedades relaciones muy complejas de manera formal facilitando la comprensión desde un punto de vista tecnológico y del negocio.

A continuación, se realizará una descripción de la sintaxis de Eriksson-Penker para el modelado de procesos. Un proceso, representa un conjunto de actividades relacionadas entre sí que producen/transforman uno o varios elementos de entrada, mediante el uso de recursos, en un resultado a partir de la definición de una serie de objetivos.

Para representar los procesos de negocio, Eriksson-Penker hace uso de *Diagramas de Proceso*. Los *Diagramas de Procesos* son diagramas de actividad UML con una serie de objetos y estereotipos específicos que permiten reflejar gráficamente los procesos de negocio, las actividades que lo conforman, los recursos utilizados, los elementos de entrada y salida y los objetivos a alcanzar.

En la tabla 2, se puede ver la representación gráfica de los diferentes elementos, los cuales se detallarán brevemente su funcionamiento a continuación.

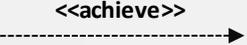
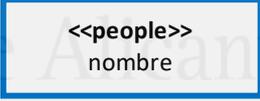
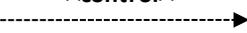
<i>Nombre de Objeto</i>	<i>Estereotipo</i>	<i>Representación</i>
<i>Proceso</i>	<<process>>	
<i>Objetivo</i>	<<goal>>	
<i>Relación de objetivo</i>	<<achieve>>	
<i>Recurso</i>	<<resource>>	
<i>Recurso Abstracto</i>	<<abstract>>	
<i>Recurso físico</i>	<<physical>>	
<i>Persona</i>	<<people>>	
<i>Relación de control de proceso</i>	<<control>>	
<i>Relación de suministro de proceso</i>	<<supply>>	

Tabla 2. Principales elementos de la notación Eriksson-Penker.

Un objeto de tipo proceso es una actividad marcada con el estereotipo <<process>>. Los objetos de tipo recurso y objetivo implicados en el proceso son ubicados alrededor del objeto tipo proceso. Los objetos de tipo objetivo (*goal objects*) definirán los objetivos a alcanzar por el proceso. Los objetos de tipo recurso (*resource objects*) son utilizados durante la ejecución del proceso para lograr un objetivo, estos podrán ser consumidos, producidos, usados o perfeccionados durante la ejecución del proceso. Los recursos pueden ser de tipo abstracto (estereotipo <<abstract>>) o físico (estereotipo <<physical>>) y representar información, cosas tangibles o personas. Los principales tipos de objetos de recursos son los objetos de entrada (*input objects*), los objetos de salida (*output objects*), los objetos de suministro (*supplier objects*) y los objetos de control (*control objects*). Los objetos de entrada son consumidos o perfeccionados por parte del proceso. Pueden ser marcados con cualquiera de los estereotipos de los objetos de recurso como <<physical>>, <<abstract>>, <<people>> o <<information>> dependiendo de la naturaleza de la entrada. A partir del perfeccionamiento de los objetos de entrada y del proceso se obtienen los objetos de salida. De la misma forma que los objetos de entrada son objetos de recurso, pueden ser marcados con cualquiera de los estereotipos de los objetos de recurso como <<physical>>, <<abstract>>, <<people>> o <<information>> dependiendo de la naturaleza de la salida. Gráficamente son situados a la derecha del objeto de proceso y éste se conecta al objeto de salida a través de una flecha discontinua que representa la dirección del flujo. Los objetos que participan en el proceso, pero no son ni transformados ni consumidos son los de suministro. Los objetos de control son recursos que nos permitirán controlar y conducir la ejecución del proceso para evitar desviaciones de los objetivos definidos.

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo mediante la notación Eriksson-Penker.

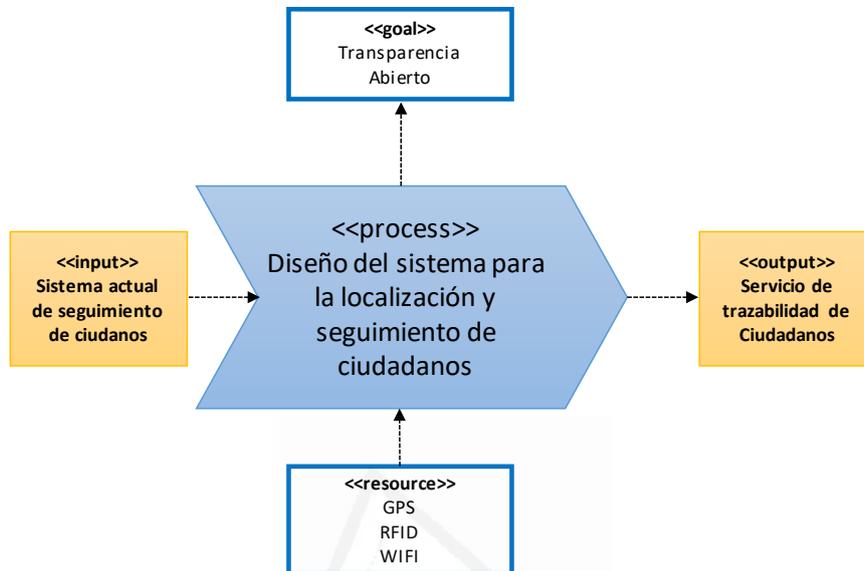


Figura 1. Diagrama ejemplo de procesos mediante notación de Eriksson-Penker.

Metodología de trabajo

Para desarrollar la propuesta se ha seguido una metodología basada en la gestión de procesos de negocio [68, 69] siguiendo la notación formal Eriksson-Penker [70] por su sistematicidad y carácter formal. La gestión de procesos consiste básicamente en una estrategia que permite establecer la secuencia de tareas que se deben seguir para transformar unos elementos de entrada en otros elementos de salida. Los procesos deben alinearse con unos objetivos previamente definidos y que son considerados como estratégicos para la organización por satisfacer ciertas carencias o necesidades identificadas en el entorno. De esta manera, el proceso definido alcanzará el sistema objetivo de este trabajo de manera sistemática, seleccionando las más adecuadas técnicas y herramientas para alcanzar los objetivos con el fin de resolver los problemas identificados. En la metodología propuesta, cada una de las tareas identificadas representa una etapa de la investigación, y por lo tanto estas tendrán asociados uno o más métodos científicos como se describe a continuación.

Específicamente, de la hipótesis de partida, la figura 2 muestra el proceso principal llevado a cabo en este trabajo, denominada diseño de un sistema de localización y seguimiento de ciudadanos, donde la entrada actual del elemento («entrada») representa el sistema de localización y seguimiento. Esta «entrada» debe transformarse a través de este proceso en un servicio nuevo de trazabilidad ciudadana («salida»), que responda a las necesidades identificadas anteriormente, que ahora son representadas por los objetivos estratégicos que permitirán guiar al proceso de investigación («objetivos»). Para realizar la transformación que nos permitirá alcanzar los objetivos establecidos, se deberá identificar los controladores («control») y facilitadores («suministros») que nos guiarán a través de la transformación. Particularmente, estos elementos representan estrategias, paradigmas, técnicas y tecnologías a integrar en la propuesta.

Con el fin de facilitar su identificación y, por lo tanto, hacer más claro el problema, el proceso principal se ha dividido en cuatro subprocesos o tareas.

Los subprocesos resultantes son los siguientes (Figura 2): en primer lugar, el subproceso *diseño del sistema de adquisición de localizaciones* de los ciudadanos, se centra en establecer las infraestructuras de tecnología necesarias para obtener datos del ciudadano. En segundo lugar, el *diseño del sistema para estructuración de la localización ciudadana*, involucrados en garantizar la correcta recepción de los datos de localización del ciudadano. En tercer lugar, *diseño del sistema de representación de flujos ciudadanos*, donde una vez se ha capturado la información, ésta debe prepararse para su interpretación por los agentes interesados y estar lista para la toma de decisiones, aplicando en caso de ser necesarios determinados algoritmos y finalmente, el *Diseño del sistema de aprovisionamiento de flujos ciudadanos*, centrado en proveer flujos ciudadanos a terceros.



Figura 2. Diagrama genérico de procesos mediante notación de Eriksson-Penker.

El resultado de este proceso será una arquitectura computacional para leer y procesar el movimiento de los ciudadanos siguiendo el esquema general que se muestra en la figura 3. El diseño final de esta arquitectura vendrá dado por las decisiones tomadas en cada subproceso de la figura 2.



Figura 3. Visión global de la arquitectura computacional del sistema ciudadano de localización y seguimiento.

Como puede observarse, se compone de un módulo distribuido y otro centralizado. El módulo distribuido (A) implementa la lectura de datos de localización del usuario. El módulo centralizado (B) adquiere los datos de los sensores y proporciona a los consumidores (C) el servicio de trazabilidad ciudadana para ayudar a la toma de decisiones en la gestión urbana. El funcionamiento y los componentes de los módulos se detallarán progresivamente en las siguientes secciones.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Capítulo 2

Propuesta General de la Arquitectura

Diseño del sistema adquisición de localizaciones

Esta tarea se centra en la identificación de la tecnología más adecuada para la obtención de ubicaciones y el diseño de una infraestructura de adquisición de localizaciones, como punto de partida y poder abordar el problema para lograr los siguientes objetivos, como se indica en la figura 4: la obtención de información geográfica (localización) deberá ser transparente para el ciudadano (con algunas tecnologías no será factible), o sea, sin necesidad de su cooperación y sin su intervención en la gestión y configuración de los dispositivos, sin ningún coste para él, e independientemente de si los ciudadanos transitan a través de ambientes interiores, exteriores o ambos (transparencia); el método diseñado tendrá que mantener el anonimato del usuario y proteger la privacidad personal, evitando cualquier captura de información personal y confidencial de los ciudadanos (anonimato); la tecnología utilizada debe permitir su funcionamiento y la calidad de servicio (QoS), independientemente del número de ciudadanos que interactúen con él y del tamaño de la zona que va a ser monitorizado (escalabilidad) y la infraestructura asociada debe proporcionar una adaptación ágil a

cualquier entorno (flexibilidad); por último, el despliegue de la infraestructura necesaria debe tener un bajo coste (gastos). Con estos objetivos de diseño en mente la intención es facilitar la colocación de una infraestructura válida y minimizar el rechazo de los ciudadanos. La figura 4 muestra un esquema completo de este proceso siguiendo los criterios de la metodología.

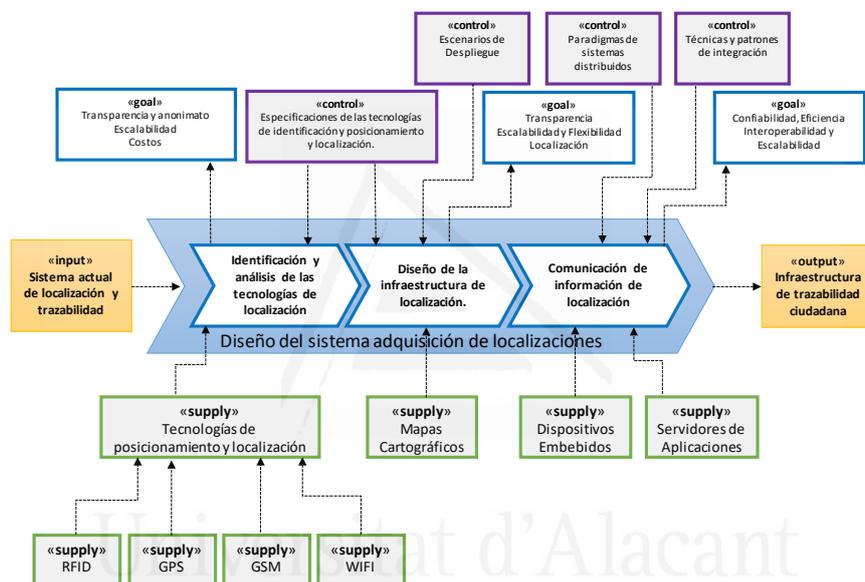


Figura 4. Modelando con la notación Eriksson-Penker, el proceso de adquisición de localizaciones.

Identificación y Análisis de las Tecnologías de Obtención de Localizaciones

Para la selección de la tecnología adecuada de localización, se tendrán en cuenta el análisis y la experiencia adquirida en la revisión de otros trabajos y el desempeño y beneficios disponibles en la actualidad [25,26,30,34–36,38,42,59,74–77].

La tabla 3 resume las principales características técnicas en relación con los objetivos propuestos. En cuanto al objetivo de transparencia, la obtención de posicionamiento con sistemas GPS o redes WiFi no ofrece ni la transparencia ni el anonimato deseado para tales aplicaciones, ya que en ambos casos se requiere la colaboración y el permiso de los usuarios. Específicamente, es necesario que un ciudadano tenga un dispositivo que soporte estas tecnologías, deberá instalar y configurar una aplicación diseñada para este propósito, proporcionar el permiso para transmitir información de la localización, que puede incluir información personal, y, por todo ello, debe tener un mínimo conocimiento y habilidad tecnológica. Además, la exactitud y cobertura del GPS podría darnos problemas con la privacidad y la legalidad, en términos de proporcionar más información de la localización necesaria para el propósito de la propuesta, que es la gestión eficiente de los recursos de la ciudad. Además, aunque otras tecnologías inalámbricas (WiFi, GSM, etc.) podrían determinar la localización, la precisión para resolver el problema descrito no sería válida en todos los casos. Todo esto podría dificultar la aceptación de la propuesta por parte de la población en general y, por lo tanto, no sería posible obtener muestras representativas para el propósito establecido.

Tecnología	GPS	RFID/NFC	Wireless networks
<i>Arquitectura principal</i>	Posicionamiento por triangulación mediante satélites.	Conjunto de antenas o lectores y receptores.	Conjunto de antenas o lectores y receptores.
<i>Comunicación</i>	El receptor del usuario recibe la señal de los satélites y calcula la posición	Los lectores interrogan a los receptores para conocer si están presentes.	Los receptores informan de que están presentes.
<i>Operating frequency</i>	1100 MHz to 1600 MHz	Activo: 455 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz Pasivo: 128 KHz, 13.6 MHz, 915 MHz, 2.45 GHz	Wifi: 2.4 GHz, 5 GHz Wimax: 2.3 GHz, 3.5 GHz. Sistemas celulares (móvil): 800 MHz, 1900 MHz, otros.
<i>Cobertura</i>	A nivel Global	En función de la red de antenas desplegada	En función de la red de antenas desplegada
<i>Distancia</i>	A nivel Global	Activo: ~100 m Pasivo: 0.1 a pocos metros	Wifi: 30 a 100 m Wimax: ~50 km Sistemas celulares (móvil): ~35 km
<i>Consumo de Energía</i>	Muy Alto	Receptor de tarjetas pasivas: muy bajo.	Muy Alto
<i>Costes</i>	Satélites ya existentes y de libre uso. Presente en dispositivos móviles de consumo	Necesidad de desplegar red de antenas. Presente en dispositivos móviles de consumo y otros accesorios del usuario.	Necesidad de desplegar red de antenas. Presente en dispositivos móviles de consumo.
<i>Localización</i>	Posición del receptor.	Posición de la antena.	Posición de la antena.
<i>Grado de Transparencia y Anonimato</i>	Bajo	Alto	Bajo
<i>Aplicaciones habituales</i>	Navegación, topografía, nivelación de terrenos, etc.	Identificación, control de acceso, medio de pago, etc.	Acceso a internet y servicios de comunicaciones

Tabla 3. Comparación de las principales características de las tecnologías de la comunicación.

Es cierto que, en términos de coste o facilidad de despliegue de la infraestructura, ya existe un alto grado de integración de dispositivos con conectividad GPS o WiFi entre la población. Sin embargo, el coste energético de su uso es alto y su uso sólo puede ser justificado por razones de rastreo. Por último, todas las tecnologías pueden ser escalables en la medida que sea necesario añadir nueva infraestructura, aunque el posicionamiento GPS tiene una ventaja ya que no requiere elementos adicionales aparte

de los satélites. Sin embargo, en el ámbito del problema estudiado, el uso del GPS está limitado en interiores que también deben ser analizados para gestionar recursos.

Por todas estas razones, entre las alternativas analizadas la propuesta a realizar consistirá en utilizar la tecnología de comunicación RFID para la localización y seguimiento a los ciudadanos. Como se mencionó en la sección anterior, estas tecnologías están teniendo una expansión y aplicación continua y actualmente muchos dispositivos la incorporan [78]. Esto permite el uso para este propósito del parque de etiquetas que se está volviendo más grande y que ya está instalado en muchas aplicaciones como tarjetas de pago [63], ropa [64-67], acceso a servicios de transporte [40,62] o turismo [60].

En la mayoría de las aplicaciones anteriores, la identidad del usuario no se conoce y, por lo tanto, transmite sólo el identificador de la etiqueta RFID usada por el usuario (en la mayoría de los casos, la etiqueta podría estar unida a elementos cotidianos intercambiables como un paraguas o un libro que podría ser transportado por diferentes usuarios). En consecuencia, el sistema no conoce la correspondencia entre los ciudadanos y las etiquetas RFID. Esta tecnología no permite que un usuario se abstenga de proporcionar la localización, ya que él o ella no será capaz de arrancar las etiquetas RFID de su ropa, accesorios o tarjetas. En ese sentido, el uso de esta tecnología para la trazabilidad debe ser tratado de forma similar a la CCTV que ya cuentan con la legislación apropiada: La infraestructura de cobertura desplegada puede limitarse a áreas específicas, tanto en interiores como en exteriores y siempre informar al usuario sobre ella, etc. Métodos para preservar el anonimato con la tecnología RFID [53,79,80,120] que se pueden implementar en entornos de ciudades abiertas. Además, el sistema puede reducir la adquisición de información innecesaria que podría implicar intrusión en la privacidad del usuario.

Esta tecnología proporciona opciones de instalación en receptores pasivos o activos según el alcance y la complejidad deseados del receptor. En el caso de receptores pasivos, no se requiere alimentación para los transmisores [76, 77], lo que reduce los inconvenientes de consumo y portabilidad para el usuario y permite su uso durante períodos de tiempo prolongados.

En cuanto al costo económico de la propuesta, la utilización de etiquetas existentes entre la población reduce el costo del despliegue. En este aspecto, la naturaleza física de la tecnología de comunicación permite el uso de elementos metálicos de mobiliario urbano como antenas de lector de tarjetas [38]. De esta manera, elementos como farolas, vallas publicitarias, letreros o semáforos pueden funcionar como antenas. Además, la mayoría de ellos están conectados a la red, y luego pueden reducir el costo de los elementos necesarios para la transmisión de información hacia el sistema central.

Finalmente, en términos de la capacidad de lectura concurrente, la tecnología seleccionada es capaz de trabajar con un alto nivel de tráfico para capturar simultáneamente la localización de un gran número de etiquetas situadas en el radio de lectura de la antena. Por ejemplo, el lector estándar utilizado en los experimentos tiene un rendimiento de hasta 400 lecturas simultáneas por segundo [81].

Diseño de infraestructuras de adquisición de localización y seguimiento

La tecnología RFID señalada en el apartado anterior, consta de dos tipos de elementos: las antenas o lectores que emiten la señal y los receptores (tags) portados por los usuarios. Con el modo de funcionamiento pasivo de esta tecnología los receptores no requieren alimentación y pueden ir embebidos en objetos con los que están familiarizados los usuarios como llaveros, pulseras, llaves o tarjetas de plástico. Además, estos elementos pueden realizar otras funciones como identificación, pago o acceso, por lo que la función de localización y seguimiento puede combinarse con otras aplicaciones y usos de la tecnología.

Por otra parte, otros dispositivos con una amplia penetración en la sociedad, como teléfonos móviles o laptops también pueden estar dotados de este sistema de comunicación, tanto de la parte lectora como de tags receptores [91], si bien, en este caso, la identidad del usuario podría quedar comprometida.

Aunque esta tecnología fue concebida para procesos de identificación, hoy en día, también se utiliza para tareas de localización. En cuanto a este tema, los trabajos de investigación se centran en el diseño de redes lectoras en las que cada una de

ellas tiene coordenadas geográficas asociadas. Así, a partir de las lecturas recibidas y de la topología desplegada, es posible determinar la posición de los usuarios (localización).

La propuesta consiste en establecer una malla de lectores repartida por la zona urbana que se quiere analizar y, a su vez, estos lectores transmitirán las lecturas a un elemento central para su procesamiento y análisis. Para este propósito se puede contar con infraestructura ya instalada y aprovechar así para esta función el inmenso parque de lectores y tags ya desplegados entre los ciudadanos. Se puede contar para ello con las tarjetas de acceso a medios de transporte (metro, bus, tranvía, etc.) [92], [93], tarjetas turísticas de acceso a eventos y museos [60], tarjetas monedero [63], etc. disponibles en la ciudad. Todas las tarjetas anteriores funcionan con RFID tag pasivo instalado y contienen un identificador único que les permite realizar su función. Además, mantienen la privacidad del ciudadano al no haber una relación entre sus datos personales y el identificador de la tarjeta, ya que al adquirir una de estas tarjetas, tan sólo se abona su importe y no es necesario proporcionar la identidad del usuario que la adquiere.

Aunque el uso principal de estas tarjetas no es el de seguimiento, con la propuesta se puede aprovechar el identificador de la tarjeta para trazar la ruta por la que circula el ciudadano que la lleva. Si bien esta idea no es nueva, la aportación propone además desplegar otros lectores adicionales en lugares de interés por los que se desea conocer su flujo, en los que, debido a la naturaleza de las aplicaciones anteriores, no habrá un lector para ello. Por ejemplo, calles comerciales, avenidas, parques, edificios gubernamentales, etc. Con esta propuesta, se desplegaría una cuadrícula de lectores, entre los ya existentes y los nuevos colocados a tal fin para cubrir los espacios de interés.

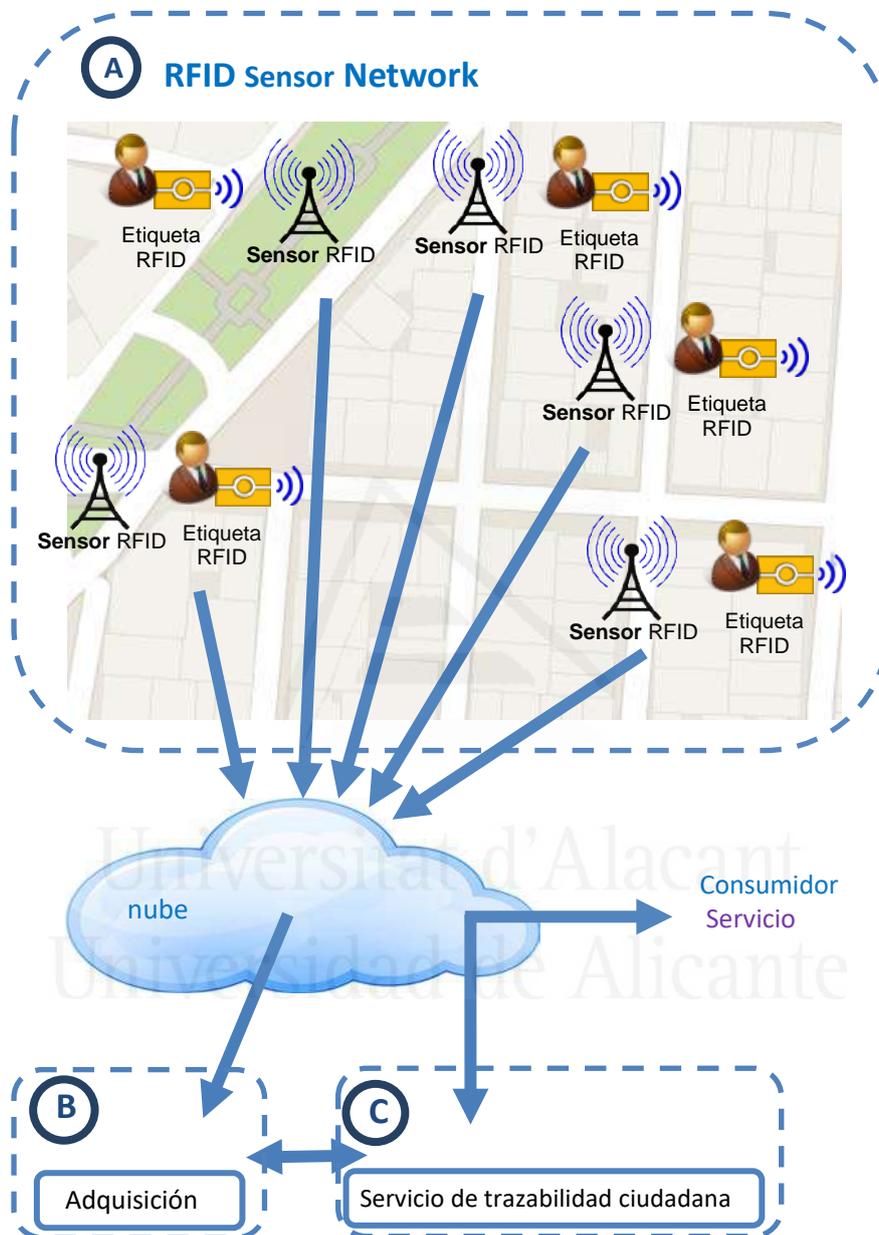


Figura 5. Despliegue de red de sensores RFID.

Según las características de la tecnología RFID, es posible configurar lectores con radios de cobertura de varios metros

[76,77], por lo que cada uno de estos lectores puede cubrir completamente la acera de una calle, como se muestra en la Figura 5. El propósito es que la colaboración de los ciudadanos para la activación de las etiquetas no sea necesaria y todo lo que tengan que hacer sea permitir que se lleven en la ropa, se lleven en un bolsillo, una bolsa o cartera de manera transparente e interactúan mientras se mueven sin que el usuario sepa eso.

De este modo, al igual que ocurre con las etiquetas colocadas en las prendas de las tiendas de ropa que se activan al salir sin pagarlas, las etiquetas portadas por los ciudadanos en sus tarjetas se activarán cuando caminen por la calle y pasen a la altura de una de las antenas instaladas.

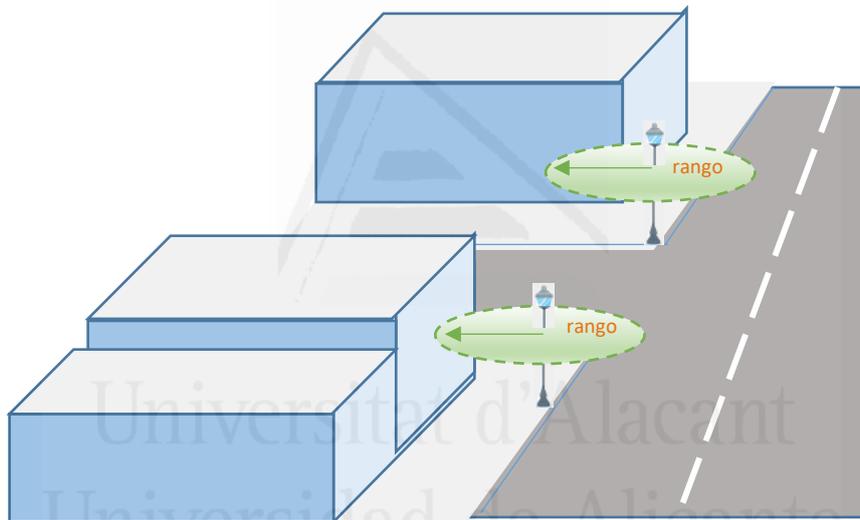


Figura 6. Ejemplo de instalación y cobertura del sensor.

La topología de la cuadrícula deberá ser lo suficientemente densa como para cubrir la circulación por las zonas de interés. Por razones prácticas, los tags empleados deberán ser de alguna aplicación ya extendida y aceptada por el ciudadano, de modo que, como se ha mencionado, las nuevas antenas se complementen con la infraestructura ya instalada.

En cuanto al despliegue de esta infraestructura adicional pueden tenerse en consideración diferentes criterios. Por ejemplo,

criterios prácticos que decidan cubrir sólo aquellas zonas de especial interés de la ciudad (centro de la ciudad, zonas turísticas, etc.) o criterios económicos que decidan limitar la cuadrícula a algunas zonas de la ciudad. A este respecto, pueden existir opciones de instalación de antenas móviles que puedan trasladarse de una parte a otra de la ciudad cuando el área esté lo suficientemente estudiada.

Estructuración y Comunicación de la información de localizaciones de los ciudadanos

En los trabajos analizados basados en tecnología RFID, las soluciones propuestas se centran en áreas restringidas, como supermercados, hogares, hospitales, centros logísticos, lugares de entretenimiento, etc. donde la transmisión de información se realiza directamente a través de intranets privadas (no en redes públicas como internet) sin capacidades de confiabilidad. En estas propuestas sólo se utiliza un tipo de etiqueta RFID y no se han considerado las necesidades de procesamiento. Sin embargo, después de este análisis, se identificó que uno de los retos del sistema propuesto era la heterogeneidad y falta de control ambiental donde es obligatorio adquirir información de localización de los ciudadanos para construir los flujos de movimiento. En este sentido, se puede mejorar cualquier espacio de la ciudad, sin conocer el número o el tipo de etiquetas a leer o los límites de capacidad de procesamiento requeridos. En este nuevo escenario, es necesario proponer un sistema con la tecnología e infraestructura indicados en la sección anterior, capaz de distribuir la lógica del sistema para asegurar el procesamiento, transmisión, almacenamiento de información y estructuración. Esto establecerá el flujo de ciudadanos y, por lo tanto, se abordarán los objetivos señalados en el nuevo escenario.

Este es el objetivo de la tarea descrita en esta sección. Más concretamente, los objetivos que debe cubrir este proceso son: ser capaz de adquirir y procesar la información independiente del entorno o la estructura de datos de las etiquetas RFID (*transparencia*), independiente del número de lecturas realizadas por la red de sensores desplegados (*escalabilidad*); Asegurar la entrega y recepción de cada localización para generar los diferentes flujos ciudadanos (*confiabilidad*) sin datos de identificación del ciudadano (*privacidad*); asegurar que la información es accesible

desde cualquier lugar y desde cualquier dispositivo para los consumidores del servicio (*disponibilidad* y *versatilidad*); ofrecer información completa sobre los movimientos de los ciudadanos, a pesar de la falta de ciertos lugares individuales (*completitud*); Gestionar los recursos de los sistemas de forma óptima (*eficiencia*) y distribuir la carga (*rendimiento*), debido a la gran cantidad de información de ubicaciones que cada lector podrá recibir y enviar al sistema central; y, finalmente, ser interoperable con el fin de obtener información de ubicaciones en diferentes formatos o métodos (*interoperabilidad*), ya que el sistema está destinado a aprovechar los elementos ya implementados e incorporarlos a usuarios que podrían trabajar con distintos protocolos o formatos.

En este sentido, es necesario un análisis de técnicas, patrones y principios de diseño que guíen y controlen el proceso de transformación para el sistema propuesto de lograr y alcanzar los objetivos mencionados. El resultado del proceso es un modelo arquitectónico distribuido basado en el uso de las redes de sensores inteligentes RFID cuya funcionalidad va a resolver los problemas (A parte de la estructura general) y un sistema centralizado basado en la nube que complementa las funciones de adquisición de la información. La red de sensores de RFID consiste básicamente en un lector RFID con capacidades de computación y comunicación. El sistema centralizado basado en la nube se centrará en la generación (parte B de la estructura general) y un suministro de flujo de los ciudadanos (parte C de la estructura general) de una manera abierta y transparente. El resultado de este proceso presenta un modelo de referencia basado en la integración de patrones y técnicas de diseño de software. La novedad de este método radica en su combinación y ligeras modificaciones nos permite abordar el problema y resolver las deficiencias existentes en los sistemas actuales. Esta combinación satisface el uso de la tecnología RFID en entornos no controlados y heterogéneos para determinar el flujo de movimiento ciudadano con el fin de proporcionar una gestión eficiente de los recursos de las ciudades. La figura 4 anterior, describe los procesos involucrados en ella, según la metodología utilizada con sus principales objetivos.

A continuación, se describen las características de estos elementos para lograr los objetivos de adquisición, estructuración y comunicación de información.

Diseño de una red de sensores inteligentes RFID

Aunque existen trabajos relacionados que proponen modelos arquitectónicos distribuidos basados en redes de sensores para obtener las ubicaciones de los ciudadanos, por ejemplo [42,45,48,50,53,56,58], estos enfoques no cubren los aspectos necesarios (fiabilidad, privacidad, rendimiento, eficiencia, disponibilidad y transparencia) para dar una solución al problema descrito. Uno de los principales aportaciones y novedades que se ha desarrollado en este trabajo es la aportación de inteligencia a los sensores. Estos dispositivos son responsables de las lecturas de las localizaciones y asegura posteriormente la entrega de dicha información. Así que, para la generación de la ruta correcta de cada movimiento, es necesario diseñar una infraestructura con una red de sensores inteligentes de RFID que incluyen la racionalidad necesaria para el seguimiento de los ciudadanos. Por lo tanto, cada Sensor inteligente consiste en un lector RFID, junto con un elemento de procesamiento integrado que proporciona capacidades de computación y comunicación para apoyar las funciones necesarias para alcanzar los objetivos establecidos. Estas funcionalidades son apoyadas por ocho módulos como se muestra en la Arquitectura Inteligente de Sensores RFID (Figura 7).

Una de las principales funcionalidades incluidas en los sensores inteligentes RFID es la capacidad de recibir información de diferentes tipos de etiquetas RFID de forma transparente. Sobre esta cuestión, sólo la propuesta presentada en [45] propone una solución que permite la captura de la información de localizaciones de diversos tipos de etiquetas RFID a través del uso de ontologías. Aunque esta propuesta requeriría un conocimiento previo de la estructura de la información almacenada en la etiqueta RFID para ser leída, un aspecto que podría significar que la gestión de la ontología es insostenible. Debería ser necesario conocer todos los tipos de etiquetas existentes o cada vez que se detecte una nueva introducir la información de esta en la ontología.

