

TESIS DEFENDIDA POR

Paúl Ernesto Estrada Martínez

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. José Antonio García Macías

Director del Comité

Dr. Jesús Favela Vara

Miembro del Comité

Dr. Roberto Conte Galván

Miembro del Comité

Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva

*Coordinador del programa de posgrado en
Ciencias de la Computación*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales

Director de Estudios de Posgrado

10 de Octubre de 2011

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

VISORES SENSORIALES PARA ENTORNOS FÍSICOS AUMENTADOS

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

PAÚL ERNESTO ESTRADA MARTÍNEZ

Ensenada, Baja California, México, Octubre de 2011.

RESUMEN de la tesis de **Paúl Ernesto Estrada Martínez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN. Ensenada, Baja California. Octubre 2011.

VISORES SENSORIALES PARA ENTORNOS FÍSICOS AUMENTADOS

Resumen aprobado por:

Dr. José Antonio García Macías
Director de Tesis

El término *Internet of Things* se refiere a un paradigma donde todos los objetos cotidianos tales como: aparatos electro-domésticos, muebles, automóviles, ropa, productos alimenticios y otros objetos que comúnmente utilizamos, están interconectados entre sí con el propósito de compartir y transmitir información. Para esto, los objetos cotidianos son aumentados con diferentes tecnologías, tales como: sensores, actuadores, microprocesadores y unidades de comunicación en red. Esta red de objetos comunes se vuelve una extensión de Internet, al ampliar su dominio desde las computadoras hacia diferentes tipos de artefactos cotidianos mejorados con tecnología.

Para que las personas puedan acceder, utilizar y entender la información o servicios que proporcionan los objetos inteligentes, se encuentra un problema, que es ¿cómo interactuar con los objetos inteligentes en un entorno físico aumentado? Dado que pueden existir una gran variedad de objetos inteligentes con diferentes características y servicios, se debe de contar con algún tipo de tecnología capaz de lidiar con esta heterogeneidad de objetos inteligentes.

En esta tesis se propone utilizar el *visor sensorial* (un navegador para el Internet of Things) como medio de interacción con los objetos inteligentes. Además, se proponen mecanismos de interacción genéricos para el visor sensorial, haciendo uso de información semántica. Para esto, se diseñó e implementó un visor sensorial prototipo que aprovecha la información semántica para consultar la información de objetos inteligentes y acceder a sus servicios en un entorno físico aumentado.

El prototipo implementado permitió comprobar la factibilidad de tener un navegador universal para interactuar con los objetos inteligentes del Internet of Things.

Palabras Clave: Visores sensoriales, objetos inteligentes, información semántica, Internet de las cosas.

ABSTRACT of the thesis presented by **Paúl Ernesto Estrada Martínez** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in COMPUTER SCIENCE. Ensenada, Baja California, México. October 2011.

SENTIENT VISORS FOR AUGMENTED PHYSICAL SPACES

The term *Internet of Things* refers to a paradigm where everyday objects such as electro-domestic appliances, furniture, cars, clothes, food products and other items commonly used on a daily basis, are interconnected in order to share and provide information. To enable this behavior, everyday objects are enhanced with various technologies such as sensors, actuators, microprocessors and network communication units. This network of common objects becomes an extension of the Internet that expands its domain from computers to different types of everyday devices with improved technology.

To enable people to access, use and understand information or services provided by smart objects, there is a problem, which is how to interact with smart objects in an augmented physical space? Since there may be a variety of smart objects with different characteristics and services, we must have some type of technology capable of dealing with this heterogeneity of smart objects.

This thesis proposes to use the *sentient visor* (a browser for the Internet of Things) as a means of interaction with smart objects. In addition, generic interaction mechanisms are proposed for the sentient visor, using semantic information. For this, we designed and implemented a sentient visor prototype system that harness semantic information to enable the access of information provided by smart objects and utilize their services in augmented physical spaces.

The implemented prototype allowed us to prove the feasibility of having a universal browser to interact with smart objects of the Internet of Things.

Keywords: Sentient visors, smart objects, semantic information, Internet of Things.

Dedicatorias

A mis padres,

Leonel Ernesto Estrada Conde

y

Elvia Elina Martínez Loaiza

Por alentarme siempre a superarme

A mi esposa,

Ana Cecilia Inzunza Báez

Por ser parte de mi vida

Agradecimientos

A mi asesor de tesis, Dr. J. Antonio García Macías, por brindarme su apoyo, consejos y notable confianza para realizar este trabajo.

A los miembros de mi comité de tesis, Dr. Jesús Favela Vara y Dr. Roberto Conte Galván, por sus valiosas observaciones que contribuyeron a mejorar esta tesis.

A todos los profesores del Departamento de Ciencias de la Computación en CICESE, que contribuyeron en mi formación académica.

Al Dr. Alberto L. Morán y Solares de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por facilitarme su computadora tipo tableta para hacer pruebas.

A mi esposa, por su paciencia, comprensión y apoyo emocional.

A mi familia, mis padres, hermanos, tíos y primos, por alentarme desde lejos.

A todos mis compañeros y amigos de CICESE, por los momentos de diversión, trabajo y apoyo tanto en lo emocional como en lo académico.

A mis amigos de Los Mochis, Sinaloa, por su apoyo y compañía a distancia.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por brindarme los recursos materiales y académicos para el desarrollo de esta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por darme el apoyo económico necesario para realizar mi maestría.

CONTENIDO

	Página
Resumen en Español	i
Resumen en Inglés	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	v
Lista de Figuras	viii
Lista de Tablas	xii
Capítulo I. Introducción	1
I.1. Planteamiento del problema	2
I.2. Propuesta	4
I.3. Preguntas de investigación	4
I.4. Objetivo general.....	5
I.5. Objetivos específicos	5
I.6. Metodología.....	5
I.7. Organización de la tesis	7
Capítulo II. Internet of Things	9
II.1. Introducción.....	9
II.2. Objetos inteligentes y entornos físicos aumentados.....	10
II.3. Tres visiones del Internet of Things	14
II.3.1. Visión orientada a las cosas.....	15
II.3.2. Visión orientada a Internet	16
II.3.3. Visión orientada a la semántica	18
II.4. Aplicaciones	19
II.5. Importancia.....	19
II.6. Líneas abiertas de investigación.....	20
II.7. Conclusiones	21
Capítulo III. Web Semántica	22
III.1. Introducción	22
III.2. Tecnologías semánticas.....	23
III.2.1. Tecnologías de hipertexto web	24
III.2.2. Tecnologías estándar de web semántica	25
III.2.3. Tecnologías semánticas aún por determinar	27
III.3. Conclusiones	28
Capítulo IV. Visores Sensoriales	30
IV.1. Introducción	30
IV.2. Antecedentes	31
IV.2.1. Concepto e infraestructuras sensoriales	31
IV.2.2. Marco de desarrollo para visores sensoriales.....	34
IV.3. Navegación física.....	35

CONTENIDO (continuación)

	Página
IV.4. Conclusiones.....	42
Capítulo V. Diseño de Mecanismos de Interacción Utilizando Información Semántica.....	43
V.1. Introducción	43
V.2. Internet tradicional versus Internet of things	44
V.3. Escenarios de aplicación	46
V.3.1. Monitoreo de plantas.....	46
V.3.2. Control universal de electrodomésticos	47
V.3.3. Asistente social de compras	48
V.4. Espacio de diseño.....	48
V.5. Requerimientos técnicos	52
V.5.1. Casos de uso	53
V.5.2. Requerimientos.....	57
V.5.2.1. Consulta de objetos inteligentes	57
V.5.2.2. Descubrimiento de servicios.....	58
V.5.2.3. Interfaz de navegación y zoom semántico.....	59
V.5.2.4. Consulta de usuario y localización de objetos.....	60
V.5.2.5. Información semántica	61
V.6. Arquitectura.....	62
V.6.1. Componente núcleo del visor sensorial.....	63
V.6.2. Componente de realidad aumentada.....	63
V.6.3. Componente de captura de contexto	64
V.6.3. Componente de modelos semánticos	64
V.6.4. Componente de procesamiento de contexto.....	64
V.6.5. Componente de servicios ubicuos	65
V.7. Diagramas de secuencia	65
V.7.1. Diagrama de secuencia general	66
V.7.2. Diagrama de secuencia del acercamiento semántico	67
V.7.3. Diagrama de secuencia descubrimiento de servicios	69
V.8. Diseño de ontología.....	70
V.9. Conclusiones	74
Capítulo VI. Implementación de un Visor Sensorial Prototipo.....	75
VI.1. Introducción	75
VI.2. Hardware utilizado.....	75
VI.3. Identificación de objetos inteligentes	76
VI.4. Ontología	77
VI.5. Modelos semánticos.....	79
VI.6. Inferencias y consultas semánticas	81

CONTENIDO (continuación)

	Página
VI.7. Navegador visor sensorial.....	83
VI.7.1. Interfaz de usuario del visor sensorial	84
VI.7.2. Consulta de objetos inteligentes.....	86
VI.7.3. Zoom semántico.....	90
VI.7.4. Descubrimiento de servicios utilizando semántica	94
VI.8. Conclusiones.....	99
Capítulo VII. Evaluación	100
VII.1. Introducción.....	100
VII.2. Discusión	100
VII.3. Evaluación funcional	104
VII.4. Consideraciones del espacio de diseño.....	108
VII.5. Conclusiones.....	109
Capítulo VIII. Conclusiones.....	110
VIII.1. Conclusiones	110
VIII.2. Aportaciones	111
VIII.3. Limitaciones.....	112
VIII.4. Trabajo futuro	112
Referencias	115

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		Página
1	Ejemplos de diferentes teléfonos inteligentes o “smart phones”	10
2	Ejemplos de algunos phidgets (pequeños sensores, motores, LEDs y pantallas de cristal líquido)	11
3	Ejemplos de etiquetas, tarjeta, cápsulas y otros dispositivos RFID.	12
4	Objetos inteligentes con diferentes características. De izquierda a derecha: a) AdidasOne (Tenis deportivo con un microcontrolador y sensor de presión), b) Nabaztag (Conejo electrónico, se conecta a Internet por Wi-Fi y comunica información por medio de mensajes vocales, luminosos o moviendo las orejas), c) Anoto pen (Pluma con una micro-cámara que graba lo que se escribe y puede transferir la escritura a computadoras), d) MediaCup (Taza con sensor de temperatura y movimiento, microcontrolador y memoria)	14
5	Las tres visiones del paradigma Internet of Things: orientado a las cosas, a Internet y a la semántica	15
6	Objetos aumentados con tecnología. De izquierda a derecha: a) RFIDGlove (guante con lector de RFID y mini-pantalla), b) iCompass (artefacto con RFID y una manecilla que marca el clima mediante un servicio meteorológico por Internet)	16
7	Propuesta de una arquitectura para Internet of Things.....	17
8	Pila de tecnologías para la web semántica propuesta por el W3C...	24
9	Grafo de un modelo RDF formado por una tripleta sujeto-predicado-objeto. El arco que sale del nodo sujeto siempre apunta hacia el nodo objeto	25
10	Utilización de un visor sensorial para interactuar con un objeto inteligente	31
11	Visualizando la temperatura y contenido de una caja inteligente a través de la cámara de un dispositivo móvil (izquierda: caja con limones; derecha: caja con naranjas). La información es obtenida con TinySOA	32

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		Página
12	Aplicación mashup desarrollada con UbiSOA. Los servicios web disponibles están representados con rectángulos. La aplicación se crea arrastrando servicios hacia el área central de la interfaz y conectándolos mediante líneas.....	33
13	Concepto de uso del visor sensorial para recordar la cantidad de medicamento que debe tomar la persona	33
14	Arquitectura de la plataforma visor sensorial	34
15	Aplicación de visor sensorial para el control de ingesta de medicamentos.....	35
16	De izquierda a derecha: a) El sistema Touring Machine utilizado en el campus de una universidad, b) El sistema NaviCam mostrando información de una pintura en un museo	36
17	De izquierda a derecha: a) Sistema de realidad aumentada con pantalla montada en la cabeza, b) Sistema de realidad aumentada en una PDA	37
18	Layar mostrando diferentes etiquetas virtuales sobre un negocio de café etiquetado en una calle.....	38
19	Wikitude mostrando una etiqueta virtual sobre la Casa de la Ópera en Sydney, Australia.....	38
20	Aplicación de guía virtual mostrando información sobre una persona y sus intereses de investigación	39
21	Aplicación de guía turística, mostrando información sobre un monumento histórico.....	39
22	Una persona utilizando el navegador RWWW. Izquierda: Interfaz de realidad aumentada mostrando etiquetas virtuales con información asociada a la ubicación. Derecha: El sistema conformado por una pantalla montada en la cabeza y una PDA.....	40
23	Aplicación para operar una máquina de café con un teléfono celular. La comunicación entre el teléfono y la máquina se simula utilizando una conexión Bluetooth con una computadora	41

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		Página
24	Dominios de aplicación del Internet of Things (Atzori <i>et al</i> , 2010)	46
25	Las seis dimensiones del espacio de diseño para desarrollar visores sensoriales.....	49
26	Diagrama de casos de uso global de los mecanismos de interacción del visor sensorial.....	54
27	Arquitectura del sistema visor sensorial	62
28	Diagrama de secuencia general.....	66
29	Diagrama de secuencia del acercamiento semántico	68
30	Diagrama de secuencia descubrimiento de servicios.....	69
31	Fragmento de la ontología donde se muestran algunos de los conceptos principales	71
32	Relaciones de la clase SmartObject con las demás clases de la ontología.....	72
33	Definición del dominio, rango y propiedad inversa de la propiedad objeto “hasSensor”	73
34	Definición del dominio y rango de la propiedad de datos “hasTemperature”	73
35	Ejemplo de un código QR.....	76
36	Visualización de la ontología utilizando Protége.....	77
37	Fragmento de la ontología en un documento OWL.....	78
38	Instancias de algunas clases de la ontología (las clases aparecen con un círculo a la izquierda y las instancias aparecen con un rombo).....	78
39	Modelo semántico RDF con la información de una planta.....	80
40	Modelo semántico RDF con la información de un usuario.....	80
41	Interfaz de usuario del visor sensorial.....	85

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		Página
42	Consultando la información de una maceta inteligente con el visor sensorial (izquierda: el usuario apunta hacia la maceta; derecha: el usuario elige la opción consultar)	86
43	Flujo de acción para la consulta de objetos inteligentes con el visor sensorial	87
44	Regla SWRL de una maceta inteligente. La regla define que cuando la humedad de la maceta está por debajo del mínimo permitido por la planta, entonces la planta tiene sed	88
45	Modelo semántico RDF inferido para la maceta inteligente con orquídeas	89
46	El visor sensorial le muestra al usuario que la planta está feliz, por lo que no requiere agua en estos momentos.....	90
47	Modelo semántico RDF inferido para la maceta inteligente con rosas	91
48	El visor sensorial le muestra al usuario que la planta esta triste, por lo que tal vez necesita agua.....	92
49	El usuario utiliza el zoom semántico en el visor sensorial para ver la temperatura de una maceta inteligente	93
50	El usuario utiliza el zoom semántico en el visor sensorial para ver la humedad de una maceta inteligente	94
51	Consulta semántica SPARQL para el descubrimiento de servicios.	95
52	Flujo de acción para el descubrimiento de servicios utilizando información semántica	96
53	Fragmento del modelo semántico RDF con la lista de servicios encontrados con una consulta SPARQL	97
54	El visor sensorial muestra en la pantalla los nombres de los objetos inteligentes encontrados en la ubicación actual.....	98
55	El visor sensorial muestra la información de los servicios de una maceta inteligente.....	98

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Diferencias entre el Internet tradicional y el Internet of Things ...	44
II	Ejemplos de valores para las dimensiones de diseño del visor sensorial.....	52
III	Ejemplos de reglas de inferencia con el lenguaje SWRL	81
IV	Ejemplos de consultas semánticas con SQWRL y SPARQL.....	82
V	Comparación del visor sensorial con otros sistemas de navegación física	101

Capítulo I

Introducción

La Internet de las Cosas o *Internet of Things* (en inglés), se refiere a una red de objetos cotidianos interconectados con el propósito de compartir y comunicar datos. Este concepto es parte importante de la visión del cómputo ubicuo, donde las personas interactúan con ambientes mejorados con recursos computacionales, mezclando la tecnología con objetos del ambiente. Así, la tecnología se vuelve indistinguible o invisible para las personas (Weiser, 1991; Weiser y Brown, 1996).

Conforme se dan más avances en el hardware y software, crece la necesidad de ofrecer mayores capacidades en un menor espacio, con el fin de crear nuevos productos y dispositivos electrónicos. Esto ha fomentado la creación de productos como los teléfonos inteligentes y lectores de libros digitales, que nacen de la convergencia de las computadoras con los objetos cotidianos. El siguiente paso, será incorporar tecnologías de comunicación, procesamiento y almacenamiento en objetos como muebles, medicamentos, productos alimenticios, electrodomésticos y otros objetos de la vida cotidiana. Además, se pueden aumentar las prestaciones de estos objetos incorporando sensores y actuadores. De esta forma, se crean objetos inteligentes o *smart objects* (en inglés) capaces de percibir lo que sucede a sus alrededores, comunicarse y procesar información. Con estas características, los objetos inteligentes tienen el potencial de formar una Internet de las Cosas.

Si los objetos inteligentes son integrados en el entorno, se tiene como resultado un entorno físico aumentado donde diferentes objetos sirven como proveedores de servicios e información, tanto para las personas como para aplicaciones de software y otros objetos inteligentes. Así, esta Internet de las Cosas será una extensión de Internet, donde ya no solo

se tienen computadoras conectadas, sino que amplía el dominio de Internet hacia los objetos físicos cotidianos.

I.1 Planteamiento del problema

Para que las personas puedan acceder, utilizar y entender la información o servicios que proporcionan los objetos inteligentes, se encuentra un problema, que es ¿Cómo interactuar con los objetos inteligentes en un entorno físico aumentado? Dado que pueden existir una gran variedad de objetos inteligentes con diferentes características, se debe de contar con algún tipo de tecnología capaz de lidiar con esta heterogeneidad de objetos inteligentes.

Además, los servicios e información disponibles en un entorno físico aumentado deben ser útiles para las personas, por lo que el usuario debe ser capaz de elegir o recibir información de acuerdo a sus necesidades o preferencias. De otra forma, el usuario se encontraría rápidamente saturado por la gran cantidad de información emitida al mismo tiempo, por los objetos inteligentes a su alrededor. Por lo tanto, explorar el espacio de información en un entorno físico aumentado se vuelve también una necesidad importante, permitiendo seleccionar servicios u obtener información de acuerdo a la acción del usuario.

Ante esta problemática, se podría desarrollar una aplicación de software que permita a las personas consultar la información de los objetos inteligentes. Una aplicación con este fin, serviría de intermediario entre los usuarios y los objetos inteligentes. Sin embargo, ¿Cómo se puede lograr esto de una manera lo más genérica posible? Que no requiera codificar la funcionalidad de dicha aplicación para cada objeto inteligente, es decir, tener una aplicación universal con ciertos mecanismos de interacción genéricos, capaces de identificar los diferentes objetos inteligentes presentes en el ambiente y responder de acuerdo a la información de cada uno de ellos.

Una aplicación genérica para interactuar con los objetos inteligentes también conlleva enfrentar algunos problemas de acceso y manipulación de información. Por ejemplo, ¿Cómo acceder a la información y servicios de los objetos inteligentes? ¿Cómo

presentar dicha información al usuario? Debido a la heterogeneidad de los objetos inteligentes, se debe contemplar algún esquema o modelo de información común, de otra forma, una aplicación genérica necesitaría ser modificada o codificada cada vez para incluir la identificación de un nuevo formato o esquema de datos que no comprende.

Durante los últimos 4 años, en el Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo de CICESE, se ha trabajado en este problema con la idea del *visor sensorial*, un navegador universal para entornos físicos aumentados y su infraestructura de soporte. En la tesis de Álvarez Lozano (2010) se define un marco de desarrollo para los visores sensoriales y con UbiSOA (Avilés López y García Macías, 2009) se cuenta con una infraestructura de servicios web, con lo cual ahora se tiene una base de trabajo para abordar otros aspectos.

Por ejemplo, los objetos inteligentes no solo pueden servir para dar información, ya que dependiendo de las capacidades de cada uno de estos objetos, algunos pueden cambiar su comportamiento de acuerdo a la acción del usuario y otros estímulos del ambiente, por lo que un visor sensorial debe poseer también mecanismos que permitan al usuario influir en el funcionamiento de los objetos inteligentes, por ejemplo: apagarlos, encenderlos o activar alguna función en particular. Esto requiere que el visor sensorial identifique los servicios que un objeto puede brindarle, así como poder ejecutar el servicio o función requerida.

Además, bajo ciertas circunstancias un usuario puede requerir ejecutar la función de un objeto inteligente en base a una ubicación determinada. Por lo que conocer la localización de cada objeto inteligente en el entorno se vuelve información importante tanto para el visor sensorial como para el usuario.

Por otra parte, algunos objetos inteligentes pueden brindar más cantidad de información que otros, incluso más de la que el usuario puede necesitar. Ante esta situación, ¿Cómo puede el usuario elegir cuánta información necesita? ¿Cómo se puede realizar la interacción entre el usuario, el visor sensorial y los objetos inteligentes considerando que la cantidad de información disponible es variable?

Con este trabajo de investigación se aborda esta problemática, por lo que a continuación se describe la propuesta y objetivos de la tesis.

I.2 Propuesta

En esta tesis se propone continuar el trabajo de investigación sobre los visores sensoriales, para diseñar e implementar mecanismos de interacción con objetos inteligentes utilizando información semántica. Para esto, se parte del marco de desarrollo propuesto por Álvarez Lozano (2010) y se utiliza el paradigma del Internet of Things con un enfoque orientado a la semántica y a los objetos. Los nuevos mecanismos de interacción deben permitir al visor sensorial acceder a la información de los objetos inteligentes en una ubicación determinada y utilizar los servicios que proporcionen. Además, el usuario debe ser capaz de elegir una mayor o menor cantidad de información, así como la presentación de la misma en base a sus preferencias y otra información disponible en el entorno.

I.3 Preguntas de investigación

Con este trabajo se pretende resolver las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo se puede representar la información y servicios de los objetos inteligentes bajo un esquema común?
- ¿Cómo realizar la anotación semántica de los objetos inteligentes o dotarlos de significado?
- ¿Qué tipo de metadatos y vocabularios comunes deben compartir el visor sensorial y los objetos inteligentes?
- ¿Cómo visualizar la información que brindan los objetos inteligentes dado que la cantidad de información es variable?

I.4 Objetivo general

El objetivo general de esta tesis es diseñar e implementar mecanismos de interacción con objetos inteligentes para los visores sensoriales utilizando información semántica. Para esto se abordan aspectos relevantes para el Internet of Things, como son: localización, interactividad y descubrimiento de servicios.

I.5 Objetivos específicos

- Identificar escenarios de aplicación de los visores sensoriales.
- Definir cómo representar la información semántica de los objetos inteligentes.
- Definir cómo visualizar la información que proveen los objetos inteligentes.
- Diseñar y desarrollar los nuevos mecanismos de interacción utilizando información semántica.
- Implementar una aplicación para alguno de los escenarios identificados.
- Analizar los alcances y limitaciones del trabajo.

I.6 Metodología

La realización de esta tesis involucró seis etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapa 1: Entendimiento Inicial. Esta etapa consiste en una revisión de la literatura para analizar trabajos previos de cómputo ubicuo, Internet of Things, web semántica, realidad aumentada, sensores y cómputo consciente del contexto, para analizar sus características, ventajas y limitaciones. Además, involucra estudiar el marco de desarrollo propuesto por Álvarez Lozano (2010), hacer algunas mejoras a sus componentes y desarrollar una aplicación para probar las modificaciones realizadas. Todos estos aspectos sirven como marco de referencia para entender los alcances y limitaciones del visor sensorial para guiar el trabajo de investigación de esta tesis.

Etapa 2: Identificación de escenarios y sus elementos semánticos. Esta etapa consiste en identificar dominios de aplicación para el visor sensorial y proponer algunos escenarios. Además, definir los escenarios en términos de sus elementos semánticos con el propósito de guiar el diseño de los nuevos mecanismos de interacción para el visor sensorial, en base a los requerimientos de dichos escenarios.

Etapa 3: Diseño de nuevos mecanismos de interacción para el visor sensorial. Consiste en analizar y definir los componentes de software y hardware que se van a utilizar, tomando como base los requerimientos de la Etapa 2. También involucra diseñar los mecanismos de interacción para el visor sensorial, implementarlos y definir la interacción de los nuevos componentes con los que actualmente posee la arquitectura de Álvarez Lozano (2010). Para esta etapa se utiliza el proceso de desarrollo en espiral, ya que permite dirigir el desarrollo de software por etapas e ir depurando el diseño en cada iteración.

Etapa 4: Implementación de un visor sensorial prototipo. En esta etapa se implementa un visor sensorial prototipo que incluye los mecanismos de interacción definidos en la Etapa 3. Por tanto, se describen las tecnologías requeridas para la implementación del prototipo y el hardware utilizado. Además, se describe la implementación de la información semántica en los mecanismos de interacción del visor sensorial, utilizando una ontología y modelos semánticos.

Etapa 5: Evaluación. Consiste en realizar una evaluación de este trabajo considerando el prototipo implementado en la Etapa 4. Para esto, se realiza un análisis comparativo de este trabajo con respecto a otros sistemas similares encontrados en la

literatura. Además, se hace una evaluación funcional del prototipo. Esta etapa tiene el propósito de analizar los alcances y limitaciones de este trabajo de investigación.

Etapa 6: Redacción de la tesis. Se concluye la investigación mediante la redacción de la tesis, de acuerdo a las actividades que se realizaron en las etapas anteriores, además de incluir las conclusiones, aportaciones y trabajo futuro que se deriva de este trabajo de investigación.

I.7 Organización de la tesis

Esta tesis está organizada en varios capítulos que se describen brevemente a continuación:

En el capítulo II, se hace una descripción del paradigma Internet of Things, sus aplicaciones e importancia, así como algunas líneas abiertas de investigación.

En el capítulo III, se explica lo relacionado a la web semántica, sus fundamentos, conceptos principales y tecnologías.

En el capítulo IV, se habla sobre los visores sensoriales y su propósito. También se describe el trabajo que se ha hecho en el Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo de CICESE sobre este proyecto. Además, se exponen algunas propuestas similares del estado del arte.

En el capítulo V, se presenta el diseño de los nuevos mecanismos de interacción del visor sensorial. Se propone el espacio de diseño para visores sensoriales y algunos escenarios de aplicación. Además, se presenta un modelado con casos de uso y el diseño de una ontología para modelar la información semántica. En base a los escenarios se definen los requerimientos técnicos para los mecanismos de interacción del visor sensorial.

En el capítulo VI, se presenta el visor sensorial prototipo describiendo la implementación de los nuevos mecanismos de interacción del visor sensorial. Se explican los componentes de software y hardware utilizados, así como también el uso de información semántica en dichos mecanismos.

En el capítulo VII, se presenta la evaluación funcional del visor sensorial prototipo y también se hace una discusión sobre este trabajo de investigación, analizando sus diferencias con respecto a otros sistemas similares del estado del arte. Se explican las ventajas y limitaciones de este trabajo.

En el capítulo VIII, se presentan las conclusiones, limitaciones y aportaciones de esta tesis. Además, se proponen algunos aspectos a abordar como trabajo futuro.

Capítulo II

Internet of Things

II.1 Introducción

El término *Internet of Things* se refiere a un paradigma donde todos los objetos cotidianos tales como: aparatos electro-domésticos, muebles, automóviles, ropa, productos alimenticios y otros objetos que comúnmente utilizamos, están interconectados entre sí con el propósito de compartir y transmitir información. Esta red de objetos comunes se vuelve una extensión de Internet, al ampliar su dominio desde las computadoras hacia diferentes tipos de artefactos cotidianos mejorados con tecnología. Gershenfeld (1999) plantea una visión de este paradigma al proponer cómo será el futuro, un mundo lleno de tecnología con innovaciones que van desde zapatos que intercambian información hasta libros universales capaces de modificar su contenido e incluso supercomputadoras de diminuto tamaño dentro de tazas para café.

La creación del término Internet of Things se le atribuye a Kevin Ashton y sus colegas durante los inicios de los laboratorios MIT AUTO-ID Center en 1999 (Ashton, 2009), ahora conocidos como AUTO-ID Labs¹. La investigación con este paradigma ha requerido el uso de diversas tecnologías y ha fomentado la creación de varios enfoques de investigación, así como algunos conceptos clave que se abordan en los siguientes apartados.

¹ <http://www.autoidlabs.org/>

II.2 Objetos inteligentes y entornos físicos aumentados

Un primer paso para formar una Internet of Things es incorporar ciertos elementos tecnológicos en los objetos cotidianos, creando objetos aumentados u *objetos inteligentes*. En un sentido puramente técnico, un objeto inteligente es un objeto equipado con algún tipo de sensor o actuador, un pequeño microprocesador, un dispositivo de comunicación y una fuente de energía (Vasseur y Dunkels, 2010).

Bajo esta definición, el ejemplo actual más representativo es el *Smart Phone* o teléfono inteligente (ver Figura 1). El uso de estos dispositivos se está incrementando no solo por sus servicios de telefonía móvil, sino también porque ofrecen nuevas características que teléfonos antiguos no poseían. Por ejemplo, tienen una pantalla táctil y cámara para tomar fotografías o video, pueden conectarse a Internet, tienen algunos sensores como acelerómetros y giroscopios, microprocesador, batería recargable y memoria. Además, son capaces de ejecutar aplicaciones de software como si fueran pequeñas computadoras.



Figura 1. Ejemplos de diferentes modelos de teléfonos inteligentes o “smart phones”.

Así como los teléfonos inteligentes, otros objetos aumentados con tecnología pueden poseer diferentes características, por lo que se pueden distinguir algunos elementos tecnológicos para construir un objeto inteligente, los cuales se describen a continuación:

- **Comunicación:** Tecnologías para poder establecer conexiones en red, compartir y transferir información. Por ejemplo: Wi-Fi o Bluetooth. También se puede utilizar la tecnología de comunicación de campo corto (NFC, por sus siglas en inglés “Near Field Communication”), que permite lograr una comunicación de forma inalámbrica a corto alcance (Kostakos y O’Neill, 2007).
- **Percepción y Acción:** Para que los objetos inteligentes puedan percibir cambios en su entorno, por medio de sensores que miden parámetros físicos como temperatura, luz, humedad, detectar su propio movimiento o aceleración, e incluso actuar mediante el uso de pequeños motores, LEDs, partes móviles o pantallas. Por ejemplo, existen artefactos de bajo costo como los *phidgets*² (ver Figura 2).



Figura 2. Ejemplos de algunos phidgets (pequeños sensores, motores, LEDs y pantallas de cristal líquido).

- **Procesamiento:** Micro-procesadores y micro-controladores para procesar datos y coordinar la utilización de los recursos de hardware y software que pueda poseer un objeto inteligente. Por ejemplo Arduino³, es una tarjeta con un micro-controlador de hardware libre bastante popular.

² <http://www.phidgets.com/>

³ <http://www.arduino.cc/>

- **Almacenamiento:** Se pueden usar medios de almacenamiento tanto para guardar datos como para hospedar sistemas operativos orientados a los objetos inteligentes. Se puede utilizar almacenamiento de tipo interno: utilizando memorias u otros medios en el propio objeto, o de tipo externo: guardando información en servidores u otras unidades de almacenamiento conectadas en puertos de expansión.
- **Identificación:** Mecanismos para identificar el objeto inteligente. Por ejemplo, utilizando un medio físico como los códigos de barras o un medio electrónico como RFID (Identificación por Radio Frecuencia, por sus siglas en inglés “Radio Frequency Identification”). En la Figura 3 se muestran ejemplos de los diferentes dispositivos RFID disponibles actualmente.



Figura 3. Ejemplos de etiquetas, tarjeta, cápsulas y otros dispositivos RFID.

- **Servicios y software:** La información que los objetos inteligentes recolectan y procesan a través de sus componentes, se puede ofrecer a través de servicios web o mediante una conexión ad-hoc directa con el objeto inteligente. Por lo que algunos objetos requieren de algún sistema operativo para coordinar sus recursos de hardware y administrar estas conexiones. En otros casos, los servicios de un objeto inteligente pueden comprender el uso de sus pantallas y/o actuadores para transmitir la información.

Existen investigaciones sobre objetos inteligentes que han dado como resultado nuevos términos y aplicaciones, tales como pantallas ambientales (*ambient displays*) (Mankoff *et al*, 2003), artefactos sensibles (*sentient artifacts*) (Kawsar *et al*, 2005) y pantallas sensibles (*sentient displays*) (Segura *et al*, 2008), los cuales recolectan datos del entorno, de otros objetos inteligentes y de entidades de software, con el propósito de proveer información adicional y de mayor utilidad que aquella que las personas pueden percibir por sí mismas.

Esto es posible porque los objetos inteligentes se encuentran a nuestro alrededor, fusionándose con el ambiente y creando *entornos físicos aumentados* donde diferentes objetos inteligentes sirven como proveedores de servicios e información, tanto para las personas como para aplicaciones de software y otros objetos inteligentes. De esta forma, un entorno físico aumentado puede verse como un lugar o espacio físico donde se encuentran objetos inteligentes activos.

Los entornos aumentados son útiles para el paradigma Internet of Things porque permiten visualizar a pequeña escala sus requerimientos técnicos y explorar nuevas formas de interacción humano-computadora. Aunque todavía no existe la suficiente infraestructura de hardware y software para formar una Internet of Things, los entornos físicos aumentados pueden servir como islas de información que pueden irse conectando con otras conforme sea posible. Esto se asemeja a la forma en que se construyó Internet, iniciando desde la red de computadoras ARPANET de Estados Unidos en los años 60's. ARPANET fue creciendo conforme se agregaban más nodos y evolucionando hasta llegar a lo que hoy conocemos como Internet y la Web. Gershenfeld *et al* (2004) abordan este tema y los espacios inteligentes (*smart spaces*), explicando que los principios que dieron origen a Internet están ahora sirviendo de guía para crear una nueva clase de red con los objetos y dispositivos de uso diario, llamada "Internet-0" o Internet of Things.

Por otra parte, tanto en la industria como en la academia se ha visto interés por diseñar y fabricar productos “inteligentes” (Kuniavsky, 2010; Beigl *et al*, 2001), ya que proporcionan un valor agregado al consumidor. En la Figura 4 se muestran algunos de estos productos. Por tanto, ya empiezan a existir objetos inteligentes en el entorno cotidiano y comienzan a crearse primitivos entornos físicos aumentados de forma gradual.



Figura 4. Objetos inteligentes con diferentes características. De izquierda a derecha:
a) AdidasOne (Tenis deportivo con un microcontrolador y sensor de presión),
b) Nabaztag (Conejo electrónico, se conecta a Internet por Wi-Fi y comunica información por medio de mensajes vocales, luminosos o moviendo las orejas),
c) Anoto pen (Pluma con una micro-cámara que graba lo que se escribe y puede transferir la escritura a computadoras),
d) MediaCup (Taza con sensor de temperatura y movimiento, microcontrolador y memoria).

II.3 Tres visiones del Internet of Things

En la literatura se pueden encontrar diversos trabajos de investigación sobre Internet of Things. Sin embargo, se puede tener cierta dificultad para comprender cuál es el alcance de este paradigma y sus implicaciones. Según Atzori *et al* (2010), esto sucede porque la frase “Internet of Things” se presta a diferentes interpretaciones que representan los intereses específicos de científicos, alianzas comerciales y organizaciones que enfocan la investigación hacia su propia perspectiva. Como consecuencia, los autores mencionan que existen tres visiones diferentes para este paradigma (ver Figura 5), las cuales se explican a continuación.

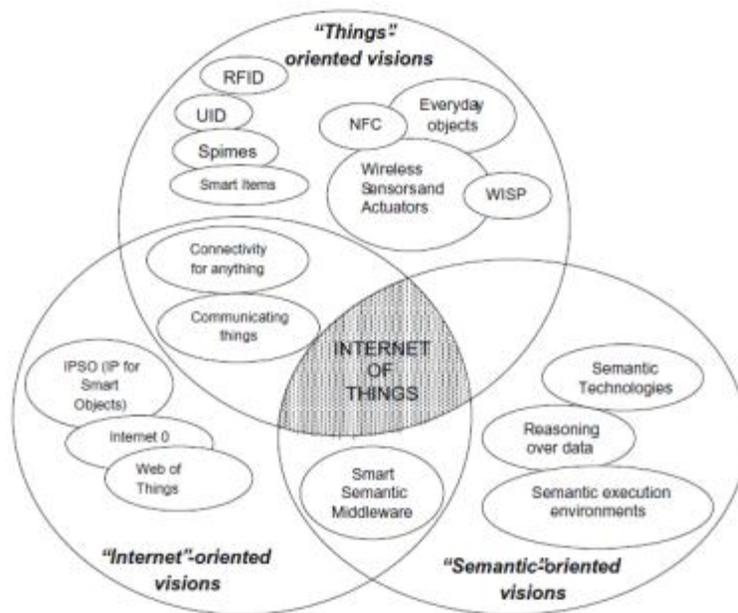


Figura 5. Las tres visiones del paradigma Internet of Things: orientado a las cosas, a Internet y a la semántica.

II.3.1 Visión orientada a las cosas

Esta visión se enfoca en las “cosas” (*things*) del Internet of Things, es decir, en los objetos inteligentes, sus características y requerimientos tanto de hardware como de software. Las investigaciones al respecto tratan con el diseño de objetos inteligentes, la experimentación con nuevas formas de interacción en entornos físicos aumentados, así como también el desarrollo de aplicaciones para usuarios potenciales.

Algunos de los primeros trabajos con esta orientación (Barret y Maglio, 1998; Want *et al*, 1999) han demostrado la utilidad de aumentar objetos cotidianos con tecnología, enlazando los objetos físicos del mundo real con representaciones virtuales o funcionalidad computacional. También se ha fomentado la creación de interfaces físicas que ayudan en el diseño y programación de objetos inteligentes (Greenberg y Fitchett, 2001), con lo cual se facilita la experimentación en esta área.

Otros trabajos como Muguira *et al* (2009) y Welbourne *et al* (2009) son ejemplos de la interacción directa con objetos inteligentes. Los autores experimentan con objetos

aumentados que pueden acceder a información almacenada en sitios web para enriquecer la experiencia del usuario (ver Figura 6).

Las consideraciones y metodologías de diseño para objetos inteligentes son importantes para este nuevo tipo de interacciones. Estos aspectos se han resaltado con propuestas para la clasificación de objetos inteligentes (Kortuem *et al*, 2010) y con pautas a seguir durante el desarrollo de estos objetos aumentados con tecnología (Kranz *et al*, 2010; Guerrero *et al*, 2010).



Figura 6. Objetos aumentados con tecnología. De izquierda a derecha: a) RFIDGlove (guante con lector de RFID y mini-pantalla), b) iCompass (artefacto con RFID y una manecilla que marca el clima mediante un servicio meteorológico por Internet).

II.3.2 Visión orientada a Internet

Esta visión está orientada a la infraestructura de respaldo necesaria para formar una Internet con los objetos inteligentes y sus aplicaciones. Debido a esto, la investigación bajo esta visión se enfoca en protocolos de comunicación, arquitecturas y tecnologías de redes para los objetos inteligentes, así como en servicios que hacen uso de esta infraestructura.

Trabajos realizados al respecto incluyen a Tan y Wang (2010), que proponen una arquitectura para la Internet of Things (ver Figura 7) desde un punto de vista sistemático, es decir, en vez de tener una red de objetos interconectados, los autores plantean la Internet of Things como una red de sistemas que hacen uso de los objetos inteligentes.

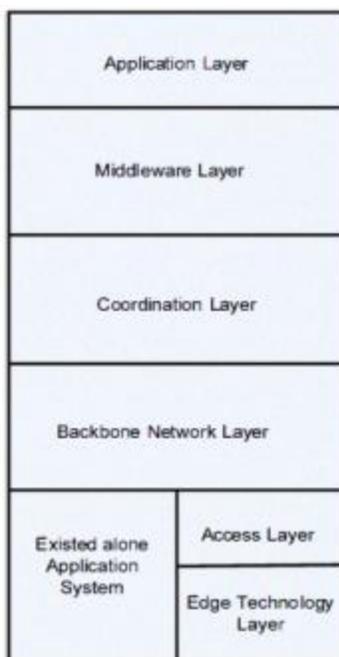


Figura 7. Propuesta de una arquitectura para Internet of Things (Tan y Wang, 2010)

Otras investigaciones promueven el uso de protocolos y tecnologías existentes de Internet, tales como los protocolos IP y HTTP. Por ejemplo, Castellani *et al* (2010) utilizan el protocolo 6LoWPAN (Hui y Culler, 2008), que permite integrar el protocolo IP en dispositivos de bajo consumo energético y capacidad de procesamiento limitada. Los autores utilizan este protocolo con una red WSN (Red Inalámbrica de Sensores, por sus siglas en inglés “Wireless Sensor Network”) para poder acceder a servicios web de monitoreo ambiental.