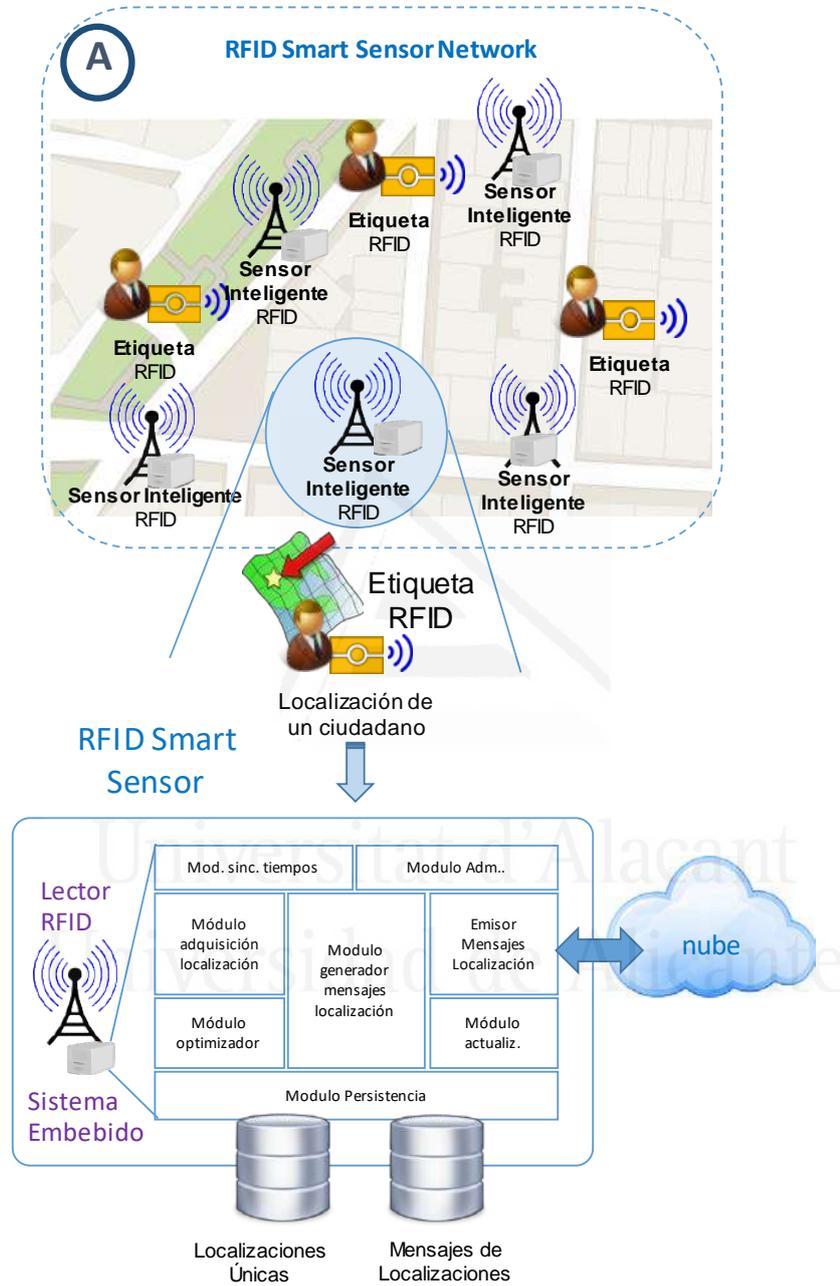


Figura 7. Arquitectura de Sensores Inteligentes RFID.

Los trabajos restantes analizados sólo pueden capturar la información de etiquetas proporcionada por ellos mismos. La solución aportada no depende de la etiqueta RFID, como se ha indicado en la propuesta del problema. En la red inteligente propuesta, se ha incluido la funcionalidad de obtener, de forma transparente, toda la información necesaria para la localización del ciudadano. Cuando se toma una nueva localización de la misma etiqueta, esa nueva localización tomada nos permitirá realizar una trazabilidad. En la propuesta existe un sistema de seguridad para aumentar la privacidad de los ciudadanos donde cada día cambia la generación de código. No existe la necesidad de conocer si es la misma persona que lleva la etiqueta, el objetivo en sí es la trazabilidad de todos los ciudadanos. Todas estas funcionalidades son realizadas por el *módulo de adquisición de localizaciones del sensor inteligente* descrito en la figura 7.

Para llevar a cabo el problema de fiabilidad, se va a implementar el patrón de integración conocido como entrega garantizada [82]. Este patrón determina un diseño arquitectónico que impide la pérdida de mensajes de información transferidos entre los nodos de ordenador que forman un sistema distribuido. El patrón se basa en el almacenamiento de mensajes persistentes anterior desde un nodo en el disco local. Hasta que el nodo de destino no confirme la recepción y el almacenamiento del mensaje, el nodo de origen no borrará el mensaje de su sistema de almacenamiento local. Si el nodo de destino nunca confirma la recepción de mensajes, el nodo de origen volverá a enviarlo.

Sólo con el uso del patrón mencionado, no se puede garantizar la entrega completa de los datos. Los datos podrían ser enviados y, debido a la existencia de problemas de comunicación, la confirmación de recepción de mensajes puede no llegar a la estación RFID. En este caso, si el mensaje no se transmite, los datos no se borrarían y habría una pérdida de información; O si el mensaje se reenviara, los datos se duplicarían. Para resolver este problema, el estudio se centrará en el patrón de identificador de correlación [82]. Cada mensaje de presentación se marcará con un identificador formado por una marca de tiempo, que puede establecer la correlación para el posterior procesamiento, y por el identificador del lector RFID de origen. Una vez que se restablece la comunicación, el mensaje sería enviado de nuevo, siendo el *módulo de adquisición* en el servidor el responsable de verificar la duplicidad de información. De esta manera, se puede asegurar la completa recepción de la información, necesaria para inferir

patrones de flujo de ciudadanos sin perder ni duplicar mensajes. Esta es otra funcionalidad novedosa lograda a través de la integración de patrones incluidos en los sensores inteligentes RFID. Estas funcionalidades y patrones se implementan mediante el *módulo de persistencia*, el remitente de mensajes de localizaciones y el *módulo de actualización del sensor inteligente* mostrado en la figura 7.

Otro aspecto clave para garantizar la fiabilidad de la entrega en un sistema distribuido, y que no está contemplado por el resto de los trabajos de investigación sobre sensores RFID en arquitecturas distribuidas, es la sincronización de tiempo de los componentes del sistema. La mayoría de las propuestas analizadas se centran en el proceso de seguimiento [45-58]. Las propuestas centradas en el proceso de trazabilidad no contemplan esta cuestión [42]. Sin embargo, este aspecto es necesario para lograr el proceso de rastreo. Con el fin de generar rutas fiables para gestionar mejor los recursos, es necesario conocer el momento específico de la localización ciudadana. Un dispositivo provisto de un reloj mal sincronizado realizaría el envío de la localización en un momento equivocado, la información de la ruta no sería válida, e incluso podría conducir a decisiones equivocadas. Hay muchos algoritmos que resuelven el problema de la sincronización del tiempo, y elegir uno determinado depende de la exactitud requerida del sistema, de los recursos a utilizar, y de la información que se quiere obtener. Para la presente propuesta, se rechazarán aquellos sistemas que trabajan con tiempos relativos y relojes lógicos, porque en nuestro caso es esencial sincronizar todos los elementos del sistema con un sistema de referencia UTC.

Dependiendo del tipo de red utilizada y de la precisión requerida, se tendrán diversos métodos, entre los que se encuentran soluciones clásicas como el *Network Time Protocol* (NTP), *Simple Network Time Protocol* (SNTP) y *Time-Triggered Protocol* (TTP), O soluciones más avanzadas tales como la *Reference Broadcast Synchronization* (RBS), el *Time Protocol on Sensor Networks* (TPSN) y el *Flooding Time Synchronization Protocol* (FTSP) [83, 84].

En nuestro caso, los patrones mencionados anteriormente, junto con la sincronización de tiempo, garantizan la fiabilidad en el proceso de entrega de datos. Además, la precisión de la sincronización permite tolerar perfectamente un retraso de unos

segundos, ya que la ruta sería relativa a nivel local y un rango de varios lectores de RFID no apreciaría tal retraso. Además, una vez que el servidor recibe la información de localización de varios lectores vecinos, podría haber una optimización y estandarización de datos en cuanto al tiempo. En el sensor inteligente RFID, esta funcionalidad es realizada por el *módulo de sincronización de tiempo*. Este módulo es un componente autónomo e independiente que se ejecuta periódicamente en segundo plano para actualizar el sistema de reloj (Figura 7). Además, el diseño propuesto incluye las siguientes consideraciones para reducir los costes de comunicación y gestión del sensor inteligente RFID: En primer lugar, es necesario alcanzar una velocidad de transmisión óptima para aprovechar el ancho de banda, que será determinado por el protocolo de comunicación establecido en el sensor. Si se envía la información a través de HTTP, la información de localización enviada podría ser menor que la envoltura del mensaje del protocolo de comunicación utilizado. Esta circunstancia daría lugar a penalizaciones en cada mensaje enviado. En la propuesta, el número de ubicaciones en cada mensaje enviado sería configurable en el Sensor Inteligente con el fin de lograr la mejor velocidad de reenvío en función del protocolo de transporte utilizado y del ancho de banda disponible. El sensor inteligente RFID incluye un módulo de administración para gestionar y parametrizar remotamente los sensores de red; En segundo lugar, la capacidad de almacenamiento de los sensores inteligentes es limitada, por lo que es esencial minimizar el almacenamiento local. En este sentido, habría una pequeña modificación del patrón de entrega garantizada, en el que no sólo se borraría el mensaje para obtener la confirmación de recepción, sino también los datos de localización que se incluyeran en el mensaje. Con este diseño, una vez que el sensor inteligente RFID obtiene la localización de un ciudadano, lo almacena localmente, crea un mensaje a partir de los datos de localización del ciudadano que está registrado en la base de datos y los almacena de nuevo. Cuando el mensaje se envía al sistema de información de flujo ciudadano y se almacena, el sistema devuelve la confirmación de recepción al cliente y el mensaje finalmente se borra del sistema local. Este proceso es realizado por el *módulo de actualización del sensor inteligente* RFID.

El resto de los trabajos de investigación, realizan el proceso de comunicación de los datos de localización en entornos controlados, independientemente de la fiabilidad de la comunicación. Por esta razón, no presentan la capacidad persistente a nivel de sensor y

no han contemplado la optimización de recursos de los sensores como si hace esta propuesta.

A continuación, el diseño propuesto funciona de acuerdo al siguiente procedimiento: como el lector RFID está leyendo diferentes etiquetas ciudadanas, éstas son recibidas por el dispositivo de adquisición de localización local a través del *módulo de adquisición* que desempeña el papel de Coordinador.

Cada vez que se recibe un contenido de una etiqueta RFID, se le asigna la marca de tiempo (sólo día / mes / año) y luego se aplica la función de hash. El resultado de esta acción se utilizará para realizar el anonimato del ciudadano. Luego, esta información se envía al *módulo optimizador*, el cual es responsable de indicar si una localización ciudadana debe ser almacenada o descartada dependiendo si se considera datos redundantes o no. Si la información es válida, el *módulo de adquisición* lo almacena en la base de datos de ubicaciones local (*módulo persistencia*) e informa al *módulo de generación de mensajes de localización*, que utiliza los datos para controlar si alcanza el número óptimo de ubicaciones adquiridas para crear un mensaje el cual será almacenado en la base de datos de mensajes de localización. Cuando el remitente de mensajes de localización detecta que hay nuevos mensajes, comienza a transmitirlos conectándose al servicio de generación de flujo ciudadano o servicio de adquisición de ubicaciones. El mensaje enviará los datos a través del protocolo de transporte disponible.

En este momento, el sensor inteligente RFID esperará al acuse del mensaje de localización desde el servicio de generación de flujo ciudadano. Cuando el sensor lo recibe, se invoca su *módulo de actualización*, borrando el mensaje correspondiente y sus localizaciones individuales de la base de datos en la misma transacción. Esta operación permite optimizar los recursos. Si durante un tiempo previamente configurado no se recibió el acuse de recibo del mensaje, el remitente del mensaje de localización volvería a intentar enviar el mensaje, tantas veces como se configurare en los parámetros del dispositivo. Antes, se debe comprobar el correcto funcionamiento de las comunicaciones de red.

Diseño del Servicio de Adquisición de Localizaciones

Este servicio debe proporcionar una interfaz para la adquisición de datos, lo que permite recibir mensajes de localización de usuarios desde sensores inteligentes que aseguran la escalabilidad y disponibilidad del sistema, la fiabilidad en la entrega de datos y la interoperabilidad con diferentes tipos de sensores. Este servicio corresponde con la parte B de la arquitectura general. La figura 8 muestra los detalles internos de este módulo junto con el sensor inteligente.

La escalabilidad se determinará por dos factores: en primer lugar, el número de ciudadanos que podrían interactuar con el sistema podría crecer indefinidamente y, por lo tanto, el tamaño de los datos a adquirir por el sistema también podría crecer de manera fiable. En segundo lugar, el número de sensores desplegados para la adquisición de información ciudadana puede ser alto y también podría crecer considerablemente para obtener más datos y asegurar la precisión en la determinación del flujo. Estos dos factores podrían hacer que el proveedor de servicios de flujo ciudadano se convierta en un cuello de botella cuando se trata de recibir y procesar la información. Con el fin de evitar estas situaciones, se proponen dos soluciones que se han implementado: La primera solución sería separar el proceso de recepción y almacenamiento de mensajes de localización, que requiere menos procesamiento, a partir de la transformación y procesamiento de datos de localización incluidos en los mensajes. Esta solución sería proporcionada por el paradigma de middleware orientado a mensajes (MOM) o el patrón de diseño de cola asíncrona de software [85] (componente MOM en la Figura 8), estableciendo un modelo punto a punto basado en colas de mensajes como una interfaz con la adquisición de localizaciones. Se trata de un modelo informático distribuido, asíncrono y transaccional, que actúa como un mensaje intermedio en la comunicación entre un emisor, el sensor inteligente RFID y un consumidor, el proveedor de servicios de flujo ciudadano. Además, este patrón nos permite mantener los mensajes, lo que nos permite implementar el patrón de entrega garantizada antes mencionado para garantizar la fiabilidad de la comunicación del mensaje; La segunda solución, que es complementaria a la anterior, consiste en la introducción de técnicas de agrupamiento para el equilibrio de carga utilizando múltiples nodos a distribuir y la colocación de un sistema de mensajería para la adquisición de datos en cada uno de estos nodos. Por lo tanto, la carga de la adquisición de datos sería

bastante distribuida, e incluso la implementación de nuevos nodos de adquisición sería inmediata.

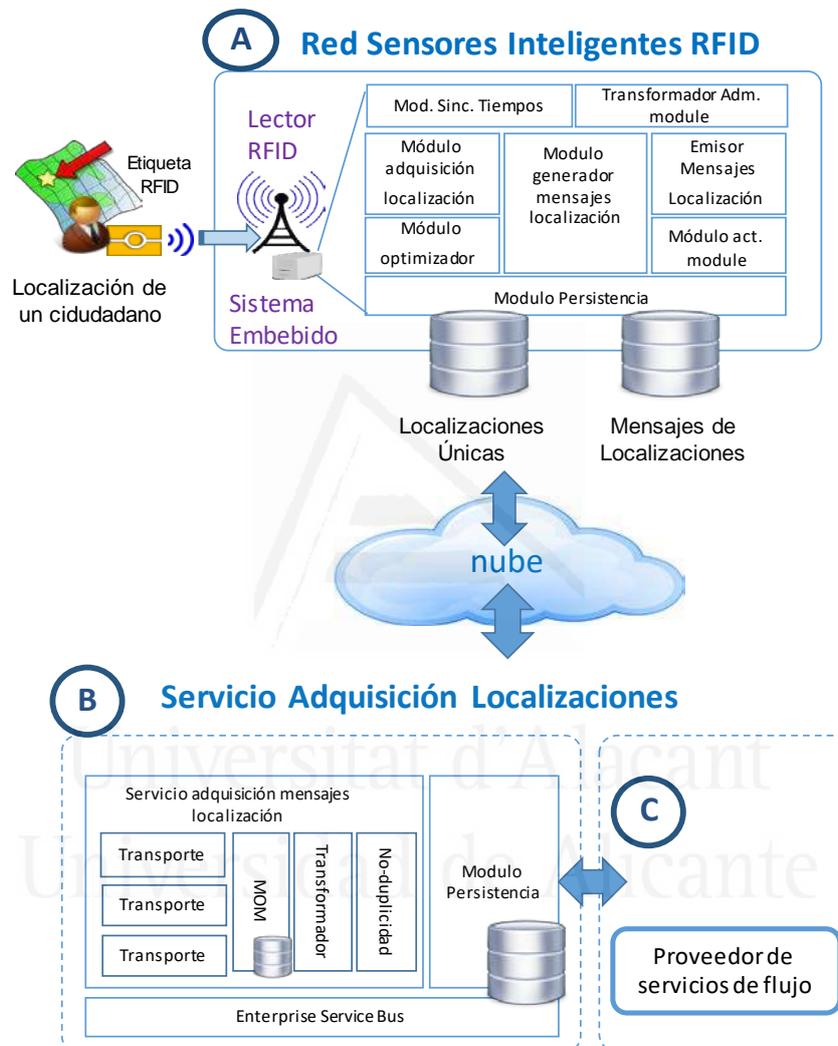


Figura 8. Arquitectura del servicio de adquisición de localizaciones.

Aunque el uso del paradigma MOM ha sido propuesto en [45] para proporcionar escalabilidad en el procesamiento del sistema de seguimiento en interiores, en esta propuesta la fiabilidad de la comunicación entre los sensores y sistema central y la tolerancia

a fallos del sistema central no se contemplan. Además, no se contempla ningún aspecto de alta disponibilidad y equilibrio de carga en esta funcionalidad ya que las necesidades que requieren escalabilidad y procesamiento están limitadas por el entorno de aplicación.

En relación con la disponibilidad, un colapso o fallo del sistema centralizada puede implicar la pérdida de datos de localización y, por lo tanto, reduce la validez de la generación de patrones de flujo de ciudadanos. Para solucionar este problema, las técnicas de clustering podrían agregarse al *módulo de adquisición* para lograr una alta disponibilidad. De esta manera, si uno de los nodos cae, otro del clúster lo reemplazaría.

Finalmente, otro aspecto importante a considerar cuando los datos de localización son enviados desde sensores inteligentes RFID, es la heterogeneidad de los dispositivos clientes existentes en el mercado y los protocolos de comunicación que utilizan para transmitir datos. Hay lectores RFID que tienen sistemas informáticos que permiten la comunicación a través de estándares que son conocidos y ampliamente extendidos. Sin embargo, otros sólo incluyen la comunicación en serie y para transmitir la información emplean un pequeño dispositivo de bajo costo embebido. Además, aunque la propuesta se basa principalmente en la obtención y adquisición de ubicaciones ciudadanas a través de la tecnología RFID, el sistema podría considerar la adquisición de datos a través de otros tipos de localización y sistemas de posicionamiento como GPS o sistemas de datos heredados que proporcionen información de localización. A su vez, esto conduciría a una diversidad de formatos de mensajes y modelos de datos.

En esos casos, se ha considerado la creación de una infraestructura basada en el protocolo de los patrones de puente, la transformación del modelo de datos y la transformación de formato de datos [85]. El patrón de diseño de protocolos puente es implementado por los diferentes módulos de transporte (Figura 8), aunque, por defecto, el *módulo de transporte* del sistema descrito en esta sección se basa en el estilo *Rest* siguiendo el paradigma SOA. El contrato de servicio *Rest* se ha definido mediante el lenguaje de modelado API de *Rest*, *RAML* (Figura 9). Los otros dos patrones son implementados por el componente de transformador mostrado en la Figura 8. El objetivo de los transformadores es unificar el mensaje para mejorar el rendimiento del proveedor de servicios de trazabilidad ciudadana. De esta manera, se puede

resolver dinámicamente los problemas de heterogeneidad de la estructura del mensaje, el formato de datos y el protocolo de comunicación utilizado para enviar respectivamente al *módulo de adquisición*.

```

#%RAML 0.8
---
title: Citizens Location Service
baseUri: http://www.dtic.ua.es/v1.0
version: v1.0

/citizenlocations:
  post:
    description: create locations read from RFID smart sensors
    protocols: [HTTPS]
    body:
      application/json:
        example: |
          {
            "idrfid":1,
            "location":[
              "lat":38.384993156837425,
              "lng":-0.5133978999999727
            ],
            "locations":[
              "citizen":["cid": 101010101,"pw": 64,"ts":1443723690],
              "citizen":["cid": 101010101,"pw": 62,"ts":1443723695],
              "citizen":["cid": 203330107,"pw": 62,"ts":1443723695]
            ]
          }
    responses:
      201:
        description: Locations have been successfully created.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "message": "Locations have been successfully created."
              }
      400:
        description: Locations have not been created.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "message": "Locations have not been created."
              }

```

Figura 9. Contrato RAML del servicio de adquisición de mensajes de localización.

Cuando el mensaje se recibe a través del *módulo de transporte* correcto, el mensaje se almacena en un sistema de gestión persistente (modelo de mensajería de cola de punto a punto basado en el patrón de cola asíncrona [85]). Los mensajes son almacenados esperando a ser consumidos y procesados. A partir de este momento, el sistema envía un mensaje de reconocimiento al sensor inteligente de RFID para confirmar la recepción de mensajes de localización.

Puede suceder que el mensaje haya sido recibido por el sistema, pero la respuesta de acuse de recibo enviada por el sistema falle porque la comunicación se interrumpa. En este caso, un mensaje previamente procesado podría ser procesado otra vez. Esta es la función del *módulo de no-duplicidad*, para filtrar los mensajes y evitar su reprocesamiento usando los identificadores de mensaje (*message_id* y *rfid_reader_id*). Cuando se recibe un mensaje desde la cola del sistema de mensajes (MOM), se comprueba su estructura y formato de datos. Dependiendo de esta información podría ser posible el uso de transformadores (modelo de datos y patrones de transformación de formato) [85].

Todos los módulos del *módulo de adquisición de localización* son compatibles con la plataforma de Enterprise Service Bus (ESB). ESB es una potente infraestructura de integración de software y de comunicación que permite la interoperabilidad entre los módulos descritos.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Diseño del sistema de estructuración de localización ciudadana

Estructuración del flujo ciudadano

A partir del análisis de requerimientos realizado en los párrafos anteriores, en este proceso se deberá identificar la información requerida para asegurar la generación de flujos ciudadanos confiables que permitan tomar decisiones en la gestión de los recursos de la ciudad. Para ello, los principales objetivos son proporcionar información completa sobre el área geográfica objeto de estudio, con la posibilidad de segmentar la información en función de la hora del día, el día de la semana y la época del año.

La entidad más básica y esencial para determinar el flujo ciudadano de un ciudadano, será la localización (L). Esta entidad se definirá por la siguiente tupla:

$$L = \{rfss (lo, la), cid, pw, ts\}$$

Donde:

- rfss (lo, la) representa la localización del Sensor Inteligente RFID determinado por su longitud y latitud, lo que nos permitirá conocer la posición del ciudadano en el mapa.
- cid representa la identificación por radiofrecuencia que es llevada por los ciudadanos y que nos permite identificarlos de manera única y anónima.
- pw es la potencia de una determinada señal de lectura de la tarjeta que nos permitirá conocer la proximidad a la antena del sensor inteligente RFID. Basándose en esto, la información sobre el Sensor Inteligente RFID será preprocesada con el fin de eliminar ubicaciones redundantes sin valor añadido que pertenezcan al mismo usuario y ayudarán a determinar posibles direcciones de un ciudadano o cambios de trayectoria con los datos de otros sensores inteligentes RFID vecinos a este.
- ts es el momento en el que se llevó a cabo la lectura de la etiqueta RFID.

Estos datos serán enviados al sistema centralizado por el Sensor Inteligente, siguiendo los mecanismos descritos anteriormente para garantizar la entrega. La otra entidad de datos

necesaria para determinar el flujo ciudadano es la propia red de sensores inteligentes RFID desplegada. Esta información, junto con las ubicaciones individuales, se completará para determinar la ruta tomada por un ciudadano. La entidad de red de sensores vendrá determinada por los siguientes elementos:

$$\begin{aligned} \text{RFSSN} &= \{\text{RFSS1}, \text{RFSS2}, \dots, \text{RFSSn}\} \\ \text{RFSSk} &= \{\text{idk}, \text{lok}, \text{lak}, \text{Nk}\} \\ \text{Nk} &= \{\text{RFSSi} \dots \text{RFSSj}\} \subset \text{RFSSN} \end{aligned}$$

Donde:

- RFSSN representa el conjunto de Sensores Inteligentes RFID que componen la red de sensores.
- RFSSk es un sensor específico definido por su identificador único (idk), su posición, determinada por la longitud (lok) y latitud (lak) y el conjunto de sus sensores inteligentes vecinos (Nk), que a su vez será un subconjunto de la red (los vecinos geográficos de un sensor podrían no emparejarse con sus vecinos reales debido a obstáculos insalvables o los hábitos de movimiento de los ciudadanos).

Los datos recibidos por la red de sensores desplegados deben ser estructurados y con el fin de construir rutas de movimiento ciudadano en el área geográfica de estudio. Por lo tanto, conocer los sensores vecinos, permite hacer frente a posibles pérdidas de lugares en la ruta seguida por un ciudadano y ayuda a definir las estrategias de interpolación e integridad según métodos conocidos para hacerlo.

La combinación de los datos recogidos, se utilizarán para generar flujos de demanda ciudadana por criterios específicos, como el intervalo de tiempo o área geográfica, indicando su densidad o la posibilidad de prever flujos de movimiento ciudadano según patrones de comportamiento basados en datos de movimiento histórico.

Diseño modelo de almacenamiento

Habiendo definido la especificación de la información en la subsección anterior, en ésta (y de nuevo siguiendo el diagrama de la figura 1) se explicarán qué técnicas de gestión de la información, así como de representación de la información geoespacial son las más adecuadas para conducir a los objetivos de este modelo de

diseño como la versatilidad, claridad, calidad,

La explicación con respecto a la especificación de la información se representará como se puede ver en el siguiente ejemplo:

La secuencia de desplazamiento ws se representa como $(l_1, ta_1, td_1), (l_2, ta_2, td_2), \dots, (l_n, ta_n, td_n)$ donde l_i es un único lugar ciudadano (SCL) definido como etiqueta específica de un lector de RFID particular, ta_i es el tiempo de llegada a l_i , td_i es el tiempo de salida de l_i , y $ta_i < td_i$ para $i = 1, \dots, n$. La tabla 4 ilustra un ejemplo de secuencia de marcha en una ruta almacenada en la base de datos del sistema.

<i>Id</i>	<i>Secuencia de marcha</i>
1	(11, 5, 20), (12, 25, 44), (14, 60, 70), (17, 80, 100), (19, 105, 115) (13, 120, 140), (12, 145, 150)
2	(121, 15, 30), (122, 35, 48), (123, 45, 75), (125, 80, 105)
3	(132, 5, 25), (134, 35, 50), (135, 60, 75), (136, 85, 120)

Tabla 4. Representación de la generación de los patrones de movimiento de flujo ciudadano a través de la notación de Eriksson-Penker.

Además de la sencillez de esta información, en la práctica hay temas que tienen que resolverse para evitar secuencias inadecuadas. Uno de esos casos es la eliminación de la redundancia, como se puede ver en la tabla anterior.

El diseño de un modelo o una estructura de almacenamiento no es una tarea muy complicada ya que no se requiere utilizar un almacén de datos complejos, OLAP o incluso la plataforma Big Data como indica la figura 1 entre otras opciones para almacenar los datos. La razón es que nuestros datos están bastante estructurados como se reflejó en el ejemplo. Por lo tanto, un modelo entidad relación (modelo ER) debe ser suficiente. Sin embargo, como se ha indicado antes, una de las características y ventajas de nuestro sistema es su dinamismo, lo que significa que dependiendo de la situación que se encuentre en un futuro sería posible y probablemente necesario incorporar otra arquitectura más sofisticada de acuerdo con su crecimiento.

En esta base de datos se almacenarán un conjunto de caminos. Como el principal objetivo de esta información es encontrar patrones de flujos hay técnicas de inteligencia artificial como clustering que se aplican sistemáticamente en el nodo servidor

para mejorar algunos de los objetivos más específicos de este módulo como el rendimiento, la eficiencia y la optimización del acceso.

Generalización del modelo de almacenamiento

En este apartado, se pretende dar un aporte a la trazabilidad en entornos de Ciudades Inteligentes y similares, donde independiente de la tecnología a emplear, una vez se obtengan los datos de posición de un usuario, sea posible almacenarlos mediante un formato canónico común. Para ello se diseñará una estructura de almacenamiento donde guardar las diferentes lecturas que se puedan obtener mediante una serie de tecnologías, de diferentes dispositivos para posteriormente tratar dichos datos para la obtención de patrones de comportamiento en estudios posteriores.

Cada vez existen más estudios sobre Ciudades Inteligentes (incluido este trabajo), donde se intentan optimizar recursos de las ciudades. La comprensión de los patrones de movilidad diaria de los ciudadanos es esencial para la planificación y gestión de las instalaciones y servicios urbanos. En este trabajo se ha optado por emplear la tecnología RFID para la captura de la información, debido a diversas razones analizadas, en el apartado anterior se ha especificado una modelo donde almacenar dichas lecturas. En vistas del creciente auge de estos estudios sobre Ciudades Inteligentes, se ha visto necesario mostrar una visión de una modelo de almacenamiento genérico para tratar capturas de datos desde diferentes dispositivos con distintas tecnologías.

Existen estudio donde la tecnología GSM/GPS es empleada para el tracking [95] [96]. Bluetooth [97], puede ser una tecnología interesante para el control de posicionamiento, si bien necesita del consentimiento del usuario. La tecnología Wifi con sus diferentes normas, siendo una de las más utilizadas dentro de las redes inalámbricas, nos permite posicionar sin ningún problema [98] y al estar presente hoy en día en cualquier Smartphone, Tablet y otros wearables, otorga un gran potencial de poder ser empleada para cualquier estudio. NFC podría ser otra candidata [99], aun teniendo en cuenta sus limitaciones de diseño, que impiden lecturas a distancias superiores a varios centímetros, al ser una tecnología que nos obliga a ser prácticamente de contacto, con el dispositivo lector.

En la actualidad todas las tecnologías anteriores son capaces de generar datos de posicionamiento, los cuales se le pueden dar infinidad de usos. La gran ventaja del momento es que la mayoría de tecnologías se encuentran embebidas en dispositivos de uso cotidiano, los cuales disponen la mayoría de personas. Por Ejemplo, actualmente un smartphone de gama baja, dispone de tecnología Wifi, tecnología bluetooth, tecnología GPS, GSM, en gran cantidad de modelos NFC. Con lo que un simple smartphone se podrían obtener valores para almacenar y posteriormente tratar en nuestro sistema. Otro caso, podría ser la tecnología RFID, la cual cada vez más está implantada en nuestra vida cotidiana; actualmente ya grandes fabricantes y distribuidores etiquetan sus artículos mediante esta tecnología, la cual como se verá más adelante es posible identificar a una determinada distancia sin necesidad de autorización por parte del individuo que lleve dicho tag, aspecto necesario si se habla del ejemplo anterior de los smartphones. NFC otra tecnología muy actual, se encuentra embebida en infinidad de tarjetas de pago, de transportes y otros usos, si bien presenta las limitaciones de la distancia, se podría hacer uso de las lecturas realizadas en diferentes puntos, para monitorizar su posicionamiento.

A continuación, se pretende mostrar un estudio sobre las tecnologías disponibles en el mercado capaces de obtener datos de posicionamiento, así como plantear una estructura donde almacenar todas esas lecturas obtenidas con el consentimiento del usuario o sin su consentimiento, empleando una estructura común para todas las tecnologías indicadas. Estas lecturas serán muy interesantes conocer para analizar diferentes escenarios donde tratar con Big Data; se tendrá que tener en cuenta que la cantidad de datos que se pueden obtener es inmensa, con lo que la estructura es fundamental para el posterior desarrollo de sistemas que manejen estos Big Data.

A continuación, en la figura 10, se muestra un posible escenario de trabajo, sobre la presente propuesta:

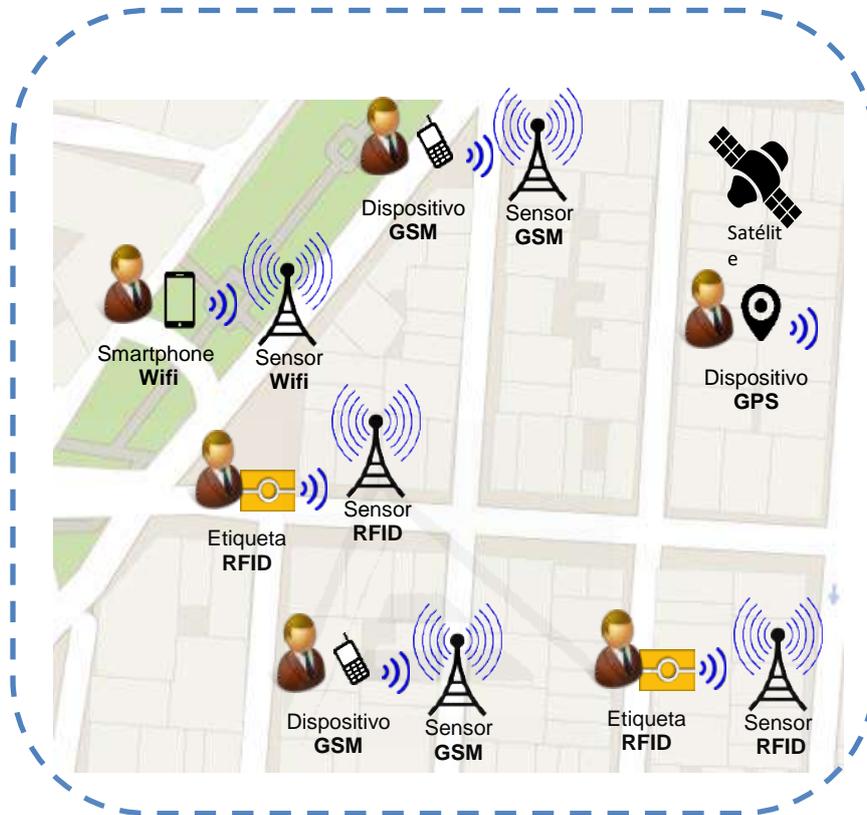


Figura 10. Escenario de captura de información de diferentes tecnologías.

Estructura de datos del modelo de generalización

La estructura de almacenamiento es un aspecto fundamental a tener muy en cuenta a la hora de diseñar nuestro sistema y se tendrá que tener en cuenta una serie de factores que se pasan a detallar a continuación:

Para crear la estructura, se tienen que tener en cuenta las siguientes consideraciones: Por una parte se debe de poder conocer una vez realizada la lectura mediante que tecnología fue realizada,

esto será importante ya que existen tecnologías con errores mínimos de posicionamiento, mientras en otros estos errores pueden ser superiores, también puede ser necesario en un posterior tratamiento de los datos, conocer que lecturas han sido realizadas mediante una tecnología en concreto; poder determinar que en determinados entornos las lecturas realizadas son en su mayoría de una determinada tecnología por ejemplo GSM, puede ayudar a conocer que en ese entorno solo transitan individuos con smartphones y no con tags RFID, por ejemplo. Interesante conocer que para obtener un dato de posicionamiento en GSM se ha de realizar una triangulación.