El potencial que tienen los objetos inteligentes de reutilizar los estándares actuales de Internet para proporcionar información a través de servicios web ha inspirado el concepto de *Web of Things* o “Web de las Cosas”. Se ha demostrado que el estilo de arquitectura REST (“Representational State Transfer”, por sus siglas en inglés) es una buena alternativa para que los objetos inteligentes formen parte de la Web en forma de servicios web simples y ligeros (Guinard *et al*, 2010a; 2010b). REST (Fielding, 2000) se basa en que cada objeto o entidad tiene un recurso web asociado y es accesible a través de

los métodos HTTP estándar (GET, POST, PUT, DELETE) mediante su URI (“Uniform Resource Identifier”, por sus siglas en inglés).

Es importante resaltar también que existe interés de la industria para promover el protocolo IP en objetos inteligentes, por lo que se ha formado la alianza IPSO⁴. Esta alianza tiene por objetivo apoyar a IETF⁵ (“Internet Engineering Task Force”, por sus siglas en inglés) en el desarrollo de estándares para comunicación con objetos inteligentes.

II.3.3 Visión orientada a la semántica

El término “*semántica*” se refiere a los aspectos del significado, sentido o interpretación del significado de un elemento. Por tanto, en esta visión se incluyen investigaciones relacionadas a la representación, almacenamiento, interconexión, búsqueda y organización de la información generada por los objetos inteligentes y su entorno, utilizando modelos para describir su significado. De esta forma, los objetos inteligentes pueden tener esquemas comunes para comprender la información y actuar de acuerdo a ella de manera autónoma.

Entre los trabajos orientados a la semántica se encuentra el de Lassila y Adler (2003), en el cual se define al artefacto semántico (*semantic gadget*) como un dispositivo capaz de realizar descubrimiento y utilización de servicios sin ningún tipo de ayuda o intervención, teniendo la posibilidad de formar coaliciones con otros artefactos.

Un concepto similar es planteado por Vázquez y López-de-Ipiña (2007), que proponen los dispositivos semánticos (*semantic devices*). Estos dispositivos son sistemas que de manera espontánea están conscientes de su información contextual, son capaces de razonar e interpretar dicha información a un nivel semántico, y finalmente son capaces de desarrollar un comportamiento reactivo.

Habilitar este tipo de comportamientos requiere tecnologías que puedan aprovechar la infraestructura para Internet of Things. En un análisis de este paradigma (Huang y Li,

⁴ <http://ipso-alliance.org/>

⁵ <http://www.ietf.org/>

2010), los autores concluyen que el paradigma Internet of Things puede pensarse como una aplicación especial de *Web Semántica*, por lo que las tecnologías de web semántica pueden ser aplicadas. En el capítulo III se explica este tema con mayor detalle.

II.4 Aplicaciones

Algunos ejemplos de aplicaciones del paradigma Internet of Things son:

- Transporte y logística. Servicios de salud. Hogares y oficinas inteligentes. Búsqueda de objetos (Atzori *et al*, 2010).
- Obtener información del estatus, ubicación e identidad de ciertos objetos presentes en el ambiente (Coetzee y Eksteen, 2011).
- Análisis de información, automatización y control. Obtener gran cantidad de datos de sensores para analizar construcciones o reportar condiciones ambientales. Cuidado de la salud. Consumo optimizado de recursos (Chui *et al*, 2010).
- Automatización industrial. Monitoreo ambiental y de personas. Sistemas de Transporte inteligentes. Automatización del hogar. Monitoreo de la salud (Vasseur y Dunkels, 2010).

II.5 Importancia

Como se puede observar en las secciones anteriores, el paradigma Internet of Things comprende un amplio rango de posibilidades y enfoques de investigación. De la misma manera que fue evolucionando la Internet, esta nueva red de objetos cotidianos aumentados con tecnología apenas está comenzando su evolución. Aunque todavía no se sabe qué

aplicaciones serán las de mayor utilidad o las de mayor impacto social, técnico y económico, este paradigma promete impactar en muchos sectores de la humanidad cuando millones de objetos cotidianos interconectados sean capaces de proveer información a las personas, al igual que ahora lo hacen las computadoras y otros dispositivos móviles.

II.6 Líneas abiertas de investigación

Aún faltan muchos problemas que abordar para el paradigma Internet of Things, por lo que algunas de las líneas abiertas de investigación son las siguientes (Poslad, 2009):

- Interacciones inteligentes entre objetos y sus entornos físicos aumentados, con el propósito de promover espacios más ricos, transparentes, personales y sociales.
- Interacciones con dispositivos móviles inteligentes y entornos aumentados mediante el diseño efectivo de interacción humano-computador.
- Dispositivos ecológicos, de bajo consumo energético.
- Mayor diversidad de interacciones entre humanos y dispositivos.
- Tecnologías para aumentar progresivamente las habilidades sensoriales del ser humano (realidad aumentada, realidad virtual, sensores).
- Impacto social de la tecnología.
- Modelos de interacción para aplicaciones de Internet of Things (Guinard *et al*, 2011).

- Manejo de múltiples contextos, interacción multimodal, herramientas de desarrollo (Kranz *et al*, 2010).

II.7 Conclusiones

En este capítulo se ha presentado el paradigma Internet of Things, sus conceptos y aplicaciones. Los trabajos del estado del arte han explorado diferentes enfoques de investigación, los cuales han dado forma a las 3 visiones del Internet of Things. Con esto se tiene un panorama general sobre el área de investigación de esta tesis y los problemas abiertos que se pueden abordar.

Hasta ahora, las investigaciones se han centrado principalmente en aumentar los objetos inteligentes, la conectividad y otros retos relacionados con aspectos de red, mientras que las propuestas a nivel de capa de aplicación existen en menor proporción. Esto se refleja en las líneas abiertas de investigación, que actualmente están más orientadas a buscar nuevas formas de interacción y aplicaciones para Internet of Things.

Por otra parte, en el apartado II.3.3 sobre la visión orientada a la semántica, se menciona que el paradigma Internet of Things puede verse como una aplicación especial de web semántica. En esta tesis se utiliza información semántica para interactuar con los objetos inteligentes, por lo que se requiere abordar este tema con mayor detalle. En el siguiente capítulo se describen los conceptos y tecnologías que forman parte de la web semántica.

Capítulo III

Web Semántica

III.1 Introducción

La *semántica* se refiere a los aspectos del significado de un determinado elemento, símbolo, palabra, expresión o representación formal, así como a las relaciones entre ellos. Los seres humanos son capaces de obtener nuevos conocimientos relacionando cualquiera de estos elementos. Por ejemplo, una persona fácilmente puede entender cómo llegar a un determinado lugar con solo preguntarle a otra persona o aprender algo nuevo con tan solo leer un libro. Esto es posible porque los humanos comprenden el significado de lo que perciben con sus sentidos a través de relaciones entre las palabras, figuras, sonidos y otros estímulos.

Esta capacidad natural ha permitido que las aplicaciones de cómputo y la Web funcionen tan bien hoy en día, porque los humanos son procesadores de información muy hábiles y flexibles. Ya sea que la información se presente en forma de imágenes, tablas, videos o texto, las personas son capaces de extraer la información importante y utilizarla para comprender y descubrir nuevas cosas. Sin embargo, esta heterogeneidad de fuentes de información es casi imposible de descifrar para las máquinas y sistemas en red que se enfrentan a una amplia variedad de representaciones de datos.

Ante esta situación, Berners-Lee *et al* (2001) proponen la *web semántica*, una web de datos por encima de la web de documentos o WWW (del inglés “World Wide Web”), cuyo propósito es facilitar a las máquinas comprender la semántica o el significado de la información. Esto consiste en aumentar la información disponible en las páginas web agregando una capa de información orientada específicamente a que las máquinas la

entiendan, con lo cual es posible crear un ambiente donde agentes de software pueden navegar de una página web a otra y realizar tareas sofisticadas a favor de los usuarios.

La web semántica sería una extensión de la web de documentos donde las computadoras pueden comprender los documentos y los datos, en vez del lenguaje humano. Así, los datos estarían perfectamente tejidos desde fuentes dispersas y se podría deducir nuevo conocimiento de sus relaciones.

Debido a esto, la web semántica se plantea como la siguiente evolución de la web, que comenzó con la creación de la web 1.0 (con los primeros sitios web, buscadores y servicios de correo electrónico), después la web 2.0 (con los foros, blogs y redes sociales) y finalmente la web 3.0, que sería la web semántica. Por tanto, se ha motivado el desarrollo de tecnologías especiales para esta etapa de la web, con el propósito de fomentar su implementación y evolución. En el siguiente apartado se describen estas tecnologías.

III.2 Tecnologías semánticas

Actualmente, el W3C⁶ (World Wide Web Consortium, por sus siglas en inglés), un organismo encargado de desarrollar estándares para la web, está ayudando a crear una pila de tecnologías de soporte para la web semántica (ver Figura 8). Cada componente está orientado a aspectos específicos, que en conjunto, proporcionan un marco de trabajo común para compartir y reutilizar datos entre diferentes aplicaciones. La pila todavía no está completa y faltan estándares para ciertos componentes, pero actualmente se pueden identificar tres capas, las cuales se explican en los siguientes sub-apartados.

⁶ <http://www.w3.org/>

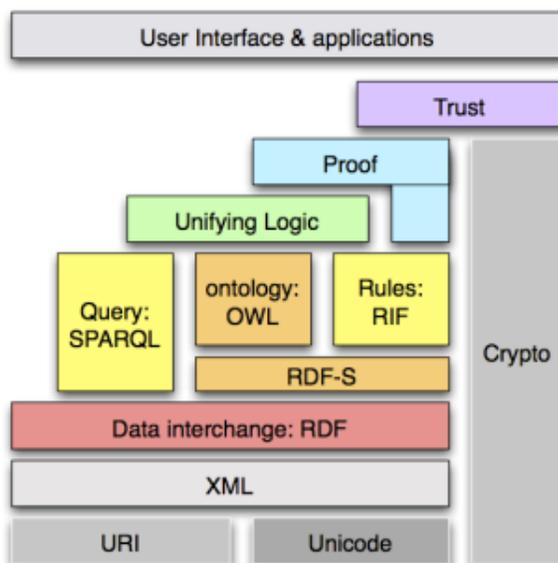


Figura 8. Pila de tecnologías para la web semántica propuesta por el W3C.

III.2.1 Tecnologías de hipertexto web

Esta capa se encuentra en la parte más baja de la pila de tecnologías semánticas y son estándares ya existentes en la web:

- **URI:** Es el identificador uniforme de recursos (Uniform Resource Identifier, en inglés). Una cadena de caracteres utilizada para identificar el nombre de un recurso en Internet, por lo que provee un medio para identificar de forma única recursos en la web semántica.
- **Unicode:** Es un estándar para codificar y representar texto expresado en los sistemas de escritura en diferentes idiomas.
- **XML:** Lenguaje de Marcado Extensible (Extensible Markup Language, en inglés). Es un conjunto de reglas para codificar documentos de manera estructurada en un

formato legible por las máquinas. Se utiliza principalmente para representar estructuras arbitrarias de datos, por ejemplo en servicios web.

- **Espacios de nombres XML:** Son utilizados para resolver ambigüedades entre elementos XML. Puede ocurrir que un documento XML tenga dos o más elementos con el mismo nombre pero que pertenecen a contextos diferentes, por lo que se definen espacios de nombres para especificar a qué contexto pertenece cada uno.

III.2.2 Tecnologías estándar de web semántica

En esta capa intermedia se encuentran las tecnologías que actualmente ya son estándares oficiales definidos por el W3C para aplicaciones web semánticas:

- **RDF:** Marco de trabajo para la descripción de recursos (Resource Description Framework, en inglés). Este estándar fue diseñado como un método general para modelar o describir conceptualmente la información de los recursos web, razón por la cual también se le conoce como *modelo semántico*. El modelado en RDF se basa en una estructura de grafo formada por tripletas, donde cada tripeleta representa la relación entre sus nodos (ver Figura 9).

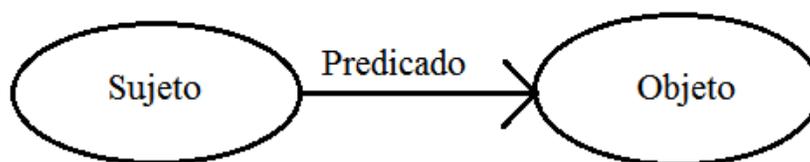


Figura 9. Grafo de un modelo RDF formado por una tripeleta sujeto-predicado-objeto. El arco que sale del nodo sujeto siempre apunta hacia el nodo objeto.

Por ejemplo, un grafo sencillo con solo dos tripletas podría ser:

- Rowling es autor de Harry Potter, y a su vez,
- Harry Potter es un Libro.

Así, se tiene el sujeto “Rowling”, los predicados “es autor de”, “es un”, además de los objetos “Libro” y “Harry Potter”. Éste último también hace la función de sujeto para la segunda tripleta. Gracias a estas relaciones de predicados, se puede deducir que “Rowling” es autor de un “Libro”, en este caso el libro es “Harry Potter”. A los predicados también se les conoce como “propiedades”.

- **RDFS o RDF Schema:** Es un conjunto de clases para extender el lenguaje RDF, con el propósito de definir vocabularios básicos. De esta forma es posible crear jerarquías de clases y propiedades de los nodos de un grafo RDF.
- **RDFa o RDF en atributos:** Es un estándar más reciente que permite agregar un conjunto de atributos a documentos web en XHTML. Estos atributos permiten incrustar modelos RDF dentro del mismo documento XHTML y posteriormente un agente usuario compatible puede extraer el modelo semántico de forma automatizada. Este estándar no abarca todavía los documentos web en HTML5.
- **OWL:** Lenguaje para ontologías web (Ontology Web Language, en inglés). Es una familia de lenguajes para definir ontologías. Una ontología, es una especificación formal y explícita de una conceptualización, en la cual se definen los conceptos, relaciones y otros elementos relevantes para el modelado de un dominio (Gruber, 1993). Esta especificación toma la forma de definiciones en un vocabulario (clases, relaciones, atributos, entre otras), las cuales proveen un significado para el vocabulario y restricciones formales para su uso. En este sentido, el lenguaje OWL extiende el de RDFS agregando elementos más avanzados para describir la semántica de los modelos RDF. También soporta la utilización de otras restricciones, tales como la cardinalidad, límite de valores o características como la transitividad, entre otras. Además, OWL está basado en la lógica descriptiva, por lo que es posible hacer inferencias sobre la información modelada en la ontología.

- **SPARQL:** Es un lenguaje para hacer consultas en los modelos RDF. Su nombre es un acrónimo de “SPARQL Protocol and RDF Query Language”, que en español significa: protocolo SPARQL y lenguaje de consulta RDF. Puede utilizarse con cualquier modelo de datos basado en RDF, incluyendo sentencias de RDFS y OWL. De esta forma, así como en las bases de datos se utilizan lenguajes especiales para hacer consultas sobre los datos (por ejemplo con SQL), la web semántica puede ser vista como una base de datos global, por lo que SPARQL es entonces el lenguaje de consulta especializado para la web semántica.

III.2.3 Tecnologías semánticas aún por determinar

En esta capa superior se encuentran las tecnologías que recién están en proceso de estandarización o que apenas son ideas generales de cómo deberían implementarse:

- **Soporte para reglas:** El uso de reglas para las ontologías es un factor importante para poder hacer inferencias y describir relaciones que no pueden establecerse solamente con lógica descriptiva mediante OWL o RDFS. De esta forma, es posible realizar inferencias más complejas. Por ejemplo, se puede tener la siguiente regla: *“si un libro tiene un código de barras y el código de barras tiene asignado un porcentaje de descuento, por consiguiente el libro tiene asignado un descuento”*. Actualmente existen propuestas para soportar el uso de reglas de inferencia en la web semántica, algunas de ellas son:
 - RIF (Formato de Intercambio de Reglas, del inglés “Rule Interchange Format”).
 - SWRL (Lenguaje de Reglas para Web Semántica, del inglés “Semantic Web Rule Language”).

Aunque inicialmente se veía el soporte para reglas de inferencias como una capa más para la web semántica, los avances actuales sobre lenguajes como RIF y SWRL están basados en la premisa de que ya existen bastantes lenguajes de reglas para

otros propósitos, por lo que en realidad se necesita solamente un mecanismo para intercambiar reglas entre ellos y así promover la interoperabilidad de reglas entre diferentes sistemas y aplicaciones.

- **Criptografía:** Es un elemento crítico para poder verificar y asegurar que las sentencias de un modelo semántico provienen de fuentes de confianza. Así como algunas páginas web de comercio electrónico utilizan certificados digitales para verificar y validar su identidad, una opción para habilitar la criptografía podría ser la implementación de modelos RDF firmados digitalmente.
- **Lógica unificadora, pruebas y confianza:** Bajo estas categorías se necesitan mecanismos para verificar si la información de un modelo semántico es válida, mediante la aplicación de algún tipo de comprobación autónoma que pueda determinar si el significado de los datos y sus relaciones son correctas. Esta categoría de tecnologías semánticas también se encuentra en fase de investigación.
- **Interfaces de usuario:** La parte final de la pila de tecnologías semánticas, involucra la creación de nuevas interfaces de usuario y aplicaciones que aprovechen la información semántica, además de agentes de software autónomos que faciliten a los usuarios en sus tareas de navegación y búsqueda de información.

III.5 Conclusiones

En este capítulo se presentaron los conceptos y tecnologías necesarias para desarrollar aplicaciones semánticas. Si bien, la pila de tecnologías semánticas todavía no está terminada, es posible utilizar las tecnologías existentes para explorar nuevas aplicaciones y proponer novedosos usos para la información semántica.

Esta es un área en constante evolución, por lo que los proyectos de investigación que utilicen semántica pueden servir también como casos de uso y experiencias que apoyen

el desarrollo de los estándares que hacen falta, a través de la retroalimentación de las necesidades y problemas detectados durante la implementación de las tecnologías semánticas, así como el modelado de ontologías para diferentes dominios de aplicación.

En esta tesis se hace uso de la información semántica para interactuar con los objetos inteligentes del Internet of Things. Para esto, se utiliza un navegador especial llamado “visor sensorial”, del cual ya existe trabajo previo. Por tanto, en el siguiente capítulo se explican los antecedentes de esta investigación en el Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo de CICESE.

Capítulo IV

Visores Sensoriales

IV.1 Introducción

Dentro de las líneas abiertas de investigación en el paradigma Internet of Things (ver Apartado II.6), se puede identificar que una necesidad principal es la de explorar nuevas formas de interacción con los objetos inteligentes. Esto conlleva desarrollar sistemas e interfaces de usuario que aprovechen las características de un entorno físico aumentado, es decir, que sean capaces de comunicarse con los objetos inteligentes, acceder a sus servicios, procesar sus datos y por último, dar al usuario una respuesta en función de la información obtenida.

En el Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo de CICESE se ha estado trabajando en esta línea de investigación durante los últimos cuatro años, con el proyecto del “visor sensorial”. Este proyecto nace con la idea de tener un sistema capaz de navegar el Internet of Things, de forma similar a como actualmente las personas utilizan un navegador para acceder a sitios web en Internet.

El visor sensorial es entonces un navegador universal para el Internet of Things, destinado a ejecutarse en dispositivos móviles, tales como los teléfonos inteligentes y computadoras tipo tableta (ver Figura 10). No obstante, un factor importante para crear un navegador de este tipo, es la infraestructura de soporte necesaria para respaldar la funcionalidad que pueda tener el visor sensorial. Debido a esto, el trabajo de investigación en este proyecto involucra considerar aspectos (por ejemplo, de comunicación, interacción, percepción del entorno, entre otros) tanto en la parte del cliente como en la parte del servidor o diversos servidores, formando así un sistema distribuido sobre la red.



Figura 10. Utilización de un visor sensorial para interactuar con un objeto inteligente.

IV.2 Antecedentes

Los primeros trabajos orientados hacia el concepto del visor sensorial estuvieron enfocados en aplicaciones específicas y a la comunicación con servicios de infraestructura. La motivación del grupo de investigación era proveer herramientas para facilitar el acceso a fuentes de datos sensoriales, tales como sensores individuales y redes de sensores, con lo cual sería más sencillo desarrollar aplicaciones de cómputo ubicuo. A continuación se mencionan estos antecedentes.

IV.2.1 Concepto e infraestructuras sensoriales

Avilés López y García Macías (2008) plantearon el uso de una arquitectura orientada a servicios llamada TinySOA, con el propósito de facilitar el acceso a datos de redes inalámbricas de sensores (WSN, por sus siglas en inglés “Wireless Sensor Networks”) y RFID. La principal ventaja de TinySOA es que la lectura de los sensores se hace a través de servicios web y además soporta diferentes plataformas de hardware RFID.

Por tal motivo, esta plataforma proporciona un mayor nivel de abstracción, así como una integración más transparente y sencilla para desarrollar aplicaciones que aprovechen los datos percibidos por los diferentes sensores. En la Figura 11 se muestra una aplicación con esta infraestructura.

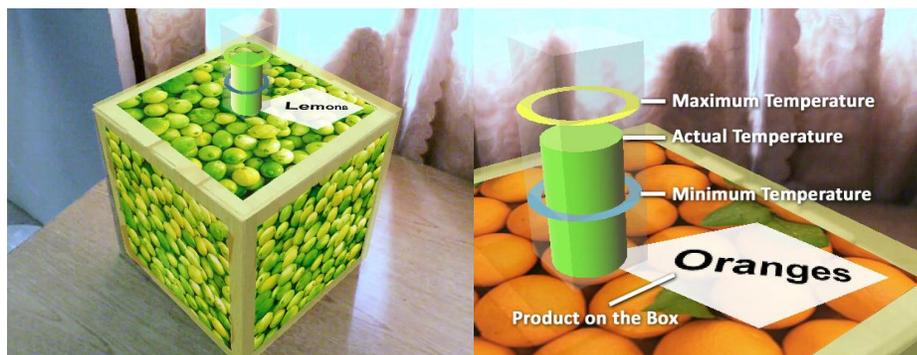


Figura 11. Visualizando la temperatura y contenido de una caja inteligente a través de la cámara de un dispositivo móvil (izquierda: caja con limones; derecha: caja con naranjas). La información es obtenida con TinySOA.

Posteriormente se propone UbiSOA (Avilés López y García Macías, 2009) como una evolución de TinySOA. UbiSOA es una plataforma orientada a servicios compuesta de diferentes recursos y herramientas que permiten acceder a redes WSN, RFID y además servicios web de terceros, tales como Google Maps o Twitter. Una característica notable de UbiSOA es que las aplicaciones se pueden desarrollar mediante *mashups*. Un mashup es una aplicación web que combina datos, presentaciones y funcionalidades desde diferentes fuentes para crear nuevos servicios. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de mashup con UbiSOA.

Motivado por estos trabajos, se empiezan a idear aplicaciones que hagan uso de los servicios proporcionados por estas plataformas, por lo que se concibe el término visor sensorial en Avilés López *et al* (2009). Para esto, los autores presentan algunos escenarios de uso enfocándose en aplicaciones para el cuidado de adultos mayores. Por ejemplo, una aplicación que ayuda al usuario a controlar la ingesta de sus medicamentos (ver Figura 13).



Figura 12. Aplicación mashup desarrollada con UbiSOA. Los servicios web disponibles están representados con rectángulos. La aplicación se crea arrastrando servicios hacia el área central de la interfaz y conectándolos mediante líneas.

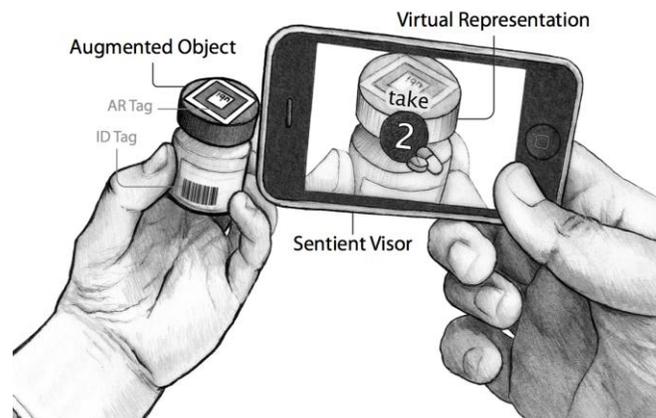


Figura 13. Concepto de uso del visor sensorial para recordar la cantidad de medicamento que debe tomar la persona.

Aunque en estas investigaciones ya se hablaba del visor sensorial, en realidad eran tan solo aplicaciones aisladas. Por lo que aún no era posible hablar de una plataforma genérica o universal para navegar en el Internet of Things. Sin embargo, estos primeros

trabajos sirvieron para explorar diferentes infraestructuras de soporte, haciendo resaltar los diferentes entornos físicos aumentados que pueden existir en diferentes dominios de aplicación.

IV.2.2 Marco de desarrollo para visores sensoriales

A partir de las experiencias anteriores, los esfuerzos de investigación se guiaron hacia la creación de una plataforma genérica para crear aplicaciones de visores sensoriales. Como resultado, se propone un marco de desarrollo para visores sensoriales (Álvarez Lozano, 2010). En la Figura 14 se muestra la arquitectura propuesta en dicho trabajo.

Con esta plataforma se pueden desarrollar aplicaciones capaces de identificar objetos inteligentes a través de códigos QR (del inglés “Quick Response”), obtener información de ellos y también descubrir otros servicios de red disponibles en el entorno. Además, permite presentar información al usuario de manera multimodal, esto es, en formato de imágenes, audio o texto en pantalla.

Como ejemplo de una aplicación implementada, se tiene el escenario de control de ingesta de medicamentos, donde un adulto mayor utiliza el visor sensorial para consultar la dosis y hora de ingesta del medicamento en caso de no recordarlo (ver Figura 15).

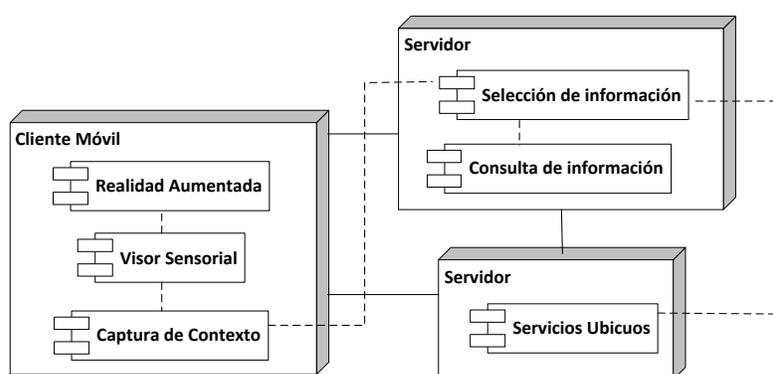


Figura 14. Arquitectura de la plataforma visor sensorial.



Figura 15. Aplicación de visor sensorial para el control de ingesta de medicamentos.

Las aplicaciones pueden realizar inferencias en base a las preferencias del usuario, para elegir el contenido y presentación de la información. Siguiendo con el ejemplo de la aplicación para la ingesta de medicamentos, el motor de inferencias de la plataforma infiere qué tipo de presentación es más adecuada para el usuario, es decir, si prefiere una gráfica, un mensaje de audio o simplemente texto en la pantalla del dispositivo. Para esto, maneja una ontología donde se describen los perfiles de los usuarios con sus preferencias de presentación y los conceptos relacionados a los dominios de aplicación.

Una vez que el motor de inferencias tiene la respuesta, le envía un documento RDF a la aplicación de visor sensorial, el cual contiene el contenido y tipo de presentación que la aplicación debe mostrarle al usuario.

Por último, la información es presentada en la pantalla del dispositivo utilizando la técnica de realidad aumentada, que se refiere a la superposición de imágenes y otras entidades virtuales en el flujo de video mientras se observa con la cámara de un dispositivo. Así, se logra simular que los objetos virtuales coexisten en el mismo espacio que los objetos del mundo real, aumentando la percepción del usuario (Azuma *et al*, 2001).

IV.2 Navegación física

La navegación es una metáfora utilizada comúnmente para referirse a cómo los usuarios interactúan en la web, moviéndose a través del espacio de información de diversos sitios web. Sin embargo, cuando ya no solo se interactúa con documentos web sino también

con los objetos físicos del Internet of Things, el concepto de navegación tiene que contemplar la combinación de información del mundo físico con Internet, dando lugar a la “navegación física” (Ailisto *et al*, 2006).

La navegación de espacios físicos no es algo nuevo. Algunos de los primeros sistemas móviles de realidad aumentada como NaviCam (Rekimoto, 1995) y Touring Machine (Feiner *et al*, 1997) ya permitían explorar el entorno y visualizar información sobre ciertos objetos dentro de la línea de vista de la cámara (ver Figura 16).



Figura 16. De izquierda a derecha: a) El sistema *Touring Machine* utilizado en el campus de una universidad, b) El sistema *NaviCam* mostrando información de una pintura en un museo.

Newman *et al* (2001) diseñaron un sistema de localización para interiores en un edificio, con el fin de poder determinar la ubicación de objetos, personas y otras entidades. El sistema muestra mediante realidad aumentada, información asociada a dichas ubicaciones, ya sea utilizando una pantalla montada en la cabeza o una PDA (ver Figura 17). Además, diseñaron un modelo de software donde cada objeto del modelo corresponde a un objeto del mundo real.

No obstante, estos sistemas de navegación no pueden encontrar y utilizar los servicios de objetos inteligentes. Otra de las desventajas es el hardware que utilizaban. Aunque estaban pensados como sistemas móviles, requerían de hardware con dimensiones poco prácticas. Hoy en día este factor técnico es un problema menor debido a la diversidad



Figura 17. De izquierda a derecha: a) Sistema de realidad aumentada con pantalla montada en la cabeza, b) Sistema de realidad aumentada en una PDA.

de teléfonos inteligentes con suficiente capacidad para este tipo de aplicaciones. Por esta razón, Wright (2009) ha propuesto el uso de los teléfonos inteligentes para aplicaciones conscientes del contexto, capaces de seguir el comportamiento del usuario, anticiparse a sus intenciones y proporcionar información sobre el entorno. Además, plantea el uso de realidad aumentada como medio de interacción para el usuario.

Recientemente han estado saliendo al mercado navegadores de realidad aumentada para teléfonos inteligentes, tales como Layar⁷, Nokia Point & Find⁸ y Wikitude⁹ (ver Figura 18 y 19). Aunque este tipo de navegadores también están orientados a la navegación física, no pueden ser considerados como navegadores para Internet of Things, ya que carecen de capacidad para interactuar con objetos inteligentes. Se enfocan principalmente en aplicaciones basadas en localización por GPS y etiquetas virtuales para referenciar atracciones turísticas o lugares de interés en las ciudades, pero no toman en cuenta que los objetos individuales pueden proveer servicios por sí solos.

⁷ <http://www.layar.com>

⁸ <http://pointandfind.nokia.com>

⁹ <http://www.wikitude.com>



Figura 18. Wikitude mostrando una etiqueta virtual sobre la Casa de la Ópera en Sydney, Australia.

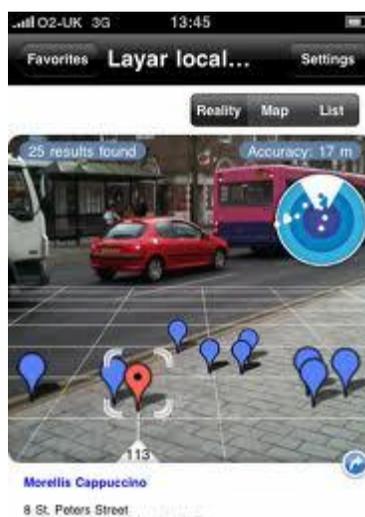


Figura 19. Layar mostrando diferentes etiquetas virtuales sobre un negocio de café etiquetado en una calle.

Por otra parte, Ajanki *et al* (2010) desarrollaron una plataforma de realidad aumentada que infiere información relevante sobre objetos, personas y el entorno, basándose en señales de voz y la mirada del usuario. Mientras que Schmalstieg y Reitmayr (2007) proponen utilizar la realidad aumentada como medio de interacción con el mundo real y visualizar información del contexto. Ambos trabajos presentan aplicaciones de navegación para visualizar información de lugares de interés (ver Figura 20 y 21). Sin embargo, tampoco toman en cuenta la localización de los objetos inteligentes ni el acceso a sus servicios.



Figura 21. Aplicación de guía virtual mostrando información sobre una persona y sus intereses de investigación.

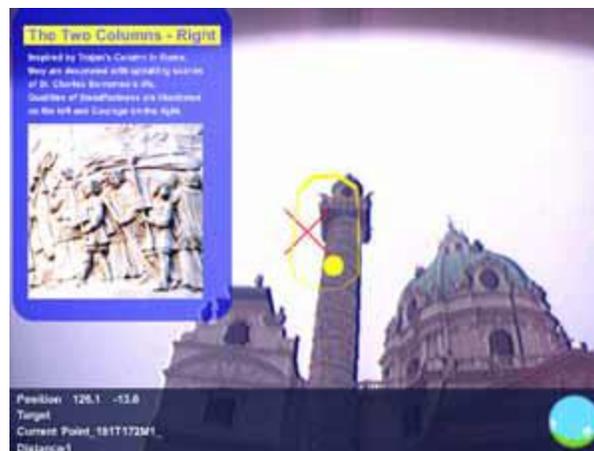


Figura 20. Aplicación de guía turística, mostrando información sobre un monumento histórico.

Otro proyecto de navegación física es CoolTown (Kindberg *et al*, 2002), el cual explora una infraestructura para dar soporte a la presencia web de personas, lugares y objetos, almacenando información sobre ellos en servidores web, además de empotrar servidores web en algunos objetos, tales como impresoras. Así, una persona puede utilizar una PDA en lugares donde está habilitada la presencia web y acceder a los servicios disponibles para consultar información local. Este proyecto fue uno de los primeros en

explorar el concepto de una plataforma universal para interactuar con los objetos del mundo real.

En un trabajo similar, Kooper y MacIntyre (2003) presentan el prototipo de un sistema de realidad aumentada para navegar la RWWW (del inglés, “Real-World Wide Web”). Los autores llaman de esa forma a la mezcla de la web con el mundo físico. Así, este sistema es presentado como un navegador para la RWWW, con el propósito de explorar una interfaz que permita a los usuarios mantener una conciencia espacial continua de la información virtual que los rodea en el espacio físico.

Para esto, los autores también definen una serie de restricciones de diseño para el navegador de la RWWW, que son el manejo de datos continuamente cambiando, seguridad, heterogeneidad de datos, no interferencia y una mínima interacción. En la Figura 22, se muestra la interfaz de ese sistema. Cabe señalar que el navegador RWWW comparte similitud con la Touring Machine (Feiner *et al*, 1997) y utiliza algunas de sus características. Esto es porque anteriormente el autor trabajó en ese sistema.

Aunque el navegador RWWW parece un mejor candidato como plataforma universal para navegar el Internet of Things, en realidad su funcionamiento se asemeja más a una versión primitiva de los navegadores como Layar y Wikitude, debido a que se basa en mostrar anotaciones o mensajes virtuales en el espacio físico, dependiendo de la ubicación y la orientación de la vista. Además, no posee mecanismos para identificar objetos

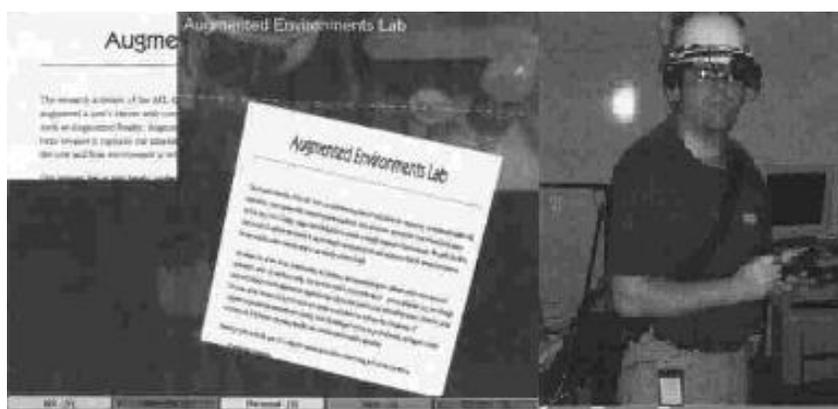


Figura 22. Una persona utilizando el navegador RWWW. Izquierda: Interfaz de realidad aumentada mostrando etiquetas virtuales con información asociada a la ubicación. Derecha: El sistema conformado por una pantalla montada en la cabeza y una PDA.

inteligentes de manera individual y tampoco para acceder a sus servicios.

Durante el desarrollo de esta tesis se publicó otro trabajo de navegación física que comparte la misma idea del visor sensorial. Este trabajo es el de Roduner y Langheinrich (2010), en el cual se propone un marco de trabajo pensado como un navegador para el Internet of Things, utilizando un teléfono celular.

Los autores proponen exponer la funcionalidad de los objetos inteligentes en forma de “applets”, es decir, pequeñas aplicaciones que se ejecutan en el navegador, mientras que la identificación de los objetos inteligentes y la comunicación se realiza mediante NFC, Bluetooth o también HTTP. Los applets son implementados con el lenguaje Lua¹⁰, por lo que el navegador incluye un intérprete para ejecutarlos. En la Figura 23 se muestra un ejemplo de una aplicación con este navegador.



Figura 23. Aplicación para operar una máquina de café con un teléfono celular. La comunicación entre el teléfono y la máquina se simula utilizando una conexión Bluetooth con una computadora.

El funcionamiento del navegador se basa en que una vez identificado un objeto, se descarga el applet asociado a dicho objeto y lo ejecuta en el celular, a partir de entonces ya se puede interactuar con los servicios del objeto. Hay que resaltar que a diferencia de los demás trabajos de navegación física descritos anteriormente, éste no utiliza realidad aumentada para la interfaz de usuario.

Por otra parte, requiere forzosamente implementar applets para los objetos inteligentes. Esto puede servir para que el navegador interactúe con cualquier objeto,

¹⁰ <http://www.lua.org>

incluso si jamás había interactuado con uno, pero se obliga al navegador a descargar una aplicación diferente cada vez, para cada objeto.

IV.3 Conclusiones

En este capítulo se han presentado los antecedentes de investigación sobre el visor sensorial, así como los trabajos del estado del arte relacionados a la navegación física en entornos aumentados. Como se ha explicado hasta ahora, la idea del visor sensorial es tener un navegador universal para interactuar con los objetos inteligentes del Internet of Things y aunque las investigaciones abordadas en este capítulo contemplan ciertos aspectos relevantes para este objetivo, la mayoría de ellos no consideran el acceso a los servicios de los objetos inteligentes y su localización.

Es importante resaltar que los trabajos relacionados con navegación física no han utilizado información semántica, a pesar de que el uso de tecnologías semánticas es una de las tres visiones del Internet of Things. Esta tesis utiliza un enfoque orientado a los objetos y a la semántica con el visor sensorial, por lo que constituye un trabajo más acorde al paradigma Internet of Things y las líneas abiertas de investigación.

En el trabajo de Álvarez Lozano (2010) se utilizó una ontología y RDF para que las aplicaciones infieran la presentación de la información, por lo que en esta tesis se da continuidad al proyecto del visor sensorial, extendiendo el uso de la semántica hacia el descubrimiento de servicios y la interacción con los objetos inteligentes.

Implementar nuevos mecanismos de interacción para Internet of Things requiere considerar ciertos aspectos para la navegación que pueden o no ser relevantes para el Internet tradicional. Por tanto, en el siguiente capítulo se explican las consideraciones de diseño para el navegador visor sensorial y los nuevos mecanismos de interacción utilizando información semántica.

Capítulo V

Diseño de Mecanismos de Interacción Utilizando Información Semántica

V.1 Introducción

De los trabajos sobre navegación física analizadas en el capítulo anterior, se encontró que un requerimiento importante es poder lidiar con la heterogeneidad de objetos inteligentes y sus servicios, así como aprovechar la visión orientada a la semántica del paradigma Internet of Things. El visor sensorial, como un navegador universal para Internet of Things, debe soportar mecanismos de interacción genéricos para poder hacer frente a esta necesidad, así como la infraestructura de soporte requerida.

En este capítulo, se abordan las consideraciones de diseño para implementar los mecanismos de interacción del visor sensorial, utilizando información semántica. Para esto, primero se explican las diferencias que existen entre navegar el Internet tradicional y el Internet of Things. Después, se describen algunos escenarios pertenecientes a dominios de aplicación del Internet of Things, ya definidos en la literatura, con los cuales se ejemplifica el uso del visor sensorial. Posteriormente, se propone el espacio de diseño del visor sensorial y se definen los requerimientos técnicos para los mecanismos de interacción. Además, se describen los componentes de la arquitectura del visor sensorial y el diseño de una ontología, con la cual se modeló la información semántica de los escenarios de aplicación.

Para modelar las entidades involucradas en el funcionamiento del visor sensorial se utilizó UML (Lenguaje Unificado de Modelado, por sus siglas en inglés “Unified Modeling Language”), que es un lenguaje para visualizar, especificar, construir y documentar los

artefactos de un sistema que involucra una gran cantidad de software (Booch *et al*, 1998). UML incluye diagramas de casos de uso, de secuencia, de emplazamiento, entre otros.

V.2 Internet tradicional versus Internet of things

Navegar el espacio de información del Internet of Things constituye una mezcla de entidades virtuales y objetos cotidianos con diferentes capacidades, mientras que en el Internet tradicional solamente se tienen computadoras y documentos web. Debido a esto, se pueden encontrar algunas diferencias para navegar el espacio de información. A continuación se explican estas diferentes, las cuales se resumen en la Tabla I.