Se debe pues de crear una estructura, a la cual se le puedan pasar datos de cualquier dispositivo de lectura de posicionamiento, y que estos queden reflejados teniendo en cuenta los siguientes datos:

Datos de posicionamiento (posicionLectura): Aquí se deberá de tener información acerca de la posición donde se ha realizado la lectura, para ello se hará uso de la latitud y longitud obtenidas a la hora de realizar la lectura la estación lectora, esta determinará la latitud y longitud. Con un margen de error determinado por la tecnología y el dispositivo de lectura, de ahí la necesidad de almacenar el tipo de tecnología empleada también a la hora de realizar la lectura. Este dato se representará por medio de una estructura compleja, definida de la siguiente forma:

posicionLectura = {latitud: float, longitud: float}

Identificación del dispositivo / tarjeta (idLectura): Dependiente del dispositivo empleado, se almacenará una información u otro, en caso de Tags RFID, solo se almacenará el EPC de la tarjeta, para el caso de tecnología GPS/Wifi/Bluetooth se almacenará la dirección MAC del dispositivo, en resumen, se debe de poder plasmar un id del dispositivo leído, el cual, para cualquier tecnología de las planteadas, es posible obtener. Este dato será representado por medio de un *integer*.

Potencia empleada (potenciaEmpleada): Será interesante conocer en caso de poder obtener el valor mediante la estación lectora o bien con el dispositivo de la potencia mediante la cual se ha realizado la lectura para el caso de RFID, o bien la intensidad de la señal para Wifi... Este valor puede ser interesante en posteriores estudios para determinar si es necesario un

incremento de estaciones lectores para una mayor capacidad de lecturas, o el incremento de la señal wifi, para evitar pérdidas de lecturas, por ejemplo. Este dato será representado por medio de un *float*.

Identificación de la estación lectura (*idEstacionLectora*), necesitamos almacenar un identificador de estación lectura encargada de realizar la lectura, así como el tipo de estación lectora (Tipo de tecnología: GPS/Wifi/RFID...); en caso de ser necesaria más de una estación lectora para poder realizar una lectura (una triangulación por ejemplo para localizar un dispositivo GPS), se deberá de almacenar todas las estaciones que han intervenido en dicha lectura. Este dato será representado por medio de un *integer*.

Fecha y Hora (*fechaHora*), es uno de los valores más importantes a almacenar, ya que va intervenir en cualquier cálculo posterior de posible tracking, siendo necesario poder distinguir lecturas anteriores o posteriores en el tiempo; Para que nuestro sistema sea fiable todos los lectores deben de estar sincronizados con un margen de error mínimo, para ello se aplicará un método de sincronización de relojes, pudiendo ser NTP[103], el cual permite una correcta sincronización, se encuentra perfectamente probado y presenta unos márgenes de errores aceptables, los cuales sin ser las más óptimos, son suficientes para nuestro sistema. Este dato será representado por medio de un *TimeStamp*.

Tecnología empleada (*tecnologiaLectura*), aspecto muy importante a almacenar, ya que posteriormente al realizar consultas sobre trazabilidad, dependiente del tipo de tecnología empleada para realizar la lectura, se podrán determinar posibles errores, conocer la precisión de la lectura, hábitos del individuo que porte el dispositivo/tag leído en el entorno a analizar, así como otros posibles aspectos. Este dato será representado por medio de un *string*, el cual indicará la tecnología empleada (RFID, GPS, GSM, Wifi, Bluetooth o cualquier tecnología que nos permite realizar la tarea).

Una vez definidas las necesidades, se debe de definir la estructura de almacenamiento. En nuestro caso se definirá una estructura tipo vector donde se almacenarán los diferentes campos definidos con anterioridad como se muestra a continuación.

La entidad básica donde se almacenarán las localizaciones vendrá definida por la siguiente tupla:

$L = \{posiciónLectura, identificadorEtiqueta, idEstacionLectora, potenciaLectura, fechaHoraLectura, tecnologiaLectura\}$

Y donde se tendrán un conjunto de lecturas:

$NL = \{L1...Ln\}$

Por otra parte, es necesario almacenar en otra entidad la red de estaciones lectores desplegadas, dicha entidad vendrá determinada por:

Datos de posicionamiento del lector (posicionamientoLector): Este valor determinará la posición exacta del lector, para ubicarlo se hará uso de la latitud y longitud. Este valor podrá ser analizado posteriormente para determinar si su posición es la más correcta o hay que modificarlo (en función de la potencia con la que son realizadas las lecturas), o añadir más lectores u otras posibles acciones. Este dato se representará por medio de una estructura compleja, definida de la siguiente forma:

$posicionamientoLector = \{latitud: float, longitud: float\}$

Identificación de la estación lectora (idEstacionLectora), identificador de la estación lectora. Este dato será representado por medio de un *integer*.

Tecnología empleada (tecnologiaEstación), tecnología que emplea la estación lectora, para realizar las lecturas. Este dato será representado por medio de un *string*, el cual indicará la tecnología empleada (RFID, GPS, GSM, Wifi, Bluetooth o cualquier tecnología que nos permite realizar la tarea).

La entidad básica donde se almacenarán las estaciones lectoras, vendrá determinada por la siguiente tupla:

$R = \{posicionamientoLector, idEstacionLectora, tecnologiaEstación\}$

Donde el conjunto de estaciones lectoras, vendrá determinado por:

$RN = \{R1, R2, ..., Rn\}$

Con estas dos tuplas definidas (tupla lecturas y tupla estaciones lecturas), se almacenarán todas las lecturas realizadas por las estaciones lectoras, así como las posiciones de estas, incluyendo todos los datos necesarios para posteriormente analizar diferentes escenarios de trazabilidad, seguimiento, u otras posibilidades donde se pueda explotar dicha información.

Diseño del sistema de representación de flujos ciudadanos

Una vez se ha capturado la información, ésta debe prepararse para su interpretación por los agentes interesados y estar lista para la toma de decisiones oportunas. Este proceso está formado por dos fases: en primer lugar, deben completarse los datos capturados para cada persona y a continuación inferirse las costumbres de movimiento a partir de la colección de movimientos individuales.

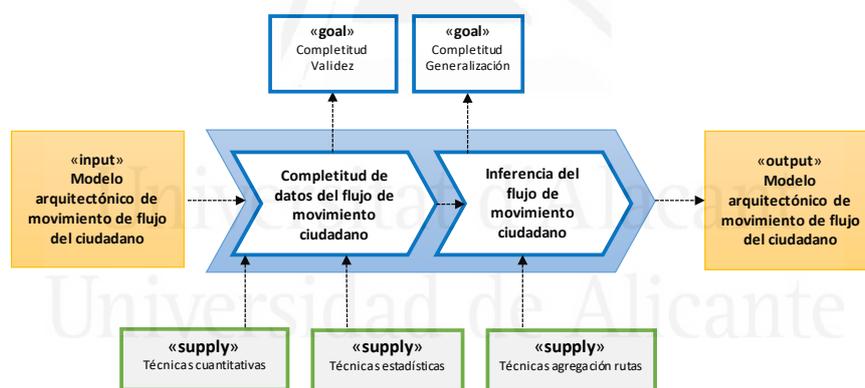


Figura 11. Representación de la generación de los patrones de movimiento de flujo ciudadano a través de la notación de Eriksson-Penker.

Completitud de datos del flujo de movimiento ciudadano

Un aspecto fundamental en la captación de los datos

individuales es que llevan asociados la marca de tiempo del instante en el que se capturaron. Esta característica permite representar el flujo de movimiento simplemente por sucesión temporal de las diferentes muestras correspondientes al mismo usuario. Sin embargo, la propia naturaleza del método de captura de las muestras puede provocar que se produzcan discontinuidades en la ruta seguida por el usuario debido, por ejemplo, a interferencias al pasar junto a una antena, falta de potencia para activar el tag u ocultaciones provocadas por otros usuarios. Por tanto, la primera parte de este proceso consiste en completar las muestras individuales, interpolar los recorridos y construir a partir de ellos una ruta coherente con el plano de la ciudad seguida por cada usuario.

Por ejemplo, la siguiente figura ilustra esta situación. En la disposición de 4 sensores consecutivos en la misma calle, sólo se han tomado lecturas en 3 de ellos dejando un hueco (Figura 12a). La secuencia temporal de las muestras indica el orden de lectura, sin embargo, para llegar hasta el último lector hay varios caminos alternativos teniendo en cuenta el urbanismo de la zona (figura 12b y 12c).

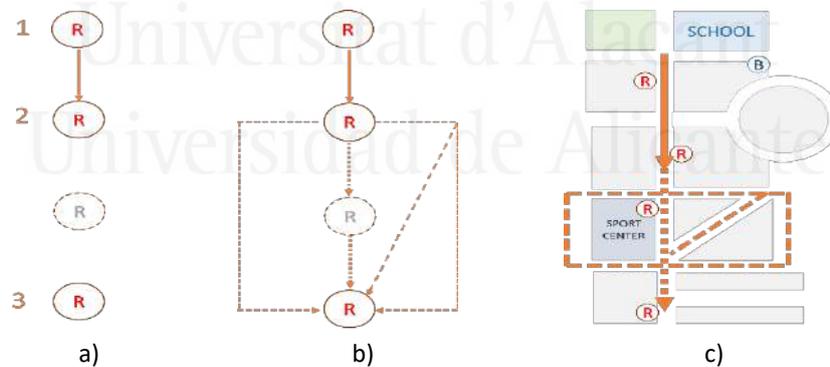


Figura 12. Proceso de completitud.

Para completar las rutas pueden aplicarse varias estrategias complementarias: por ejemplo, usar información cuantitativa de

las diferencias temporales entre las muestras o cualitativa relativa a las probabilidades de ruta frecuente seguidas por el usuario. La primera de ellas se refiere a que la ruta de calles probable que ha seguido el usuario debe ser coherente con el tiempo empleado para ello. Es decir, no pueden escogerse recorridos que requieran menos tiempo del que separan las diferentes muestras a una velocidad de caminado normal. La segunda estrategia utiliza la propia información del sistema para decidir el camino asignado según los patrones almacenados.

Así, en el ejemplo descrito existen hasta 4 caminos alternativos que cubren el recorrido dispuesto por los sensores. Teniendo en cuenta lo anterior, podría discriminarse entre ellos, para decidir qué ruta concreta es la que se almacena, aunque ello suponga, que el usuario ha saltado la lectura de un sensor.

Otra opción de funcionamiento para resolver estos casos de ambigüedad consiste en almacenar en el sistema todas las opciones de caminos posibles dotando a cada uno de ellos de un valor de probabilidad en función de las estrategias anteriores.

En cualquier caso, si se detecta un patrón de comportamiento repetitivo en este sentido, puede refinarse la información colocando nuevos lectores en las cercanías del hueco producido, que cubran los caminos alternativos para conocer exactamente qué está pasando.

Inferencia del flujo de movimiento ciudadano

El procesamiento de las rutas individuales de múltiples usuarios permitirá realizar análisis agregados. El objetivo de este proceso consiste en inferir el flujo ciudadano y generar patrones de circulación por cada área de la ciudad eliminando las peculiaridades de cada movimiento individual.

Las situaciones que pueden darse con una misma configuración de sensores desplegada pueden ser muy variadas. Por ejemplo, la siguiente figura muestra un esquema en el que se disponen sensores de lectura en ambos lados de una misma calle (Figura 13a) y la posible variabilidad de los movimientos individuales (Figura 13b). En ese caso, se pueden producir hasta 8 recorridos diferentes por la misma calle.

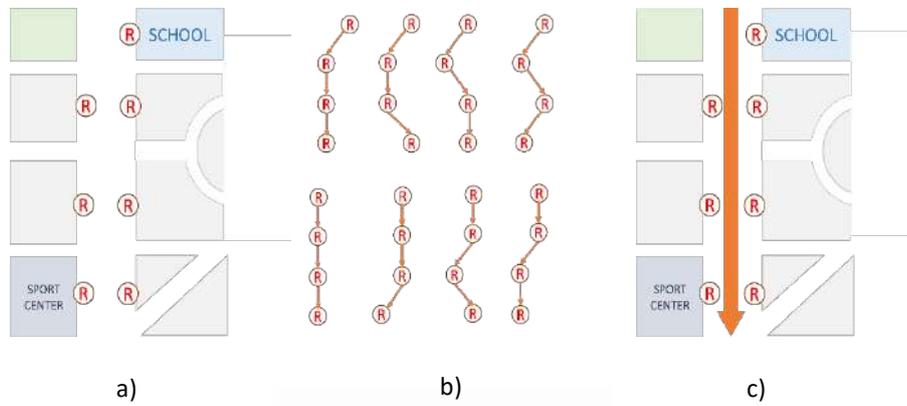


Figura 13. Proceso de inferencia.

Existen varios métodos para inferir el recorrido agregado. Por ejemplo, mediante modelos de estadística espacial de cálculo del valor medio direccional lineal [113] o mediante técnicas de agregación de líneas de regresión [114]. La aplicación de estos procedimientos sobre las rutas individuales producirá un recorrido integrado que engloba las variaciones particulares para describir, a grandes rasgos, el flujo ciudadano global en cada zona de la ciudad (Figura 13c).

La ejecución de proceso debe contemplar aspectos temporales para deducir las tendencias según el momento del día, el día de la semana o la época del año, así como tener en cuenta la ocurrencia de casos especiales como eventos deportivos o salidas de vacaciones, que puedan producir comportamientos particulares.

Explotación de la información

El último proceso que determina las necesidades y requerimientos del sistema es el *proceso de explotación*. Estos requerimientos se centran en exponer la información del flujo de ciudadanos a terceras partes para ayudar en la toma de decisiones a la hora de gestionar los recursos.

Para ello, los objetivos que se plantean se centran, en primer lugar, en el aprovisionamiento de los flujos de movimientos ciudadanos bajo demanda en base a las necesidades y criterios de búsqueda de los consumidores (*segmentación*). En segundo lugar, es importante que el servicio de valor agregado pueda ser consumido por terceros, independientemente de la plataforma o lenguaje de programación que utilicen (*interoperabilidad*).

Para ello se ha dividido en dos etapas, la identificación de filtros de búsqueda de información y el aprovisionamiento del sistema como un servicio interoperable.

En la primera etapa se han determinado varios filtros que permitan realizar búsquedas en base a las necesidades del consumidor. El primer filtro estaría orientado a la determinación de la zona de acción sobre la que se desea tomar la decisión. Esta zona de acción podría venir definida por diferentes indicadores con mayor o menor grado de precisión como una localización concreta, una localización concreta y un radio de acción, una ruta determinada, una zona previamente definida por los responsables urbanísticos de la ciudad o, por último, una zona irregular determinada por el usuario consumidor del servicio. El segundo filtro determinaría el periodo temporal sobre el cual se desea obtener la información de flujos ciudadanos para la zona determinada y que vendría dado por parámetros que representan diferentes niveles de precisión, desde un periodo corto de tiempo en un mismo día hasta un periodo a largo plazo que puede implicar meses o años. Otro de los filtros se basaría en la densidad de las rutas, permitiendo obtener la información de las rutas concretas que superen o que se encuentren por debajo de un umbral y que puede contribuir a la modificación de uso de recursos en las ciudades, por ejemplo, una ruta con poca densidad durante un largo periodo de tiempo puede implicar la modificación de un trayecto de un transporte público.

La segunda etapa se centra en garantizar, como se había comentado anteriormente, la interoperabilidad del servicio con los consumidores. Para ello el servicio se debe ofrecer siguiente dos modelos, un primer enfoque basado en el paradigma *Business to Customer (B2C)*, orientado a ofrecer una interfaz hombre-máquina que permita a un usuario la interacción directa con el sistema, como por ejemplo a través de un cliente ligero como un navegador Web. Un segundo enfoque basado en el paradigma *Business to Business (B2B)* que permita interconectar el sistema del consumidor con el servicio para incorporarlo como un proceso más de su organización pero que mejore su sistema actual añadiendo mayor información de decisión. Para ambos casos se basará en el aprovisionamiento del servicio siguiendo los principios del paradigma *Service Oriented Architecture (SOA)* [94] implementado mediante la tecnología de servicios Rest y ofreciendo la información resultante mediante un formato estructurado como por ejemplo XML o JSON, para que sea fácilmente tratada.

Por último, la información se generará bajo demanda en base a los parámetros de entrada que representan los filtros introducidos por el consumidor. La generación de flujos combinados a partir de rutas individuales del mismo o varios usuarios se producirá por agregación de lecturas para los filtros determinados mediante un proceso de clustering [115].

El cálculo de estas rutas agregadas se puede realizar mediante varios procedimientos aplicando una función de similaridad sobre las mismas. Por ejemplo, algunas funciones de este tipo utilizadas son la comparación de los puntos comunes de la secuencia, la comparación de las distancias o de los tiempos empleados en recorrerlas.

Modelo computacional del sistema de generación de flujo ciudadano

Como resultado final del proceso se ha obtenido el modelo computacional de captura y generación de flujos de movimiento ciudadano. En este modelo se integran los módulos que implementan los requerimientos derivados de los procesos anteriormente descritos guiados para el cumplimiento de los objetivos establecidos en cada uno de ellos, como se puede ver en la figura 14.

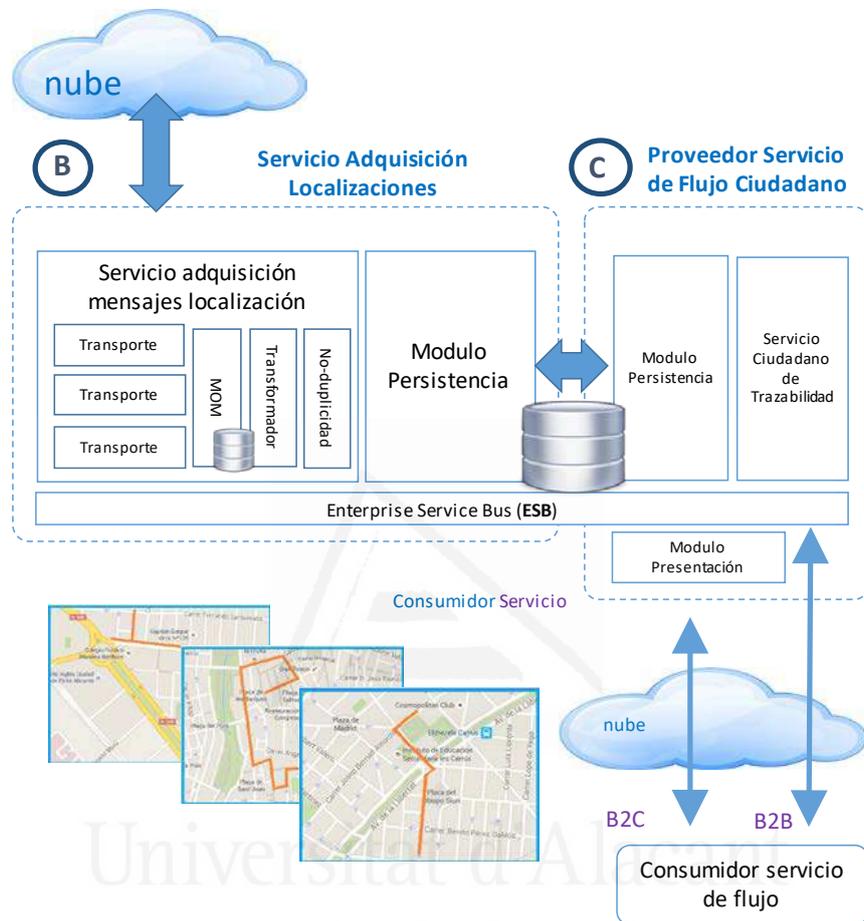


Figura 14. Modelo computacional y arquitectura del sistema de seguimiento y trazabilidad ciudadano.

A continuación, se describe cada uno de los componentes que conforman la arquitectura.

El dispositivo de adquisición de localizaciones de ciudadanos, el cual implementa el modelo distribuido de adquisición de datos descrito anteriormente y que estará compuesto por un conjunto de lectores RFID inteligentes, conectados a dispositivos embebidos que darán soporte a nivel local a las funcionalidades necesarias para realizar su cometido, pero con un coste económico y energético reducido y adecuado para la viabilidad de la propuesta.

El otro elemento, que recoge la propuesta sería el servicio de aprovisionamiento de rutas de ciudadanos, basado en un modelo centralizado y escalable desplegado en la nube que ofrece la información necesaria para ayudar en la toma de decisiones para conseguir una gestión más eficiente de los recursos en las ciudades y suponga una mejora en su calidad de vida.

El dispositivo de adquisición de localizaciones de ciudadanos está compuesto por seis módulos o componentes como se detalla a continuación. Conforme el lector RFID va realizando lecturas de las diferentes tarjetas o etiquetas de los ciudadanos, éstas son recibidas por el dispositivo local de adquisición de localizaciones a través del *módulo de adquisición*, el cual ejerce el rol de coordinador. Cada vez que recibe una localización, ésta es enviada al *módulo de optimización*, que es el responsable de indicar si una localización de un ciudadano se debe almacenar o descartar en función de si es considerada un dato redundante o no. Si la información es válida el *módulo de adquisición* la almacena en la base de datos local de localizaciones (módulo persistencia) y se lo comunica al *módulo generador de mensajes de localización* que utiliza este dato para controlar si alcanza el número óptimo de localizaciones adquiridas para generar un mensaje que será almacenado en la base de datos de mensajes de localizaciones. Cuando el *módulo de envío de mensajes de localizaciones* detecta que hay mensajes nuevos comienza a transmitirlo conectándose al servicio de generación de flujos del ciudadano. El mensaje enviará la información a través del protocolo de transporte disponible. El sistema de generación de flujos ciudadanos está diseñado para recibir el mensaje a través de diferentes protocolos, mediante la implementación del *módulo de transporte* que implementa el patrón de diseño protocolo bridging [85]. Aunque por defecto el *módulo de transporte* utilizado estará basado en el estilo Rest siguiendo el paradigma SOA cuyo contrato ha sido definido mediante el lenguaje de modelado de APIs Rest, RAML (figura 15).

```

#%RAML 0.8
---
title: Citizens Location Service
baseUri: http://www.dtic.ua.es/v1.0
version: v1.0

/citizenlocations:
  post:
    description: create locations read from RFID smart sensors
    protocols: [HTTPS]
    body:
      application/json:
        example: |
          {
            "idrfid":1,
            "location":[
              "lat":38.384993156837425,
              "lng":-0.5133978999999727
            ],
            "locations":[
              "citizen":["cid": 101010101,"pw": 64,"ts":1443723690],
              "citizen":["cid": 101010101,"pw": 62,"ts":1443723695],
              "citizen":["cid": 203330107,"pw": 62,"ts":1443723695]
            ]
          }
    responses:
      201:
        description: Locations have been successfully created.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "message": "Locations have been successfully created."
              }
      400:
        description: Locations have not been created.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "message": "Locations have not been created."
              }

```

Figura 15. Contrato RAML del servicio de adquisición de localizaciones.

Cuando el sistema recibe el mensaje a través de uno de los módulos de transporte, éste lo almacena en un sistema persistente de gestión de mensajes (modelo de mensajería de colas punto a punto basado en el patrón asynchronous queuing [85]) a la espera de ser consumido y procesado.

A partir de este momento, el sistema envía la confirmación al lector RFID que, tras recibirla, invoca al *módulo de actualización* que se encarga de eliminar el mensaje y las localizaciones individuales de la base de datos para optimizar recursos realizando ambas operaciones en la misma transacción. En el caso que, durante un tiempo, previamente configurado, no se recibiese confirmación, el *módulo de envío de mensajes de localización*, volvería a reintentarlo tantas veces como se le indique en la parametrización del dispositivo, previa comprobación del correcto funcionamiento de las comunicaciones por parte del sistema.

Podría suceder que el mensaje se hubiera recibido en el sistema, pero al enviar la confirmación la comunicación se hubiera interrumpido. En este caso, se podría enviar un mensaje que ya habría sido procesado. Esta es la función del *módulo de no duplicidad*, filtrar aquellos mensajes que ya fueron recibidos en base a los identificadores definidos en la Estructuración del flujo de movimiento ciudadano (`message_id` and `rfid_reader_id`).

Por otro lado, el servicio de aprovisionamiento de rutas de ciudadanos incluye tres elementos principales que serán sustentados sobre un Enterprise Service Bus, una infraestructura muy potente de integración y comunicación software que dará soporte a las funcionalidades descritas. El primer elemento es el servicio de adquisición de mensajes de localización, el cual como se ha indicado anteriormente recibe los mensajes de localización de los ciudadanos desde la infraestructura distribuida desplegada.

Una vez se extrae un mensaje encolado en el sistema de mensajería MOM, el mensaje se extrae y se comprueba su estructura y formato de datos. Dependiendo de esta información se podría requerir el uso de transformadores de datos y de formato para unificar la información y poder ser procesada por el *módulo de generación de rutas*.

El último módulo, *el servicio de generación de flujos*, es el responsable de la generación de flujos de ciudadanos de forma dinámica y bajo demanda a partir de la información recogida por la red de sensores RFID inteligentes y la información de la topología de la red.

Se trata de un servicio de valor agregado con el que tanto usuarios como aplicaciones de terceros pueden interactuar y

consumir para, posteriormente, tomar decisiones de gestión. Para garantizar la interoperabilidad y que pueda ser consumido desde cualquier plataforma, el servicio ha sido diseñado siguiendo los principios SOA, a través del estilo Rest. A continuación, se muestra el contrato del servicio modelado con RAML (figura 16).

```

##RAML 0.8
---
title: Citizen Flow Service
baseUri: http://www.dtic.ua.es/v1.0
version: v1.0

/citizensflows:
  uriParameters:
    zone:
    timeInterval:
    density:
  get:
    description: get citizens flows
    protocols: [HTTPS]
    responses:
      200:
        description: Get citizens flows.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "flows": [
                  "flow": [
                    "density": 20,
                    "color": "red",
                    "locations": [
                      "location": ["lat": 38.384993156837425, "lng": -0.5133978999999727],
                      "location": ["lat": 38.3850402521112, "lng": -0.5150179542449673],
                      "location": ["lat": 38.38557848104228, "lng": -0.5152110732940396]
                    ],
                  "flow": [
                    "density": 10,
                    "color": "blue",
                    "locations": [
                      "location": ["lat": 38.38687357799348, "lng": -0.5135802902129849],
                      "location": ["lat": 38.38551120264542, "lng": -0.5130653060821255]
                    ]
                  ]
                ]
              }

```

Figura 16. Contrato RAML del servicio de flujo ciudadano.

Como se puede ver el servicio puede generar información de rutas de forma dinámica realizando búsquedas a través de los siguientes filtros definidos en el proceso de explotación:

- Zona de actuación
- Periodo temporal
- Densidad del flujo

El sistema también incluye un módulo de *presentación* que

permite a los usuarios interactuar directamente con el sistema (modelo B2C). Este módulo ofrece una interfaz que permite la introducción de los filtros de búsqueda descritos que posteriormente le pasa al servicio Rest, mostrando la información de flujo ciudadano y las densidades resultantes sobre un mapa cartográfico.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Capítulo 3

Implementación, Validación, Pruebas y Experimentaciones

Implementación

Para poder validar la propuesta se ha realizado un prototipo que implementa el modelo arquitectónico obtenido en el apartado anterior.

En primer lugar, se ha implementado el RFID Smart Sensor a partir de un lector RFID fabricado por la empresa *RFID Controls*. Se trata de un lector RFID altamente configurable y flexible, con un bajo consumo energético (entre 2.5W y 9W a 30dBm). Presenta una tasa de lecturas de un máximo de 400 tags/seg. La potencia máxima de lectura del dispositivo es de 1w. El modelo permite la conexión con dos antenas a través de dos conectores MCX de 50 omh (figura 17a). Las antenas pueden distanciarse del dispositivo a un máximo de 9m cada antena, presentando una ganancia de 6.5dB. Las antenas presentan una polarización circular y un patrón de radiación que se caracteriza por 60°/60° de ancho de haz (Figura 17a).

(a) Sensor Inteligente RFID con antenas.



(b) Sensor Inteligente RFID con Sistema Embebido.



Figura 17. Prototipo Sensor Inteligente RFID: (a) Sensor Inteligente RFID con antenas; (b) Sensor Inteligente RFID con Sistema Embebido.

Para dotar al lector de la inteligencia necesaria e implementar los módulos mencionados, se ha integrado con el dispositivo embebido de la empresa cubietruck modelo cubieboard3 cortex-A7 dual-core 2GB mediante la conexión ethernet (figura 17.B).

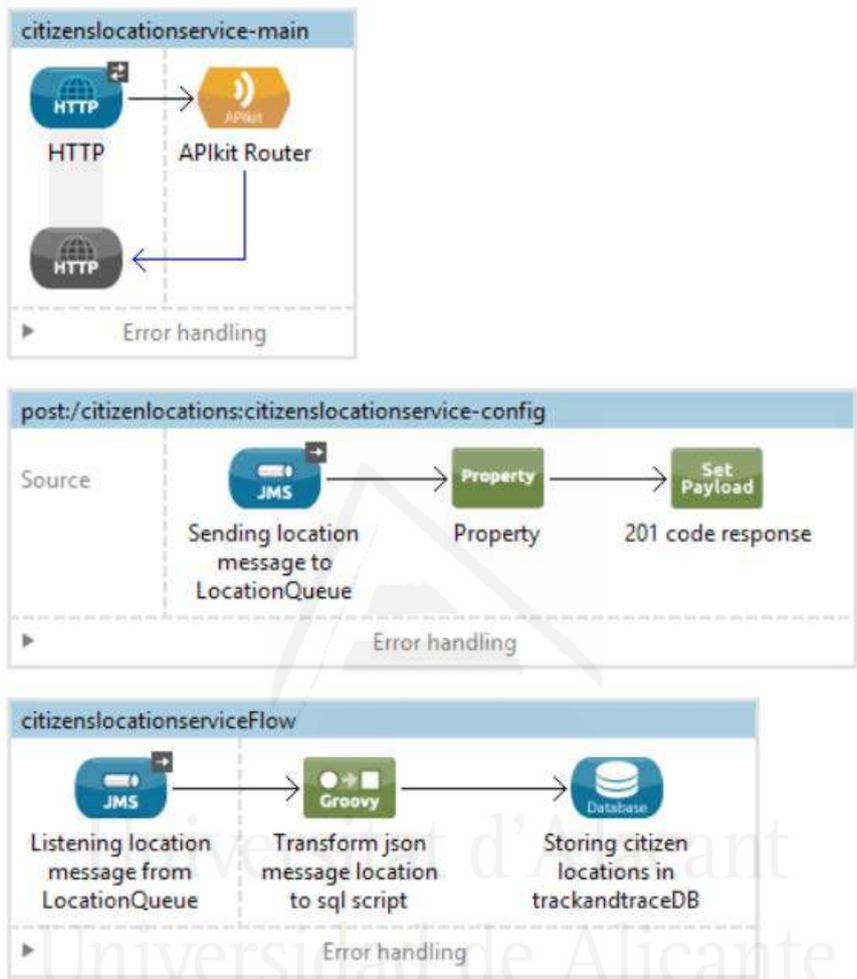
Los módulos del RFID Smart Sensor diseñados en la arquitectura se han implementado utilizando el lenguaje C.

El dispositivo empleado para la experimentación genera ficheros CSV, los cuales se dejan en una carpeta del sistema, para que posteriormente, el *módulo de adquisición de localizaciones* del dispositivo de adquisición de localizaciones, leerá y procederá a introducir en el sistema como se ha detallado previamente mediante los diferentes módulos descritos.

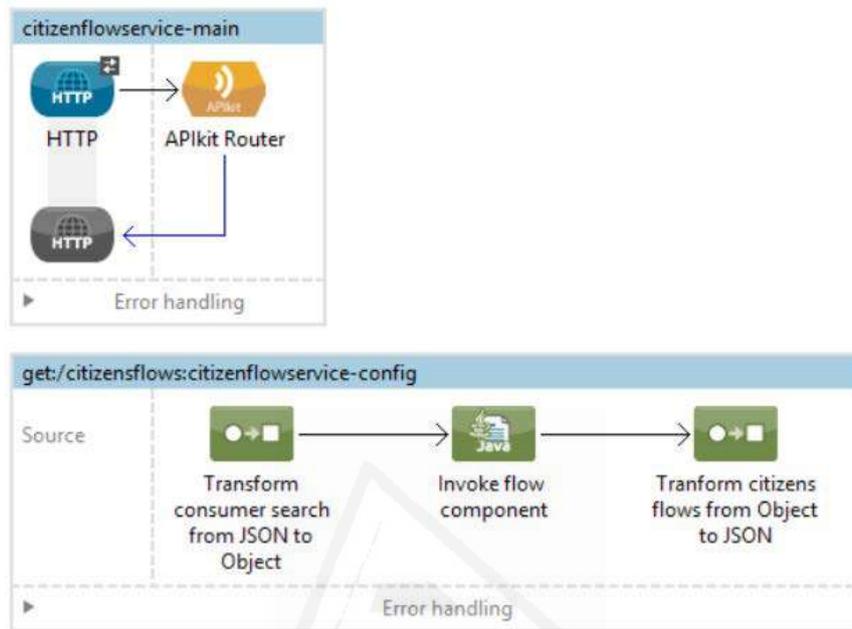
Para los requerimientos de persistencia, se ha utilizado el gestor de base de datos MySQL.

Para la sincronización de relojes se ha empleado NTP debido a su fiabilidad y a que presenta una tasa de error aceptable para nuestro sistema. Para ello se ha habilitado un servidor NFS, al cual, mediante un *módulo de sincronización* realizado en C, es empleado para actualizar el reloj del sistema.

Como se puede ver en el apartado anterior la arquitectura propuesta del servicio de generación de flujos de ciudadanos se fundamenta en la infraestructura de integración *Enterprise Services Bus*, un sistema altamente escalable sobre el que se han implementado los patrones de diseño software especificados en el modelo. En este sentido, la implementación del sistema se ha fundamentado en el *Enterprise Service Bus* de código abierto *Mule ESB*. Sobre dicha base se han diseñado dos flujos de servicios que implementan el *Servicio de Adquisición de Mensajes de Localizaciones* y el *Servicio de Generación de Flujo* como muestra la figura 17.A y 17.B respectivamente. Para la persistencia de datos se ha usado el gestor de base de datos MySQL community version. El *módulo de búsqueda* o generación de flujos se ha implementado mediante el lenguaje Java y es invocado dentro del flujo Mule mostrado en la figura 17.B. Por último, el *módulo de presentación B2C* se ha realizado mediante las tecnologías Web CSS, HTML5 y JavaScript usando el framework nodeJS.