Tabla I. Diferencias entre el Internet tradicional y el Internet of Things

Característica	Internet	Internet of Things
Proximidad	Irrelevante	Objetos locales generan información
Física	Objetos físicos “pueden” estar conectados	Objetos físicos “deben” estar conectados
Interactividad	Limitada a interfaces de usuario en dos dimensiones	Objetos físicos + información, pueden agregar otras dimensiones de interacción
Semántica	Necesaria para mejores búsquedas	Necesaria para mejores búsquedas e interacciones
Descubrimiento de servicios	Descubrimiento de servicios web	Descubrimiento de servicios web + ubicación

- **Proximidad:** En el Internet tradicional normalmente es irrelevante donde reside un documento web, es decir, no importa si se encuentra en un servidor local o en un servidor de otro país. En general, al usuario no le interesa de donde proviene la información geográficamente. En cambio, en el Internet of Things, los usuarios pueden necesitar saber exactamente qué objetos inteligentes se encuentran en los alrededores. Por tanto, la ubicación de la información es relevante.
- **Física:** No solo las computadoras deben conectarse a Internet, sino todos los objetos cotidianos. En cierta forma ya se pueden conectar algunos aparatos

electrónicos como televisores, refrigeradores y teléfonos celulares. Sin embargo, en el Internet of Things es vital tener todos los objetos cotidianos interconectados (por ejemplo, muebles, electrodomésticos, automóviles, empaques con comida, libros, medicinas, etc.), aumentándolos con capacidades de cómputo y comunicación. Así, las entidades físicas se vuelven igual de importantes que las entidades virtuales (software).

- **Interactividad:** En el Internet tradicional los navegadores hacen uso de metáforas simples para interfaces de usuario utilizando HTML o también tecnologías más interactivas como Flash y JavaScript. Sin embargo, la navegación en el Internet of Things involucra la información y el espacio físico, agregando nuevas dimensiones a las interacciones. Por ejemplo, manipular directamente un objeto inteligente o visualizar cierta información dependiendo de la proximidad del objeto.
- **Semántica:** En el Internet tradicional se aprovechan las relaciones de significado entre los datos para realizar búsquedas más eficientes e interacciones entre diferentes aplicaciones. Un ejemplo de esto es la web semántica. En el Internet of Things, la semántica puede ser utilizada de formas mucho más complejas para identificar las propiedades de un objeto inteligente, seleccionar la interacción adecuada o incluso inferir información del contexto. Esta característica es muy importante para desarrollar sistemas proactivos en el Internet of Things.
- **Descubrimiento de servicios:** Los agentes de software son elementos importantes de la web semántica porque ayudan a descubrir automáticamente ciertos servicios. En el Internet of Things los objetos físicos pueden ser implementados como servicios, donde su ubicación tiene especial relevancia. Por ejemplo, un usuario puede estar interesado solo en los servicios más cercanos de ciertos objetos.

V.3 Escenarios de aplicación

Los siguientes escenarios fueron ideados en base a dominios de aplicación para el Internet of Things que están identificados en la literatura (ver Figura 24). Los escenarios se encuentran enfocados a actividades de la vida cotidiana en las que es factible y realista utilizar un teléfono inteligente.

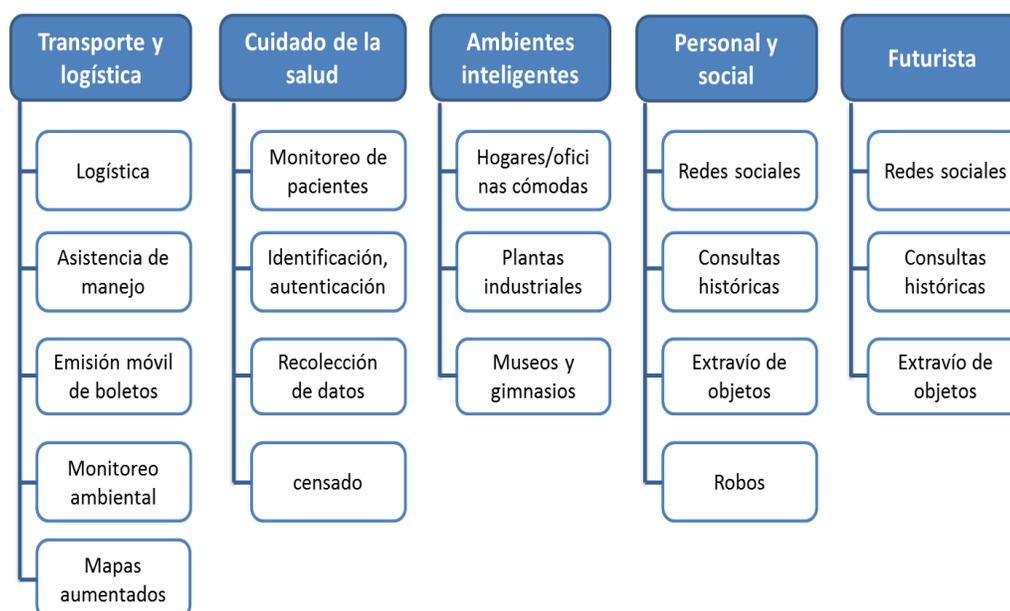


Figura 24. Dominios de aplicación del Internet of Things (Atzori et al, 2010).

V.3.1 Monitoreo de plantas

La señora Rodríguez es una mujer de 60 años que ya está jubilada y actualmente tiene mucho tiempo libre. Por las mañanas gusta de regar su jardín y cuidar sus flores. Sus hijos le han regalado algunas flores que requieren cuidados especiales, ya que les afecta mucho el sol y la falta de humedad. La señora Rodríguez olvida con frecuencia qué día le toca regar cada planta en particular porque está comenzando a tener dificultades con su memoria. Esto no representa un problema porque ella tiene un teléfono celular nuevo, obsequio de sus hijos, el cual tiene instalado un visor sensorial. La señora Rodríguez utiliza

su celular cuando sale al jardín y apunta hacia determinada maceta donde tiene las flores. Entonces, el visor sensorial le muestra la imagen de una planta feliz porque la maceta tiene el nivel de humedad óptimo. Cuando el visor sensorial le muestra una planta triste, significa que la planta necesita agua. También puede verificar el nivel de humedad y la temperatura de las plantas con solo tocar un botón en la pantalla del celular.

En la temporada más calurosa, la señora Rodríguez trata de no salir mucho al jardín, así que utiliza el visor sensorial para monitorear sus plantas, sentada en el sillón de su sala. Solo requiere utilizar una función del visor sensorial para conectarse a las macetas de su jardín y poder ver la información para cada una de sus plantas. Así, la señora Rodríguez puede decidir salir al jardín solamente cuando alguna planta requiere agua.

V.3.2 Control universal de electrodomésticos

La familia Hernández acostumbra ver una película en familia todos los domingos en la sala de su hogar. Sin embargo, con frecuencia tienen dificultades técnicas para verla. Esto sucede porque el señor Hernández tiene un control remoto para la televisión y otro control para el reproductor de películas. Además, tiene un control para el aire acondicionado y otro para el abanico de techo. Como consecuencia, ha sucedido que a mitad de media película, el señor Hernández quería encender el aire acondicionado o el abanico, y por error utilizó el control equivocado, deteniendo la reproducción de la película.

El señor Hernández podría usar el visor sensorial como un único control universal. De esta forma, solo se requiere que los electrodomésticos del hogar expongan sus funciones a través de servicios web. Entonces, el visor sensorial puede detectar los servicios de los electrodomésticos presentes en la ubicación actual y acceder a ellos para utilizarlos. Así, no sería necesario tener un control remoto para cada aparato.

Por otra parte, gracias a que el señor Hernández utiliza su visor sensorial, cuando alguien toca el timbre de su hogar en plena película, no es necesario que se levante y vaya hasta la entrada de la casa para ver quién llegó. En vez de eso, simplemente utiliza el visor

sensorial para acceder a la cámara que tiene integrada la puerta frontal de su casa y automáticamente empieza a ver con video en su celular, a la persona que está tocando.

V.3.3 Asistente social de compras

Sara es una mujer de 26 años que le gusta ir de compras y estar al tanto de sus amistades. Ella acaba de instalar recientemente un visor sensorial en su celular. Saliendo de su trabajo se dirige hacia un supermercado para comprar un nuevo producto que vio en la televisión. Cuando Sara se detiene para ver el producto, apunta con la cámara del celular hacia el producto en cuestión para identificarlo. Entonces, el visor sensorial le muestra información del producto en base a sus preferencias (por ejemplo, un gráfico con la información nutrimental) y también le dice si el producto es recomendable para ella. Si Sara desea saber más sobre la recomendación del producto, solo tiene que oprimir un botón en la pantalla del celular y el visor sensorial le muestra quiénes de sus amigos lo han comprado o recomendado, accediendo a una red social como Facebook u otra. Gracias a esto, Sara elige llevarse el producto con confianza y el visor sensorial publica un mensaje en su red social. Además, cuando alguno de sus amigos vaya a buscar el mismo producto y utilice su visor sensorial, podrá ver que ella lo ha comprado también.

V.4 Espacio de diseño

Tomando en cuenta las diferencias que existen en el Internet of Things con respecto al Internet tradicional, las experiencias del grupo de investigación sobre el proyecto visor sensorial, así como también los escenarios de aplicación y prototipos de investigaciones pasadas, se hizo un análisis mediante un grupo de discusión. Con esto, se logró definir un espacio de diseño constituido por seis dimensiones que deben ser consideradas para desarrollar visores sensoriales (ver Figura 25):



Figura 25. Las seis dimensiones del espacio de diseño para desarrollar visores sensoriales.

- **Identificación de objetos y descubrimiento de servicios:** El visor sensorial debe poder identificar los objetos inteligentes que existen en el entorno. Esta identificación puede efectuarse ya sea por medios visuales (por ejemplo, con códigos de barra, códigos QR, técnicas de visión artificial) o por medios electrónicos (por ejemplo, con RFID o NFC). Así, mientras el visor sensorial se ejecuta en un dispositivo, puede acceder a la cámara de video o a sus interfaces de comunicación para llevar a cabo esta tarea. Una vez que el objeto inteligente es identificado, el visor sensorial debe ser capaz de descubrir los servicios asociados al objeto y así poder acceder a una mayor cantidad de información. Estos son necesariamente los primeros pasos para interactuar con un objeto inteligente.
- **Conciencia del contexto:** El contexto se define como cualquier información que puede utilizarse para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad puede ser una persona, lugar u objeto, que es considerado relevante para la interacción entre el usuario y la aplicación, incluyendo al usuario y a la aplicación misma (Dey, 2001). Así, el visor sensorial debe poder aprovechar los datos percibidos desde diferentes

fuentes, tales como acelerómetros, micrófonos, parámetros ambientales, eventos y otros datos contextuales, con el fin de determinar el significado de esta información y poder reaccionar de acuerdo a ella. Con este tipo de comportamiento adaptativo, el visor sensorial puede presentar información personalizada a los usuarios o incluso activar la ejecución automática de algún servicio.

- **Razonamiento contextual:** En los navegadores de Internet actuales, la interacción se realiza comúnmente mediante captura de texto, gestos táctiles y áreas para oprimir (por ejemplo, botones o hiperenlaces). Sin embargo, en el Internet of Things, un visor sensorial debe ser capaz de reaccionar a entradas más sutiles que no son importantes para un navegador tradicional, tales como apuntar hacia algún lugar, la hora actual, el género del usuario o identificar el propietario de cierto objeto. Esta información, junto con otros datos contextuales, puede servir para inferir eventos espaciales y temporales, actividades temáticas o incluso quizás los objetivos del usuario. Por tanto, el visor sensorial debe tener capacidad de realizar razonamiento contextual.
- **Información multimodal:** La interacción con los objetos inteligentes puede ocurrir en diferentes situaciones y ubicaciones. Por tanto, el visor sensorial debe poder manejar información multimodal, adaptando las entradas y salidas de acuerdo a las preferencias del usuario. Por ejemplo, un usuario puede preferir utilizar comandos de voz en lugar de gestos táctiles en la pantalla del dispositivo. También, en ciertas circunstancias puede ser más efectivo mostrar un gráfico animado en vez de mensajes de texto. Incluso un objeto inteligente puede servir como la salida de una aplicación, activando algún actuador para que el objeto genere un efecto sobre algo.
- **Interfaz de usuario de realidad mixta:** Así como lo hacen los sistemas de navegación con realidad aumentada, un visor sensorial puede superponer la información sobre el flujo de video en la pantalla con solo apuntar hacia un objeto. Este tipo de interfaz puede ayudar a usuarios con poca experiencia en el uso de

dispositivos móviles y pocos conocimientos técnicos a navegar el Internet of Things. Además, otro visor sensorial puede ser capaz de mostrar mundos completamente virtuales en la pantalla. Por tanto, se requiere una interfaz de realidad mixta que pueda soportar diferentes niveles de estímulos generados por computadora, partiendo desde lo completamente real hasta lo completamente virtual (Milgram y Kishino, 1994).

- **Comunicación semántica:** El uso de información semántica para comunicarse con los objetos inteligentes, puede permitir al visor sensorial determinar lo que un objeto está tratando de transmitir, permitiendo al visor sensorial entender la información. Por ejemplo, comprender el tipo y formato de datos o las características del servicio de un objeto inteligente. Esto puede habilitar mejores inferencias e interacciones más ricas.

Estas dimensiones de diseño pueden poseer diversos valores, con lo cual se pueden desarrollar visores sensoriales con diferentes capacidades. En la Tabla II se muestran algunos de los valores que puede tener cada dimensión. Esto significa que el visor sensorial es una instancia de ese espacio de diseño. Por ejemplo, un visor sensorial puede mostrar gráficos en pantalla, mientras que otro puede también reproducir audio. Incluso la funcionalidad puede variar en función de distintos dispositivos. Un ejemplo sería ejecutar el visor sensorial en un celular, en una pantalla montada en la cabeza o en unos lentes. Otro ejemplo sería en un automóvil, que tendría una pantalla transparente como ventana frontal. Así, el visor sensorial mostraría información en la ventana mientras el usuario conduce el automóvil.

Tabla II. Ejemplos de valores para las dimensiones de diseño del visor sensorial.

Dimensión	Algunos valores	Ejemplos
Conciencia del contexto	Etiquetado	“El paciente necesita análisis”
	Presentación de información y servicios	Gráfico de comida con valores nutricionales Opciones de representación Guía de interiores
	Ejecución automática de un servicio	Ocultar/revelar información de acuerdo al rol del usuario Abrir una puerta
Identificación de objetos y descubrimiento de servicios	Identificación visual	Códigos de barra, códigos QR Reconocimiento visual de objetos
	Identificación con señales eléctricas	RFID, NFC, GPS
	Descubrimiento de servicios	Basado en directorios Ad hoc
Razonamiento contextual	Temático	“Ingesta de medicamento” “Regar una maceta”
	Espacial	“Afuera” “Sala de reuniones” “Cerca de las escaleras”
	Temporal	“En la tarde” “De 10 a 11 am” “Los próximos 5 minutos”
Comunicación semántica	Representación	Formato de datos Unidades de ingeniería Rangos
	Visualización	Texto, Gráficos, Opciones contextuales
	Interacción	Escoger la interacción de acuerdo a las funciones del objeto
	Autodescubrimiento	En qué dispositivo se está ejecutando Perfil de usuario
Interfaz de usuario de realidad mixta	Desde realidad aumentada hasta virtualidad aumentada	Guía virtual en un celular Asistente de ensamblaje con una pantalla montada en la cabeza
Información multimodal	Entrada	Botones, pantalla táctil, voz
	Salida	Visualización en pantalla, Audio Actuadores

V.5 Requerimientos técnicos

Con el propósito de determinar los requerimientos técnicos para los nuevos mecanismos de interacción del visor sensorial, se realizó un análisis de los escenarios de aplicación mediante casos de uso, tomando en cuenta el espacio de diseño propuesto para el

visor sensorial y la arquitectura de Álvarez Lozano (2010). De esta forma, se identificaron los mecanismos de interacción como solución para alcanzar los objetivos de esta tesis.

V.5.1 Casos de uso

El caso de uso es una técnica para especificar el comportamiento de un sistema o parte de un sistema, mediante una descripción ordenada de un conjunto de secuencias, en la cual cada secuencia representa la interacción de cosas externas al sistema (actores) con el sistema mismo (Booch *et al*, 1998). Es una colección de escenarios iniciados por la entidad llamada actor (una persona, un componente de hardware u otro sistema). Un actor puede realizar varios casos de uso, e inversamente, un caso de uso puede realizarse por varios actores. Los casos de uso se representan mediante diagramas UML de casos de uso.

También se pueden encontrar relaciones entre los casos de uso. Las relaciones de tipo “uses” ocurren cuando una porción de comportamiento es similar en más de un caso de uso. Esto permite separar comportamiento frecuente. Las relaciones de tipo “extends” se usan cuando se tiene un caso de uso similar a otro pero que hace un poco más. Esto indica que un caso de uso extiende al otro, agregando una serie de pasos adicionales.

En la Figura 26 se muestra el diagrama de casos de uso global, donde se representan las interacciones de los actores involucrados en el funcionamiento del visor sensorial. A continuación, se presenta la descripción de los casos de uso.

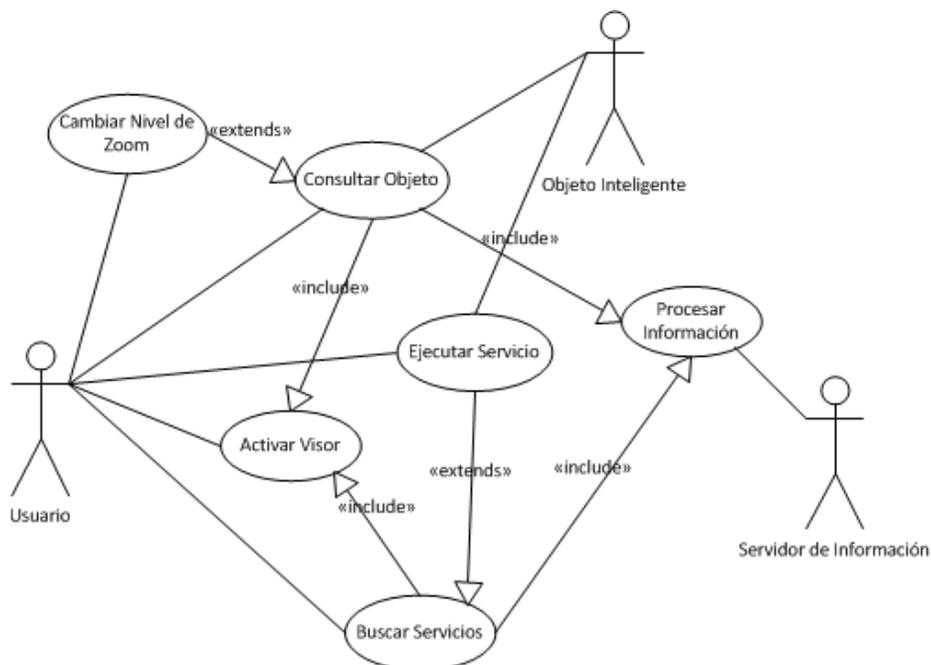


Figura 26. Diagrama de casos de uso global de los mecanismos de interacción del visor sensorial.

Caso de uso: Activar Visor.

Actores: Usuario.

Propósito: Poner en funcionamiento el visor sensorial en el dispositivo móvil del usuario

Descripción: El caso de uso inicia cuando el usuario desea utilizar el visor sensorial. Entonces el usuario enciende el dispositivo donde lo tiene instalado (en caso de tenerlo apagado) o simplemente toma el dispositivo (en caso de ya estar encendido). Después, busca el sistema visor sensorial entre las aplicaciones instaladas de su dispositivo y lo ejecuta. Así, el visor sensorial queda activo para empezar a utilizarlo.

Caso de uso: Consultar Objeto.

Actores: Usuario, Objeto Inteligente.

Propósito: Obtener información de un objeto inteligente.

Descripción: El caso de uso empieza cuando el usuario quiere consultar un objeto inteligente. Entonces, el usuario activa el visor sensorial (caso de uso Activar Visor) y apunta con la cámara del dispositivo hacia el objeto inteligente. Después, el usuario elige

escanear el objeto y el visor sensorial analiza la imagen en busca del código QR. Una vez identificado el código QR, el visor sensorial decodifica el código para obtener su URI y también obtiene el URI del usuario almacenado en la configuración del visor. Con estos dos datos, envía una petición de procesamiento al servidor de información (caso de uso Procesar Información). Una vez que recibe la respuesta del servidor, el visor sensorial analiza la respuesta para determinar el tipo de información recibida y el formato de presentación, con lo cual el visor sensorial le muestra al usuario la información obtenida.

Caso de uso: Cambiar Nivel de Acercamiento.

Actores: Usuario, Objeto Inteligente.

Propósito: Aumentar o disminuir el nivel de detalle de información que el usuario percibe con el visor sensorial.