(a)



(b)

Figura 18. Flujos de Mule ESB. (a) Servicio de adquisición de mensajes; (b) Servicio de generación de flujos ciudadanos

Con el fin de lograr un mejor análisis e interpretación de los resultados de la experimentación obtenidos en el caso de estudio que se describe a continuación, se ha realizado previamente una prueba técnica del sensor inteligente y la tecnología RFID. El objetivo es conocer de antemano sus capacidades y limitaciones a ciertas situaciones que pueden ocurrir.

Primero, se ha probado que con la potencia suministrada por el sensor (1 W) y con la antena bien enfocada, el lector es capaz de leer etiquetas hasta 10 metros de distancia. En segundo lugar, se realizaron pruebas de lectura simulando la portabilidad real de los ciudadanos, es decir, colocando etiquetas ocultas en ropa, bolsillos, bolsos, bolsos o mochilas. Estos experimentos reducen significativamente la gama de sensores hasta 3 m, pero en estos casos se mantiene una buena tasa de lectura.

El problema más serio encontrado para nuestro propósito es que el cuerpo humano es opaco a la señal RF, de modo que la etiqueta se oculte al sensor cuando hay un obstáculo humano. Este caso puede ser común en entornos urbanos con una alta densidad de peatones. Por ejemplo, en la figura 18a, las dos personas de la izquierda están en un área de sombra producida por otra persona. Sin embargo, este problema puede resolverse distribuyendo las antenas del sensor inteligente en una configuración que minimice oclusiones y áreas de sombra de señal. Siguiendo el ejemplo anterior, la Figura 18b muestra una configuración que reduce el espacio no visible al sensor.

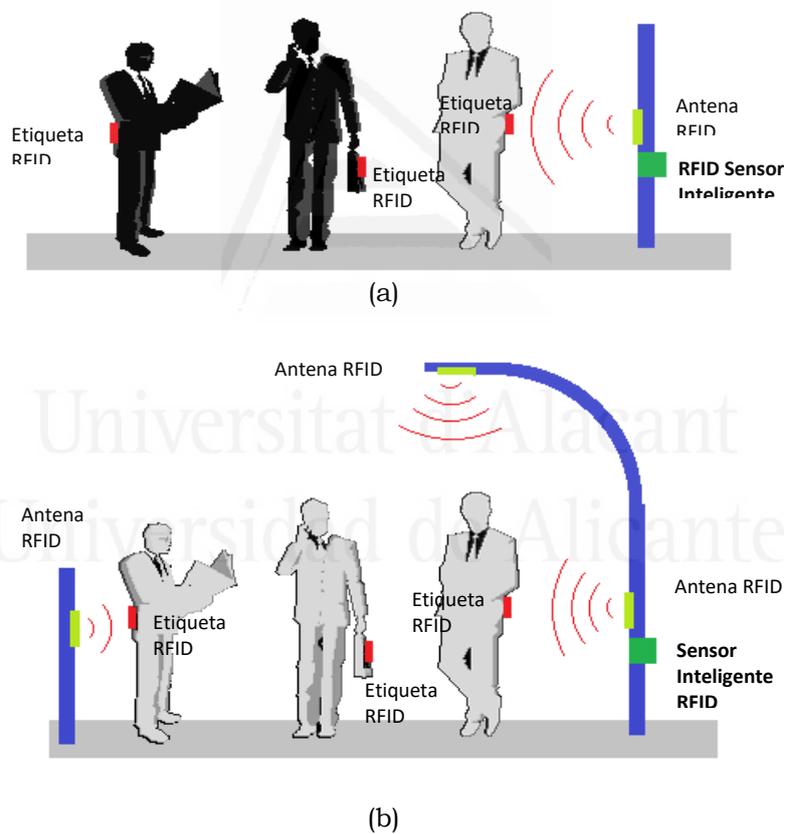


Figura 19. Configuración de las antenas y cobertura de los sensores RFID: (a) Una antena en el lado derecho de una acera; (b) Tres antenas a la derecha, izquierda y arriba de una acera.

En cuanto a las otras capacidades del sensor inteligente, los experimentos demostraron la capacidad de sincronización con otros sensores, la combinación de múltiples lecturas de la misma persona y la capacidad de enviar información sin pérdida. A través de los sistemas de registro de la propuesta de la trazabilidad de la lectura, se han analizado los lugares enviados y recibidos de los ciudadanos y verificado que todas las lecturas de las ubicaciones se almacenan en la red de sensores inteligentes RFID y fueron recibidas por el servicio de adquisición de localizaciones. De esta forma se valida la fiabilidad de la arquitectura propuesta.

Caso de Estudio

Para validar la propuesta, así como para estudiar la implementación práctica de los conceptos tratados, en esta subsección se propone un caso de uso simulado en un entorno real de seguimiento y rastreo. En nuestro ejemplo, se ha considerado el campus de la Universidad de Alicante como un escenario de prueba para el despliegue del sistema propuesto. El caso de estudio proporcionará una mejor comprensión de cómo se usan los diversos recursos basados en el movimiento espacial y el comportamiento temporal de los estudiantes y del personal. El objetivo final de este caso es ayudar a la universidad a mejorar la gestión de los servicios de apoyo en el campus.

Los experimentos realizados también darán lugar a una serie de visualizaciones espaciales y temporales de *big data* de estas fuentes. La razón para llevar a cabo un proyecto en un campus es la ventaja de disponer de algo similar a una pequeña ciudad, pero más accesible. En cierto modo, ya que tiene diferentes áreas (salas, laboratorios, pequeñas tiendas, restaurantes, espacios abiertos, etc.), diversas actividades (académicas, administrativas, sociales, pequeños centros de salud, deportes ...) en resumen, una pequeña ciudad. Además, tiene las facilidades para convertirlo en un candidato perfecto para probar nuestro sistema bajo diversas condiciones con el fin de encontrar patrones de flujo de movimiento de los ciudadanos. Siempre es mucho menos complicado localizar antenas, lectores RFID y el resto de la tecnología en el campus universitario que en toda la ciudad. Además, es posible monitorizar los diferentes estados de cada punto de localización, lo que permite probar cuáles son los mejores y más adecuados lugares para todo

el sistema. Por lo tanto, en realidad, se ha podido ver el sistema implementado en el marco del campus como un paso previo para una Ciudad Inteligente que es mucho más grande, aunque puede beneficiarse de esta etapa previa.

El criterio para la localización de los lectores ha sido monitorear los movimientos más probables de los estudiantes (cafetería-aulas, aulas-biblioteca, estación de autobuses-aulas, etc.) como un paso preliminar para un despliegue más denso. Los estudiantes no fueron informados de que estaban participando en este experimento, sólo las autoridades del campus académico fueron informadas para solicitar los permisos adecuados para el despliegue de los lectores. Debido a esto, no se distribuyeron etiquetas entre los individuos, la intención fue validar primero la transparencia y el anonimato de las lecturas, la capacidad de leer etiquetas que lleven encima las personas (en ropa, tickets, tarjetas de identificación o transporte y otras etiquetas RFID) sin su cooperación y las capacidades de transmisión y procesamiento de la arquitectura.

El experimento se realizó durante una semana. A través de un control visual de las antenas se contó el número de estudiantes que pasaron a través del radio del sensor. Se trata de 2000 por día, con una tasa de lectura de etiquetas de alrededor del 5%. La cantidad de lecturas simultáneas de estos datos se mantuvo baja, aunque, en la mayoría de los casos, cuando las etiquetas fueron leídas por una antena, fueron leídas de nuevo por la siguiente antena en la misma ruta.

A partir del estudio de estos resultados, las razones que llevan a la baja tasa de lecturas obtenidas pueden ser: (1) el todavía bajo nivel de integración de las etiquetas RFID en la ropa y otros objetos transportados por los usuarios; (2) la falta de potencia en los lectores para llegar a las etiquetas escondidas en la cartera en el bolsillo del usuario; Y (3) la incompatibilidad de tecnologías con etiquetas de corto alcance (como NFC) para acceder a tarjetas de identificación o tarjetas de crédito.

En cuanto al primer inconveniente (1), se ha pensado que se solucionará eventualmente, ya que el ritmo cada vez mayor de implementación de la tecnología RFID en objetos cotidianos como ropa o accesorios aumentará la tasa de lectura. El segundo problema (2) se puede superar usando antenas dirigidas con un ángulo bajo de cobertura y antenas de alta ganancia en lugar de

las de propósito general ya que, en espacios al aire libre, la señal puede ser dispersada más o las fuentes de ruido pueden incluso aparecer [87,88]. En este sentido, es necesario verificar las regulaciones regionales para averiguar la máxima potencia radiada permitida por las antenas en las bandas UHF RFID. Por último, con respecto a la tercera causa (3), se ha pensado que este tipo de tecnología RF pertenece a un conjunto de aplicaciones que no deben ser accesibles, por lo que permanecen inaccesibles, reforzando el anonimato de identidad y datos de usuario.

En todos los casos, las lecturas recogidas y enviadas al servidor corresponden a un identificador de etiqueta en la ropa o un accesorio. Esta información consta, entre otros, de los siguientes campos: Una etiqueta ID de longitud diferente, dirección IP del lector, potencia de señal recibida y DateTime (es decir, 30396062c3c324800009e6 77, 169.254.247.184, -74, 03/02/2015 08: 55: 59.121). Bajo ninguna circunstancia se recopila información personal del usuario. Debido a la funcionalidad incluida en el *módulo de adquisición de localización* que codifica el contenido de las etiquetas RFID a través de funciones hash, no pudimos obtener ningún dato de esas etiquetas RFID. Además, cualquiera de las etiquetas RFID de lectura podría relacionarse entre las lecturas obtenidas de días diferentes.

El sistema central está alojado en un servidor en la intranet del campus. El tráfico de red generado y los tiempos de procesamiento del sistema son triviales para una estación de trabajo estándar, ya que el número de lecturas simultáneas permanece bajo todo el tiempo, alcanzando picos de tráfico de hasta 3 lecturas / segundo.

Para revisar los resultados, se ha utilizado una interfaz de usuario basada en web, que muestra las posiciones de los lectores y los usuarios-ruta a través de una aplicación de terceros (Google Maps JavaScript API v3). Para este caso de estudio, la siguiente figura (Figura 15) muestra un mapa de la Universidad de Alicante mostrando las ubicaciones de instalación de las antenas lectoras y dos visualizaciones temporales a lo largo del día donde se puede distinguir el patrón de flujo principal por hora.

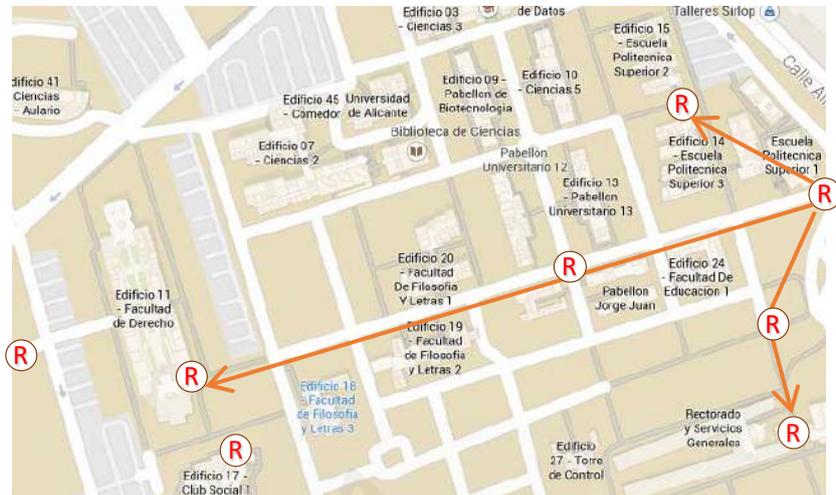
Los resultados muestran que los flujos de movimiento de los estudiantes cambian a lo largo del día. En la figura 15a se puede ver que la antena ubicada cerca de la plataforma de tranvía y autobús recibe a los estudiantes primero, y a partir de ahí, son leídos por sensores ubicados en otras áreas de la universidad

mientras se mueven por el campus, tanto por escenarios entrantes como salientes. En estas horas de la mañana, los movimientos se dirigen principalmente hacia los edificios de las aulas, las oficinas y la biblioteca. La figura 15b muestra los movimientos en otros momentos del día, cuando los estudiantes caminan a la salida del campus y hacia los restaurantes y cafés para comer.

En este caso de estudio, los movimientos de los estudiantes leídos por el sistema pueden parecer obvios a primera vista, ya que coinciden con el movimiento normal a esa hora del día. Sin embargo, este caso de estudio es el punto de partida para un mayor despliegue en el que los movimientos de los estudiantes y el personal de la universidad pueden ser analizados con más detalle. Esta información puede ayudar a los gerentes a proporcionar mejores servicios y mejorar la satisfacción de los usuarios proporcionando los recursos donde se necesitan en un momento dado.

A la vista de estos resultados, se puede afirmar que este experimento verifica la validez de la hipótesis propuesta respecto a las capacidades de las tecnologías de detección RFID para leer las posiciones de los ciudadanos al aire libre sin necesidad de ningún tipo de colaboración. La corrección de la arquitectura distribuida para recopilar, sincronizar y procesar las lecturas recibidas manteniendo el anonimato de los usuarios involucrados, también es validada. La carga de trabajo no ha sido un problema en este contexto debido a la baja tasa de lecturas simultáneas. Se espera que un despliegue a mayor escala nos permita validar el sistema en este sentido. Este resultado proporciona una perspectiva prometedora en el desarrollo de Internet de las Cosas para la interacción con los usuarios.

Finalmente, se presenta un resumen de los principales objetivos alcanzados por la arquitectura propuesta en comparación con las capacidades de las otras propuestas. La comparación se centra en los resultados obtenidos en la experimentación, indicando qué objetivos se lograrían con cada propuesta. La tabla ilustra que los trabajos relacionados ofrecen soluciones parciales para completar todos los objetivos declarados.



(a)



(b)

Figura 20. Visualizaciones temporales en el campus de la Universidad de Alicante con patrones de flujo: (a) flujo temporal entre las 7.00 y las 9.00 h; (B) flujo temporal entre las 12.00 y las 14.00 h

Trabajo De investigación	Funcionalidad Principal	Transparencia y anonimato	Ambiente de trabajo
<i>Arquitectura propuesta</i>	localización y seguimiento	Si. Ninguna interacción del usuario y la independencia de la etiqueta RFID.	Interior y exterior
<i>Propuestas GPS [27-30]</i>	localización y seguimiento	No. Interacción del usuario.	Exterior
<i>Propuestas WiFi [16,34]</i>	Seguimiento	No. Interacción del usuario.	Interior y exterior
<i>CCTV</i>	Vigilancia	No. Cámaras de vigilancia.	Interior y exterior
<i>Museo de Ciencia [42]</i>	localización y seguimiento	No. Interacción usuario / objeto y dependencia de la propia etiqueta RFID.	Interior
<i>Tarjeta Oyster [40]</i>	localización y seguimiento	No. Dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Interior y exterior
<i>Blind/ inside RFID [47,53]</i>	Seguimiento	No. Interacción con el usuario y dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Interior y exterior
<i>REACT [58]</i>	Seguimiento	No. Interacción usuario / objeto y dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Exterior
<i>LANDMARC [41,46]</i>	Seguimiento	No. Interacción usuario / objeto y dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Interior
<i>Redes punto a punto [57]</i>	Seguimiento	No. Interacción usuario / objeto y dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Interior
<i>iWalker [44]</i>	Seguimiento	No. Interacción usuario / objeto y dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Interior
<i>Otros [45,48,50-52,54-56]</i>	Seguimiento	No. Interacción usuario / objeto y dependencia de sus propias etiquetas RFID.	Interior

Tabla 5a. Comparación de los resultados obtenidos entre la propuesta y los trabajos relacionados.

Trabajo De investigación	Confiabilidad	Consumo de energía	Escalabilidad
<i>Arquitectura propuesta</i>	Si	No, etiquetas pasivas.	Si. (Enfoque distribuido y desacoplado)
<i>Propuestas GPS [27-30]</i>	No	Alto	No
<i>Propuestas WiFi [16,34]</i>	No	Alto	No
<i>CCTV</i>	No	Alto	Si
<i>Museo de Ciencia [42]</i>	No	No, etiquetas pasivas.	No
<i>Tarjeta Oyster [40]</i>	No	No, etiquetas pasivas.	No
<i>Blind/ inside RFID [47,53]</i>	No	No, etiquetas pasivas.	No
<i>REACT [58]</i>	No	No, etiquetas pasivas.	Si
<i>LANDMARC [41,46]</i>	No	Si, etiquetas activas.	No
<i>Redes punto a punto [57]</i>	No	Si, etiquetas activas.	Si
<i>iWalker [44]</i>	No	No, etiquetas pasivas.	No
<i>Otros [45,48,50-52,54-56]</i>	No	No, etiquetas pasivas.	En entornos controlados [45,55]

Tabla 5b. Comparación de los resultados obtenidos entre la propuesta y los trabajos relacionados.

Pruebas y Experimentaciones sobre RFID

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una de las tecnologías actuales, con mayor crecimiento y que más beneficios aportan a las empresas que la están adoptando. Prueba de ello es la creciente adopción de esta por parte de numerosas empresas, para el control de sus productos ya sea en almacenes, cadenas de montaje o producción. El abaratamiento de esta tecnología, tanto en costes de producción de dispositivos lectores, como sobre todo de las etiquetas ha sido una de las causas de esta gran adopción, así como la facilidad de integración de dichas etiquetas en números lugares, pudiendo encontrarlas dentro de cajas, en la parte posterior de etiquetas de identificación de productos y actualmente potenciándose la inclusión de estas en prendas de vestir.

Debido a que en dicho trabajo se planteó como la solución idónea para realizar el seguimiento y trazabilidad, se procedió a realizar un estudio empleando etiquetas RFID adhesivas y lectores RFID Smart Sensor, con las especificaciones indicadas previamente en este capítulo de Implementación y Validación.

Las pruebas a realizar van a tener en cuenta la distancia máxima de lectura del dispositivo, en nuestro caso:

La primera prueba a realizar, ha sido una en la cual se ha medido la distancia máxima la cual es capaz de leer el dispositivo sin ningún obstáculo, ni condición adversa. Una vez realizada dicha prueba, se ha obtenido un valor máximo de 12.5m.

A partir de dicha prueba se han realizado diferentes pruebas con etiquetas para comprobar si es posible su lectura por parte del dispositivo lector, con diferentes materiales que simularán diferentes condiciones durante la vida real, donde podamos leer tags RFID.

Las pruebas realizadas han consistido en medir las distancias máximas, en las siguientes condiciones:

- Distancia máxima de lectura sin ningún tipo de obstáculo.
- Distancia máxima de lectura introduciendo la etiqueta en una cartera de piel.
- Distancia máxima de lectura introduciendo la etiqueta en la ropa de un individuo.
- Distancia máxima de lectura posicionando la etiqueta detrás del cuerpo del individuo.

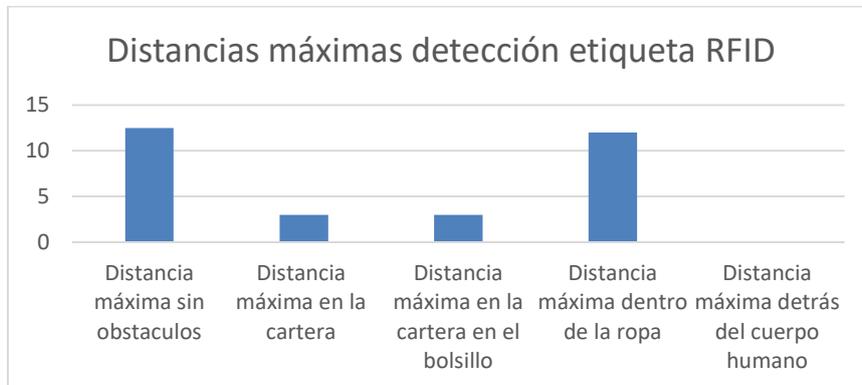


Figura 21. Distancias máximas detección etiqueta RFID.

Como se puede observar en la gráfica, el introducir el cuerpo humano entre la etiqueta y el lector, hace que no se consiga leer absolutamente nada. Al introducirla en una prenda de ropa es detectada prácticamente igual que si estuviese sin obstáculos (12 metros) y el llevarla en una cartera (como si de una tarjeta de crédito se tratase), reduce significativamente la lectura quedando la distancia a unos 3m el alcance máximo.

La siguiente prueba realizada, ha consistido en medir la potencia de la señal, utilizada para leer una etiqueta, para ello nos basamos en las mismas pruebas realizadas para medir las distancias máximas en las condiciones antes mencionadas.

Para poder medir la potencia de la señal, vamos a basarnos en el indicar RSSI (Received Signal Strength Indicator) el cual, es una medida de la señal de retro dispersión de la etiqueta RFID. En nuestro caso, se expresa en dBm unidades.

Teniendo en cuenta que:

$1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$
 $1 \text{ mW} = 0 \text{ dBm}$
 $0.0001 \text{ mW} = -40 \text{ dBm}$
 $0.00001 \text{ mW} = -50 \text{ dBm}$
 $1^{-8} \text{ mW} = -80 \text{ dBm}$

Se han obtenido los siguientes resultados:

El primer caso comprobado, ha sido para la lectura de la etiqueta sin ningún obstáculo:

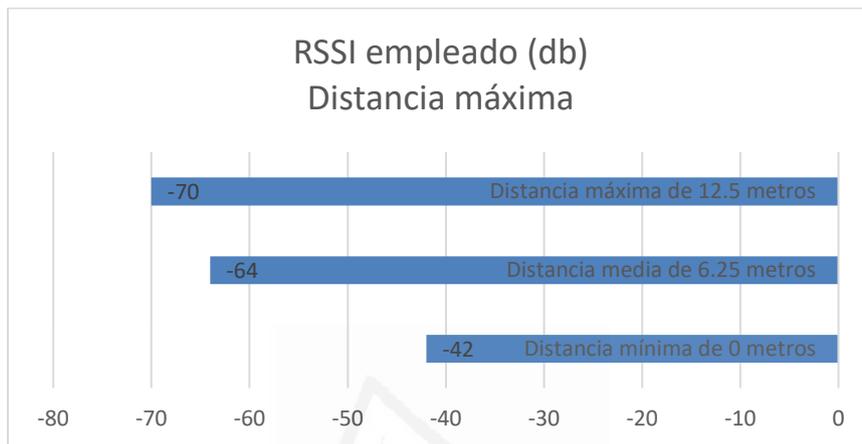


Figura 22. RSSI empleado (db) Distancia máxima.

Introduciendo la etiqueta en la cartera:

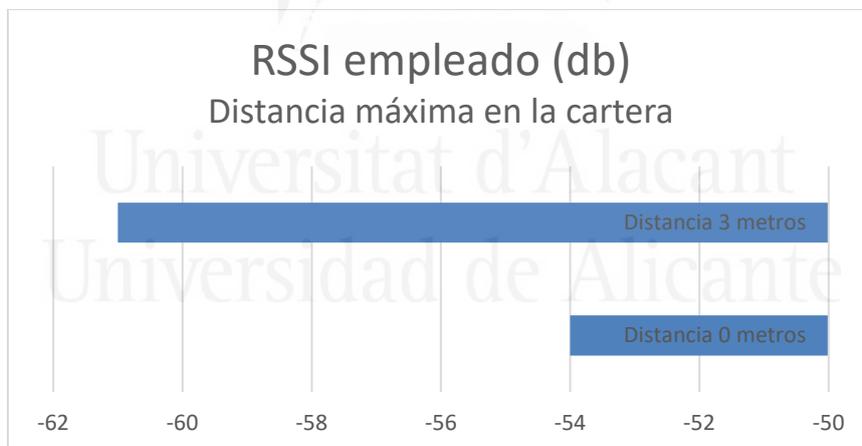


Figura 23. RSSI empleado (db) Distancia máxima en la cartera.

Introduciendo la etiqueta en la cartera y en un bolsillo de un individuo:

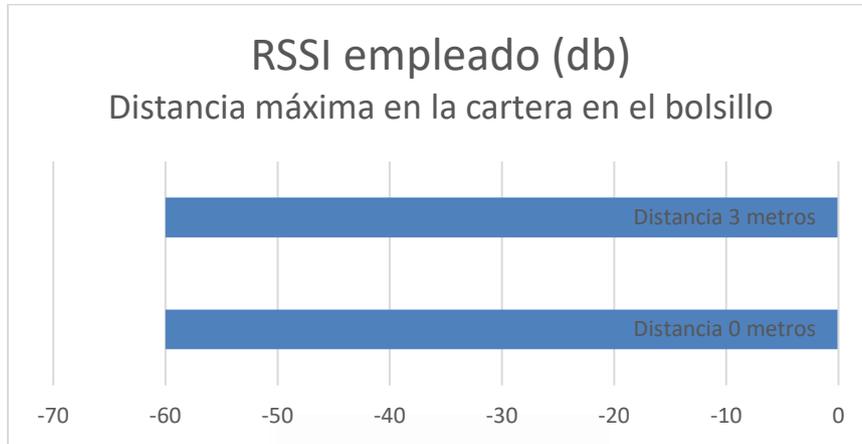


Figura 24. RSSI empleado (db) Distancia máxima en la cartera en el bolsillo.

Introduciendo la etiqueta dentro de la ropa de un individuo:

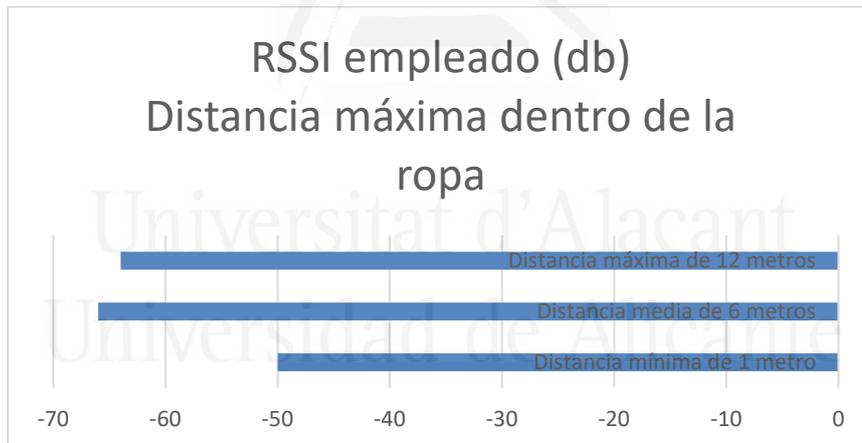


Figura 25. RSSI empleado (db) Distancia máxima dentro de la ropa.

Posicionando la etiqueta detrás del cuerpo de un individuo:

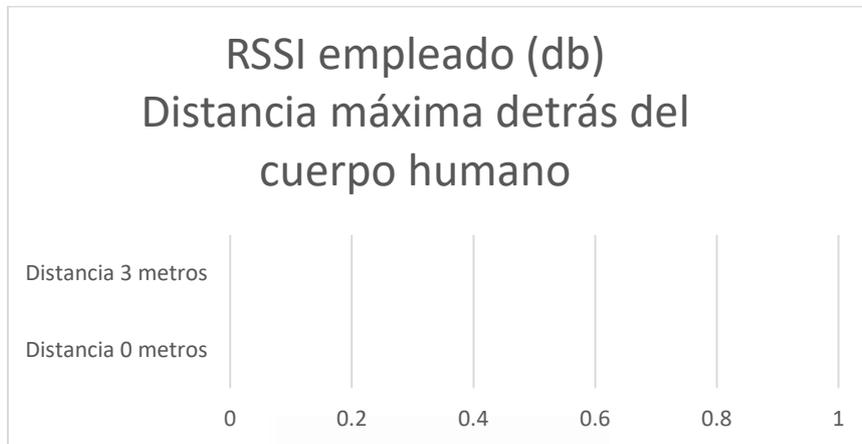


Figura 26. RSSI empleado (db) Distancia máxima detrás del cuerpo humano.

Se puede comprobar como a mayor distancia es necesaria un mayor RSSI para poder leer una etiqueta.

Cabe destacar que el obstaculizar una etiqueta con un medio como el cuerpo humano, incurre en el bloqueo completo de la señal, impidiendo ser detectada por el lector RFID.

Se ha comprobado que las etiquetas en movimiento son más fáciles de detectar que las etiquetas estáticas. En los experimentos llevados a cabo, en algunos casos, la etiqueta estática no se detectaba y al moverla de su ubicación era detectada por el lector RFID.

Posteriormente se han realizado un experimento en el cual se han posicionado las antenas en un paso concurrido de individuos, para detectar etiquetas que lleven encima.

Para este experimento se han analizado 600 individuos, teniendo una tasa de detección de 2 etiquetas.

Con este resultado, se puede constatar que si bien, numerosos fabricantes están incorporando en sus prendas etiquetas, todavía estas no se encuentran muy distribuidas por la población. Si los datos de fabricantes como Decathlon o Inditex entre otros, son correctos, en un futuro próximo conforme sus prendas vayan saliendo al mercado (incluyendo etiquetas RFID), éstas será posible

detectarlas mediante lectores similares al utilizado en el experimento.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Capítulo 4

Conclusiones

La investigación que se presenta en este trabajo propone un método de obtención de los flujos de movimiento de personas en el contexto geográfico de una ciudad. Los últimos adelantos de las TIC pueden ofrecer soluciones prometedoras al problema antes mencionado al proporcionar formas eficientes y eficaces de manejar grandes cantidades de información no estandarizada y distribuida.

El diseño y planificación las infraestructuras es uno de los problemas más acuciantes del desarrollo de las ciudades y normalmente no obedece sólo a criterios prácticos y de utilización sino también a cuestiones políticas, históricas o de otra índole. El conocimiento de los flujos de movimiento de los ciudadanos es una información muy valiosa para la definición de las rutas de transporte, así como de la posición óptima de los recursos. Con este conocimiento se facilita un diseño que minimice las desviaciones con respecto a los flujos de movimiento. Además, es posible plantear estrategias dinámicas acordes a las costumbres reales de las personas según la hora del día, día de la semana y época del año que aumenten la utilización de la infraestructura y mejoren por tanto la comodidad del ciudadano.

El diseño de Ciudades Inteligentes utiliza la información generada en la propia ciudad para la toma de decisiones orientadas a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. La propuesta que se describe en este trabajo consiste en la concepción de un modelo

que reproduzca los movimientos de individuos en un área geográfica determinada a partir de información recogida en tiempo real por los propios individuos mientras se mueven por la ciudad de forma desasistida. La información necesaria sobre los movimientos ciudadanos que alimente al modelo propuesto se recabará mediante las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicaciones presentes en un amplio sector de la sociedad. Se propone aprovechar las tecnologías inalámbricas RFID/NFC de multitud de dispositivos y accesorios presentes en el equipaje diario de los ciudadanos para realizar las tareas de localización y seguimiento.

Una vez recabada esa información se podrán crear trazas de puntos dispuestos en el plano con una precedencia temporal que permita representar el movimiento diario de un individuo. El análisis de los flujos de movimiento a partir de la información recabada es una valiosa ayuda para el desarrollo de las Ciudades Inteligentes en muchos ámbitos como, por ejemplo, el diseño eficiente de su red de transporte.

El trabajo que representa esta investigación encaja en el concepto de Ciudad Inteligente orientada a la mejora de vida de los ciudadanos mediante la utilización de la tecnología. En este camino, se presentan algunos retos de trabajo futuro como, por ejemplo, integrar otros dispositivos que utilizan esta tecnología para mejorar el seguimiento, estudiar mecanismos para optimizar la red de nuevos sensores desplegados de forma que cubran la mayor área posible o aplicar el modelo a un caso real en el que se pueda instalar un prototipo de prueba.

Además, la combinación de estas tecnologías de comunicación con, potencialmente, los datos de redes sociales como Twitter y Facebook, ayudará a desarrollar patrones más amplios de comportamiento y participación de los ciudadanos, servicios y utilización de las instalaciones.

Resultados Obtenidos

En los objetivos del trabajo, se pretendía obtener un modelo y una arquitectura capaz de generar información sobre el movimiento ciudadano dentro de una Ciudad Inteligente, para posteriormente esta poder ser consumida por terceros con la

finalidad de mejorar aspectos clave del diseño de una Ciudad Inteligente. En los diferentes capítulos se han ido proponiendo por diferentes fases el modelo y la arquitectura desarrollada, se han identificado las diferentes tecnologías de adquisición de localizaciones, para posteriormente centrarnos en la más adecuada a nuestro modelo, por presentar las características deseadas, posteriormente se ha diseñado una infraestructura de adquisición de localizaciones y una red sensores y finalmente se ha diseñado un servicio de adquisición de localizaciones para poder explotar dichas localizaciones por los siguientes módulos. Con esto se ha completado la fase adquisición de localizaciones, a continuación, el trabajo se ha centrado en diseñar un modelo de almacenamiento específico para nuestra arquitectura RFID y posteriormente se ha generalizado para poder emplear otras tecnologías de adquisición. A continuación, se ha detallado el siguiente módulo dentro de nuestra arquitectura donde realizar una completitud de las rutas de ciudadanos incompletas e inferencias de flujos ciudadanos, para finalizar se ha mostrado una visión completa del modelo computacional obtenido, presentado un caso de uso en un entorno similar a una Ciudad Inteligente.

Publicaciones

A raíz de la investigación realizada en este trabajo se han realizado una serie de publicaciones, las cuales paso a detallar.

- A Computational Architecture Based on RFID Sensors for Traceability in Smart Cities by Higinio Mora-Mora, Virgilio Gilart-Iglesias, David Gil and Alejandro Sirvent-Llamas, *Sensors* 2015, 15(6), 13591-13626.
- Data Structures Modelling for Citizen Tracking based Applications in Smart Cities, Virgilio Gilart-Iglesias, Higinio Mora, Alejandro Sirvent-Llamas, Alberto de Ramon Fernandez, María Dolores Andujar-Montoya and Raquel Pérez Del Hoyo, 11th International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2017).

Referencias Bibliográficas

1. Neirotti, P.; de Marco, A.; Cagliano, A.C.; Mangano, G.; Scorrano, F. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities* 2014, 38, 25–36.
2. Smart Cities Council. Available online: <http://smartcitiescouncil.com> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
3. OECD, Governing the City. Available online: <http://dx.dir.org/10.1787/9889264226500-en> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
4. European Smart Cities. Available online: <http://www.smart-cities.eu/> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
5. Fietkiewicz, K.; Pyka, S. Development of informational cities in Japan: A regional comparison. *Int. J. Knowl. Soc. Res.* 2014, 5, doi:10.4018/ijksr.2014010106.
6. Fazio, M.; Puliafito, A.; Villari, M. IoT4S: A new architecture to exploit sensing capabilities in smart cities. *Int. J. Web Grid Serv.* 2014, 10, 114–138.
7. Atzoria, L.; Ierab, A.; Morabito, G. The Internet of things: A survey. *Comput. Netw.* 2010, 54, 2787–2805.
8. Mitton, N.; Papavassiliou, S.; Puliafito, A.; Trivedi, K.S. Combining Cloud and sensors in a Smart city environment. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* 2012, 2012, 247.
9. Stankovic, J.A. Research directions for the internet of things. *IEEE Internet Things J.* 2014, 1, 3–9.

10. Gubbia, J.; Buyyab, R.; Marusica, S.; Palaniswamia, M. Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener. Comput. Syst.* 2013, 29, 1645–1660.
11. Choi, S.H.; Yang, B.; Cheung, H.H.; Yang, Y.X. RFID tag data processing in manufacturing for track-and-trace anti-counterfeiting. *Comput. Ind.* 2015, 68, 148–161.
12. Shia, J.; Lia, Y.; Heb, W.; Sima, D. SecTTS: A secure track & trace system for RFID-enabled supply chains. *Comput. Ind.* 2012, 63, 574–585.
13. Kang, Y.S.; Lee, Y.H. Development of generic RFID traceability services. *Comput. Ind.* 2013, 64, 609–623.
14. Muñoz-Gea, J.P.; Malgosa-Sanahuja, J.; Manzaneres-Lopez, P.; Sanchez-Aarnoutse, J.C. Implementation of traceability using a distributed RFID-based mechanism. *Comput. Ind.* 2010, 61, 480–496.
15. Todorovica, V.; Neagb, M.; Lazarevica, M. On the usage of RFID tags for tracking and monitoring of shipped perishable goods. *Proced. Eng.* 2014, 69, 1345–1349.
16. Isaak, J. Cell Phone WiFi Used to Track Your Location. Available online: <http://ieeessit.org/2014/01/16/cell-phone-wifi-used-to-track-your-location-2/> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
17. International Telecommunication Union. *Aggregate Data 2006–2013 ICT Data for the World, by Geographic Regions and by Level of Development*; ITU: Geneva, Switzerland, 2014.
18. Kelly, J.; Jones, P.; Barta, F.; Hossinger, R.; Witte, A.; Wolf, A.C. *Successful Transport Decision-Making: A Project Management and Stakeholder Engagement Handbook*; European Commission: Brussels, Belgium, 2004.
19. Allport, R.; Brown, R.; Glaister, S.; Travers, T. *Success and Failure in Urban Transport Infrastructure Projects*; KPMG International: Amsterdam, The Netherlands, 2008.
20. Bickerstaff, K.; Tolley, R.; Walker, G. Transport planning and participation: The rhetoric and realities of public involvement. *J. Transp. Geogr.* 2002, 10, 61–73.
21. Galland, S.; Lamotte, O.; Gaud, N. MetroB: Evaluation and simulation of public transport system. In *Proceedings of the IET International Conference on Smart and Sustainable City, Shanghai, China, 6–8 July 2011*.
22. Giannotti, F.; Nanni, M.; Pedreschi, D.; Pinelli, F.; Renso, C.; Rinzivillo, S.; Trasarti, R. Mobility data mining: Discovering movement patterns from trajectory data. In *Proceedings of the Second International Workshop on Computational*

- Transportation Science, San Jose, CA, USA, 2 November 2010; pp. 7–10.
23. Batty, M.; Axhausen, K.; Giannotti, F.; Pozdnoukhov, A.; Bazzani, A.; Wachowicz, M.; Ouzounis, G.; Portugali, Y. Smart cities of the future. *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 2012, 214, 481–518.
 24. Schmitt, G. A planning environment for the design of future cities. In *Digital Urban Modelling and Simulation*; Springer: Berlin, Germany, 2012; pp. 3–16.
 25. Bajaj, R.; Ranaweera, S.L.; Agrawal, D.P. GPS: Location-tracking technology. *Computer* 2002, 35, 92–94.
 26. Moloo, R.K.; Digumber, V.K. Low-cost mobile GPS tracking solution. In *Proceedings of the 2011 International Conference on Business Computing and Global Informatization*, Shanghai, China, 29–31 July 2011; pp. 516–519.
 27. Trasarti, R.; Rinzivillo, S.; Pinelli, F.; Nanni, M.; Monreale, A.; Renso, C.; Pedreschi, D.; Giannotti, F. Exploring Real Mobility Data with M-atlas. In *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*; Springer: Berlin, Germany, 2010; pp. 624–627.
 28. Yuan, J.; Zheng, Y.; Zhang, C.; Xie, W.; Xie, X.; Sun, G.; Huang, Y. T-drive: Driving directions based on taxi trajectories. In *Proceedings of the 18th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, San Jose, CA, USA, 2–5 November 2010; pp. 99–108.
 29. Trasarti, R.; Nanni, M.; Giannotti, F.; Pedreschi, D.; Renso, C. A query language for mobility data mining. *Int. J. Data Warehous. Min.* 2011, 7, 24–45.
 30. Iqbal, M.U.; Lim, S. Privacy implications of automated GPS tracking and profiling. *IEEE Technol. Soc. Mag.* 2010, 29, 39–46.
 31. Michaela, K.; Clarke, R. Location and tracking of mobile devices: Überveillance stalks the streets. *Comput. Law Secur. Rev.* 2013, 29, 216–228.
 32. Clarke, R.; Wigan, M.R. You are where you've been: The privacy implications of location and tracking technologies. *J. Locat. Based Serv.* 2011, 5, 138–155.
 33. Dahunsi, F.; Dwolatzky, B. An empirical investigation of the accuracy of location-based services in South Africa. *J. Locat. Based Serv.* 2012, 6, 22–34.
 34. Zhang, Y.; Li, L.; Zhang, Y. Research and design of location tracking system used in underground mine based on WiFi technology. In *Proceedings of the International Forum on*

- Computer Science-Technology and Applications, Chongqing, China, 25–27 December 2009.
35. Chen, P.-C. A cellular based mobile location tracking system. In Proceedings of the IEEE 49th Vehicular Technology Conference, Houston, TX, USA, 16–20 May 1999.
 36. Mitra, S.; DasBit, S. On location tracking and load balancing in cellular mobile environment-a probabilistic approach. In Proceedings of the International Conference on Electrical and Computer Engineering, Dhaka, Bangladesh, 20–22 December 2008; pp. 121–126.
 37. Chawla, V.; Ha, D.S. An overview of passive RFID. *IEEE Commun. Mag.* 2007, 45, 11–17.
 38. Weinstein, R. RFID: A technical overview and its application to the enterprise. *IT Prof.* 2005, 7, 27–33.
 39. Ni, L.M.; Zhang, D.; Souryal, M.R. RFID-based localization and tracking technologies. *IEEE Wirel. Commun.* 2011, 18, 45–51.
 40. Bagchi, M.; White, P.R. The potential of public transport smart card data. *Transp. Policy* 2005, 12, 464–474.
 41. Ni, L.M.; Liu, Y.; Lau, Y.C.; Patil, A.P. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. *Wirel. Netw.* 2004, 10, 701–710.
 42. Kanda, T.; Shiomi, M.; Perrin, L.; Nomura, T.; Ishiguro, H.; Hagita, N. Analysis of people trajectories with ubiquitous sensors in a science museum. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma, Italy, 10–14 April 2007; pp. 4846–4853.
 43. Pandit, A.A.; Talreja, J.; Mundra, A.K. RFID tracking system for vehicles (RTSV). In Proceedings of the First International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Indore, India, 23–25 July 2009.
 44. Kulyukin, V.; Kutiyawala, A.; LoPresti, E.; Matthews, J.; Simpson, R. iWalker: Toward a rollator-mounted wayfinding system for the elderly. In Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, NV, USA, 16–17 April 2008.
 45. Li, Z.; Chu, C.-H.; Yao, W. SIP-RLTS: An RFID location tracking system based on SIP. In Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, NV, USA, 16–17 April 2008.
 46. Han, K.; Cho, S.-H. Advanced LANDMARC with adaptive knearest algorithm for RFID location system. In Proceedings of the International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, Beijing, China, 24–26 September 2010; pp. 595–598.
 47. Willis, S.; Helal, S. A Passive RFID Information Grid for Location and Proximity Sensing for the Blind User; Technical

- Report Number TR04-009; University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2004.
48. Iturralde, D. A new system based on web services and RFID for tracking people in a pervasive mining environment. In Proceedings of the Latin-America Conference on Communications (LATINCOM), Santiago, Chile, 24–26 November 2013.
 49. Buccafurri, F.; Lax, G.; Nicolazzo, S.; Nocera, A. A privacy-preserving solution for tracking people in critical environments. In Proceedings of the 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), Vasteras, Sweden, 21–25 July 2014; pp. 146–151.
 50. Nohara, K.; Tajika, T.; Shiomi, M.; Kanda, T.; Ishiguro, H.; Hagita, N. Integrating passive RFID tag and person tracking for social interaction in daily life. In Proceedings of the IEEE 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Munich, Germany, 1–3 August 2008; pp. 545–552.
 51. Germa, T.; Tajika, T.; Shiomi, M.; Kanda, T.; Ishiguro, H.; Hagita, N. Vision and RFID data fusion for tracking people in crowds by a mobile robot. *Comput. Vis. Image Underst.* 2010, 114, 641–651.
 52. Cucchiara, R.; Fornaciari, M.; Haider, R.; Mandreoli, F.; Prati, A. Identification of intruders in groups of people using cameras and RFIDs. In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC), Ghent, Belgium, 22–25 August 2011.
 53. Foster, K.R.; Jaeger, J. RFID inside. *IEEE Spectrum*, 1 March 2007. Available online: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/rfid-inside> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 54. Matic, A.; Osmani, V.; Mayora, O. RFID-based system for tracking people: Approaches to tagging demented patients. *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Inform. Telecommun. Eng.* 2011, 70, 60–65.
 55. Xiong, Z. Hybrid WSN and RFID indoor positioning and tracking system. *EURASIP J. Embed. Syst.* 2013, 2013, 6.
 56. Hsu, C.-C.; Chen, J.-H. A novel sensor-assisted RFID-based indoor tracking system for the elderly living alone. *Sensors* 2011, 11, 10094–10113.
 57. Hui, F.C.P.; Chan, H.C.B.; Fung, S.H. RFID-based location tracking system using a peer-to-peer network architecture. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers

- and Computer Scientists, Hong Kong, China, 12–14 March 2014.
58. Lin, X.; Lu, R.; Kwan, D.; Shen, X. REACT: An RFID-based privacy-preserving children tracking scheme for large amusement parks. *Comput. Netw.* 2010, 54, 2744–2755.
 59. Steffen, R.; Preißinger, J.; Schöllermann, T.; Müller, A.; Schnabel, I. Near field communication (NFC) in an automotive environment. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Near Field Communication*, Monaco, 20 April 2010; pp. 15–20.
 60. Firenze Card. Available online: <http://www.firenzecard.it/?lang=en> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 61. ExxonMobil's Speed-Pass. Available online: <http://www.speedpass.com> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 62. Washington Metropolitan Area Transit Authority. Shuttle Services at Metro Facilities Report; WMATA: Washington, DC, USA, 2011.
 63. Collins, J. Gift Cards Go Contactless. Available online: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?762> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 64. Charette, R. Wal-mart to track clothing with RFID Tags. *IEEE Spectrum*, 27 July 2010. Available online: <http://spectrum.ieee.org/riskfactor/computing/it/walmart-to-track-clothing-withrfid-tags> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 65. Marks & Spencer Embraces Change. *RFID J.* 2014. Available online: <https://www.rfidjournal.com/purchase-access?type=Article&id=11952&r=%2Farticles%2Fview%3F11952> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 66. Zara Builds Its Business around RFID. *The Wall Street Journal*, 16 September 2014. Available online: <http://www.wsj.com/articles/at-zara-fast-fashion-meets-marter-inventory-1410884519> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 67. Special NRF Report: Decathlon Develops RFID to Revolutionise Stores and Back of House. *The Retail Bulletin*, 17 January 2014. Available online: http://www.theretailbulletin.com/news/special_nrf_reportdecathlon_develops_rfid_to_revolutionise_stores_and_back_of_house_17-01-14/ (consultado el 20 de septiembre del 2016).

68. Gilart-Iglesias, V.; Maciá-Pérez, F.; Marcos-Jorquera, D.; Mora-Gimeno, F.J. Industrial machines as a service: Modelling industrial machinery processes. In Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics, Vienna, Austria, 23–27 June 2007; pp. 23–27.
69. Andújar-Montoya, M.D.; Gilart-Iglesias, V.; Montoyo, A.; Marcos-Jorquera, D. A construction management framework for mass customisation in traditional construction. *Sustainability* 2015, 7, 5182–5210.
70. Eriksson, H.E.; Penker, M. *Business Modelling with UML*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2001.
71. García-Chamizo, J.M.; Mora-Pascual, J.; Mora-Mora, H.; Signes-Pont, M.T. Calculation methodology for flexible arithmetic processing. In Proceedings of the IFIP International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SOC), Darmstadt, Germany, 1–3 December 2003; pp. 350–355.
72. Mora-Mora, H.; Mora-Pascual, J.; García-Chamizo, J.M.; Jimeno-Morenilla, A. Real-time arithmetic unit. *Real Time Syst.* 2006, 34, 53–79.
73. Mora-Mora, H.; Mora-Pascual, J.; Signes-Pont, M.T.; Romero, J.L.S. Mathematical model of stored logic based computation. *Math. Comput. Model.* 2010, 52, 1243–1250.
74. Paul, A.S.; Wan, E.A. Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods. In Proceedings of the IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, Monterey, CA, USA, 5–8 May 2008; pp. 646–659.
75. Dwoskin, E. What secrets your phone is sharing about you businesses use sensors to track customers, build shopper profiles. *The Wall Street Journal*, 13 January 2014. Available online: <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052702303453004579290632128929194> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
76. Nikitin, P.V.; Rao, K.V.S. Performance limitations of passive UHF RFID systems. In Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Albuquerque, NM, USA, 9–14 July 2006; pp. 1011–1014.
77. Li, N.; Becerik-Gerber, B. Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment. *Adv. Eng. Inform.* 2011, 25, 535–546.
78. Das, R.; Harrop, P. *RFID Forecasts, Players and Opportunities 2014–2024*; IDTechEx: Cambridge, MA, USA, July 2014. Available online: <http://www.centrenational->

- rfid.com/docs/users/file/RFID_Forecasts_2014_2024.pdf
(consultado el 20 de septiembre del 2016).
79. Juels, A. RFID security and privacy: A research survey. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2006, 24, 381–394.
 80. Juels, A.; Rivest, R.L.; Szydlo, M. The blocker tag: Selective blocking of RFID tags for consumer privacy. In *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*, Washington, DC, USA, 27–30 October 2003; pp. 103–111.
 81. RFIDControls. Available online: <http://www.rfidcontrols.com/> (consultado el 20 de septiembre del 2016).
 82. Hohpe, G.; Woolf, B. *Enterprise Integration Patterns*, 1st ed.; Addison-Wesley: Boston, MA, USA, 2003.
 83. Sivrikaya, F.; Yener, B. Time synchronization in sensor networks: A survey. *IEEE Netw.* 2004, 18, 45–50.
 84. Zhang, F.; Deng, G.Y. Probabilistic time synchronization in wireless sensor networks. *Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput.* 2005, 2, 980–984.
 85. Erl, T. *SOA Design Patterns*, 1st ed.; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2009.
 86. Cubietruck. Available online: <http://www.cubietruck.com/> (consultado el 18 de octubre del 2016).
 87. Nikitin, P.V.; Rao, K.V.S. Antennas and propagation in UHF RFID systems. In *Proceedings of the IEEE International Conference on RFID*, Las Vegas, NV, USA, 16–17 April 2008; pp. 277–288.
 88. Chen, Z.N.; Qing, X.; Chung, H.L. A universal UHF RFID reader antenna. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2009, 57, 1275–1282.
 89. The Open Graph Viz Platform, URL:<https://gephi.org/>. Consultado: 2016.
 90. Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In *ICWSM*, pp. 361–362, 2009.
 91. D. Karali, *Integration of RFID and Cellular Technologies*, Technical report, White paper, 2008.
 92. SmarTrip card, URL: <http://www.wmata.com/index.cfm>. (consultado el 18 de octubre del 2016).
 93. R. MacManus, *Oyster Card: 10 Million + RFID Chips in London*, he URL:
http://readwrite.com/2009/08/30/oyster_card_10_million_rfid_chips_in_london, ReadWrite , Consultado: 2016.

94. Service-Oriented Architecture (SOA): Concepts, Technology, and Design , Author: Thomas Erl , Prentice Hall (Agosto 12, 2005), ISBN-13: 978-0131858589
95. Kunal Maurya, Mandeep Singh, Neelu Jain, Real Time Vehicle Tracking System using GSM and GPS Technology- An Anti-theft Tracking System, URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.259.7352&rep=rep1&type=pdf> (consultado el 18 de octubre del 2016).
96. Verma, Pankaj; Bhatia, J S., Design And Development Of Gps-Gsm Based Tracking System With Google Map Based Monitoring, URL: <http://search.proquest.com/openview/02badc19c5553ff9d57e494bc27ba5b/1?pq-origsite=gscholar> (consultado el 18 de octubre del 2016).
97. Mathias Versichelea, Liesbeth de Grootea, Manuel Claeys Bouuaerta, Tijs Neutensa, Ingrid Moermanb, Nico Van de Weghe, Pattern mining in tourist attraction visits through association rule learning on Bluetooth tracking data: A case study of Ghent, Belgium, URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517714000417> (consultado el 18 de octubre del 2016).
98. Piotr Sapiezynski, Arkadiusz Stopczynski, Radu Gatej, Sune Lehmann, Tracking Human Mobility Using WiFi Signals, URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0130824> (consultado el 18 de octubre del 2016).
99. Steffen, R., Preißinger, J., Schöllermann, T., Müller, A., Schnabel, I. Near field communication (NFC) in an automotive environment. In International Workshop on Near Field Communication, pp. 15-20, 2010.
100. http://www.inditex.com/es/media/news_article?articleId=150174, (consultado el 8 de noviembre del 2016)
101. <http://www.rfidpoint.com/deathlon-aumenta-las-ventas-gracias-a-la-tecnologia-rfid/> (consultado el 8 de noviembre del 2016)
102. <http://www.lrmconsultorialogistica.es/blog/feed/17-noticias/261-corte-ingles-rfid-carga-camiones-almacen-valdemoro-2.html> consultado el 8 de noviembre del 2016)
103. David L. Mills, Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=103043> (consultado el 18 de octubre del 2016).
104. European Commission, Market Place of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities

- Available online: <https://eu-smartcities.eu/eu-projects>
(consultado el 10 de Abril del 2017)
105. Neirotti P., De Marco A., Cagliano A. C., Mangano G., Scorrano F., Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts, *Cities*, 2014, 38, pp. 25–36. doi: 10.1016/j.cities.2013.12.010
 106. Gabrys J., Programming environments: environmentality and citizen sensing in the smart city, *Environment and Planning D: Society and Space*, 2014, 32(1), 30 – 48. doi: 10.1068/d16812
 107. Thomas Liebig, Nico Piatkowski, Christian Bockermann, Katharina Morik. Predictive Trip Planning – Smart Routing in Smart Cities URL: <http://www.thomas-liebig.eu/wordpress/wp-content/papercite-data/pdf/liebig14.pdf> (consultado el 10 de Abril del 2017)
 108. Gang Pan, Guande Qi, Wangsheng Zhang, Shijian Li, and Zhaohui Wu, Trace Analysis and Mining for Smart Cities: Issues, Methods, and Applications, URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.307.9769&rep=rep1&type=pdf> (consultado el 10 de Abril del 2017)
 109. Michael Batty , Big data, smart cities and city planning. URL: <http://dhg.sagepub.com/content/3/3/274.full.pdf+html> (consultado el 10 Abril 2017)
 110. Wangsheng Zhang, Shijian Li, Gang Pan , Mining the Semantics of Origin-Destination Flows using Taxi Traces. URL: <http://www.cs.kent.edu/~zwang/schedule/Dav1.pdf> (consultado el 10 de Abril del 2017)
 111. Liang Liu, Anyang Hou, Assaf Biderman, Carlo Ratti, Understanding individual and collective mobility patterns from smart card records: a case study in Shenzhen, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5309662> (consultado el 10 de Abril del 2017)
 112. McNamara, L., Mascolo, C., & Capra, L(2008). Media sharing based on colocation prediction in urban transport. *Proceed. ACM MobiCom '08*. San Francisco, CA, Sept. 14 - 19, 2008, pp. 58-69
 113. R. E. Kalman , Research Institute for Advanced Study, Baltimore, Md., A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, <http://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1430402> (consultado el 8 de Mayo del 2017)

114. Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, G. Geoffrey Vining, Introduction to Linear Regression Analysis, pp 12-58
115. Antonio Augusto Chaves. Author links open the author workspace. Luiz Antonio Nogueira Lorena, Clustering search algorithm for the capacitated centered clustering problem, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054808001779>, (consulta el 8 de mayo del 2017)
116. Andrea Zanella, Internet of Things for Smart Cities, IEEE Internet of Things Journal (Volume: 1, Issue: 1, Feb. 2014), URL: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6740844/>, (Consultado el 20 Junio del 2017)
117. H. Arasteh, V. Hosseini, V. Loia, Iot-based smart cities: A survey, Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016 IEEE 16th International Conference on 7-10 June 2016, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7555867/> (Consultado el 20 de Junio del 2017)
118. Rob Kitchin, The real-time city? Big data and smart urbanism, URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/S10708-013-9516-8>, (Consultado el 25 de Junio del 2017)
119. M. Mazhar Rathore, Awais Ahmad, Anand Paul, Seungmin Rho, Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128616000086>, (Consultado el 26 de Junio del 2017)
120. V Gilart-Iglesias, H Mora, R Pérez-delHoyo, C García-Mayor, (2015), A Computational Method based on Radio Frequency Technologies for the Analysis of Accessibility of Disabled People in Sustainable Cities, Sustainability, 7 (11), 14935-14963, 2015.
121. H. Mora, V. Gilart-iglesias, R. Pérez-delhoyo, M.D. Andújar-Montoya, H.J. Compañ Gabucio, (2016), Interactive Cloud System for the Analysis of Accessibility in Smart Cities, International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, (ISSN: 1755-7437) (In press).

Article

A Computational Architecture Based on RFID Sensors for Traceability in Smart Cities

Higinio Mora-Mora *, Virgilio Gilart-Iglesias, David Gil and Alejandro Sirvent-Llamas

Specialized Processors Architecture Laboratory, Department of Computer Science Technology and Computation, University of Alicante, 03690 Alicante, Spain; E-Mails: vgilart@ua.es (V.G.-I.); dgil@ua.es (D.G.); asirvent@ua.es (A.S.-L.)

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: hmora@ua.es; Tel.: +34-96-590-3681; Fax: +34-96-590-9643.

Academic Editor: Antonio Puliafito

Received: 9 April 2015 / Accepted: 8 June 2015 / Published: 10 June 2015

Abstract: Information Technology and Communications (ICT) is presented as the main element in order to achieve more efficient and sustainable city resource management, while making sure that the needs of the citizens to improve their quality of life are satisfied. A key element will be the creation of new systems that allow the acquisition of context information, automatically and transparently, in order to provide it to decision support systems. In this paper, we present a novel distributed system for obtaining, representing and providing the flow and movement of people in densely populated geographical areas. In order to accomplish these tasks, we propose the design of a smart sensor network based on RFID communication technologies, reliability patterns and integration techniques. Contrary to other proposals, this system represents a comprehensive solution that permits the acquisition of user information in a transparent and reliable way in a non-controlled and heterogeneous environment. This knowledge will be useful in moving towards the design of smart cities in which decision support on transport strategies, business evaluation or initiatives in the tourism sector will be supported by real relevant information. As a final result, a case study will be presented which will allow the validation of the proposal.

Keywords: RFID smart sensor network; cyber physical systems; communication technology; computational architectures; smart city; track and trace system

1. Introduction

Technological progress in recent years has made it possible to extend the use of Information Technology and Communications (ICT) to new applications with the objective of improving citizens' quality of life. This idea has been of increasing significance in the political agenda as well as in the public services area. In the cases where there is no planning of development consistent with the efficient and sustainable management of urban resources this can start to cause real issues.

It is recognized that to either obtain a common definition of Smart City (SC) or to define global trends for SC is complicated. There are several reasons that contribute to this. On one hand, cities are complex systems typified by massive numbers of interconnected citizens, a lot of businesses, various modes of transport, communication networks, including services as well as utilities. On the other hand, this leads to a big diversity of technological, social, economic and organisational problems which expose the environmental sustainability of cities. Besides, there is no total consensus about the significance of SC but there is wide agreement concerning the fact that SCs are characterised by the use of ICTs. The goal is, in general, to make better use of resources in cities [1]. There are numerous examples which we could cite of cities that are supplementarily prepared with ICT systems in order to meet this objective in the fields of energy, telecommunications, ecology or transport [2–5]. Improvements in the management efficiency of these elements are directly perceived by citizens as quality of life improvements.

These reasons have led us to work on the citizen track and trace problem in urban environments. Progress on this issue may provide relevant information for decision-making in many of the above problems related to the management of a smart city, such as in the planning of transport infrastructure (roads, subway, bus lines) or modification of existing ones, in the construction of new public buildings (schools, hospitals, museums, sports areas), in designing tourist routes through the city, *etc.* Other uses of the obtained information can contemplate economic objectives such as a commercial rating of avenues and streets or the design of tourist offerings in the city.

Moreover, building increased intelligence into things around us and connecting them to the network to transfer data without requiring human interaction is a current trend of technological development called the Internet of Things (IoT) that allows us to meet and interact better with the surrounding environment [6,7]. IoT technologies such as sensing, computing and mobile communication could be employed to collect data on the functioning of the city. In this respect, how the data of interest is collected is the major challenge in most cases. Once obtained, another important issue is how to connect sensors to the web [8] to enable provision of cloud-based management and services. In this field, the development of distributed sensor infrastructure is one of the prominent research areas related to IoT [9,10].

In the work described in this paper, a method and a computer architecture to determine the movements of people in the city is proposed. The research done takes into account the current communication technologies, the ease of implementation and deployment and key aspects about user privacy. The main scientific contribution of this research is the integration of several new technologies and solutions of IoT to build a comprehensive system to track and trace citizens in city working environments. As a result, smart sensing technologies with processing and communication capabilities are proposed to produce cloud services for citizen traceability.

The remainder of the paper is organized as follows: Section 2 covers problem analysis, related work and the research methodology used; Section 3 presents the methods to know citizens' movements with its dominant distributed components and decisions taken; Section 4 discusses aspects of communication and structuring of location information and describes the centralized architecture; Section 5 describes the main characteristics of the services provided for using the generated information; next, Section 6 describes the implementation based on a case study in a university environment to check the correct performance; finally Section 7 concludes with a discussion of critical outstanding issues and future research directions in this area.

2. Population Track and Trace Issues

2.1. Problem Definition

Track and trace is a term frequently used by delivery and logistics companies [11–15]. In the context of items and products, track and trace implies a process of determining their traceability understood as the current and past locations (or even more information) of a single item. In this work, the main idea is to use this general approach in a totally different context regarding people in order to discover and determine citizen movement flows. According to this definition, the general problem addressed in this paper focuses on achieving structured information about the movement habits of citizens in the geographical area of a city.

The main challenge to be resolved is the way in which the population can be traced preserving their anonymity, without necessarily requiring their collaboration, and in non-controlled and heterogeneous environments. In addition, the processing and centralization of information obtained must be considered to be useful for decision-making, and it should be aware that the number of citizens can be very large, even considering a small urban geographical area of an average city.

2.2. Literature Survey

The citizen track and trace issue is not new, as evidenced by the amount of research on this topic. Indeed, there is some concern about maintaining user privacy due to the proliferation of systems and high integration rate of mobile devices connected in the hands of citizens [16,17]. However, the benefit of knowing citizen's traceability information for the design of cities has spurred studies and works which try to determine it while preserving the privacy of citizens.

Transport planning is an example of a task where an analysis of human and traffic flows can be very useful. This issue is essential since the populations of cities are increasing dramatically. Decisions regarding this have been studied for many years. As a result, there are numerous proposals for successful decision-making processes in transport planning [18–21]. Such decisions involve many actors such as members of the city council, representatives of the transport companies and even the citizens. Usually, council members along with the company representatives come together to form a regional consortium. Therefore, this consortium is the scenario where the decisions regarding public transportation are made. Setting the routes of the various services such as buses or subways is one the main decisions they have to perform. Due to this fact, they must analyse data about the city and its citizens in order to extract the knowledge about their habits and transportation necessities, *i.e.*,

the analysis of human movement trends in urban areas. However, although these guidelines provide a well-studied framework for decision-making on transport, there are some critical shortcomings that have been detected in some of the current literature [22,23].

First of all, very often there is an issue of the obsolescence of design plans. Traditional planning processes can become obsolete when cities grow significantly. If too much time passes between when a project is planned and it is executed, by then it will be outdated and certainly will have lost some of its usefulness. To address this problem, there are works proposing a system based on the use of SC tools that allow projects to evolve dynamically with the possible changes in the scenarios over time [24].

Secondly, there is another important issue concerning the procedures used to get the data and especially how can they be used for providing decision support. Traditionally, the information used in these processes is obtained through field studies (e.g., manual recounts of people and vehicles, census, *etc.*) along with information obtained from interviews with the different actors involved, namely, citizens, transportation companies, and event managers, among others [22]. However, these massive surveys and interviews are very expensive, thus they cannot be performed frequently. Due to this fact, they rapidly become obsolete and if we trust such outdated information we will not take into account the real situation. Furthermore, these data sources lack information about individual trajectories and consequently we cannot compute the real individual movements of people [22,23], but rather we are able to obtain a global and a simple view of citizens' movements.

It is highly desirable, therefore, to use technology to effectively determine the human traffic flows. The main technology created for this purpose is the Global Positioning System (GPS) [25]. With GPS, we can precisely and easily establish our position on the world map, so it is used for orientation purposes by drivers and pedestrians since it has become quite affordable. In addition, it is now integrated into many devices such as mobile phones or other ubiquitous devices [26].

An example of an application for this problem can be found in a study conducted in the cities of Milan (Italy) [27] and Beijing (China) [28]. In the case of the Italian city, the data come from GPS devices installed in a rental car fleet. In the Chinese city, the GPS devices were installed in a taxi fleet. These papers present some analytical methods as well as data mining tools in order to provide discovery knowledge processes. They rely on a central node responsible for processing all the information acquired from the GPS devices.

Based on the information obtained about the trajectories, there are several studies which focus on data analysis and manipulation to extract information of interest. In this regard, query languages and tools for trajectory analysis oriented to query trajectories computed from GPS devices have been established [29]. These researches develop a clustering technique that allows extracting traffic patterns over indicated periods of time. The results of these analyses allow one to trace road communication routes much faster than existing patterns and the results obtained by tools like Google or Bing maps.

However, the use of GPS raises some issues to consider. One of the most important of them is the transparency of use: access to the positioning data of users requires that they allow it, either by configuring or installing an application designed to carry out such data collection on their mobile devices. This configuration involves extra effort that not everyone may be willing or able to undertake. Moreover, if it is activated, the user will be aware that is transmitting data at all times. Therefore, it becomes clear that it is not a transparent mechanism for the user. In addition, there is an added problem: the preservation of privacy [30]. By knowing the exact location of people in real-time and the trajectories

they have followed over time, it is possible to study their movement habits and even predict their location at a certain time of day. In the wrong hands, such information may compromise not only the privacy of citizens, but also their safety. For instance, it would be possible to know with precision at what a time a citizen is not at home in order to commit a theft. Finally, besides the two mentioned problems, an additional problem is the power consumption since devices require their own power source to operate in addition to the cost of the devices themselves. Despite being integrated into many medium and high range mobile phones, they are still relatively expensive if purchased separately.

The use of the installed wireless infrastructure, has also been considered for this application [31]. This includes mobile phone networks and wireless local (Wi-Fi) and wide (WiMax) area networks. These networks were not designed for this purpose but to rather access the Internet and communications services offered by telcos. However, from the moment in which each base station is aware of the presence and identity of each connected device, it is possible to offer tracking operations while the user is moving from one station to another [32,33]. Some research also includes filtering and interpolation operations to predict where the user is located [34–36]. However, due to their scope and current coverage, they cannot provide accurate situation information about where the user has passed. Moreover, placing a greater number of stations for this purpose could significantly increase the infrastructure cost.

Mobile telecommunications technologies (GSM, 3G, LTE, *etc.*), can also be used to perform large-scale tracking and tracing of users, however, they are not considered in this work due to the lack of necessary precision and the need of having a mobile terminal. Although their degree of penetration in the population is very high, their use for this purpose involves other drawbacks about cost and user privacy. Other alternatives such as CCTV, are discarded due to the technical difficulty of developing automatic methods for tracking individual users in uncontrolled contexts and the fact it can cause a stronger invasion of privacy due to the feeling of being “watched” by surveillance cameras.

An alternative to previous techniques for sensorization of citizen movements is to use Radio Frequency Identification (RFID) communication technology [37–39]. This technology has also been widely used to obtain location information of users and objects. Table 1 summarizes the main recent works on this issue as a representative sample. All the proposals analyzed work in controlled environments, that is, the infrastructure deployment has been designed previously and provided by the system managers. When the users access a system are given a tag to carry around the working environment.

Many studies have been conducted for track and trace indoors and outdoors. For instance, outdoors, the City of London introduced a system for data collection in its transportation system including buses, subways and trains [40]. The idea was to track users of the transport network through payment and access cards equipped with this communication technology. With the information gathered it was determined the level of use, number of travelers and public transport habits in the city and to know the stations, breakpoints, origin and destination of network travel streams. For indoors, systems to know citizen movement flows have also been implemented [41], for instance, visits per museum [42]. With the results, visit patterns of the different exhibits and areas were obtained, participants with atypical behaviours were identified and even relationships between visitors groups were established.

Table 1. RFID-based track and trace works.