Descripción: El caso de uso inicia cuando el usuario escaneó un objeto inteligente (caso de uso Consultar Objeto) y se encuentra viendo la información del objeto. Entonces, si el usuario elige ver más información, el visor sensorial analiza si la información del objeto inteligente tiene un nivel de acercamiento o *zoom* (en inglés). En caso afirmativo, el visor sensorial modifica el contenido y presentación de la información incluyendo más detalles. En caso contrario, no hace nada. Si el usuario elige ver menos información, el visor sensorial modifica el contenido y presentación de la información a una forma más compacta o con menos detalles. En cualquier momento mientras tiene la información en pantalla, el usuario puede cambiar entre los distintos niveles de información, permitiéndole ver diferente información asociada al objeto inteligente, en función del nivel de zoom seleccionado.

Caso de uso: Buscar Servicios.

Actores: Usuario, Servidor de Información.

Propósito: Descubrir los servicios de objetos inteligentes presentes en el entorno.

Descripción: El caso de uso inicia cuando el usuario quiere conocer los servicios de objetos inteligentes disponibles en el lugar donde se encuentra. Entonces el usuario activa el visor sensorial (caso de uso Activar Visor) y después elige buscar servicios. El visor

sensorial obtiene el URI del usuario de la configuración del visor, su ubicación actual y el tipo de servicio a buscar. Después, envía una petición de consulta de servicios al servidor de información (caso de uso Procesar Información). Una vez que obtiene la respuesta, el visor sensorial le muestra los servicios disponibles al usuario.

Caso de uso: Ejecutar Servicio.

Actores: Usuario, Objeto Inteligente.

Propósito: Acceder al servicio de un objeto inteligente para obtener información o activar alguna función del objeto inteligente.

Descripción: El caso de uso inicia cuando el usuario desea utilizar el servicio que proporciona algún producto inteligente. Entonces, el usuario busca un servicio (caso de uso Buscar Servicios). Una vez que el visor sensorial muestra el servicio encontrado, el usuario puede elegir ejecutar el servicio o no. Si elige ejecutarlo, el visor sensorial accede al servicio del objeto inteligente y el objeto realiza la acción correspondiente a dicho servicio. Por ejemplo, enviarle información al visor sensorial o activar una función del objeto inteligente.

Caso de uso: Procesar Información.

Actores: Servidor de Información.

Propósito: Recibir las peticiones del visor sensorial y responder de acuerdo al tipo de petición.

Descripción: El caso de uso inicia cuando el servidor de información recibe una petición del visor sensorial. Cuando la petición es para escanear un objeto inteligente, el servidor recibe el URI del usuario y del objeto inteligente. Cuando la petición es para buscar servicios, el servidor recibe el URI del usuario, la ubicación y el tipo de servicio a buscar. Entonces el servidor utiliza estas URIs para obtener los modelos semánticos asociados a dichos recursos. Después, ingresa estos modelos semánticos a un motor de razonamiento para realizar inferencias sobre ellos. Por último, el servidor crea un documento semántico con el resultado de las inferencias y se lo envía como respuesta al visor sensorial en el dispositivo del usuario.

V.5.2 Requerimientos

En base a los casos de uso anteriores y el espacio de diseño propuesto para el visor sensorial, se identificaron los mecanismos de interacción como solución para alcanzar los objetivos de esta tesis. Algunos de estos requerimientos ya han sido abordados de cierta forma por algunos de los trabajos sobre navegación física presentados en el capítulo anterior. Sin embargo, lo relevante de esta tesis es hacer uso de las tecnologías semánticas para estos mecanismos de interacción. De esta forma, es posible dotar al visor sensorial de mecanismos genéricos de interacción, capaces de lidiar con la heterogeneidad de los objetos inteligentes y acceder a sus servicios de una manera transparente para el usuario. El uso de información semántica como soporte para un navegador de Internet of Things, no ha sido abordado por ninguno de los trabajos relacionados a esta tesis. Por tanto, a continuación se describen los mecanismos de interacción del visor sensorial utilizando información semántica, con los cuales se propone dar solución a la problemática de este trabajo de investigación.

V.5.2.1 Consulta de objetos inteligentes

En el primer escenario (monitoreo de plantas) el visor sensorial debe identificar la maceta en la que se encuentra la planta, mientras que en el segundo escenario (control universal de electrodomésticos) debe identificar los objetos inteligentes dentro de la casa para poder interactuar con ellos. Asimismo, en el tercer escenario (asistente social de compras) el visor sensorial debe identificar el producto que el usuario piensa comprar, para poder decidir si comprarlo o no. Con estos escenarios se observa que el usuario requiere, en primera instancia, escanear el objeto para iniciar posteriormente una interacción más compleja. Por lo tanto, se necesita un mecanismo de identificación individual para los objetos inteligentes.

El marco de desarrollo propuesto por Álvarez Lozano (2010) tiene un componente que permite la identificación de códigos QR. Sin embargo, el autor menciona que la

identificación no se realiza de manera óptima porque el mecanismo utilizado es lento e impreciso. Debido a esto, las aplicaciones desarrolladas tardan algunos segundos en identificar el objeto y en ocasiones no los identifican correctamente. Además, la aplicación requiere tomar una fotografía para analizar el código QR en vez de analizar directamente el flujo de video. Por otra parte, el componente de realidad aumentada requiere de otro tipo de códigos especiales, llamados marcadores de realidad aumentada, para que la aplicación sepa en qué parte de la pantalla mostrar los gráficos correspondientes. Por lo que se requieren dos tipos de marcadores a la vez.

El visor sensorial debe identificar de manera sencilla y rápida los objetos inteligentes, por lo que se requiere mejorar el funcionamiento del mecanismo de identificación para incluirlo en el prototipo de esta tesis. Con el mecanismo para identificar códigos QR se resuelve el requerimiento de consulta de objetos, considerando la dimensión de diseño “identificación de objetos inteligentes y descubrimiento de servicios”.

V.5.2.2 Descubrimiento de servicios

En los escenarios de aplicación, el usuario utiliza el visor sensorial para acceder a diferentes servicios de los objetos inteligentes. Para lograrlo, el visor sensorial debe buscar los servicios que existen en los alrededores del usuario. Esto requiere primero identificar el tipo de servicio que el usuario desea y posteriormente buscarlo.

En la plataforma de Álvarez Lozano (2010) se implementó un componente para descubrir servicios utilizando Bonjour¹¹, con el cual se pueden descubrir servicios FTP (del inglés “File Transfer Protocol”), servidores TELNET (del inglés “Telecommunication Network”), servidores Web, impresoras, servidores SSH (del inglés “Secure Shell”), servidores SFTP (del inglés “SSH File Transfer Protocol”), además de servicios definidos por usuarios.

Sin embargo, para poder habilitar este comportamiento de una manera genérica, se requiere que los objetos inteligentes expongan sus servicios bajo un mecanismo común que

¹¹ <http://www.apple.com/es/support/bonjour/>

pueda ser comprendido por el visor sensorial. Por ejemplo, en el primer escenario (monitoreo de plantas) el visor sensorial requiere identificar los servicios de todos los objetos que sean “macetas inteligentes” y que se encuentren en el jardín del hogar. Mientras que en el segundo escenario (control universal de electrodomésticos) se requiere que el visor sensorial encuentre una función específica (apagar, subir volumen, activar cámara) de un objeto inteligente.

Esta tesis contempla utilizar información semántica para que el visor sensorial pueda descubrir servicios y acceder a ellos. Por tanto, con este mecanismo se resuelve el requerimiento para descubrir servicios, considerado en la dimensión de diseño “identificación de objetos inteligentes y descubrimiento de servicios”.

V.5.2.3 Interfaz de navegación y zoom semántico

Debido a los diferentes escenarios de aplicación en los que puede utilizarse el visor sensorial, es necesario tener una interfaz de usuario que incluya ciertas funciones básicas, que sean comunes para todos los escenarios.

Dado que el primer paso para interactuar con un objeto inteligente es identificarlo, el visor sensorial requiere contar con un elemento para iniciar la identificación. Además, se necesita encontrar los servicios presentes en el entorno, por lo que también se requiere una opción para que el usuario inicie la búsqueda de servicios.

Una de las interrogantes de esta tesis se refiere a cómo manejar la información proporcionada por un objeto inteligente dado que dicha información puede ser variable. Esto significa que un objeto puede transmitir cierta cantidad de información mientras que otro puede transmitir una mayor o menor cantidad de información dependiendo de sus capacidades y servicios.

Para manejar estos niveles de información se propone utilizar la metáfora de zoom semántico. Según Perlin y Fox (1993), esta metáfora ayuda en el manejo de niveles de información, en los que el usuario puede encontrar útil ver diferente tipo de información conforme se aumenta el enfoque en un objeto. A diferencia del zoom geométrico en el que

un objeto se hace más grande en factor de una escala (por ejemplo, hacer más grande una fotografía o imagen). El zoom semántico se refiere a la ampliación de información que no se adhiere simplemente al escalado de su geometría sino que busca a cada nivel de detalle una representación que maximice la comprensión de su significado.

Por ejemplo, en el primer escenario de aplicación (monitoreo de plantas) la maceta inteligente transmite su estado actual (planta feliz o triste), su temperatura y humedad. Ante esta situación, el visor sensorial puede hacer uso del zoom semántico para ordenar la información antes de presentársela al usuario. De esta forma, el usuario puede tener la opción de visualizar más información según lo requiera, permitiéndole conocer la temperatura y humedad exacta en vez de conformarse con la imagen de la planta feliz o triste. Asimismo, en el tercer escenario de aplicación (asistente social de compras) el visor sensorial muestra únicamente la información nutrimental y una recomendación sobre el producto. En caso de que el usuario desee saber más sobre dicha recomendación, el visor sensorial le muestra quiénes de sus amigos lo están recomendando.

Así, la interfaz de navegación y el zoom semántico resuelven los requerimientos de interfaz de usuario y manejo de información, considerando las dimensiones de diseño “interfaz de usuario de realidad mixta e información multimodal”.

V.5.2.4 Consulta de usuario y localización de objetos inteligentes

Una característica esencial para interactuar con los objetos inteligentes es que el visor sensorial conozca la información relacionada al usuario. Con esta información el visor sensorial puede presentarle información de acuerdo a sus preferencias o incluso negarle el acceso a cierta información. Por ejemplo, en el segundo escenario (control universal de electrodomésticos) se debe cuidar que no cualquier persona tenga acceso a manipular los aparatos electrónicos del hogar si la persona no se encuentra dentro del hogar. Asimismo, en el tercer escenario (asistente social de compras) el visor sensorial es capaz de darle una recomendación al usuario porque conoce las preferencias y datos del usuario, tales como edad, género, estatura, peso, entre otros.

Por otra parte, para que el visor sensorial pueda encontrar los servicios de objetos inteligentes presentes en el entorno, tanto el visor sensorial como los objetos inteligentes deben conocer su ubicación actual. Para esto, se requiere un sistema de localización encargado de administrar las ubicaciones de todos los objetos inteligentes en un entorno, obteniendo las coordenadas espaciales de los objetos para trasladarlas a ubicaciones con significado, tales como “Casa de la señora Rodríguez”, “supermercado Z” o “jardín trasero”. De esta forma, el visor sensorial puede utilizar la información semántica de dichas ubicaciones para su beneficio.

No es el propósito de este trabajo crear un sistema de localización, sin embargo, el visor sensorial presentado en esta tesis requiere tener acceso al modelo semántico de dichas ubicaciones para acceder a los servicios de los objetos inteligentes, por lo que se supone la existencia de un sistema de localización con las características mencionadas.

Con estos mecanismos para consultar la información del usuario y la ubicación semántica de los objetos inteligentes se resuelve el requerimiento de consulta de usuario y localización de objetos, considerando la dimensión de diseño “conciencia del contexto”.

V.5.2.5 Información semántica

Dado que los objetos inteligentes pueden proveer distinta información en distinto formato, se requiere que el visor sensorial pueda entender dicha información, independientemente de la fuente. Ante este problema, la información semántica puede servir como un esquema común de información para representar los datos y transmitirlos al visor sensorial cuando se escanea un objeto, así como también para manipularlos de una forma genérica mediante el zoom semántico.

También se puede utilizar información semántica para modelar los servicios de los objetos inteligentes. Con esto, el visor sensorial puede ser capaz de comprender qué tipo de servicio está accediendo, además de las características de cada servicio en particular. Además, utilizando semántica se pueden hacer inferencias sobre la información, por lo que también se pueden hacer inferencias sobre los servicios mismos. Por ejemplo, inferir qué

servicios se encuentran en la ubicación actual en base a los modelos semánticos de los objetos inteligentes, de las ubicaciones y de los usuarios. Estos aspectos no han sido abordados por ninguno de los trabajos relacionados a esta tesis.

Por tanto, el requerimiento de información semántica se resuelve con el uso de modelos semánticos e inferencias para las interacciones con el visor sensorial, considerando las dimensiones de diseño “comunicación semántica y razonamiento contextual”.

V.6 Arquitectura

A partir de los requerimientos mencionados en el apartado anterior y el espacio de diseño para visores sensoriales, se definieron los componentes de la arquitectura tomando como base el trabajo de Álvarez Lozano (2010). Posteriormente, los componentes de la arquitectura se fueron refinando mediante varias iteraciones, de acuerdo a la metodología conducida. En la Figura 27 se presenta la arquitectura del sistema visor sensorial.

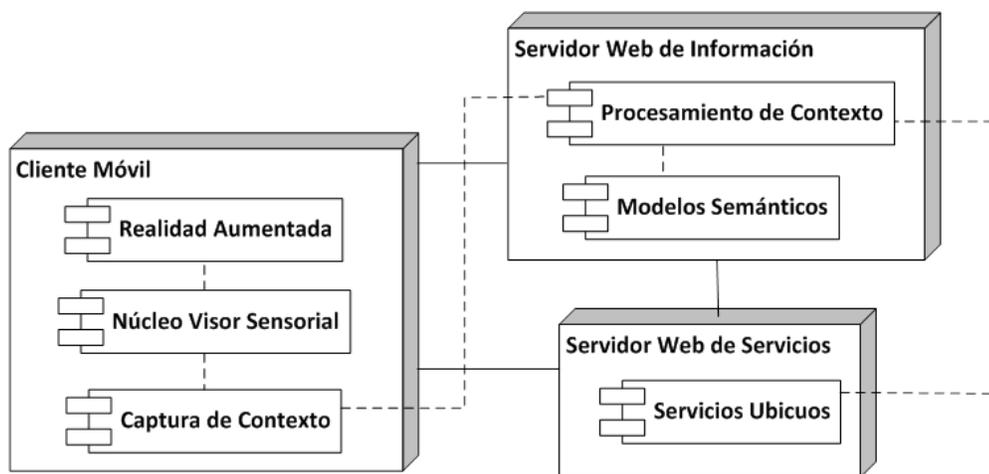


Figura 27. Arquitectura del sistema visor sensorial.

La arquitectura está conformada por tres nodos:

- **Cliente móvil:** Es el dispositivo del usuario donde se ejecuta el navegador visor sensorial.

- **Servidor Web de información:** Es un servidor encargado de procesar las peticiones del cliente móvil, realizando inferencias sobre la información de los objetos inteligentes y haciendo consultas semánticas sobre sus servicios.
- **Servidor Web de servicios:** Es otro servidor encargado de proporcionar servicios externos que pueden ser utilizados por el servidor Web de información y por el cliente móvil. Por ejemplo un servicio de localización, directorio de servicios, entre otros.

Para lograr la funcionalidad requerida del visor sensorial, la arquitectura contiene varios componentes, los cuales se describen a continuación.

V.6.1 Componente núcleo del visor sensorial

Es el componente principal del navegador visor sensorial. Es el encargado de administrar las tareas de identificación de un objeto inteligente, acceso a la cámara del dispositivo, la comunicación con los servidores, visualizar información y reaccionar a la interacción del usuario con la interfaz del visor sensorial. Este componente administra cada una de estas tareas mediante hilos de ejecución separados, permitiendo la ejecución continua del visor sensorial en el dispositivo del usuario.

V.6.2 Componente de realidad aumentada

Cuando el visor sensorial recibe información del servidor, este componente es el encargado de presentar en pantalla los gráficos necesarios para el usuario. El componente de realidad aumentada permite manejar información multimodal, como texto, imágenes, gráficas y además reproduce audio.

V.6.3 Componente de captura de contexto

Este componente proporciona mecanismos para obtener información contextual. Con estos mecanismos se puede obtener información del perfil del usuario, identificar códigos QR que se encuentren en la línea de vista de la cámara del dispositivo y detectar servicios de objetos inteligentes presentes en los alrededores. Además, proporciona información sobre la fecha y hora actuales.

V.6.4 Componente de modelos semánticos

La información de los objetos inteligentes, usuarios y servicios es accedida a través de su URI, por lo que este componente es el encargado de obtener la información relacionada a cada recurso web y generar el modelo semántico RDF correspondiente para cada uno. Además, este componente de modelos semánticos también posee mecanismos para cargar una ontología en memoria.

V.6.5 Componente de procesamiento de contexto

Este componente combina los datos de los modelos semánticos para realizar inferencias utilizando un motor de razonamiento. Para esto combina el conocimiento almacenado en una ontología con reglas de inferencia definidas para cada objeto inteligente. Es el encargado de atender las peticiones del visor sensorial en el dispositivo del usuario y procesarlas de acuerdo al tipo de petición. Puede atender peticiones de información y peticiones de servicios. Para las peticiones de información, el componente de procesamiento de contexto hace inferencias en base a los datos del usuario y del objeto inteligente, mientras que para las peticiones de servicios, las inferencias se hacen en base al tipo de servicio y su ubicación.

V.6.6 Componente de servicios ubicuos

El propósito de este componente es encapsular servicios externos que pueden ser utilizados por el visor sensorial en el dispositivo del usuario o por el servidor web de información para extender su funcionalidad. Por ejemplo, un sistema de localización, servicios web externos, un índice de información, entre otros.

V.7 Diagramas de secuencia

El diagrama de secuencia UML agrega la dimensión del tiempo a las interacciones de los objetos. En el diagrama, los objetos se colocan en la parte superior y el tiempo avanza de arriba hacia abajo. La línea de vida de un objeto desciende de cada uno de ellos. Un pequeño rectángulo de la línea de vida de un objeto representa una activación (la ejecución de una de las operaciones del objeto). Los mensajes (simples, síncronos y asíncronos) son flechas que conectan a una línea de vida con otra. La ubicación del mensaje en la dimensión vertical representa el momento en que sucede dentro de la secuencia. Los mensajes que ocurren primero están más cerca de la parte superior del diagrama y los que ocurren después están cerca de la parte inferior. Un diagrama de secuencia puede mostrar ya sea una instancia (un escenario) de un caso de uso o puede ser genérico e incorporar todos los escenarios de un caso de uso (Schmuller, 2001).

A continuación se presentan los diagramas de secuencia donde se engloban los escenarios de casos de uso (ver Apartado V.5.1) presentados anteriormente.

V.7.1 Diagrama de secuencia general

En la Figura 28 se muestra el diagrama de secuencia general donde se incluyen los casos de uso: Activar Visor, Consultar Objeto y Procesar Información.