Work	Main Application	Working Environment		Tag Deployment	Reader Deployment
		Indoors	Outdoors		
RFID enabled supply chains [11–14]	Traceability services	X	X	Passive tags embedded into objects	Fixed or mobile readers. Along supply chain
RFID delivery system [15]	Intelligent Transport Systems		X	Passive tags embedded into objects	Fixed or mobile readers. Along delivery system.
RTSV [43]	Tracking System for Vehicles		X	Passive tags installed on cars	Distributed throughout the city.
The London Oyster Card Data [40]	Public transport planning	X	X	Passive tags Inside transport cards	Installed on entries and exits of transport system.
iWalker [44]	Assistance services of location and obstacle detection	X		Placed anywhere in the environment	Embedded into walkers
Tracking science museum [42]	People Traceability	X		Passive tags on nameplates carried by users	Distributed throughout the floor
SIP-RLTS [45]	Location Tracking System	X		Passive tags carried by users (patients)	Readers carried by workers (medical)
LANDMARC [41,46]	Indoor location sensing	X		Active tags on grid array deployment	Distributed throughout the environment
Blind User [47]	Location and Proximity Sensing	X	X	Passive tags; Indoor: Grid array deployment over floor; Outdoor: Along edge of the sidewalk.	Readers carried by users
Pervasive mining [48]	Tracking people in a pervasive mining environment.	X		Passive tags carried by users	Distributed throughout the environment
Privacy-Preserving Solution [49]	Tracking People in Critical Environments	X	X	Passive tags carried by users	Distributed throughout the environment
Social interaction [50]	Person tracking	X		Passive tags carried by users	Distributed throughout the environment
Cameras and RFID [51,52]	Tracking and identification people	X		Passive tags carried by users	Distributed throughout the environment
RFID Inside [53]	Tracking and identification people	X	X	Passive tags inserted in users	Readers carried by workers (medical, security, etc.)
Tagging Demented Patients [54]	Tracking and identification people	X		Passive tags carried by users	Readers carried by workers (medical)
WSN and RFID [55]	Person tracking	X		Passive tags installed on objects or people	Distributed throughout the environment
Elderly Living Alone [56]	Person tracking	X		Passive tags carried by users	Distributed throughout the environment
Peer-to-Peer Networks [57]	Location Tracking System	X		Active tags carried by users	Distributed throughout the environment
REACT [58]	Children location		X	Passive tags carried by children	Distributed throughout the environment

RFID technology overcomes some of the disadvantages described for GPS, as it does not require too much cooperation from the user and reduces energy costs. However, its use for tracking does not provide exact locations but, like other wireless networks, the temporal location marks are limited by the locations of the signal reader antennas and the analysis of the Received Signal Strength Indicator (RSSI) of the readings [56]. Thereby the resolution of the trajectories followed by the users will be lower than in the case of the GPS. The outdoor scope of this technology is also not comparable to GPS coverage. There is a shorter range variation named Near-Field Communication (NFC) [59] that requires much less power to operate. Moreover, passive RFID/NFC technologies may be present in a multitude of objects and devices that people wear [38]. In many cases, they are integrated into standard cards made of plastic with identification and access functions [60], credit or debit cards [61–63] or even paper tags on clothing [64–67], however the functions for which these elements were designed were not tracking people in itself, but rather other applications such as localized identification, payment processes or object tracking in stores.

After the review carried out, it is observed that the activities of localization and tracking can provide valuable information to improve infrastructure development and user satisfaction for a variety of applications. From all the reviewed literature on track and trace systems, the most cited solutions show significant drawbacks. The Global Positioning System is the most suitable and it provides better results due to its precision and accuracy, however, this implies the necessary participation of citizens for track and trace activities. The citizen must have a device with computing and communication capability that enables it to provide the captured information, usually a mobile phone on which an application has been previously installed and configured. These requirements consume a considerable amount of energy that may affect the autonomy and the availability of the device. In addition, these solutions involve knowledge of personal data of the citizen like the terminal number. These features imply that the system is restricted to a limited set of the citizens, so the sample would be not representative to provide good service for managing the resources of all citizens. Elderly citizens who are not familiar with ICT, citizens who do not have access to such technology or citizens unwilling to provide personal data, among others, would not be represented in the datasets. Moreover, these proposals are only valid for open city environments, which would imply the inability to track citizens in indoor environments where GPS technology is not adequate. Nevertheless, these spaces also require efficient management of their resources.

To take advantage of the extensive set of connected mobile devices as well as the installed infrastructure, the use of wireless networks is another option in which proposals have already been made. However, the results it gets are not very precise and it also produces privacy intrusions as the identification of the user is known.

Another alternative that can be provided is the use of RFID/NFC, a technology increasingly found embedded in devices and other portable fixtures accepted by the public. For its functioning, not only energy consumption, but also expensive equipment, are not required. In this case the main obstacle is that the technology is underdeveloped and in general, antenna networks prepared for this purpose are not available.

Most related works that use RFID technologies are focused on tracking systems and only few proposals have contemplated both the track and trace problems. Most of them apply their solutions in closed and limited environments, where the characteristics of reliability, service quality and scalability are not necessary. However, the development and proliferation of this RFID technology among

citizens during the last few years, opens up new possibilities for its use in track and/or trace tasks based on user-centric schemes. The characteristics of this technology may allow mixed deployment both indoors and outdoors. In the analysed work, the use of RFID technology is limited to reading the homogeneous tags provided by the system owner and sending information to a central system, without prior processing, storage or filtering, as these tasks are delegated to a central node, which can generate a bottleneck.

It is noteworthy that none of the literature proposals focus on the provision of the information collected to third parties, in a dynamic, personalized and open way. For this purpose, the development of cloud-based architectures may represent a good choice for the design of flexible management architectures and service providers. This aspect could enhance the development of decision support systems for the efficient management of resources and oriented to meet the needs of citizens. The scope of the limitations and advantages mentioned will be discussed in the following sections to lead to the design of the proposed architecture according to the objectives.

3. Research Methodology

The working hypothesis of this research is that it is possible to know and process citizens' movement flows across the city by using new IoT technologies.

Once the problem has been described, the hypothesis established and the related work analysed, it is necessary that the comprehensive track and trace system becomes clearer. This system should allow the acquisition of locations of citizens in heterogeneous and uncontrolled environments, indoors and outdoors, to facilitate the transparent incorporation of citizens into the system. Furthermore, the information acquired should enable providing information about citizen movement flows to someone else for efficient management of the resources of cities and to be able to provide better services to these citizens.

In order to develop our proposal, a research methodology based on business process management [68,69] using the Eriksson-Penker formal notation [70] it has been followed. Process management is a strategy for structuring a complex process into a sequence of tasks that can be shown as actions that transform inputs into some other output elements. This transformation must be aligned with previously defined goals, which are considered as strategic, to meet some needs or gaps identified in the problem context. In this way, the defined process will achieve the object system of this work in a systematic way, selecting the most appropriate techniques and tools to meet the objectives in order to solve the identified problems. In the proposed methodology, each of the tasks identified represent a stage of the research, and therefore these will have associated one or more scientific methods as described below.

Specifically, from the starting hypothesis, Figure 1 shows the main process carried out in the research, named *Design of citizen track and trace system*, where the input element («input») represents current track and trace systems. This «input» must be transformed through this process into a novel citizen traceability service («output»), addressing the needs and gaps identified previously, which now are represented by the strategic objectives to be able to guide the research process («goals»). To perform the transformation to achieve the objectives established, the controllers («Control») and facilitators («supplies») which are required to guide this transformation must be identified. Particularly, these elements represent strategies, paradigms, techniques and technologies to be integrated into our proposal.

In order to make easier its identification and, therefore, make clearer the problem, the main process has been divided into three sub processes or tasks.

The resulting sub-processes are the following (Figure 1): first of all, the sub-process *Design of the method for citizens' location acquisition*, focused on establishing necessary technology infrastructures to get citizen data. Secondly, the sub-process *Design of the method of communication and structuring of citizens' location*, involved in ensuring the correct reception of the citizen location data. Finally, the sub-process *Design of the method for citizens' flow provisioning* focused on provisioning standard citizen flows to third parties.

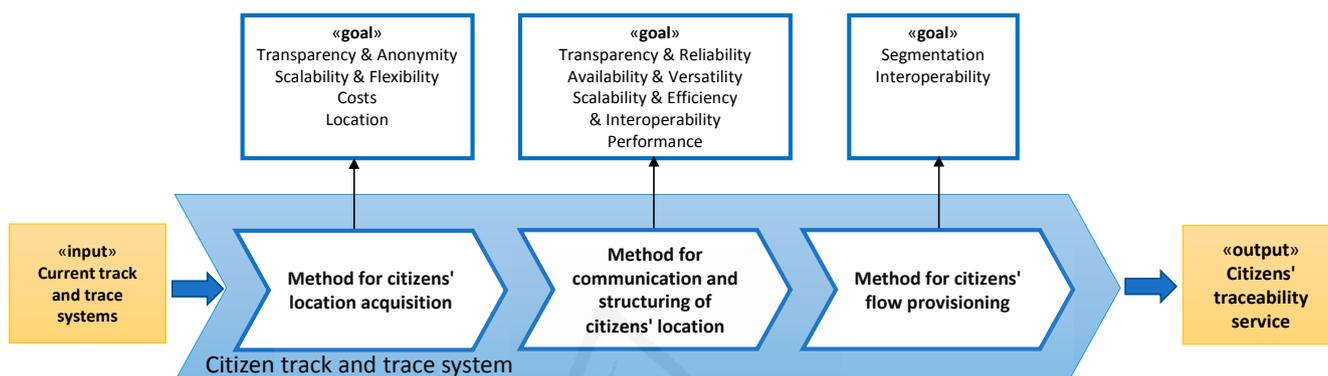


Figure 1. Modelling with Eriksson-Penker notation of the process of obtaining citizen movements flows.

The result of this process will be a computational architecture in order to read and process citizens' movement following the overall scheme shown in Figure 2. The final design of this architecture will be led by the decisions made in each sub process of Figure 1. The research made, uses the knowledge and experience of the research group in the field of designing specialized computational architectures [71–73].

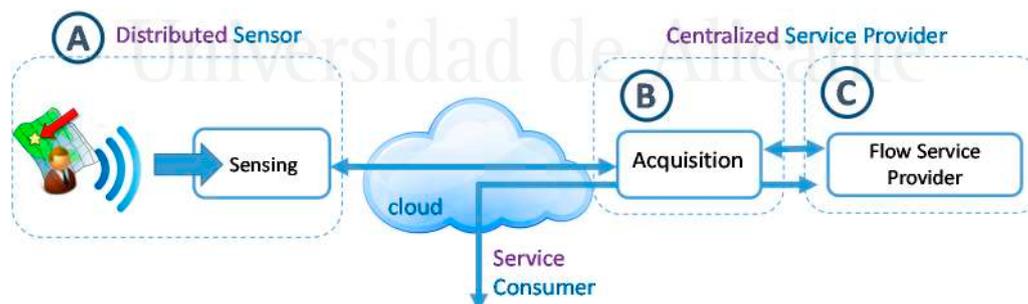


Figure 2. Overall Computational architecture of the citizen track and trace system.

As can be seen, it is composed of a distributed module and a centralized one. The distributed module (A) implements the reading of user location data. The centralized module (B) acquires the data from sensors and provide to the consumers (C) the citizen traceability service to help when making decisions on urban management. The functioning and components of those modules will be detailed progressively in the next sections.

3.1. Method for Citizens' Location Acquisition

This task is focused on the identification of the most suitable location technology and the location infrastructure design as a starting point for addressing the problem to achieve the following goals, as noted in Figure 1: gathering of geographic information (*location*) should be transparent to the citizen, meaning without requiring their cooperation and without their intervention in managing and setting the devices, without affecting its economy and independently of whether the citizens' transits through both indoors and outdoors environments (*transparency*); the designed method will have to maintain the user anonymity and protect personal privacy, avoiding any capture of citizens' personal and confidential information (*anonymity*); the technology used should allow its functioning and quality of service (QoS), regardless of the number of citizens interacting with it and the size of the area that will be monitorized (*scalability*) and the associated infrastructure should provide agile adaptation to any environment (*flexibility*); finally, the deployment of the necessary infrastructure should have a low financial and consumption costs (*costs*). With these design goals in mind the intention is to facilitate the placement of a valid infrastructure and minimize citizens' rejection. Figure 3 shows a complete schematic of this process following the methodology criteria.

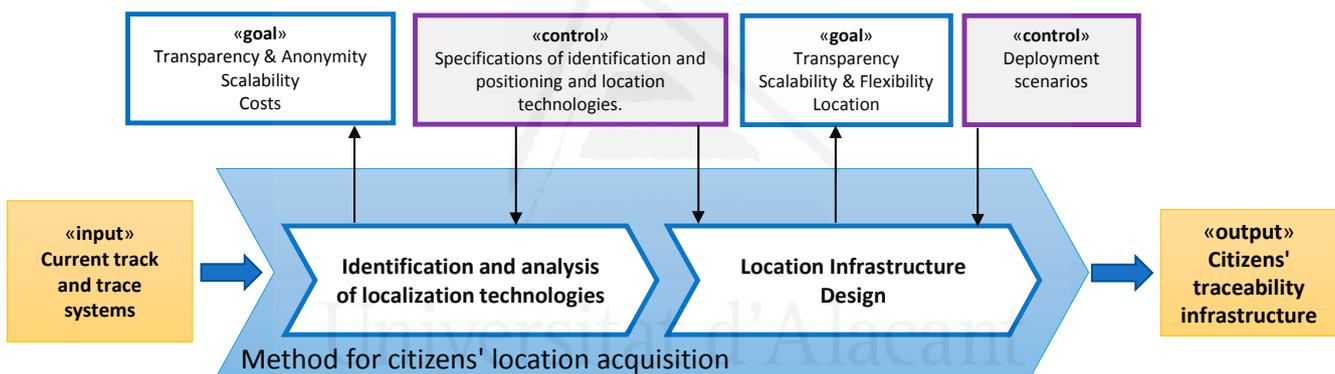


Figure 3. Modelling with Eriksson-Penker notation of Design of the method for citizens' localization acquisition process.

3.1.1. Identification and Analysis of Localization Technologies

For the selection of localization technology, we take into account the analysis and the experience gained in the review of other work and the performance and benefits that are currently available [25,26,30,34–36,38,42,59,74–77].

Table 2 summarizes the main technical characteristics as they relate to the proposed objectives. Regarding the objective of transparency, obtaining positioning with GPS systems or Wi-Fi networks do not offer transparency and the desired anonymity for such applications, since in both cases the collaboration as well as users' permission is required. Specifically, it is necessary that a citizen has a device that supports these technologies, he must install and configure an application designed for this purpose, provide the permission to transmit location information, which may include personal information, and, for all this, he must have a minimum knowledge and technological skill. In addition, the accuracy and coverage of GPS could be a privacy and legality concern, in terms of providing more than the location information necessary for the purpose of the proposal, which is the efficient

management of city resources. Besides, although other wireless technologies (Wi-Fi, GSM, *etc.*) could determine the location, the accuracy to address the problem described would not be valid in all cases. All this could hinder the acceptance of the proposal by the general population and therefore it would not be possible to obtain representative samples for the established purpose.

Table 2. Main features of communication technologies.

Technology	GPS	RFID/NFC	Wireless Networks
<i>Main architecture</i>	Triangulation positioning by satellite.	Set of antennas or readers and receivers.	Set of antennas or readers and receivers.
<i>Communication</i>	The user receiver obtains the signal from satellites and calculates the position.	Readers inspect receivers to determine whether they are present.	Receivers report that they are present.
<i>Operating frequency</i>	1100 MHz to 1600 MHz	Active: 455 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz; Passive: 128 KHz, 13.6 MHz, 915 MHz, 2.45 GHz	Wi-Fi: 2.4 GHz, 5 GHz; WiMax: 2.3 GHz, 3.5 GHz; Cellular mobile: 800 MHz, 1900 MHz, others.
<i>Cover</i>	Worldwide; Outdoor environment	Depending on antenna network deployed. Outdoor and indoor environments	Depending on antenna network deployed. Outdoor and indoor environments.
<i>Range</i>	Worldwide	Active: ~100 m; Passive: 0 to few meters	Wi-Fi: 30 to 100 m WiMax: ~50 km; Cellular mobile: ~35 km
<i>Power consumption</i>	Very high	Passive tags receiver: Very low.	Very high
<i>Deployment Costs</i>	Satellites: Already deployed and free to use; Present in mobile devices	Need to deploy readers network. Present in mobile devices and other everyday user accessories.	Need to deploy antenna network. Present in mobile devices and other user accessories.
<i>Localization</i>	Receiver position.	Antenna position.	Antenna position.
<i>Transparency and Anonymity</i>	Low	High	Low
<i>Usual application</i>	Navigation, topography, land levelling, <i>etc.</i>	Identification, access control, payment, <i>etc.</i>	Internet access and communication services.

It is true that in terms of cost or ease of deployment of the infrastructure, there is already a high degree of integration of devices with GPS or Wi-Fi connectivity among the population. However, the energy cost of their use is high and its use may only for track and trace reasons not be justified. Finally, all the technologies are scalable to the deployment of infrastructure used, although the GPS positioning has an advantage since it does not require additional elements apart from the satellites. However, in the domain of the problem studied, the use of GPS is limited in indoor areas which should also be analyzed to manage their resources.

For all these reasons, among the analysed alternatives our proposal is to use RFID communication technology to track and trace citizens. As mentioned in the previous section, these technologies are having an expanding and continuous implementation and currently many devices incorporate it [78]. This allows the use for this purpose of the tag park that is becoming larger and it is currently

already installed in many applications such as payment cards [63], clothing [64–67], access to transport services [40,62] or tourism [60].

In most previous applications the user's identity is not known and therefore it transmits only the identifier of the RFID tag worn by the user (in most cases, the tag could be attached to interchangeable everyday elements such as an umbrella or book which could be carried by different users). Consequently, the system doesn't know the correspondence between citizens and RFID tags. This technology does not allow a user to refrain from providing the location, since he or she will not be able to tear off the RFID tags from their clothes, accessories or cards. In that sense, using this technology for traceability should be treated similarly to CCTV which already has appropriate legislation: Deployed coverage infrastructure can be limited to specific areas, both indoors and outdoors and always inform the user about it, *etc.* However, there are also methods to preserve anonymity with RFID technology [53,79,80] which can be implemented in open city environments. In addition, the system may reduce the acquisition of unnecessary information which might involve intrusion into user privacy.

This technology provides installation options with passive or active receivers according to the desired range and complexity of the receiver. In the case of passive receivers, no power supply is required for transmitters [76,77], which reduces the drawbacks of consumption and portability for the user and enables its use for extended periods of time.

Regarding the economic cost of the proposal, the utilization of existing tags among the population reduces the cost of deployment. In this aspect, the physical nature of communication technology enables the use of metal urban furniture items as card reader antennas [38]. In this way, elements such as street lights, billboards, traffic signs or traffic lights can all operate as antennae. In addition, most of them are connected to the network, and then they can reduce the cost of the necessary elements for the information transmission towards the central system.

Finally, in terms of the ability for concurrent reading, the selected technology is able to work with a high level of traffic to simultaneously capture the location of a large number of tags located in the antenna reading radius. For example, the standard reader used in the experiments has a throughput up to 400 concurrent readings per second [81].

3.1.2. Location Infrastructure Design

The RFID technology mentioned in the previous section consists of two types of elements: The antennae or readers that emit the signals and receivers or tags. As mentioned, in the passive mode of this technology, receivers do not require power and can be embedded in objects familiar to users such as keychains, bracelets, keys or plastic cards worn by users.

Although this technology was conceived for identification processes, nowadays, it is also used for location tasks. Concerning this topic, research works are focused on the design of reader networks where each of them has associated geographical coordinates. Thus, from the received readings and deployed topology, it is possible to determine the position of the users (*location*).

The aim of this process is to design a network of RFID sensors deployed throughout the urban area of interest for reading the locations of citizens (e.g., shops, streets, avenues, parks, government buildings, *etc.*). The advantages associated with this technique make it easy to adapt to heterogeneous contexts (*flexibility*), and both indoor and outdoor environments (*transparency*). Moreover, adding new readers

to the network is feasible according needs of the urban area management (*scalability*). The next figure (Figure 4) schematically shows the A-part of the overall architecture such a network of RFID sensors deployment in a city environment.

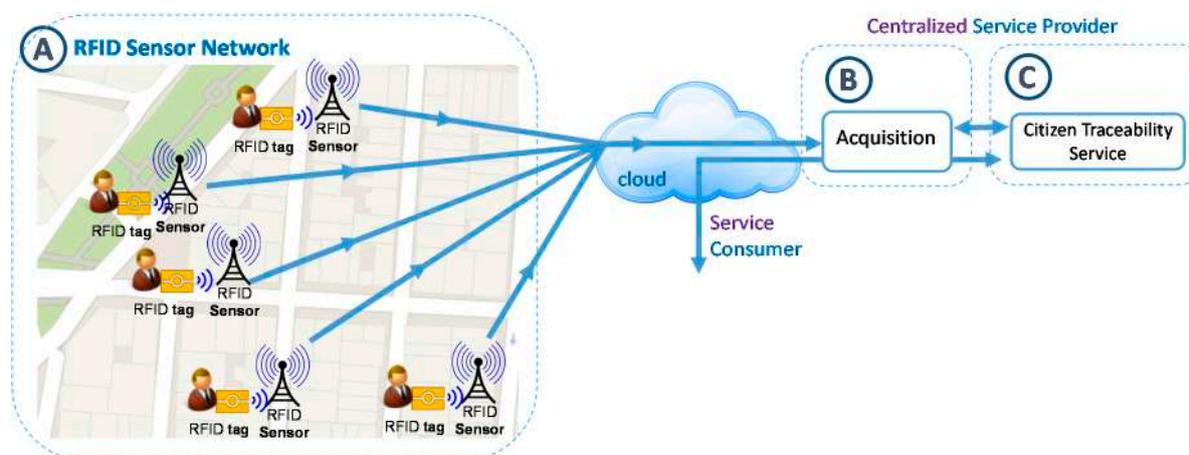


Figure 4. RFID sensor network deployment.

According to the features of RFID technology, it is possible to configure readers with coverage radii of several meters [76,77], so each of these readers can cover the sidewalk of a street entirely, as shown in Figure 5. The purpose is that collaboration of citizens for the activation of tags is not required and all they have to do is allow that they be worn on their clothes, carried in a pocket, bag or wallet in a transparent manner and interact as they move without the user being aware of it. Thereby, the tags worn by citizens are activated when they walk down the street and pass by one of the installed antennas.

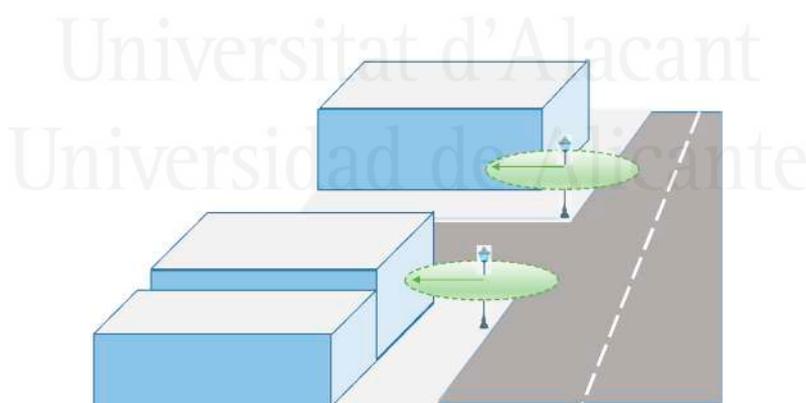


Figure 5. Installation and sensor coverage example.

The grid topology must be dense enough to cover the circulation in areas of interest. For practical reasons, tags used must be in some application that is already widespread and accepted by the citizens, while as mentioned, the new antennas can be complemented by already installed infrastructure.

With regards to the deployment of this additional infrastructure various criteria may be taken into account. For example, for practical criteria it may be decided to cover only areas of special interest in the city (downtown, tourist areas, *etc.*) or for economic criteria it may be decided to limit the grid to some areas of the city. In this regard, there may be options for installation of mobile antennae that can move from one part to another of the city when the area is sufficiently studied.

3.2. Method for Communication and Structuring of Citizens' Location

In the analyzed works based on RFID technology, the proposed solutions are focused on restricted areas, such as supermarkets, homes, hospitals, logistics centers, places of entertainment, *etc.* where the information transmission is performed directly through private intranets (not on public networks like the Internet) without reliability capabilities. In these proposals only an RFID tag type is used and processing needs have not been considered. However, after this analysis, it was identified that one of the challenges of the proposed system was the heterogeneity and lack of environmental control where it is mandatory to act in order to acquire the citizens' location information to build the movement flows. In this sense, any space in the city can be improved, without knowing the number or the type of tags to read or the capacity limits of the required processing. In this new scenario, it is necessary to propose a system with the technology and infrastructure indicated in the previous section, capable of distributing the logic of the system to ensure the workload processing, transmission and storage and structuring of information can be carried. This will establish the citizen flow and, therefore, the objectives will be addressed as outlined in the new scenario.

This is the objective of the task described in this section. More specifically, the goals which these process should cover are: To be capable of acquiring and processing the information independently of environment or data structure of the RFID tags (*transparency*), regardless of the number of readings performed by the park of sensors deployed in the network (*scalability*); to ensure the delivery and reception of each location to generate the different citizen flows (*reliability*) without citizen identification data (*privacy*); to ensure that the information is accessible from any place and on any device for the service consumers (*availability and versatility*); to offer complete information about the citizen movements, despite the lack of certain individual locations (*completeness*); to manage the systems resources in an optimal way (*efficiency*) and to distribute the load (*performance*), due to the high amount of location information that every reader will be able to receive and send to the central system; and, finally, to be interoperable in order to obtain information from different location formats or methods (*interoperability*), as the system is intended to take advantage of the already deployed elements and incorporate them for users who could might work with different protocols or formats.

In this sense, an analysis of techniques, patterns and design principles that guide and control the transformation process to achieve the proposed system and reach the mentioned goals has been necessary. The result of the process is a distributed architectural model based on the use of RFID Smart Sensors networks whose functionality will solve the problems (A-part of overall architecture), and a centralized cloud-based system which complements the information acquisition features. The RFID Smart Sensors basically consist of an RFID reader with computing and communication capabilities. The centralized cloud-based system will focus on the generation (B-part of overall architecture) and provisioning of citizens' flow (C-part of overall architecture) in an open and transparent way. The result of this process presents a reference model based on the integration of patterns and software design techniques. The novelty of this method lies in its combination and slight modifications to address the underlying problem and to solve existing deficiencies in current systems. This combination satisfies the use of RFID technology in uncontrolled and heterogeneous environments for determining the flow of citizens' movement in order to provide an efficient management of the

resources of the cities. Figure 6 describes the processes involved in it, according to the methodology used with its main goals.

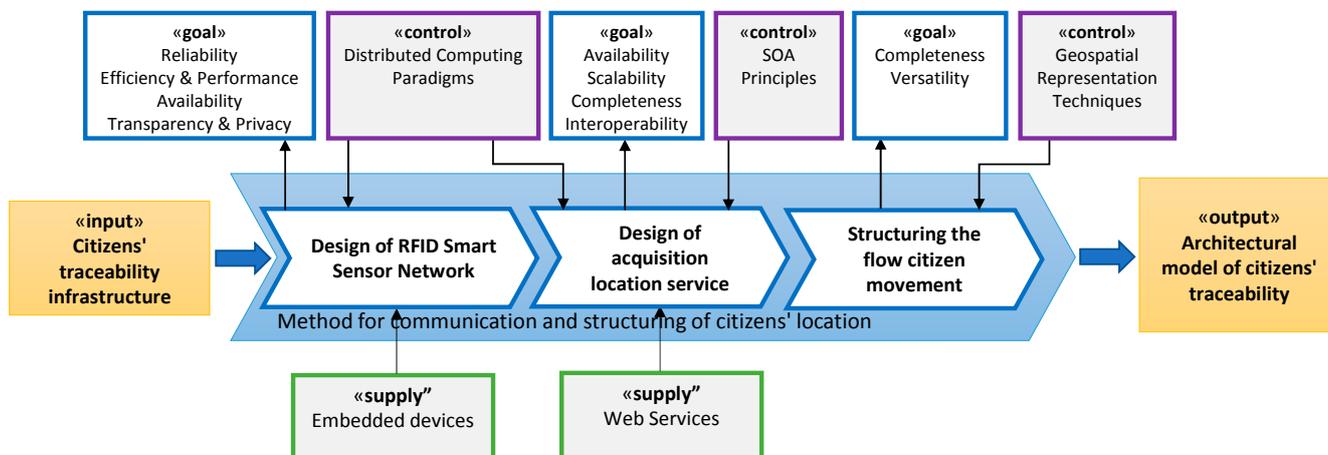


Figure 6. Modelling with Eriksson-Penker notation of the details of the process *Design of the method for communication and structuring of citizens' location*.

Next, we will describe the specifications of these elements in order to achieve the information acquisition, structuring, and communication goals.

3.2.1. Design of RFID Smart Sensor Network

Although there are related works which propose distributed architectural models based on sensors network to get the individual locations of the citizens (for example [42,45,48,50,53,56,58]), these approaches do not cover necessary aspects (reliability, privacy, performance, efficiency, availability and transparency) to give a solution to the problem described. One of the main contributions and novelties of this paper is the provision of intelligence to sensors. This device is mainly responsible for reading the locations and ensuring the delivery of such information. So that, in order to provide the right route generation from each movement, it is necessary to design the infrastructure as a network of RFID Smart Sensors which include the necessary rationality to track citizens. Therefore, each Smart Sensor consists of an RFID reader, together with an element of embedded processing that provides computing and communication capabilities to support the necessary functionalities to reach established goals. These functionalities are supported by eight modules such as is shown in the schematic architecture of the RFID Smart Sensor (Figure 7).

One of the main functionalities included in the RFID Smart sensors is the capacity to receive information from different RFID tags types, transparently. About this issue, only the proposal presented in [45] proposes a solution that allows the capture of the location information from various types of RFID tags through the use of ontologies. Although this proposal would require a prior knowledge of the structure of information stored in the RFID tag to be read, an aspect that could mean that the management of ontology is untenable. It should be necessary to know all the existing tags types or every time is detected a new one to introduce the information into the ontology.

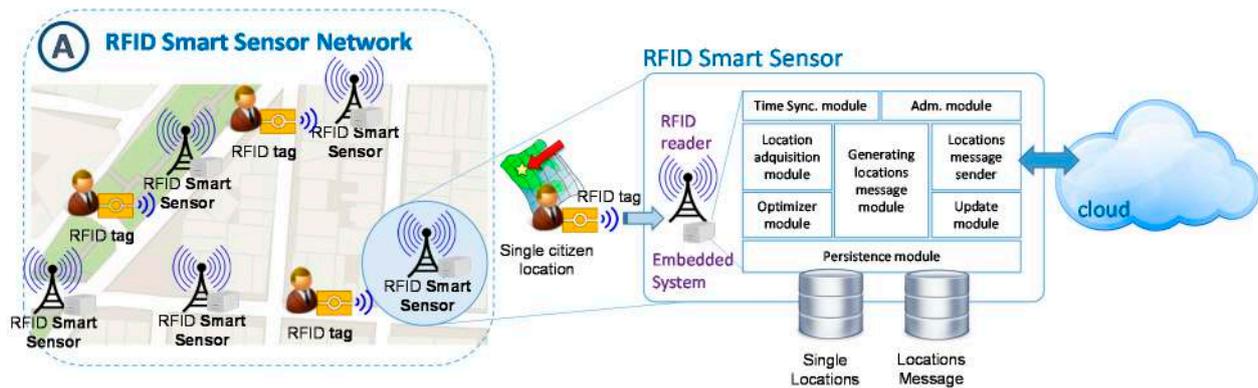


Figure 7. RFID smart sensor architecture.

The remaining works analysed can only capture tag information provided by themselves. Since it is required in the problem proposed, our solution is not dependent on the RFID tag. In the Smart Sensor proposed, it has included functionality to obtain, transparently, full information as mentioned, from the generation of a code from the information that has been read to identify the location of form unique. When a new acquisition of the same tag arrives, the same code would allow traceability is created. Although a security system is included to increase the privacy of citizens that is every day changes the code generation. There is no wish to know if it is the same person carrying the tag, but the traceability of all citizens. These functionalities are performed by the *Location acquisition module* of the Smart Sensor described in Figure 7.

To perform reliability issue, we will implement the integration pattern known as guaranteed delivery [82]. This pattern determines an architectural design which prevents the loss of information messages transferred among the computer nodes that make up a distributed system. The pattern is based on the previous persistent message storage from a node in local disk. Until the destination node does not confirm message reception and storage, the source node will not delete the message from its local storage system. If the destination node never confirms message reception, the source node would retry sending it. Only with the use of the mentioned pattern, the complete delivery of the data cannot be ensured. The data could be sent and, because of the existence of communication problems, message reception confirmation may not arrive at the RFID station. In this case, if the message is not transmitted, the data would not be deleted and there would be a loss of information; or if the message were resent, data would be duplicated. To solve this issue, we focus on the correlation identifier pattern [82]. Each submission message will be marked with an identifier formed by a time stamp, which can establish the correlation for further processing, and by the identifier of the source RFID reader. Once communication is restored, the message would be sent again, being the acquisition module in the server the responsible for verifying information duplication. This way, we can ensure the complete reception of the necessary information to infer citizen flow patterns without losing or duplicating messages. This is another novelty functionality achieved through of patterns integration included in the RFID smart sensors. These functionalities and patterns are implemented by *persistent module*, *location message sender* and *update module* of the Smart Sensor shown in Figure 7.

Another key aspect to ensure delivery reliability in a distributed system, and it is not contemplated by the rest of the research works that provide RFID sensors distributed architectures, is the time synchronization of the system components. Most of the analysed proposals are focused on the tracking

process [45–58]. The proposals focused on traceability process do not contemplate this question [42]. However, this aspect is necessary to achieve the tracing process. In order to generate reliable routes to manage resources in a better way, it is necessary to know the specific moment of the citizen location. A device provided with a badly synchronized clock would be sending the location at a wrong moment, the route information would not be valid, and it could even lead to wrong decisions. There are many algorithms that solve the problem of time synchronization, and choosing a particular one depends on the required accuracy of the system, the resources to be used, and the information that we want to obtain. For the present proposal, we will reject those systems that work with relative times and logical clocks, because, in our case, it is essential to synchronize all the elements of the system with a UTC reference system.

Depending on the type of network used and the precision required, we will have a great number of methods, among which are classical solutions such as Network Time Protocol (NTP), Simple Network Time Protocol (SNTP), and Time Transmit Protocol (TTP), or more advanced solutions such as Reference Broadcast Synchronization (RBS), Time Protocol on Sensor Networks (TPSN), and Flooding Time Synchronization Protocol (FTSP) [83,84].

In our case, the abovementioned patterns, together with time synchronization, ensure the reliability in the data delivery process. Also, the precision of the synchronization may perfectly tolerate a few-second lag, as the route would be relative to the local level and a range of several RFID readers would not appreciate such a lag. Moreover, once the server receives the location information from several neighbouring readers, there could be a data optimization and standardization regarding time. In the RFID Smart Sensor, this functionality is performed by the *time synchronization module*. This module is an autonomous and independent component that is executing periodically in background to update the clock system (Figure 7). In addition, the design proposed includes the following considerations in order to reduce the communication and management costs of the RFID smart sensor: Firstly, it is necessary to achieve an optimal transmission rate to take advantage of the bandwidth, which will be determined by the communication protocol established in the sensor. If we send the information via HTTP, the submitted location information could be less than the message wrapper of the communication protocol used. This circumstance would trigger penalties in each message sent. In our proposal, the number of locations in each sent message would be configurable in the Smart Sensor in order to achieve the best forwarding rate depending on the transport protocol used and the available bandwidth. The RFID Smart Sensor includes an *administration module* to manage and parameterized remotely the network sensors; secondly, the storage capacity of the Smart Sensors is limited, so it is essential to minimize local storage. In this sense, there would be a small modification of the guaranteed delivery pattern, in which not only would the message be erased to get the reception confirmation, but also the location data that were included in the message. With this design, once the RFID smart sensor obtains the location of a citizen, it stores it locally, creates a message from the citizen location data which is registered in the database, and stores them again. When the message is sent to the information system of citizen flow and is stored, the system returns reception confirmation to the client and the message is finally erased from the local system. This process is performed by the *update module* of the RFID smart sensor.

The remaining of the research works performs the communication process of the location data in controlled environments regardless of the communication reliability. For this reason, they do not propose the persistent capability at the sensor level and they have not contemplated the resources optimization of the sensors as our proposal.

Below, the proposed design works according to the following procedure: as the RFID reader is reading different citizen tags, these are received by the local location acquisition device through the acquisition module that performs the role of Coordinator.

Whenever an RFID tag content is received, the timestamp (only year/month/day) is attached to it and then the hash function is applied. The result of this action will be used to perform anonymity to the citizen. Then, this information is sent to the *optimizer module*, which is responsible for indicating if a citizen location must be stored or discarded depending if it is considered redundant data or not. If the information is valid, the *acquisition module* stores it in the local location database (*persistent module*) and informs the *generating location message module*, which uses the data to control if it reaches the optimal number of acquired locations to create a message that will be stored in the location message database. When the *location message sender* detects that there are new messages, it begins to transmit them by connecting to the *citizen flow generation service or acquisition location service*. The message will send the data through the available transport protocol.

At this moment, the RFID smart sensor will wait to the acknowledgement message location from *citizen flow generation service*. When the sensor receives it, then its update module is invoked, deleting the corresponding message and their individual locations from the database in the same transaction. This operation allows optimizing resources. If during a time previously configured the message acknowledgement was not received, the location message sender would return to try to send the message, as many times as was configured the device parameters. Before, the correct operation of network communications has to be checked.

3.2.2. Design of Acquisition Location Service

This service must provide an interface for data acquisition, which allows receiving location messages from users of smart sensors ensuring scalability and availability of the system, the reliability in data delivery and the interoperability with different types of sensors. This service corresponds with B-part of the overall architecture. The following figure shows the internal details of this module in conjunction with the smart sensor.

Scalability will be determined by two factors: firstly, the number of citizens who could interact with the system could grow indefinitely and, therefore, the data size to be acquired by the system could also grow in a reliable way. Secondly, the number of sensors deployed for the acquisition of citizen information may be high and could also grow considerably in order to obtain more data and to ensure accuracy in the flow determination. These two factors could make the citizen flow service provider become a bottleneck when it comes to receiving and processing the information. In order to avoid these situations, we propose two solutions that have been implemented: The first solution would be to separate the process of receiving and storing location messages, which requires less processing, from the transformation and processing of location data included in the messages. This solution would be provided by the message oriented middleware (MOM) paradigm or the software asynchronous queuing design pattern [85] (MOM component in Figure 8), establishing a point-to-point model based on message queues as an interface to the *location acquisition service*. This is a distributed computing model, which is asynchronous and transactional, and which acts as an intermediary message in the communication between a sender, the RFID Smart Sensor, and a consumer, the *citizen flow service provider*. In addition,

this pattern enables the messages to remain, allowing us to implement the abovementioned guaranteed delivery pattern to ensure the reliability of the message communication; the second solution, which is complementary to the previous one, consists of the introduction of clustering techniques for load balancing using multiple nodes to be distributed and placing a messaging system for data acquisition in each of these nodes. Thus, the burden of data acquisition would be fairly distributed, and even the implementation of new acquisition nodes would be immediate.

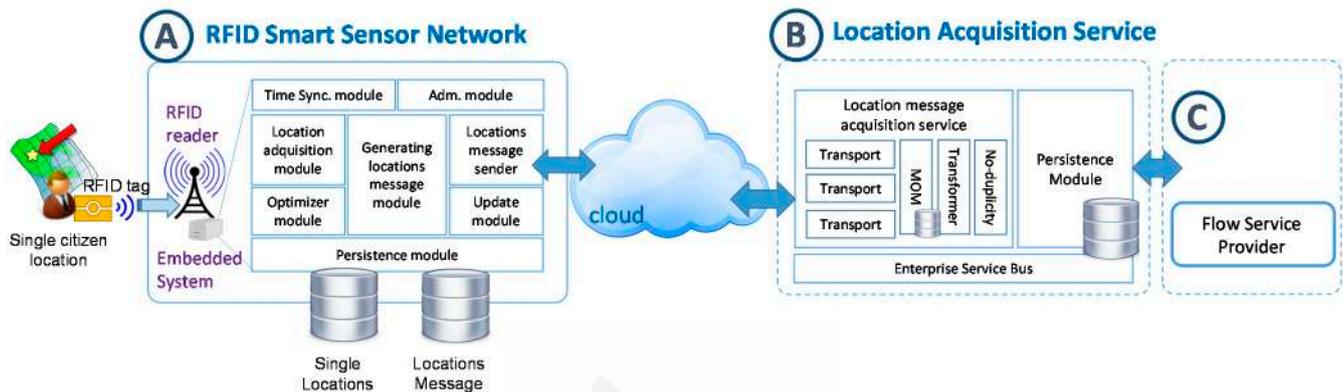


Figure 8. Location acquisition service architecture.

Although the use of MOM paradigm has been proposed in [45] to provide scalability in indoor tracking system processing, in this proposal the communication reliability between sensors and central system and fault tolerance of the central system are not contemplated. Moreover, no aspect of high availability and load balancing is contemplated on this functionality as the needs that require scalability and processing are limited by the application environment.

In relation to the availability, a centralized system collapse or failure may involve the loss of location data and, therefore, reduces the validity of the generation of citizen flow patterns. To solve this problem, clustering techniques could be added to the acquisition module in order to achieve high availability. This way, if one of the nodes falls, another one from the cluster would replace it.

Finally, another important issue to be considered when location data are sent from RFID smart sensors is the heterogeneity of the existing client devices in the market and the communication protocols they use to transmit data. There are RFID readers which have computer systems that allow communication through standards which are known and widely extended. However, others only include serial communication and a small low-cost embedded device should be included to transmit information. In addition, although the proposal mainly relies on collecting and acquiring citizen locations through RFID technology, the system could consider acquiring data through other types of location and positioning systems such as GPS or legacy data systems that provide location information. In turn, this would lead a diversity of message formats and data models.

In those cases, we have considered creating an infrastructure based on protocol bridging patterns, data model transformation and data format transformation [85]. The protocol bridging design pattern is implemented by different transports modules (Figure 8), although, by default, the transport module of the system described in this section is based on Rest style following the SOA paradigm. The Rest service contract has been defined by means of *Rest APIs Modelling Language*, RAML (Figure 9). The other two patterns are implemented by the *transformer* component shown in Figure 8. The goal of the transformers

is to unify the message in order to be the performance of citizen traceability service provider. In this way, we can dynamically solve the heterogeneity problems of the message structure, the data format and the communication protocol used for respectively sending the acquisition module.

```

##RAML 0.8
---
title: Citizens Location Service
baseUri: http://www.dtic.ua.es/v1.0
version: v1.0

/citizenlocations:
  post:
    description: create locations read from RFID smart sensors
    protocols: [HTTPS]
    body:
      application/json:
        example: |
          {
            "idrfid":1,
            "location":[
              "lat":38.384993156837425,
              "lng":-0.5133978999999727
            ],
            "locations":[
              "citizen":["cid": 101010101,"pw": 64,"ts":1443723690],
              "citizen":["cid": 101010101,"pw": 62,"ts":1443723695],
              "citizen":["cid": 203330107,"pw": 62,"ts":1443723695]
            ]
          }
    responses:
      201:
        description: Locations have been successfully created.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "message": "Locations have been successfully created."
              }
      400:
        description: Locations have not been created.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "message": "Locations have not been created."
              }

```

Figure 9. RAML contract of location message acquisition service.

When the message is received through the correct transport module, the message is stored in a persistent management system (point to point queue messaging model based on the pattern *asynchronous queuing* [85]). Messages are stored waiting to be consumed and processed. From this moment, the system sends an acknowledgement message to the RFID smart sensor to confirm location message reception.

It could happen that the message had been received by the system, but the acknowledgement response sent by the system fails because the communication was interrupted. In this case, a message previously processed could be processed another time. This is the function of the *no-duplicity* module, to filter the messages and to avoid their reprocessing using the message identifiers (*message_id* and *rfid_reader_id*). When a message is received from the queue of the message system (MOM), their structure and data format is checked. Depending on this information could be possible the use of transformers (*data model* and *format transformation* patterns) [85].

All modules of the location acquisition module are supported by *Enterprise Service Bus* (ESB) platform. ESB is a powerful infrastructure for software integration and communication that enables the interoperability between the described modules.

3.2.3. Structuring the Citizen Movement Flow

From the requirements analysis performed in the preceding paragraphs, in this process we must identify the information required to ensure the generation of reliable citizen flows which will allow making decisions in the management of the city resources. In order to do so, the main goals are the provision of complete information concerning the geographical area under study (*completeness*), with the possibility of segmenting the information depending on the time of day, the day of the week and the time of year (*versatility*).

The most basic and essential entity in order to determine the citizen flow of a citizen, will be the location (L). This entity will be defined by the following tuple:

$$L \equiv \{rfss(lo, la), cid, pw, ts\}$$

where:

- *rfss* (*lo*, *la*) represents the location of the RFID Smart Sensor determined by its longitude and latitude, which will allow us to know the position of the citizen on the map.
- *cid* represents the radio-frequency identification which is carried by the citizens and which allows us to identify them in a unique and anonymous way.
- *pw* it is the power of a certain card reading signal which will allow us to know the proximity to the RFID Smart Sensor antenna. Based on this, the information on the RFID Smart Sensor will be preprocessed in order to eliminate redundant locations with no added value which belong to the same user and will help determine possible directions of a citizen or trajectory changes with the data from other neighbouring RFID Smart sensor.
- *ts* it is the moment in time in which the RFID tag reading took place.

This data will be sent to the centralized system by the Smart Sensor, following the mechanisms described above to ensure delivery. The other data entity needed to determine the citizen flow is the deployed RFID smart sensor network itself. This information, together with the individual locations, will be completed to determine the route taken by a citizen. The sensor network entity will be determined by the following elements:

$$RFSSN \equiv \{RFSS_1, RFSS_2, \dots, RFSS_n\}$$

$$RFSS_k \equiv \{id_k, lo_k, la_k, N_k\}$$

$$N_k \equiv \{RFSS_i \dots RFSS_j\} \subset RFSSN$$

where:

- *RFSSN* represents the set of RFID Smart Sensors that make up the sensor network.
- *RFSS_k* is a specific sensor defined by its unique identifier (*id_k*), its position, determined by the longitude (*lo_k*) and latitude (*la_k*), and the set of its neighbouring smart sensors (*N_k*), which in turn will be a subset of the network (note that the geographical-neighbours of a sensor could not match with its real neighbours due to insurmountable obstacles or habits of movement of citizens).

The data received by the deployed sensor network should be structured and completed in order to build the citizen movement routes in the geographic area under study. Therefore, knowing the neighbouring sensors allows addressing potential locations losses on the route followed by a citizen and helps define the interpolation and completeness strategies according to methods known to do so.

The combination of the data collected will be used to generate on-demand citizen flows for specific criteria, such as time interval or geographical area, indicating their density or the possibility to foresee citizen movement flows according to behaviour patterns based on historical movement data.

3.3. Method for Provisioning Citizen Flow

The orientation of this research to the study of public spaces in the city has led us to design methods to provide the information generated openly and as a value added service. In this section existing technological paradigms are used to enable easy consumption by third parties. The next figure (Figure 10) depicts schematically this service (C-part of overall architecture) in conjunction with the rest of the centralized architecture.



Figure 10. Location acquisition service architecture.

According to the foreseen, the goals focus, firstly, in the on-demand supply of the citizen movement flows based on the needs and search criteria for consumers (*segmentation*). Secondly, it is important that the value-added service can be used by external applications (*interoperability*). Therefore, this task has been divided in two stages: The design of data search filters and the supply of the system as an interoperable service.

In the first stage, several filters have been established to search based on the consumer needs. The first filter would be aimed at determining the action area where we want to make the decision. This action area could be defined by different indicators with a greater or lesser degree of accuracy such as a specific location, a specific location and a radius of action, a specific route, an area previously defined by the urban policy makers, or, finally, some irregular area determined by the service user. The second filter would determine the time period about which we want to obtain citizen flow data for the specific area and which would be given by parameters that represent different precision levels, from a short period of time in the same day to a long period in the long term, which could be months or years. Another filter would be based on the density of routes, allowing the information about specific routes that exceed or are below a threshold and that can contribute to the modification of the use of city resources. For example, a route with low density for a long period of time may lead to the modification of a public transport route.

```

#%RAML 0.8
---
title: Citizen Flow Service
baseUrl: http://www.dtic.ua.es/v1.0
version: v1.0

/citizensflows:
  uriParameters:
    zone:
    timeInterval:
    density:
  get:
    description: get citizens flows
    protocols: [HTTPS]
    responses:
      200:
        description: Get citizens flows.
        body:
          application/json:
            example: |
              {
                "flows": [
                  "flow": [
                    "density": 20,
                    "color": "red",
                    "locations": [
                      "location": ["lat": 38.384993156837425, "lng": -0.5133978999999727],
                      "location": ["lat": 38.3850402521112, "lng": -0.5150179542449673],
                      "location": ["lat": 38.38557848104228, "lng": -0.5152110732940396]
                    ],
                  "flow": [
                    "density": 10,
                    "color": "blue",
                    "locations": [
                      "location": ["lat": 38.38687357799348, "lng": -0.5135802902129849],
                      "location": ["lat": 38.38551120264542, "lng": -0.5130653060821255]
                    ]
                  ]
                ]
              }

```

Figure 11. Citizen flow service RAML contract.

As mentioned before, the second stage focuses on securing the interoperability of the service with the consumers. In order to do so, this service should offer the following two models: A first approach based on Business to Business (B2B) paradigm will allow connecting the consumer system with the service to incorporate it as another one of its organizational processes, but improving the current system by adding more decision data. Both cases will be based on the service supply according to the principles of the Service Oriented Architecture (SOA) paradigm, [85] implementing through Rest service technology and offering the resulting information using a format that is structured as JSON, so that it is

easily treated. The service contract, modelling with RAML, is shown below (Figure 11). As can be seen, the service contract includes the filters defined previously to carry out searches by means of next parameters: Action zone, time period and flow density; a second approach, based on the Business to Customer (B2C) paradigm, oriented to offer a human-machine interface which will allow a user to interact directly with the system, for example through a thin client such as a Web browser. The access interface of this module defines the search filters described previously. When the Rest service receives these parameters, this one returns the citizens flows and their density drawn on cartographic map. In both cases, the citizen' flows will be generated from the information collected by RFID Smart Sensors and the information of the sensors topology grid dynamically and on demand, based on the input parameters representing the filters entered by the consumer. The generation of flows combined through individual routes of the same or multiple users may be caused by adding readings for the specific filters through a clustering process.

The calculation of these added routes can be performed through several procedures by applying a similarity function to them. For example, some of the functions of this type used are the comparison of the common points of the sequence, and the comparison of distances or times used in them. These procedures are beyond the scope that defines this architecture, although they are being considered in the line of work developed by the research group.

4. Implementation and Validation

4.1. Implementation

In order to be able to validate the proposal, a prototype of the architectural model shown previously has been implemented. The RFID Smart Sensor prototype is shown in Figure 12. The sensor used is marketed by *RFID Controls Enterprise* (Murcia, Spain). This is a highly configurable and flexible sensor with two antennas [81]. It has a maximum reading rate of 400 tags/s and its maximum reading potency is 1 W. This device even allows connection to two antennas through two 50 Ohm MCX connectors with 6.5 dB gain, providing circular polarization and a radiation pattern with 60°/60° beamwidth (Figure 12a).

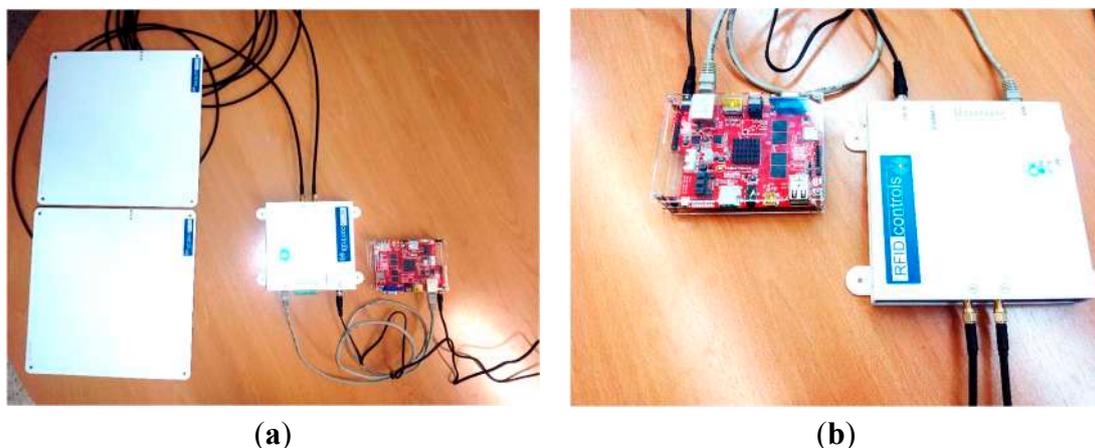


Figure 12. RFID Smart Sensor prototype: (a) RFID Smart Sensor with antennas; (b) RFID reader with an embedded system.

In order to provide the sensor with the necessary intelligence for implementing the aforementioned modules, an embedded device based on an ARM processor has been used. This device has a low energy consumption and it has been integrated with the RFID reader through its Ethernet interface. Specifically, the Cubieboard3 cortex-A7 dual-core 2 Gb embedded device has been used, provided by *Cubietruck Enterprises* [86] (Figure 12).

The RFID Smart Sensor modules designed in the architectural model have been implemented using C language. Reading results are saved in CSV files and stored in a system directory. To implement the clock synchronization module the NTP protocol has been used, because is a reliable protocol with suitable error rates for our system. For this reason, an NFS server has been enabled, which is used to update the system clock by means of the synchronization module implemented in C language.

The proposed architecture of the citizen track and trace system is based on *Enterprise Service Bus integration infrastructure*. This solution is highly scalable and the software design patterns specified in the architectural model have been implemented over this platform. Specifically, the open source Mule ESB has been used, implemented two Mule ESB services flows to implement the *Location Message Acquisition Service* and the *Flow Generation Service*, shown in Figure 13a,b, respectively.

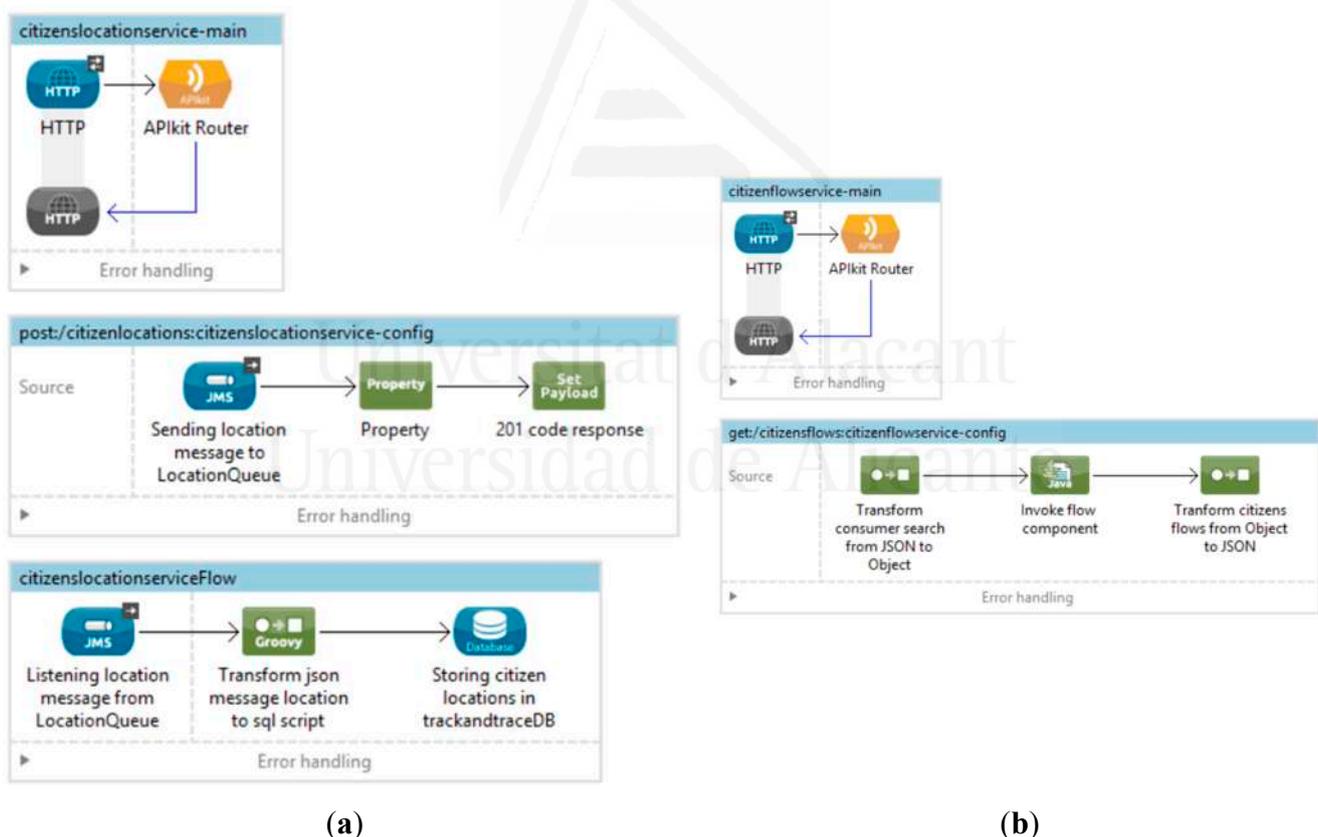


Figure 13. Mule flow. (a) Location message acquisition service; (b) Citizens flows generation service.

In order to provide data persistence, the *MySQL community version* database manager has been used. The *Search Module* for flow generation has been implemented using Java Language. This module is embedded and invokes the Mule service flow. Finally, the *B2C Presentation Module* has been developed through Web technologies like CSS, HTML5 and JavaScript using the AngularJS framework, in order to provide more accessibility and usability to the final users.

In order to achieve better analysis and interpretation of the experimentation results obtained in the case study described below, we have previously made a technical testing of the smart sensor and the RFID technology. The aim is to know beforehand their capabilities and limitations to certain situations that may occur.

First, we proved that with the power supplied by the sensor (1 W) and with the well-focused antenna the reader is capable of reading tags up to 10 meters away. Secondly, reading tests were performed simulating actual portability by citizens, *i.e.*, placing tags hidden in clothes, pockets, purses, handbags or backpacks. These experiments significantly reduce the sensor range down to 3 m, but a good reading rate is still maintained in these cases.

The most serious problem encountered for our purpose is that the human body is opaque to the RF signal, so that the tag will be hidden from the sensor when there is a human obstacle. This case can be common in urban settings with a high density of pedestrians. For example, in Figure 14a, the two persons on the left are in a shadow area produced by another person. However, this problem can be solved by distributing the antennas of the smart sensor in a configuration that minimizes occlusions and signal shadow areas. Following the previous example, Figure 14b shows a configuration that reduces the space not visible to the sensor.

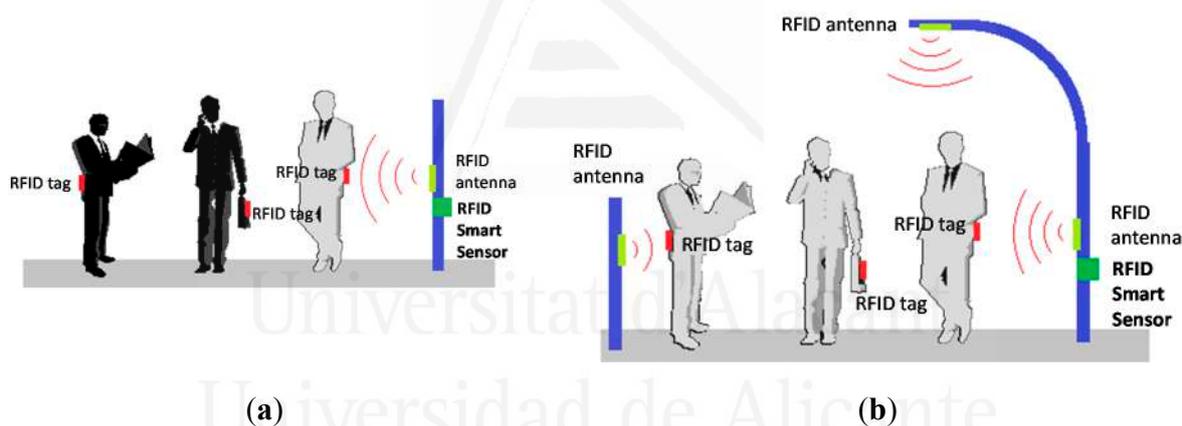


Figure 14. Configuration of the antennas and coverage of RFID sensors: (a) One antenna on the right side of a sidewalk; (b) Three antennas on the right, left and top of a sidewalk.

Regarding the other capabilities of the Smart sensor, the experiments proved the ability to synchronize with other sensors, the combination of multiple readings from the same person and the capability of sending information without loss. Through log systems of the proposal of the traceability of reading, we analyse sent and received citizens' locations and we verify that all locations readings are stored in the *RFID Smart Sensors Network* and they were received by *Location Acquisition Service*. In this way, the reliability of the proposed architecture is validated.

4.2. Case Study

In order to validate our proposal as well as to study a practical implementation of the concepts treated, a simulated use case in a real environment for tracking and tracing is proposed in this subsection. In our example, we consider the campus of the University of Alicante as a test scenario for the

deployment of the proposed system. The case study will provide a better understanding of how various campus resources are used based on student and staff spatial movement and temporal behaviour. The ultimate goal of this case is to help the university improve management of the support services on campus.

The experiments performed will also result in a number of spatial and temporal visualizations of big data from these sources. The reason to carry out a project on a campus is the advantage of disposing of something similar to a little city, but more accessible. In a way, since it has different areas (rooms, labs, small shops, restaurants, open areas, *etc.*), diverse activities (academic, administrative, social, small health centres, sports...) the university campus can be seen as a small city. In addition, it has the facilities to make it as a perfect candidate to test our system under diverse conditions in order to find out citizen movement flow patterns. It is always far less complicated to locate antennas, RFID readers and the rest of technology within the university campus than throughout a city. In addition, it is possible to monitor the different states of every single location point, allowing testing of what are the best and most suitable places for the whole system. Therefore, in the matter of fact, we can see our system implemented in the framework of the campus as a prior step for a smart city which is much bigger, although it can be benefit from this previous stage.

The criterion for placement of the readers has been to monitor the most likely movements of the students (cafeteria-classrooms, classrooms-library, bus station-classrooms, *etc.*) as a preliminary step to a more dense deployment. Students were not informed that they were taking part in this experiment, only academic campus authorities were informed to request the appropriate permissions for the deployment of the readers. Due to this, no tags were distributed among individuals, but our intention was to first validate the transparency and anonymity of the readings, the ability to read tags and carried by people (on clothing, tickets, identification or transport cards, other RFID tags) without their cooperation and the capacities of transmission and processing of the architecture.

The experiment was conducted during one week. Through a visual monitoring of the antennas the number of students who passed through the sensor radius was counted. It was about 2K per day, with a tag read rate of about 5%. The amount of simultaneous readings of this data remained low, although, in most cases, when the tags were read by an antenna, they were read again by the next antenna on the same route.

From the study of these results, the reasons that lead the low rate of readings obtained can be: (1) the still low level of integration of RFID tags on clothing and other objects carried by users; (2) the lack of power in the readers to reach tags hidden in the wallet in the pocket of the user; and (3) the incompatibility of technologies with short-range tags (as NFC) to access ID cards or credit cards.

As to the first drawback (1), we think that will be resolved eventually, as the steadily increasing pace of implementation of RFID technology in everyday objects such as clothes or accessories will increase the reading rate. The second problem (2) can be overcome using directed antennas with a low angle of beamwidth coverage and high gain antennas rather than general purpose ones since in outdoor spaces, the signal can be dispersed more or noise sources can even appear [87,88]. In this regard, it is necessary to check regional regulations to find out the maximum allowable radiated power and antenna beamwidth in the UHF RFID bands. Finally, regarding the third cause (3), we think

that this kind of RF technology belongs to a set of applications that should not be accessible, so to remain inaccessible, reinforcing anonymity of identity and user data.

In all cases, the readings collected and sent to the server correspond to a tag identifier on clothing or an accessory. This information consists, among others, of the following fields: An ID tag of different length, IP address of the reader, received signal power and DateTime (*i.e.*, 30396062c3c32480009e677, 169.254.247.184, -74, 03/02/2015 08:55:59.121). Under no circumstances is personal user information collected. Due to the functionality included in the *Location Acquisition Module* which codifies RFID tags content through hash functions, we could not get any data of those RFID tags. In addition, any of the read RFID tags could be related themselves between readings obtained from different days.

The central system is hosted on a server on the campus intranet. The network traffic generated and the system processing times are trivial for a standard workstation, as the number of simultaneous readings remained low all the time, reaching traffic peaks of up to 3 reading/s.

To view the results we used a web-based user interface, which shows the positions of the readers and users-route through a third party application (Google Maps JavaScript API v3). For this case study, the next figure (Figure 15) shows a map of the University of Alicante showing the installation locations of the reader antennas and two temporal visualizations along the day where one can distinguish the main flow pattern per hour.

The results show that the movement flows of students change throughout the day. In Figure 15a it can be seen that the antenna located near the tram and bus platform receives students first, and from there, they are read by sensors located in other areas of the university as they move around the campus, both via inbound and outbound scenarios. In these hours of the morning, the movements are primarily targeted towards classroom buildings, offices and the library. Figure 15b shows the movements at other times of the day, when students walk to the campus exit and to restaurants and cafes to have lunch.

In this case study, the students' movements read by the system may seem obvious at first glance, since they coincide with the normal movement at that time of day. However, this case study provides the starting point for further deployment in which the movements of students and staff of the university can be analyzed in more detail. This information can help managers to provide better services and improve user satisfaction by providing resources where they are needed at any given moment.

In light of these results, we can assert that this experiment verifies the validity of the proposed hypothesis regarding the capabilities of RFID sensing technologies to read the positions of citizens outdoors without needing any kind of collaboration. The correction of distributed architecture to collect, synchronize and to process readings received while maintaining the anonymity of the users involved, it is also validated. The workload has not been a problem in this context due to the low rate of simultaneous readings. It is expected that a larger-scale deployment will allow us to validate the system in this regard. This result provides a promising perspective in the development of IoT for interaction with users.

Finally, a summary of the main objectives achieved by the proposed architecture in comparison with the capabilities of the other proposals is shown in Table 3. The comparison is focused on the results obtained in the experimentation, indicating what objectives would be achieved

with each proposal. The table illustrates that related works offer partial solutions to complete all the stated objectives.

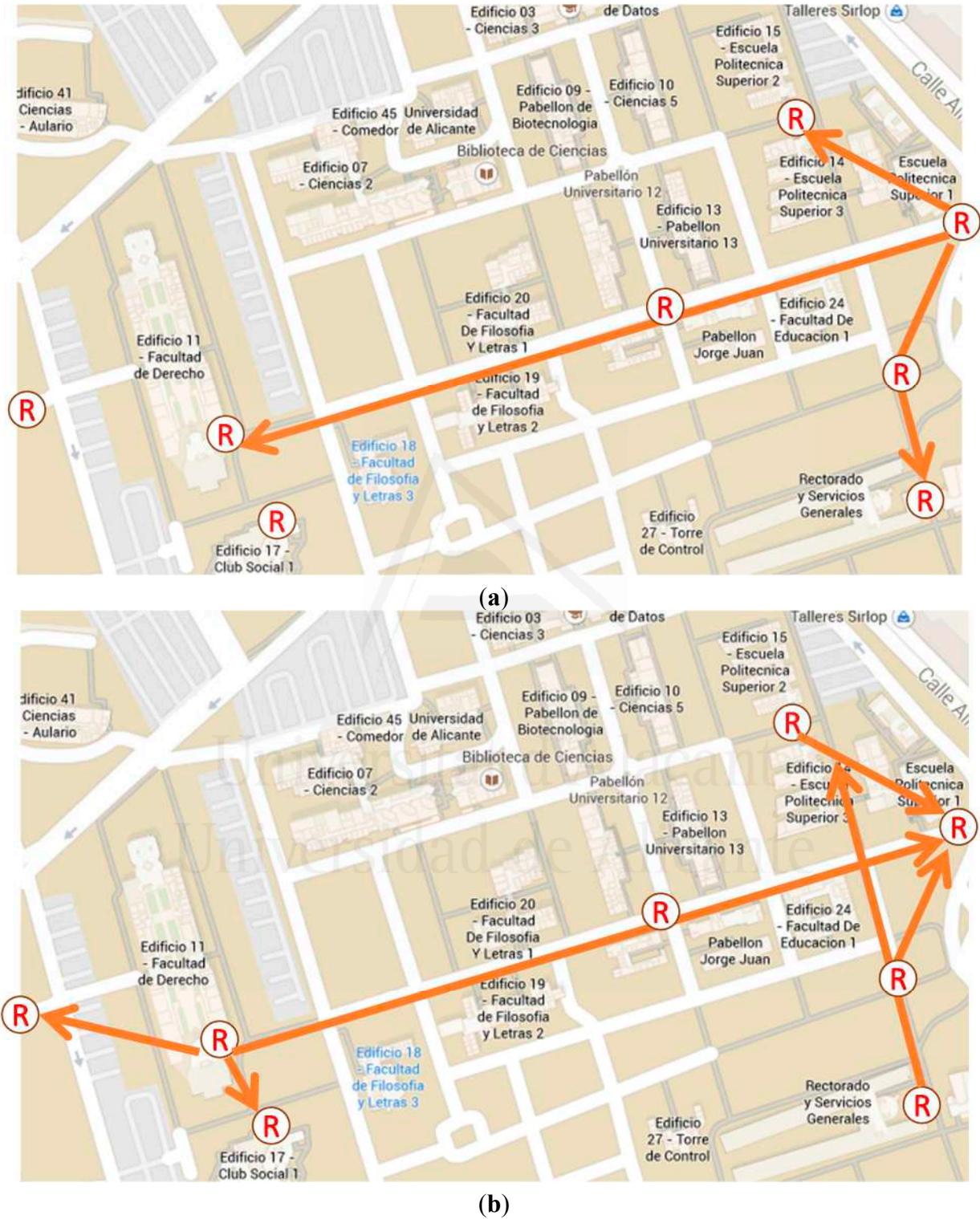


Figure 15. Temporal visualizations on the University Alicante campus with flow patterns: (a) temporal flow between 7.00 and 9.00 h; (b) temporal flow between 12.00 and 14.00 h

Table 3. Comparison of the obtained results between our proposal and the related works.