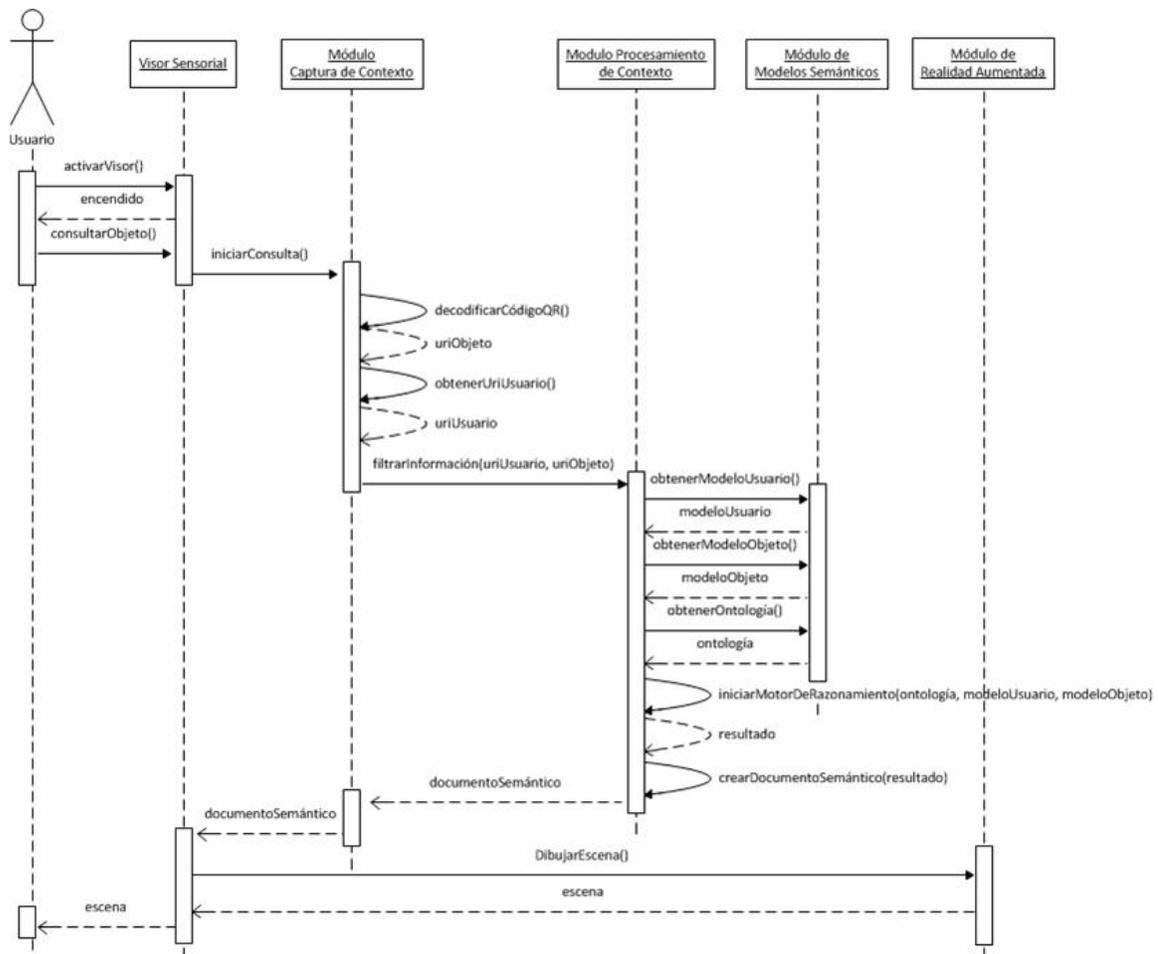


Figura 28. Diagrama de secuencia general

Cuando el usuario activa el visor sensorial en su dispositivo móvil, ya puede comenzar a buscar objetos inteligentes con los cuales interactuar. Una vez que llega hacia donde se encuentra un objeto, el usuario elige consultar el objeto inteligente. Al hacer esto, el visor sensorial le solicita una consulta al componente de captura de contexto. Entonces, el componente de captura de contexto analiza la escena a través de la cámara del dispositivo en busca de un código QR. Una vez que ha identificado un código QR, comienza a decodificarlo para obtener el URI del objeto inteligente almacenado en el código. Después, obtiene el URI del usuario almacenado en la configuración del visor sensorial. Con estos dos datos, el componente de captura de contexto envía una petición

para filtrar la información al componente de procesamiento de contexto, que reside en un servidor Web.

Al momento de recibir la petición de información, el componente de procesamiento de contexto consulta al componente de modelos semánticos para obtener los modelos semánticos RDF del usuario y del objeto inteligente. Posteriormente, obtiene la ontología con la cual se modeló la información semántica. Después, inicia el motor de razonamiento donde se realizan inferencias en base a los modelos semánticos obtenidos, la ontología y las reglas de inferencia definidas para el objeto inteligente.

Una vez que el motor de razonamiento ha terminado de hacer inferencias, el componente de procesamiento de contexto crea un nuevo modelo semántico, el cual es un documento RDF con el resultado de las inferencias. Este documento RDF es enviado como respuesta al visor sensorial en el dispositivo del usuario. Entonces, el componente de captura de contexto recibe esta respuesta y se lo notifica al componente núcleo del visor sensorial.

Por último, el componente núcleo analiza el modelo semántico RDF recibido y le solicita al componente de realidad aumentada dibujar en pantalla los gráficos correspondientes en base a la información obtenida en ese modelo semántico.

V.7.2 Diagrama de secuencia del acercamiento semántico

En la Figura 29 se muestra el diagrama de secuencia para el mecanismo de interacción de acercamiento semántico. En este diagrama se incluye el caso de uso: Cambiar Nivel de Acercamiento (“zoom”, en inglés). Esto sucede una vez que el visor sensorial en el dispositivo del usuario recibe la respuesta del servidor en forma de un modelo semántico RDF. Entonces, el componente núcleo del visor sensorial analiza el modelo semántico para determinar cuál es el nivel de zoom y el orden en el que debe presentar la información al usuario. Posteriormente, le solicita al componente de realidad aumentada dibujar la escena con los gráficos correspondientes al nivel de zoom más bajo, es decir, el primer nivel de información definido en el modelo semántico.

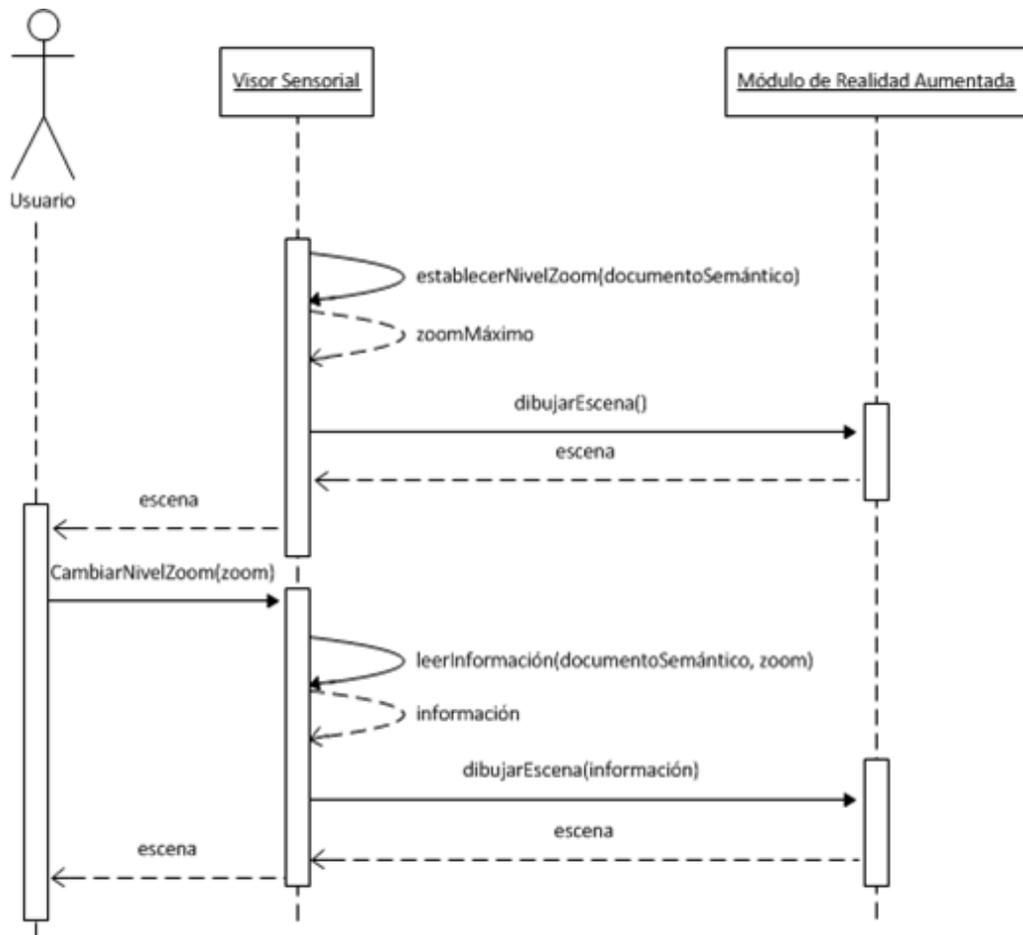


Figura 29. Diagrama de secuencia del acercamiento semántico

Ahora, mientras el usuario está viendo la información en la pantalla del visor sensorial, puede utilizar el zoom semántico para cambiar entre distintos niveles de representación de información. Así, el usuario puede aumentar el nivel de zoom o disminuirlo, con lo cual puede ver distinta información y en diferente representación.

Cuando el usuario elige cambiar el nivel de zoom, el componente núcleo del visor sensorial analiza el modelo semántico RDF para extraer la información definida con el nuevo nivel de zoom elegido por el usuario. Una vez que obtiene la información correspondiente, le solicita al componente de realidad aumentada dibujar nuevamente la escena con la nueva información.

V.7.3 Diagrama de secuencia descubrimiento de servicios

En la Figura 30 se muestra el diagrama de secuencia correspondiente al mecanismo de interacción descubrimiento de servicios, en el cual se incluyen los casos de uso: Buscar Servicios, Ejecutar Servicio y Procesar Información.

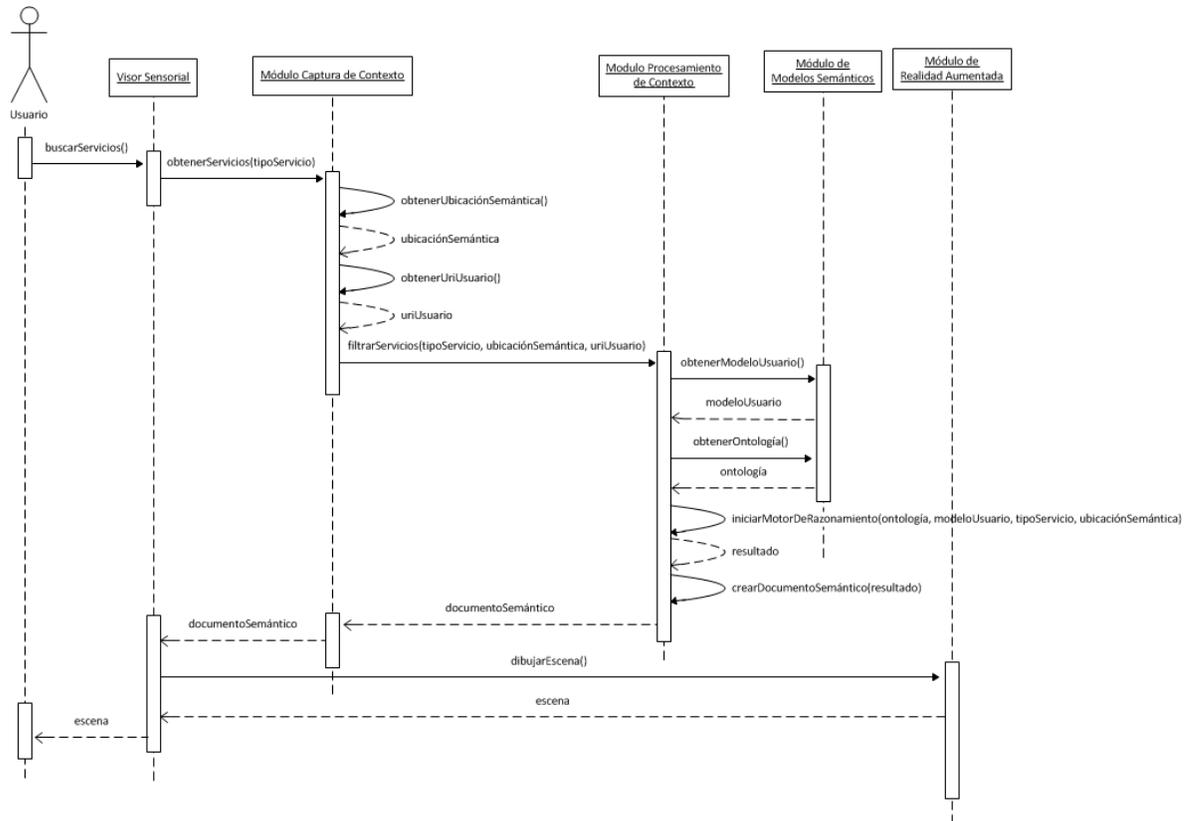


Figura 30. Diagrama de secuencia descubrimiento de servicios

Cuando el usuario se encuentra utilizando el visor sensorial en su dispositivo móvil, puede hacer uso del mecanismo para buscar los servicios de objetos inteligentes presentes en el entorno. Para esto, el usuario elige la opción de buscar servicios en la interfaz del visor sensorial. Al hacer esto, el componente núcleo le solicita al componente de captura de contexto obtener los servicios de objetos inteligentes.

Entonces, el componente de captura de contexto obtiene la ubicación semántica actual (en esta tesis se supone que existe este sistema de localización semántica) y obtiene

también el URI del usuario de la configuración del visor. Con estos dos datos, el componente de captura de contexto envía una petición al componente de procesamiento de contexto que reside en un servidor Web.

Después, el componente de procesamiento de contexto consulta al componente de modelos semánticos para obtener el modelo semántico RDF del usuario y también la ontología con la cual fue modelada la información semántica. Posteriormente, ejecuta el motor de razonamiento donde se realizan inferencias en base al modelo RDF del usuario, la ubicación semántica del visor sensorial, el tipo de servicio y la ontología.

Una vez que el motor de razonamiento termina de hacer inferencias, el componente de procesamiento de contexto crea un modelo semántico RDF con el resultado de las inferencias y lo envía como respuesta al visor sensorial en el dispositivo del usuario. Entonces, el componente de captura de contexto recibe este modelo semántico, el cual contiene los objetos inteligentes encontrados y sus servicios correspondientes, para después notificar al componente núcleo del visor sensorial.

Por último, el componente núcleo le solicita al componente de realidad aumentada que dibuje la escena con los nombres de los objetos inteligentes encontrados, tras lo cual el usuario puede seleccionar un objeto inteligente y consultar sus servicios.

V.8 Diseño de ontología

Un elemento importante para manejar información semántica es el uso de ontologías. Tal como se mencionó en el apartado III.2.2, las ontologías son un elemento principal de la pila de tecnologías semánticas.

Una ontología puede servir como un vocabulario común entre el visor sensorial y los objetos inteligentes, permitiéndole entender relaciones entre los objetos y habilitar el funcionamiento de los mecanismos de interacción mencionados en esta tesis. Por tanto, se ha diseñado una ontología donde se define de forma explícita los conceptos de dominios de interés, así como sus relaciones y restricciones. Para esto, se tomaron en cuenta los escenarios de aplicación del apartado V.3.

los conceptos que se modelan en una ontología, permitiendo establecer relaciones entre las clases. En la Figura 32 se muestra un ejemplo de estas relaciones, con las cuales se establece que un objeto inteligente (SmartObject) tiene un sensor (hasSensor), servicios (hasService), ubicación (hasLocation) y también una URI (hasURI).

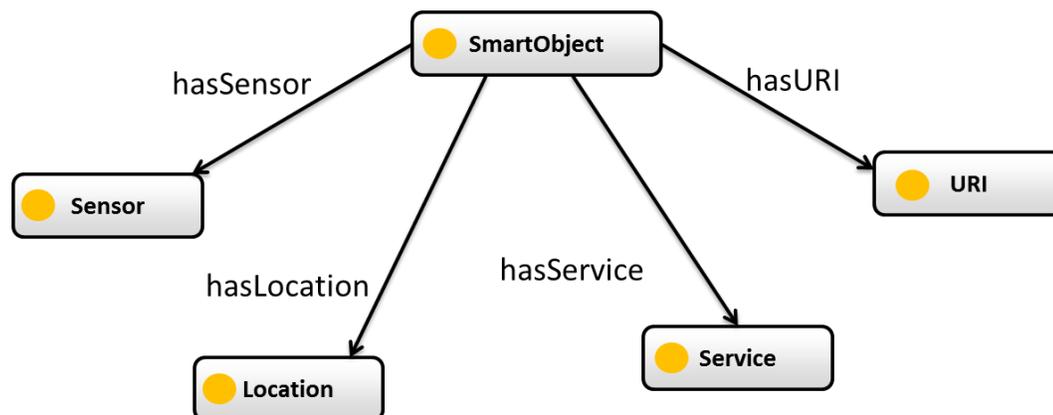


Figura 32. Relaciones de la clase SmartObject con las demás clases de la ontología.

A las relaciones entre clases se les denomina propiedades de objeto (Object Properties). Una propiedad de objeto permite definir el dominio, rango y la propiedad inversa de la relación, además de otras características. El dominio de una propiedad se refiere a la clase que está describiendo, mientras que el rango se refiere a las clases admitidas por la propiedad. Por otro lado, la propiedad inversa de la relación se refiere a la propiedad que es precisamente la versión opuesta o inversa de la relación dominio-rango. Por ejemplo, en la Figura 33 se muestra la propiedad objeto “hasSensor” cuyo dominio es la clase “SmartObject” y su rango es la clase “Sensor”. Por consiguiente, la propiedad inversa de “hasSensor” es la propiedad “isSensorOf”.

Por último, también se definen otro tipo de propiedades llamadas propiedades de datos o atributos (Data Properties). Este tipo de propiedades también permite definir el dominio y rango de la propiedad. En este caso, el dominio se refiere a la clase que está describiendo, mientras que el rango se refiere al valor de la propiedad. Por ejemplo, en la Figura 34 se muestra la propiedad de datos “hasTemperature”, que tiene como dominio a la

clase “SmartPot” y su rango es “int”, lo cual significa que es un valor entero para representar la temperatura.

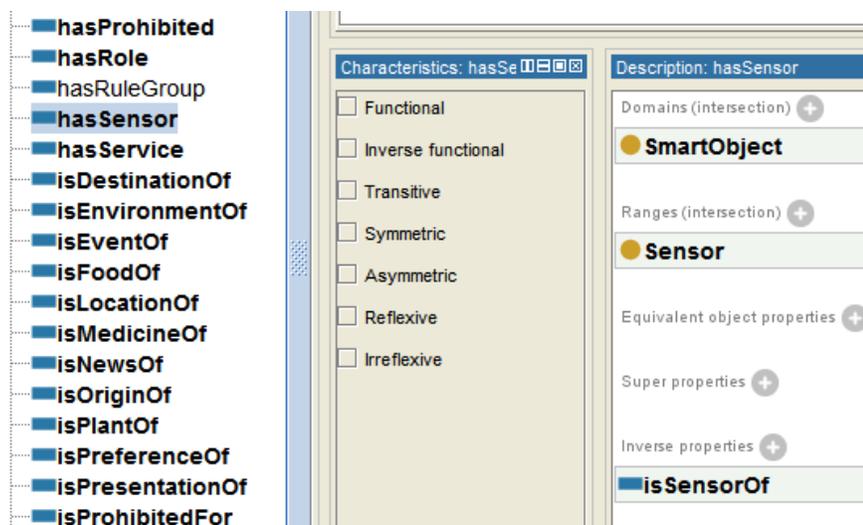


Figura 33. Definición del dominio, rango y propiedad inversa de la propiedad objeto “hasSensor”.

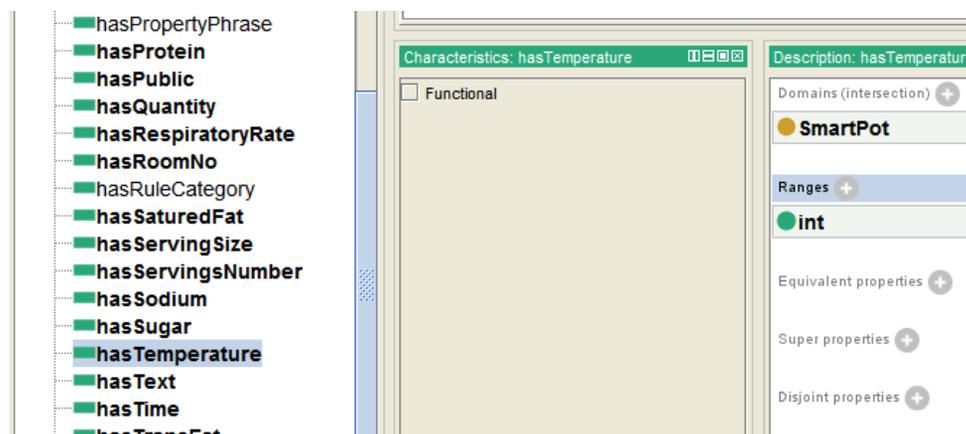


Figura 34. Definición del dominio y rango de la propiedad de datos “hasTemperature”.

Otro elemento de las ontologías es el uso de un URI y un prefijo, los cuales tienen el objetivo de hacer accesible su información en la Web, permitiendo identificar, compartir y extender la ontología. A la ontología utilizada en esta tesis se le asignó el URI “<http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor>” y el prefijo “sv”. Si

alguien quisiera reutilizar ésta u otras ontologías de dominio público¹² para otro tipo de aplicaciones, requiere acceder su URI con un editor de ontologías o una aplicación capaz de identificar las clases y propiedades almacenadas en ellas. En el apartado VI.4 y VI.5 se explican los detalles sobre el uso del URI y el prefijo de la ontología.

V.9 Conclusiones

En este capítulo se presentaron las consideraciones de diseño para desarrollar un visor sensorial con mecanismos de interacción genéricos utilizando información semántica. Cómo se puede apreciar en este capítulo, navegar el espacio de información del Internet of Things requiere considerar ciertos aspectos que difieren un poco de la navegación en el Internet tradicional. Tomando en cuenta estas diferencias, se logró definir el espacio de diseño para visores sensoriales.