Research Work	Main Functionality	Transparency & Anonymity	Working Environments	Reliability	Energy Consumption	Scalability
Proposed architecture	Track & trace	Yes. No user interaction & Independency of RFID tags	Indoor & outdoor	Yes	No (passive tags)	Yes. (Distributed and decoupled approach)
GPS proposals [27–30]	Track & trace	No. User interaction	Outdoor	No	High	No
Wi-Fi proposals [16,34]	Track	No. User interaction	Indoor & outdoor	No	High	No
CCTV	Surveillance	No. Surveillance cameras	Indoor & outdoor	No	High	Yes
Science museum [42]	Track & trace	No. User/Object interaction & Dependency of own RFID tags	Indoor	No	No (passive tags)	No
Oyster Card [40]	Track & trace	No. Dependency of own RFID tags	Indoor & outdoor	No	No (passive tags)	No
Blind/inside RFID [47,53]	Track	No. User interaction & Dependency of own RFID tags	Indoor & outdoor	No	No (passive tags)	No
REACT [58]	Track	No. User/Object interaction & Dependency of own RFID tags	Outdoor	No	No (passive tags)	Yes
LANDMARC [41,46]	Track	No. User/Object interaction & Dependency of own RFID tags	Indoor	No	Yes (active tags)	No
Peer-to-Peer Networks [57]	Track	No. User/Object interaction & Dependency of own RFID tags	Indoor	No	Yes (active tags)	Yes
iWalker [44]	Track	No. User/Object interaction & Dependency of own RFID tags	Indoor	No	No (passive tags)	No
Other [45,48,50–52,54–56]	Track	No. User/Object interaction & Dependency of own RFID tags	Indoor	No	No (passive tags)	In controlled env. only [45,55]

5. Conclusions

The design of smart cities uses the information generated in the city itself for decision making aimed at improving the quality of life of citizens. Infrastructure planning is one of the most pressing challenges of the development of cities and usually the handling of this issue does not only correspond to practical criteria, but also social, political, historical or other aspects. Knowledge of citizens' flow movements is very valuable information for designing transportation routes, as well as the optimal positioning of resources. With this knowledge, it is feasible to perform infrastructure designs which can minimize deviations from real movement flows. It is also possible to increase transport dynamic strategies in accordance with these needs to meet the movement habits of people by time of day, day of week or time of year to increase the use of infrastructure and thus improve the comfort of the citizens. The latest ICT advances can offer promising solutions to this specific problem by providing efficient and effective ways for handling large amounts of unstandardized and distributed information.

The proposal described in this paper is the design of an architecture that can read, process and provide as a service the movements of individuals in a given geographic area based on real-time information acquired from the individuals themselves as they move along the city in an unassisted way to improve the resources management of cities.

The research presented in this paper includes an exhaustive analysis of the state of the art of techniques for solving the citizen traceability problem in cities. Its conclusions have allowed us to

identify limitations of the current methods and technologies on the basis of the following main criteria: Heterogeneity, maintaining anonymity, no user intervention, uncontrol and cost. A comprehensive architectural model has been conceived using RFID wireless technologies with passive tags present in many devices, accessories or the clothes of the citizens to perform track and tracing tasks in city environments. As a novelty, we have designed an RFID smart sensor to read, process and to send the information of the users' locations in a scalable and reliable way to ensure the delivery and reception of each location. Finally, we have developed a computational architecture which integrates all the elements and modules implied to provide cloud services of citizens' traceability for B2B and B2C, consumers based on SOA principles.

The way of achieving of goals established and solution of problems raised have been the main contributions of this research. The solution has been in most cases to identify techniques and patterns that partially solve these issues to integrate them and offer a global solution. It is worth mentioning that the integration has brought changes in patterns and adjusting these elements to offer a comprehensive solution we have not found in the literature reviewed. In addition, these solutions have been encapsulated in functions and distributed in elements building the architecture to ensure the requirements of the problem. As a result, a network of intelligent sensors is provided, which is a novel solution for the current track and trace systems, fully coordinated and a central system is added to provide the citizens' flow.

The work involved in this research fits into the concept of Smart City aimed at improving lives of citizens using current technology of communications, cloud computing and smart sensing. In this regard, some challenges for future work arise, such as combining other communication technologies (GPS, Wi-Fi, *etc.*), integrating other sensing devices to improve monitoring (smart phones, *etc.*), studying mechanisms to optimize the network, new sensors deployed to cover the largest area possible or applying the presented architecture in a real city scenario. Moreover, the combination of these communication technologies with social media data such as Twitter and Facebook, will help develop broader patterns of citizen behaviour and compromise, service and facility utilization.

Acknowledgments

We would like to express our acknowledgement to the *RFID Controls Company* for proving the necessary infrastructure to make possible the experimentation.

Author Contributions

All authors were involved in the foundation items. All authors wrote the paper and read and approved the final manuscript.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Neirotti, P.; de Marco, A.; Cagliano, A.C.; Mangano, G.; Scorrano, F. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities* **2014**, *38*, 25–36.
2. Smart Cities Council. Available online: <http://smartcitiescouncil.com> (accessed on 9 June 2015).
3. OECD, Governing the City. Available online: <http://dx.dir.org/10.1787/9889264226500-en> (accessed on 9 June 2015).
4. European Smart Cities. Available online: <http://www.smart-cities.eu/> (accessed on 9 June 2015).
5. Fietkiewicz, K.; Pyka, S. Development of informational cities in Japan: A regional comparison. *Int. J. Knowl. Soc. Res.* **2014**, *5*, doi:10.4018/ijksr.2014010106.
6. Fazio, M.; Puliafito, A.; Villari, M. IoT4S: A new architecture to exploit sensing capabilities in smart cities. *Int. J. Web Grid Serv.* **2014**, *10*, 114–138.
7. Atzoria, L.; Ierab, A.; Morabito, G. The Internet of things: A survey. *Comput. Netw.* **2010**, *54*, 2787–2805.
8. Mitton, N.; Papavassiliou, S.; Puliafito, A.; Trivedi, K.S. Combining Cloud and sensors in a smart city environment. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* **2012**, *2012*, 247.
9. Stankovic, J.A. Research directions for the internet of things. *IEEE Internet Things J.* **2014**, *1*, 3–9.
10. Gubbia, J.; Buyyab, R.; Marusica, S.; Palaniswamia, M. Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener. Comput. Syst.* **2013**, *29*, 1645–1660.
11. Choi, S.H.; Yang, B.; Cheung, H.H.; Yang, Y.X. RFID tag data processing in manufacturing for track-and-trace anti-counterfeiting. *Comput. Ind.* **2015**, *68*, 148–161.
12. Shia, J.; Lia, Y.; Heb, W.; Sima, D. SecTTS: A secure track & trace system for RFID-enabled supply chains. *Comput. Ind.* **2012**, *63*, 574–585.
13. Kang, Y.S.; Lee, Y.H. Development of generic RFID traceability services. *Comput. Ind.* **2013**, *64*, 609–623.
14. Muñoz-Gea, J.P.; Malgosa-Sanahuja, J.; Manzanares-Lopez, P.; Sanchez-Aarnoutse, J.C. Implementation of traceability using a distributed RFID-based mechanism. *Comput. Ind.* **2010**, *61*, 480–496.
15. Todorovica, V.; Neagb, M.; Lazarevica, M. On the usage of RFID tags for tracking and monitoring of shipped perishable goods. *Proced. Eng.* **2014**, *69*, 1345–1349.
16. Isaak, J. Cell Phone WiFi Used to Track Your Location. Available online: <http://ieeessit.org/2014/01/16/cell-phone-wifi-used-to-track-your-location-2/> (accessed on 9 June 2015).
17. International Telecommunication Union. *Aggregate Data 2006–2013 ICT Data for the World, by Geographic Regions and by Level of Development*; ITU: Geneva, Switzerland, 2014.
18. Kelly, J.; Jones, P.; Barta, F.; Hossinger, R.; Witte, A.; Wolf, A.C. *Successful Transport Decision-Making: A Project Management and Stakeholder Engagement Handbook*; European Commission: Brussels, Belgium, 2004.
19. Allport, R.; Brown, R.; Glaister, S.; Travers, T. *Success and Failure in Urban Transport Infrastructure Projects*; KPMG International: Amsterdam, The Netherlands, 2008.
20. Bickerstaff, K.; Tolley, R.; Walker, G. Transport planning and participation: The rhetoric and realities of public involvement. *J. Transp. Geogr.* **2002**, *10*, 61–73.

21. Galland, S.; Lamotte, O.; Gaud, N. MetroB: Evaluation and simulation of public transport system. In Proceedings of the IET International Conference on Smart and Sustainable City, Shanghai, China, 6–8 July 2011.
22. Giannotti, F.; Nanni, M.; Pedreschi, D.; Pinelli, F.; Renso, C.; Rinzivillo, S.; Trasarti, R. Mobility data mining: Discovering movement patterns from trajectory data. In Proceedings of the Second International Workshop on Computational Transportation Science, San Jose, CA, USA, 2 November 2010; pp. 7–10.
23. Batty, M.; Axhausen, K.; Giannotti, F.; Pozdnoukhov, A.; Bazzani, A.; Wachowicz, M.; Ouzounis, G.; Portugali, Y. Smart cities of the future. *Eur. Phys. J. Spec. Top.* **2012**, *214*, 481–518.
24. Schmitt, G. A planning environment for the design of future cities. In *Digital Urban Modelling and Simulation*; Springer: Berlin, Germany, 2012; pp. 3–16.
25. Bajaj, R.; Ranaweera, S.L.; Agrawal, D.P. GPS: Location-tracking technology. *Computer* **2002**, *35*, 92–94.
26. Moloo, R.K.; Digumber, V.K. Low-cost mobile GPS tracking solution. In Proceedings of the 2011 International Conference on Business Computing and Global Informatization, Shanghai, China, 29–31 July 2011; pp. 516–519.
27. Trasarti, R.; Rinzivillo, S.; Pinelli, F.; Nanni, M.; Monreale, A.; Renso, C.; Pedreschi, D.; Giannotti, F. Exploring Real Mobility Data with M-atlas. In *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*; Springer: Berlin, Germany, 2010; pp. 624–627.
28. Yuan, J.; Zheng, Y.; Zhang, C.; Xie, W.; Xie, X.; Sun, G.; Huang, Y. T-drive: Driving directions based on taxi trajectories. In Proceedings of the 18th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, San Jose, CA, USA, 2–5 November 2010; pp. 99–108.
29. Trasarti, R.; Nanni, M.; Giannotti, F.; Pedreschi, D.; Renso, C. A query language for mobility data mining. *Int. J. Data Warehous. Min.* **2011**, *7*, 24–45.
30. Iqbal, M.U.; Lim, S. Privacy implications of automated GPS tracking and profiling. *IEEE Technol. Soc. Mag.* **2010**, *29*, 39–46.
31. Michaela, K.; Clarke, R. Location and tracking of mobile devices: Überveillance stalks the streets. *Comput. Law Secur. Rev.* **2013**, *29*, 216–228.
32. Clarke, R.; Wigan, M.R. You are where you've been: The privacy implications of location and tracking technologies. *J. Locat. Based Serv.* **2011**, *5*, 138–155.
33. Dahunsi, F.; Dwolatzky, B. An empirical investigation of the accuracy of location-based services in South Africa. *J. Locat. Based Serv.* **2012**, *6*, 22–34.
34. Zhang, Y.; Li, L.; Zhang, Y. Research and design of location tracking system used in underground mine based on WiFi technology. In Proceedings of the International Forum on Computer Science-Technology and Applications, Chongqing, China, 25–27 December 2009.
35. Chen, P.-C. A cellular based mobile location tracking system. In Proceedings of the IEEE 49th Vehicular Technology Conference, Houston, TX, USA, 16–20 May 1999.
36. Mitra, S.; DasBit, S. On location tracking and load balancing in cellular mobile environment—a probabilistic approach. In Proceedings of the International Conference on Electrical and Computer Engineering, Dhaka, Bangladesh, 20–22 December 2008; pp. 121–126.
37. Chawla, V.; Ha, D.S. An overview of passive RFID. *IEEE Commun. Mag.* **2007**, *45*, 11–17.

38. Weinstein, R. RFID: A technical overview and its application to the enterprise. *IT Prof.* **2005**, *7*, 27–33.
39. Ni, L.M.; Zhang, D.; Souryal, M.R. RFID-based localization and tracking technologies. *IEEE Wirel. Commun.* **2011**, *18*, 45–51.
40. Bagchi, M.; White, P.R. The potential of public transport smart card data. *Transp. Policy* **2005**, *12*, 464–474.
41. Ni, L.M.; Liu, Y.; Lau, Y.C.; Patil, A.P. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. *Wirel. Netw.* **2004**, *10*, 701–710.
42. Kanda, T.; Shiomi, M.; Perrin, L.; Nomura, T.; Ishiguro, H.; Hagita, N. Analysis of people trajectories with ubiquitous sensors in a science museum. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma, Italy, 10–14 April 2007; pp. 4846–4853.
43. Pandit, A.A.; Talreja, J.; Mundra, A.K. RFID tracking system for vehicles (RTSV). In Proceedings of the First International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Indore, India, 23–25 July 2009.
44. Kulyukin, V.; Kutiyawala, A.; LoPresti, E.; Matthews, J.; Simpson, R. iWalker: Toward a rollator-mounted wayfinding system for the elderly. In Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, NV, USA, 16–17 April 2008.
45. Li, Z.; Chu, C.-H.; Yao, W. SIP-RLTS: An RFID location tracking system based on SIP. In Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, NV, USA, 16–17 April 2008.
46. Han, K.; Cho, S.-H. Advanced LANDMARC with adaptive k-nearest algorithm for RFID location system. In Proceedings of the International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, Beijing, China, 24–26 September 2010; pp. 595–598.
47. Willis, S.; Helal, S. *A Passive RFID Information Grid for Location and Proximity Sensing for the Blind User*; Technical Report Number TR04-009; University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2004.
48. Iturralde, D. A new system based on web services and RFID for tracking people in a pervasive mining environment. In Proceedings of the Latin-America Conference on Communications (LATINCOM), Santiago, Chile, 24–26 November 2013.
49. Buccafurri, F.; Lax, G.; Nicolazzo, S.; Nocera, A. A privacy-preserving solution for tracking people in critical environments. In Proceedings of the 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), Vasteras, Sweden, 21–25 July 2014; pp. 146–151.
50. Nohara, K.; Tajika, T.; Shiomi, M.; Kanda, T.; Ishiguro, H.; Hagita, N. Integrating passive RFID tag and person tracking for social interaction in daily life. In Proceedings of the IEEE 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Munich, Germany, 1–3 August 2008; pp. 545–552.
51. Germa, T.; Tajika, T.; Shiomi, M.; Kanda, T.; Ishiguro, H.; Hagita, N. Vision and RFID data fusion for tracking people in crowds by a mobile robot. *Comput. Vis. Image Underst.* **2010**, *114*, 641–651.
52. Cucchiara, R.; Fornaciari, M.; Haider, R.; Mandreoli, F.; Prati, A. Identification of intruders in groups of people using cameras and RFIDs. In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC), Ghent, Belgium, 22–25 August 2011.
53. Foster, K.R.; Jaeger, J. RFID inside. *IEEE Spectrum*, 1 March 2007. Available online: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/rfid-inside> (accessed on 10 June 2015).
54. Matic, A.; Osmani, V.; Mayora, O. RFID-based system for tracking people: Approaches to tagging demented patients. *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Inform. Telecommun. Eng.* **2011**, *70*, 60–65.

55. Xiong, Z. Hybrid WSN and RFID indoor positioning and tracking system. *EURASIP J. Embed. Syst.* **2013**, *2013*, 6.
56. Hsu, C.-C.; Chen, J.-H. A novel sensor-assisted RFID-based indoor tracking system for the elderly living alone. *Sensors* **2011**, *11*, 10094–10113.
57. Hui, F.C.P.; Chan, H.C.B.; Fung, S.H. RFID-based location tracking system using a peer-to-peer network architecture. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, China, 12–14 March 2014.
58. Lin, X.; Lu, R.; Kwan, D.; Shen, X. REACT: An RFID-based privacy-preserving children tracking scheme for large amusement parks. *Comput. Netw.* **2010**, *54*, 2744–2755.
59. Steffen, R.; Preißinger, J.; Schöllermann, T.; Müller, A.; Schnabel, I. Near field communication (NFC) in an automotive environment. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Near Field Communication, Monaco, 20 April 2010; pp. 15–20.
60. Firenze Card. Available online: <http://www.firenzecard.it/?lang=en> (accessed on 9 June 2015).
61. ExxonMobil's Speed-Pass. Available online: <http://www.speedpass.com> (accessed on 9 June 2015).
62. Washington Metropolitan Area Transit Authority. *Shuttle Services at Metro Facilities Report*; WMATA: Washington, DC, USA, 2011.
63. Collins, J. Gift Cards Go Contactless. Available online: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?762> (accessed on 9 June 2015).
64. Charette, R. Wal-mart to track clothing with RFID Tags. *IEEE Spectrum*, 27 July 2010. Available online: <http://spectrum.ieee.org/riskfactor/computing/it/walmart-to-track-clothing-with-rfid-tags> (accessed on 9 June 2015).
65. Marks & Spencer Embraces Change. *RFID J.* **2014**. Available online: <https://www.rfidjournal.com/purchase-access?type=Article&id=11952&r=%2Farticles%2Fview%3F11952> (accessed on 9 June 2015).
66. Zara Builds Its Business around RFID. *The Wall Street Journal*, 16 September 2014. Available online: <http://www.wsj.com/articles/at-zara-fast-fashion-meets-smarter-inventory-1410884519> (accessed on 9 June 2015).
67. Special NRF Report: Decathlon Develops RFID to Revolutionise Stores and Back of House. *The Retail Bulletin*, 17 January 2014. Available online: http://www.theretailbulletin.com/news/special_nrf_reportdecathlon_develops_rfid_to_revolutionise_stores_and_back_of_house_17-01-14/ (accessed on 9 June 2015).
68. Gilart-Iglesias, V.; Maciá-Pérez, F.; Marcos-Jorquera, D.; Mora-Gimeno, F.J. Industrial machines as a service: Modelling industrial machinery processes. In Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics, Vienna, Austria, 23–27 June 2007; pp. 23–27.
69. Andújar-Montoya, M.D.; Gilart-Iglesias, V.; Montoyo, A.; Marcos-Jorquera, D. A construction management framework for mass customisation in traditional construction. *Sustainability* **2015**, *7*, 5182–5210.
70. Eriksson, H.E.; Penker, M. *Business Modelling with UML*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2001.
71. García-Chamizo, J.M.; Mora-Pascual, J.; Mora-Mora, H.; Signes-Pont, M.T. Calculation methodology for flexible arithmetic processing. In Proceedings of the IFIP International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SOC), Darmstadt, Germany, 1–3 December 2003; pp. 350–355.

72. Mora-Mora, H.; Mora-Pascual, J.; García-Chamizo, J.M.; Jimeno-Morenilla, A. Real-time arithmetic unit. *Real Time Syst.* **2006**, *34*, 53–79.
73. Mora-Mora, H.; Mora-Pascual, J.; Signes-Pont, M.T.; Romero, J.L.S. Mathematical model of stored logic based computation. *Math. Comput. Model.* **2010**, *52*, 1243–1250.
74. Paul, A.S.; Wan, E.A. Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods. In Proceedings of the IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, Monterey, CA, USA, 5–8 May 2008; pp. 646–659.
75. Dwoskin, E. What secrets your phone is sharing about you businesses use sensors to track customers, build shopper profiles. *The Wall Street Journal*, 13 January 2014. Available online: <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052702303453004579290632128929194> (accessed on 9 June 2015).
76. Nikitin, P.V.; Rao, K.V.S. Performance limitations of passive UHF RFID systems. In Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Albuquerque, NM, USA, 9–14 July 2006; pp. 1011–1014.
77. Li, N.; Becerik-Gerber, B. Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment. *Adv. Eng. Inform.* **2011**, *25*, 535–546.
78. Das, R.; Harrop, P. *RFID Forecasts, Players and Opportunities 2014–2024*; IDTechEx: Cambridge, MA, USA, July 2014. Available online: http://www.centrenational-rfid.com/docs/users/file/RFID_Forecasts_2014_2024.pdf (accessed on 9 June 2015).
79. Juels, A. RFID security and privacy: A research survey. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* **2006**, *24*, 381–394.
80. Juels, A.; Rivest, R.L.; Szydlo, M. The blocker tag: Selective blocking of RFID tags for consumer privacy. In Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security, Washington, DC, USA, 27–30 October 2003; pp. 103–111.
81. RFIDControls. Available online: <http://www.rfidcontrols.com/> (accessed on 9 June 2015).
82. Hohpe, G.; Woolf, B. *Enterprise Integration Patterns*, 1st ed.; Addison-Wesley: Boston, MA, USA, 2003.
83. Sivrikaya, F.; Yener, B. Time synchronization in sensor networks: A survey. *IEEE Netw.* **2004**, *18*, 45–50.
84. Zhang, F.; Deng, G.Y. Probabilistic time synchronization in wireless sensor networks. *Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput.* **2005**, *2*, 980–984.
85. Erl, T. *SOA Design Patterns*, 1st ed.; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2009.
86. Cubietruck. Available online: <http://www.cubietruck.com/> (accessed on 9 June 2015).
87. Nikitin, P.V.; Rao, K.V.S. Antennas and propagation in UHF RFID systems. In Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, NV, USA, 16–17 April 2008; pp. 277–288.
88. Chen, Z.N.; Qing, X.; Chung, H.L. A universal UHF RFID reader antenna. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **2009**, *57*, 1275–1282.

Data Structures Modelling for Citizen Tracking based Applications in Smart Cities

Alejandro Sirvent-Llamas¹, Higinio Mora¹, Virgilio Gilart-Iglesias¹, María Dolores Andújar-Montoya², Raquel Pérez del Hoyo², Alberto de Ramón-Fernandez¹

¹Department of Computer Science Technology and Computation, University of Alicante, 03690 Alicante, Spain

²Department of Department of Building and Urbanism, University of Alicante, 03690 Alicante, Spain

{asirvent, hmora, vgilart, aderamon}@dtic.ua.es;
vgilart@dtic.ua.es;

Abstract. Internet of Things is a promising paradigm for designing context-aware systems. The information provided can be used for understanding the environment and providing intelligent services to the citizen. There are several studies on the information acquisition of smart cities. This work is focused on citizens' traceability technologies and the data structures involved in representing and querying this information. A location and route data structure is proposed for handling data from different sources and devices, and meet the requirements of citizens' flow management in Smart Cities.

Keywords. Smart sensor network, Smart City, Computational Architectures, Internet of Things

1 Introduction

Smart Cities and Internet of Things (IoT) are currently very intensive research areas. These topics are related to make an efficient use of resources in cities [1] and offer better services to citizens [2]. As general rule, the design of intelligent services requires to know the environment in which the service is provided in order to customize it to the final user and to the particular conditions at each moment. This feature leads to context-aware systems, where the systems are able to know relevant aspects of their physical surrounding and adapt their behavior accordingly. That paradigm has open new research areas such as intelligent environments, pervasive & ubiquitous computing and ambient intelligence [3].

IoT provides the technology for make reality real context-aware systems [4]. This work falls within this topic and it is built on previous works for making context aware systems for track and trace citizens in Smart Cities using the IoT paradigm [5, 6]. A need is emerging in cities about the new sources of information on what is happening

in the city: traffic, pollution, flows of citizen movements, etc. But one having those data through several sensor networks, the real challenge lies in understanding of the impact that information has on city behavior.

The particular aims of this research are focused on modelling the data structures for handling locations and routes of citizens. The purposes are to find a canonical structure that unify the different representations of the citizens' locations and the routes they follow. This format may store data from several sources, devices and technologies, and allow making queries under different search filters. It would then be possible to understand citizens' daily mobility patterns for planning and management of urban facilities and intelligent services.

This paper is organised into sections as follows: section 2 provides a brief review of related works; in section 3, the data structure model is introduced, and finally, conclusion remarks are presented in section 4.

2 Related work

Currently, there are many available technologies for acquiring user location. There are studies where Global Position System (GPS) technology is used for positioning and tracking. With GPS, It is easy establish the position on the world map. Thus it is the most used for orientation purposes by drivers and pedestrians since it has become quite available [7]. In addition, it is now integrated into many devices such as mobile phones or other ubiquitous devices.

This kind of mobile devices provide other interesting communication technology for enabling user positioning. The Global System for Mobile Communications (GSM) technology can also be used to perform large-scale tracking and tracing of users [8].

The communication technologies Bluetooth [9] and Wireless local area networking (Wifi) can also be used for position acquisition by triangulation [10].

Another case, could be the RFID/NFC technology, which we have every time implanted in our daily life since, currently, large manufacturers and distributors tag their articles using this technology. The research works and proposals for this technology work in controlled environments, and then, when the users access a system are given a tag to carry around the working environment. Many studies have been conducted for track and trace indoors and outdoors [11, 12].

At this time, all the previous technologies are able to generate positioning data. As mentioned, a great advantage is that most technologies are embedded in devices of daily use, which most people have and carry with them. A possible working scenario where several technologies are combined is shown below in Figure 1.

However, the data acquired from these devices with different technologies need to be integrated in a unique way.

Usually, the data provided by GPS device comes in GPX (GPS Exchange Format) format. This is a light-weight XML structure for the interchange of GPS data [13]. Other formats are also used to export the location data to Geographic Information Systems. This is the case of the Keyhole Markup Language (KML) extensively used by Google Earth application [14]. In addition, other sources can be in CSV or TXT plain format depending on the vendor-specific schemes.

The previous formats represent both single locations and routes. The single location is usually represented by Lat/Lon, elevation, timestamp, speed and course. The routes are a set of single locations to help navigation systems compute routes dynamically.



Fig. 1. Scenario of capture of information of different technologies.

Moreover, there are another issues related to the data fields. For example, GPS time typically is reported in Universal Time Coordinated (UTC) and it does not automatically adjusts for timezone or daylight savings.

3 Architecture of the generalization model

The storage structure is a fundamental aspect to take into account when designing a data acquisition system and we will have to take into account a series of factors that we will detail below.

In order to create the structure, we have to take into account the following considerations: On the one hand we must be able to know, once the reading has been done, what technology was used to read the position. This will be important because there are technologies with minimal errors of positioning, however, other technologies introduce higher error level. It may also be necessary in a later treatment of the data to achieve completeness information with any technology; To determine that in certain environments the readings made are mostly of a certain technology, for example GSM, it can help to know that in that environment only individuals with smartphones and not RFID

tags, for example. It is interesting to know that to obtain a positioning data in GSM we have performed a triangulation.

We must therefore create a global structure, regardless of the acquisition technology, achieving complete and reliable information. For this reason, the information model has been created taking into account the following data:

Positioning data (readingPosition): Here we must have information about the position where the reading has been made, for this we will use the latitude and longitude, obtained at the time of reading the reading station, this will determine the latitude and length. With a margin of error determined by the technology and the reading device, hence the need to store the type of technology used also at the time of reading. It will be represented by two *float* (*latitude, length*).

Identification of the device / card (idReading): Depending on the device used, we will store one or other information, in the case of RFID Tags, we will only store the EPC of the card, in case of GPS / Wifi / Bluetooth technology we will store the MAC address of the device, in summary, we must put a unique id of the device read, which, for any technology of the raised, is possible to obtain. It will be represented by an *integer*.

Power used (powerEmploy): It will be interesting to know if the value can be obtained by the reading station through which the reading has been made for the RFID case, or the signal strength for Wifi, etc. This value may be interesting in later studies to determine if an increase of reading stations is necessary for a greater capacity of readings, or the increase of the Wi-Fi signal, to avoid loss of readings, for example. It will be represented by a *float*.

Identification of the reading station (idStationReading): we need to store a reading station identifier in charge of reading, as well as the type of reading station (Type of technology: GPS / Wifi / RFID ...); In case more than one reading station is necessary to read (a triangle, for example to locate a GPS device), we must store all the stations that have intervened in said reading. It will be represented by an *integer*.

Date and Time (dateTimeReading): is one of the most important values to be stored, since it will intervene in any subsequent calculation of possible tracking, being necessary to be able to distinguish previous or later readings in time; For our system to be reliable all the readers must be synchronized with a minimum margin of error, for this we will apply a method of synchronization of clocks, being NTP [6], which allows a correct synchronization, is perfect Tested and presents acceptable margins of errors, which, although not the most optimal, are sufficient for our system. It will be represented by a *TimeStamp*.

Technology used (readingTechnology): a very important aspect to store, since later on when making inquiries about traceability, depending on the type of technology used to perform the reading, we can determine possible mistakes, to know the accuracy of reading, habits of the individual who carry the device / tag read in the environment to be analyzed, as well as other possible aspects. It will be represented by a *string* that indicate the technology employed (RFID, GPS, GSM, Wifi, Bluetooth...)

Once the needs are defined, we have defined the storage structure. In our case, we will define a vector-like structure where we will store the different fields previously defined as shown below.

The basic entity where we will store the locations will be defined by the following tuple:

$R = \{ \text{readingPosition, idReading, powerEmploy, isStationReading, dateTimeReading, readingTechnology} \}$

And where we will have a set of readings:

$RN = \{ R1 \dots Rn \}$

On the other hand, we need to store in another entity the network topology of deployed reader stations. That entity will be determined by:

Data of positioning of the reader (positioningStation): This value determines the exact position of the reader, to locate it we will make use of latitude and longitude. This value can be analyzed later to determine if its position is the correct one or to modify it (depending on the power with which the readings are made), or to add more readers or other possible actions. It will be represented by two *float* (*latitude, length*).

Identification of the reading station (stationId): Identifier of the reading station. It will be represented by an *integer*.

Technology used (technologyStation): technology used by the reading station, to carry out the readings. It will be represented by a *string* that indicates the technology employed (RFID, GPS, GSM, Wifi, Bluetooth...)

The basic entity where we will store the reading stations will be defined by the following tuple:

$S = \{ \text{positioningStation, stationId, technologyStation} \}$

Where the set of reading stations, will be determined by:

$SN = \{ S1, S2 \dots Sn \}$

With these two tuples defined (tuple readings and tuple reading stations), we will store all the readings made by the reading stations, as well as the positions of these, including all the necessary data to later analyze different scenarios of traceability, Or other possibilities where such information can be exploited.

4 Conclusions

A study has been carried out in which it has been verified that although there are numerous studies within the field of intelligent cities, where the acquisition of information through different technologies is approached through the use of devices available to citizens, there was no common structure to be able to store the information collected for later exploitation. With this objective a structure has been proposed on the one hand to store certain parameters of the reading stations, common to the different technologies proposed, as well as another storage structure where to store the readings made using different technologies. It has been proposed the model for the use of the most used technologies for the different jobs (RFID, NFC, Wifi, Bluetooth, GSM,

GPS), being extended to possible extensions of technologies that a future could be used for the acquisition of data in a smart city.

5 References

1. Neirotti, P.; de Marco, A.; Cagliano, A.C.; Mangano, G.; Scorrano, F. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*. 38, 25–36. (2014).
2. D Gil, A Ferrández, H Mora-Mora, J Peral, Internet of Things: A Review of Surveys Based on Context Aware Intelligent Services, *Sensors* 16 (7), 1069. (2016).
3. Alegre A., Augusto J.C., Clark T., Engineering context-aware systems and applications: A survey, *Journal of Systems and Software*, 117:55–83 (2016). doi: 10.1016/j.jss.2016.02.010.
4. Perera C., Zaslavsky A., Christen P., Georgakopoulos D., Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1): 414 - 454 (2014). doi: 10.1109/SURV.2013.042313.00197.
5. Mora H., Gilart-Iglesias V., Gil D, Sirvent-Llamas A, A Computational Architecture Based on RFID Sensors for Traceability in Smart Cities, *Sensors*, 15(6), 13591-13626 (2015). doi:10.3390/s150613591.
6. Mora H., Gilart-Iglesias V., R Pérez-delHoyo, MD Andújar-Montoya, Compañ-Gabucio H.J., Interactive cloud system for the analysis of accessibility in smart cities, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics* 11 (3), 447-458 (2016).
7. Bajaj, R.; Ranaweera, S.L.; Agrawal, D.P. GPS: Location-tracking technology. *Computer*, 35, 92–94. (2002).
8. Al Rashed M. A., Oumar O.A., Singh D., A real time GSM/GPS based tracking system based on GSM mobile phone, *International Conference on Future Generation Communication Technology (FGCT)*, (2013). doi: 10.1109/FGCT.2013.6767186.
9. Versichelea M., et al., Pattern mining in tourist attraction visits through association rule learning on Bluetooth tracking data: A case study of Ghent, Belgium, *Tourism Management*, 44: 67–81 (2014).
10. Sapiezynski P. et al., Tracking Human Mobility Using WiFi Signals, *PLOS one*, 10(7): e0130824. (2015).
11. Ni, L.M.; Zhang, D.; Souryal, M.R. RFID-based localization and tracking technologies. *IEEE Wirel. Commun.* 2011, 18, 45–51.
12. Gilart-Iglesias V., Mora H., Pérez-delHoyo R., García-Mayor C., A computational method based on radio frequency technologies for the analysis of accessibility of disabled people in sustainable cities, *Sustainability* 7 (11), 14935-14963
13. GPX: the GPS Exchange Format, URL: <http://www.topografix.com/gpx.asp> (Accessed on 01/05/2017)
14. Du Y., Yu C., Liu J., A Study of GIS Development Based on KML and Google Earth, *International Joint Conference on INC, IMS and IDC*, (2009).