El espacio de diseño propuesto y los escenarios de aplicación sirvieron para identificar los requerimientos para la implementación de un visor sensorial prototipo, describir su arquitectura y explicar las interacciones de sus diferentes componentes de software. Además, se definieron los mecanismos de interacción para el visor sensorial y se presentó el diseño de una ontología, la cual representa el modelado de la información semántica relacionada a los escenarios de aplicación.

La información semántica es un punto que se ha mencionado a lo largo de varios capítulos de esta tesis por ser parte importante de esta investigación. En base a lo anterior, en el siguiente capítulo se presenta la implementación de un visor sensorial prototipo, explicando como la semántica ayuda al visor sensorial a entender la información y actuar en base a ella. El prototipo hace uso de los componentes y mecanismos de interacción presentados en este capítulo.

¹² <http://semanticweb.org/wiki/Ontology>

Capítulo VI

Implementación de un Visor Sensorial Prototipo

VI.1 Introducción

Con el objetivo de comprobar la factibilidad de desarrollar un visor sensorial con las características descritas en el capítulo anterior, se realizó la implementación de un visor sensorial prototipo. El desarrollo de este prototipo permitió identificar algunos retos técnicos, así como también analizar las ventajas y limitaciones de este trabajo. Por tanto, a continuación se describe la implementación del visor sensorial prototipo.

VI.2 Hardware utilizado

Durante este trabajo se utilizaron dos equipos diferentes para probar el visor sensorial prototipo, los cuales son:

- Una computadora portátil (laptop) con procesador Intel Pentium Dual-Core T4200 de 2.0 GHz. Memoria RAM de 4GB. Sistema operativo Windows 7 Home Premium de 64 bits y una cámara web de 1.3 Megapíxeles.
- Una computadora tipo tableta con procesador Intel U1400 de 1.20 GHz. Memoria RAM de 1 GB. Sistema operativo Windows XP Tablet PC Edition 2005 de 32 bits y una cámara web de 1.3 Megapíxeles.

VI.3 Identificación de objetos inteligentes

Para poder interactuar con un objeto inteligente utilizando un visor sensorial, el objeto debe tener algún mecanismo de identificación. De esta forma, el visor puede identificarlo y acceder a su información. En este trabajo se utilizaron códigos QR (ver Figura 35), los cuales fueron colocados en objetos cotidianos utilizando etiquetas de papel. Este tipo de códigos pueden almacenar caracteres numéricos y alfanuméricos.



Figura 35. Ejemplo de un código QR.

Los códigos QR poseen unos puntos de control que permiten ser más fácilmente identificables para las aplicaciones. Estos puntos son los cuadros de mayor tamaño que se encuentran en las esquinas del código.

Para crear los códigos se utilizó la herramienta QR Code Generator¹³. La información almacenada en cada código es el URI de cada objeto. Por ejemplo, en un código se encuentra almacenado el URI `http://localhost:8182/ubicomp/plants/2`, mientras que otro código corresponde al URI `http://localhost:8182/ubicomp/foods/1`. Cada objeto tiene asociado un código QR específico, por lo que el visor sensorial puede identificar el objeto inteligente mediante su URI.

¹³ <http://zxing.appspot.com/generator/>

VI.4 Ontología

En el apartado V.8 se presentó el diseño de la ontología utilizada en este trabajo. Para diseñar e implementar esta ontología se utilizó el editor Protégé¹⁴. Este editor permite crear, visualizar y manipular ontologías en diferentes formatos de presentación. Se eligió utilizar el formato OWL ya que es el lenguaje estándar para ontologías aprobado por el W3C en la pila de tecnologías semánticas.

Para crear la ontología OWL se definieron las clases, sus relaciones y propiedades, mencionadas en el capítulo anterior. Posteriormente, se almacenó la ontología en un documento OWL (ver Figura 36 y 37), para lo cual se le asignó un URI (<http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor>) y un prefijo (“sv”). Por último, se crearon instancias individuales de algunas clases de la ontología para representar las entidades encontradas en los escenarios de aplicación (ver Figura 38).

La instancia de una clase se refiere a un individuo u objeto con determinados valores para cada una de sus propiedades.

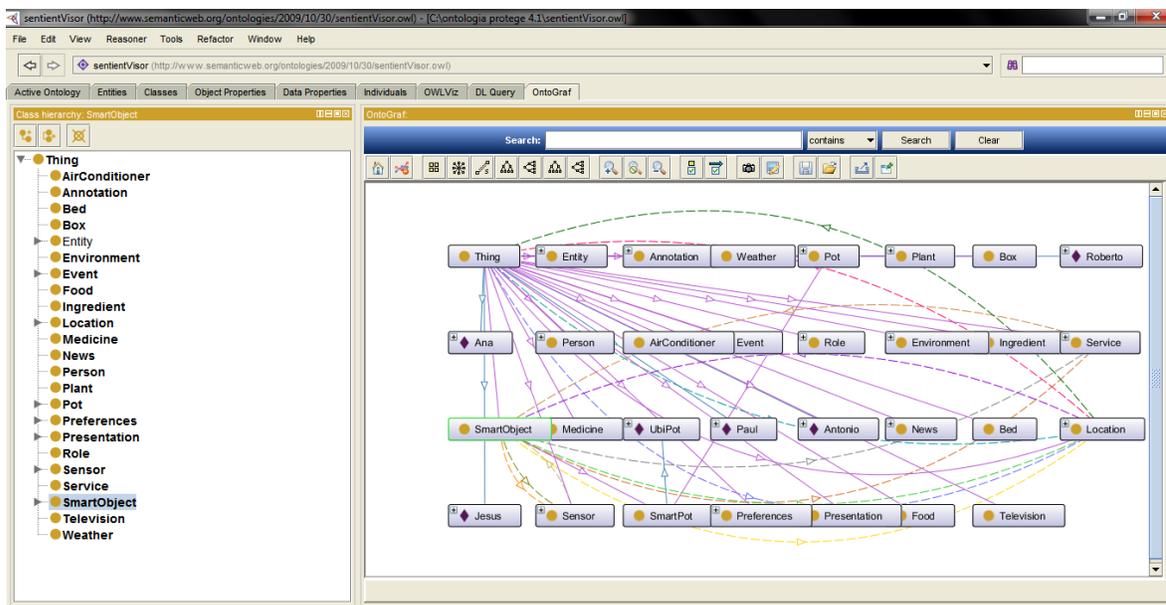


Figura 36. Visualización de la ontología utilizando Protégé.

¹⁴ <http://protege.stanford.edu/>

```

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor.owl#SmartObject -->
<owl:Class rdf:about="&ontologies;sentientVisor.owl#SmartObject">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="&ontologies;sentientVisor.owl#hasService"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="&ontologies;sentientVisor.owl#Service"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="&ontologies;sentientVisor.owl#hasLocation"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="&ontologies;sentientVisor.owl#Location"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>

```

Figura 37. Fragmento de la ontología en un documento OWL.

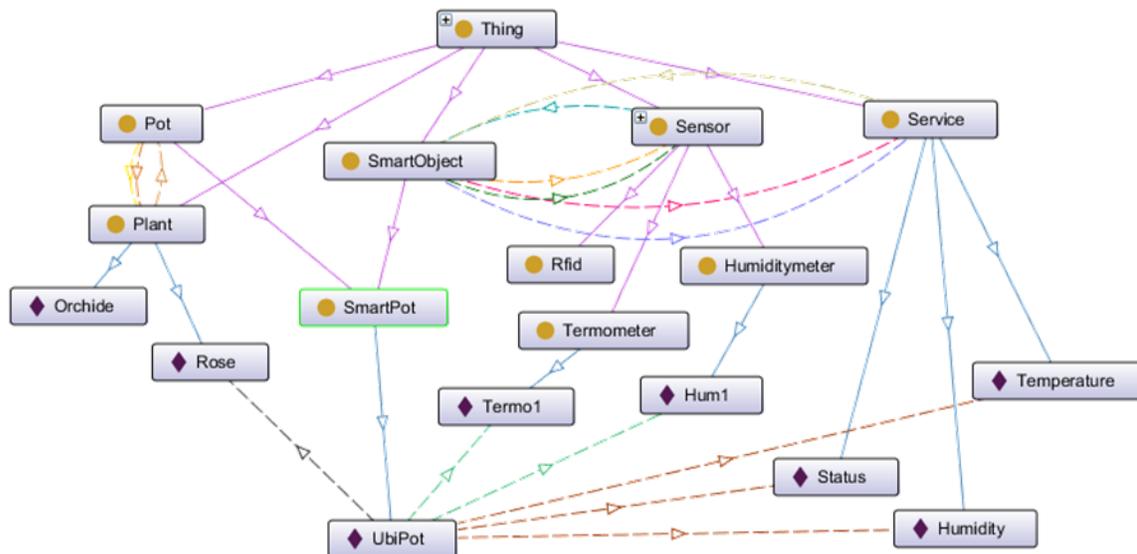


Figura 38. Instancias de algunas clases de la ontología (las clases aparecen con un círculo a la izquierda y las instancias aparecen con un rombo).

Por ejemplo, la clase “SmartPot” tiene una instancia llamada “UbiPot”, que se refiere a un tipo específico de la clase “SmartObject”, es decir un objeto inteligente (ver Figura 38). Dado que pueden existir muchos objetos inteligentes con diferente información, las instancias permiten diferenciar la información semántica específica para cada individuo de la ontología.

Siguiendo con la instancia “UbiPot”, este objeto inteligente es una maceta que proporciona servicios relacionados a una planta. Por ejemplo, UbiPot tiene asociada la instancia “Rose” (una flor de rosal o rosa), tiene algunos sensores (instancias “Termo1” y “Hum1”) y también servicios (instancias “Temperature” y “Humidity”). Esto significa que UbiPot está compuesta de varias instancias diferentes y que en conjunto crean la maceta inteligente UbiPot, proporcionando cada una su información semántica. Así, cada una de las instancias en la ontología se encuentra relacionada con otras, enlazando el conocimiento definido por las clases y sus propiedades.

VI.5 Modelos semánticos

Una vez que se implementó la ontología, fue necesario anotar semánticamente la información de los objetos inteligentes para enlazar dicha información con los conceptos de la ontología. El estándar aceptado para la anotación semántica en la pila de tecnologías semánticas es el modelo RDF. Por tanto, se utilizó este estándar para implementar los modelos semánticos de los objetos inteligentes, de los usuarios y también como medio de comunicación entre el visor sensorial y el servidor Web de información, esto último se explica en los siguientes apartados.

En la Figura 39 se muestra un ejemplo de un modelo semántico, donde se presenta la información semántica de una planta. En este caso, el modelo semántico representa la información contenida en el recurso Web de la planta, que está identificado por su URI: *http://localhost:8182/ubicomp/plants/2*.

En un modelo semántico la información está enlazada a una ontología o también puede estar enlazada a varias ontologías. En el ejemplo (ver Figura 39), la ontología diseñada en esta tesis (*http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor*) se identifica mediante su prefijo (“sv”). De esta forma, no es necesario repetir en cada elemento del modelo el nombre completo de la ontología, sino que se usa el prefijo para acortar el nombre. Así, se tienen algunos elementos del modelo semántico como la humedad (*sv:humedad*), estatus (*sv:status*) o el nombre de la planta (*sv:name*). Otro

ejemplo de modelo semántico se muestra en la Figura 40. En este caso, es el modelo correspondiente a un usuario.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:sv="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor#">
  <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/1">
    <sv:humidity>40%</sv:humidity>
    <sv:temperature>25C</sv:temperature>
    <sv:status>good</sv:status>
    <sv:name>orchide</sv:name>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Figura 39. Modelo semántico RDF con la información de una planta.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:sv="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor#">
  <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/users/2">
    <sv:activityFactor>1.6</sv:activityFactor>
    <sv:weight>67</sv:weight>
    <sv:height>1.70</sv:height>
    <sv:gender>male</sv:gender>
    <sv:age>26</sv:age>
    <sv:birthDate>24-09-1984</sv:birthDate>
    <sv:name>paul</sv:name>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Figura 40. Modelo semántico RDF con la información de un usuario.

Dado que se puede conocer el URI de la ontología a través del modelo semántico, una aplicación que utilice tecnologías semánticas puede inferir información sobre los elementos del modelo. Esto es posible porque puede consultar la ontología y conocer las relaciones y propiedades definidas para cada uno de los conceptos que fueron modelados.

VI.6 Inferencias y consultas semánticas

Para permitir al visor sensorial realizar inferencias sobre la información de los modelos semánticos y las ontologías, se utilizaron tres de las tecnologías semánticas mencionadas en el apartado III.2, que en conjunto permiten al visor sensorial razonar sobre la información semántica. Estas tecnologías se pueden dividir en dos grupos: reglas de inferencia y consultas semánticas.

Para implementar las reglas de inferencia se utilizó el lenguaje SWRL (del inglés “Semantic Web Rule Language”). SWRL es un lenguaje que permite definir reglas expresadas en términos de conceptos OWL para proveer capacidades de razonamiento deductivo más poderosas que las que se pueden expresar solamente con la ontología (Horrocks *et al*, 2004). Semánticamente, SWRL se basa en la lógica descriptiva al igual que OWL. Las reglas SWRL contienen dos partes: el antecedente (cuerpo de la regla) y la consecuencia (cabeza de la regla). Tanto la cabeza como el cuerpo de la regla consisten de un conjunto de átomos positivos de la forma: $\text{átomo} \wedge \text{átomo} \dots n \rightarrow \text{átomo} \wedge \text{átomo} \dots n$.

Informalmente, una regla SWRL debe entenderse como “*si todos los átomos del antecedente son verdaderos, entonces la consecuencia es verdadera*”. Los átomos de una regla SWRL pueden incluir clases y propiedades de una ontología OWL. Además, también permite el uso de algunos átomos predefinidos para evaluar un predicado, por ejemplo: *igual qué, mayor qué, menor qué, suma, resta*, entre otros. En la Tabla III se muestran algunas de las reglas implementadas.

Tabla III. Ejemplos de reglas de inferencia con el lenguaje SWRL.

Regla	Significado
SmartObject (?so) ^ hasURI (?so, ?uri) → hasService(?so, ?s) ^ Service (?s)	Si es un objeto inteligente y tiene un URI, entonces ese objeto tiene un servicio web.
Pot (?p) ^ hasSensor(?p, ?s) → SmartPot(?p)	Si es una maceta y tiene un sensor, entonces es una maceta inteligente
Plant (?p) ^ hasTemperature (?p, ?t) ^ swrlb:greaterThan (?t, 30) → HotPlant (?p)	Si es una planta y su temperatura es mayor a 30 grados, entonces la planta está caliente.

Para implementar las consultas semánticas, se utilizaron dos tecnologías: SQWRL (del inglés “Semantic Query Web Rule Language”) y SPARQL (del inglés “Semantic Protocol and RDF Query Language”).

SQWRL es un lenguaje basado en SWRL para realizar consultas semánticas en una ontología. Proporciona operaciones tipo SQL para obtener conocimiento de una ontología OWL. Una consulta SQWRL está formada por el antecedente de una regla SWRL y un operador de selección, el cual reemplaza a la consecuencia de la regla (ver Tabla IV). De esta forma, se pueden hacer consultas directamente sobre el conocimiento derivado de las reglas de inferencia (O’Connor y Das, 2009).

Por otra parte, SPARQL¹⁵ es un lenguaje para consultas semánticas en modelos RDF. Una consulta SPARQL está formada por el operador *PREFIX*, donde se especifican los prefijos de la ontología y RDF, el operador *SELECT* para especificar el elemento del modelo que se desea obtener y por último, el operador *WHERE*, donde se especifican los filtros a aplicar en la consulta (ver Tabla IV).

Tabla IV. Ejemplos de consultas semánticas con SQWRL y SPARQL.

Tipo de Consulta	Consulta	Significado
SQWRL	Person (?p) ^ hasContentPresentation (?p, ?cp) ^ hasType (?cp, ?type) → sqwrl: select (?type)	Selecciona el tipo de presentación de contenido que tiene la persona.
SQWRL	ThirstyPlant (?p) → sqwrl:select (?p)	Selecciona la planta que tiene sed
SPARQL	PREFIX sv: http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor#/ PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> SELECT ?name ?value WHERE { ?x rdf:type sv:Sensor . ?x sv:hasName ?name . ?x sv:hasValue ?value . }	Selecciona el nombre y el valor de lectura de todos los sensores.

¹⁵ <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

VI.7 Navegador visor sensorial

Para implementar el visor sensorial prototipo se utilizó el lenguaje de programación Java¹⁶ versión 1.6.0_22. Se eligió este lenguaje porque es multiplataforma y además las herramientas requeridas para el manejo de información semántica proporcionan mecanismos para su uso en aplicaciones Java, tales como el acceso a ontologías, manipulación de modelos RDF, entre otros.

Partiendo del trabajo de Álvarez Lozano (2010) se portaron algunos de los componentes de la arquitectura (realidad aumentada, captura de contexto y el núcleo del visor sensorial) del lenguaje de programación C, en el que fueron originalmente desarrollados, a Java, para poder utilizarlos en este trabajo y extender su funcionalidad.

Para el prototipo también se utilizó el lenguaje de programación Processing¹⁷, el cual puede ser usado como una librería externa en Java. Processing es un lenguaje que permite crear imágenes, animaciones e interacciones visuales de manera sencilla. Por medio de esta librería se implementó el componente núcleo del visor sensorial para controlar el flujo de ejecución del visor sensorial, manteniendo hilos separados para dibujar la interfaz de usuario, ejecutar las funciones de consulta de objetos y búsqueda de servicios, así como presentar la información de objetos inteligentes al usuario. También se utilizó para controlar el acceso a la cámara del dispositivo, permitiendo obtener el flujo de video de la cámara y visualizarlo en la pantalla.

Una de las ventajas de Processing es que proporciona métodos para visualizar gráficos con OpenGL¹⁸ a través de Java. En base a esto, se implementaron métodos para manejar información multimodal (texto, imágenes, objetos virtuales y reproducción de audio), así como también para dibujar la interfaz de usuario. Para la reproducción de audio se utilizó la librería MaryTTS¹⁹, que permite sintetizar texto a voz, con lo que el visor sensorial puede leerle información al usuario.

¹⁶ <http://www.oracle.com/us/technologies/java/index.html>

¹⁷ <http://processing.org/>

¹⁸ <http://www.opengl.org/>

¹⁹ <http://mary.dfki.de/>

Con el propósito de evitar utilizar marcadores especiales de realidad aumentada, se utilizó el código QR para que el visor sensorial sepa donde dibujar los gráficos. Como se explicó en el apartado VI.3, los códigos QR tienen unos puntos de control, por tanto se implementaron métodos para que el visor sensorial detecte los puntos de control y los utilice para saber en qué parte de la pantalla se encuentra el código. De esta forma, el visor sensorial prototipo no utiliza un software de realidad aumentada específico, sino que la realidad aumentada se logra al detectar el código QR en el flujo de video y dibujar los gráficos en base a sus coordenadas. Para la decodificación de los códigos QR se utilizó la librería ZXing²⁰.

A continuación se explica el funcionamiento del visor sensorial prototipo, tomando como referencia el escenario de monitoreo de plantas y se describe cómo se lleva a cabo la comunicación entre el visor sensorial y las entidades involucradas, así como el funcionamiento de los mecanismos de interacción utilizando información semántica.

VI.7.1 Interfaz de usuario del visor sensorial

En la Figura 41 se muestra la interfaz de usuario del visor sensorial, que está constituida por dos partes: 1) el área de visualización (parte superior), ocupando la mayor parte de la pantalla y 2) la barra de opciones (parte inferior).

En el área de visualización se muestra constantemente el flujo de video de la cámara del dispositivo móvil. Cuando se interactúa con un objeto inteligente, la información de dicho objeto es mostrada en el área de visualización. Mientras tanto, en la barra de opciones se encuentran los botones para acceder a las funciones del visor sensorial, que son:

- 1. Botón Inicio:** Quita toda información que esté en la pantalla, detiene la interacción con un objeto inteligente y devuelve al visor sensorial a un estado de inicialización, listo para interactuar con otros objetos.

²⁰ <http://code.google.com/p/zxing/>

2. **Botón Scan:** Inicia la identificación de un objeto inteligente para que el visor sensorial consulte su información y se la presente al usuario.
3. **Botón Services:** Inicia la búsqueda de servicios de los objetos inteligentes presentes en el entorno actual.
4. **Botón Más (+) y Menos (-):** Controlan el nivel de zoom semántico que el usuario está utilizando. Al aumentar o disminuir el nivel de zoom, el visor sensorial reacciona presentando diferente tipo de información.

Adicionalmente, en la parte inferior izquierda de la interfaz aparece el nombre de la ubicación actual en que se encuentra el visor sensorial. Además, debajo de la ubicación aparece un mensaje que informa el estado actual del visor (en espera, buscando, consultando objeto).

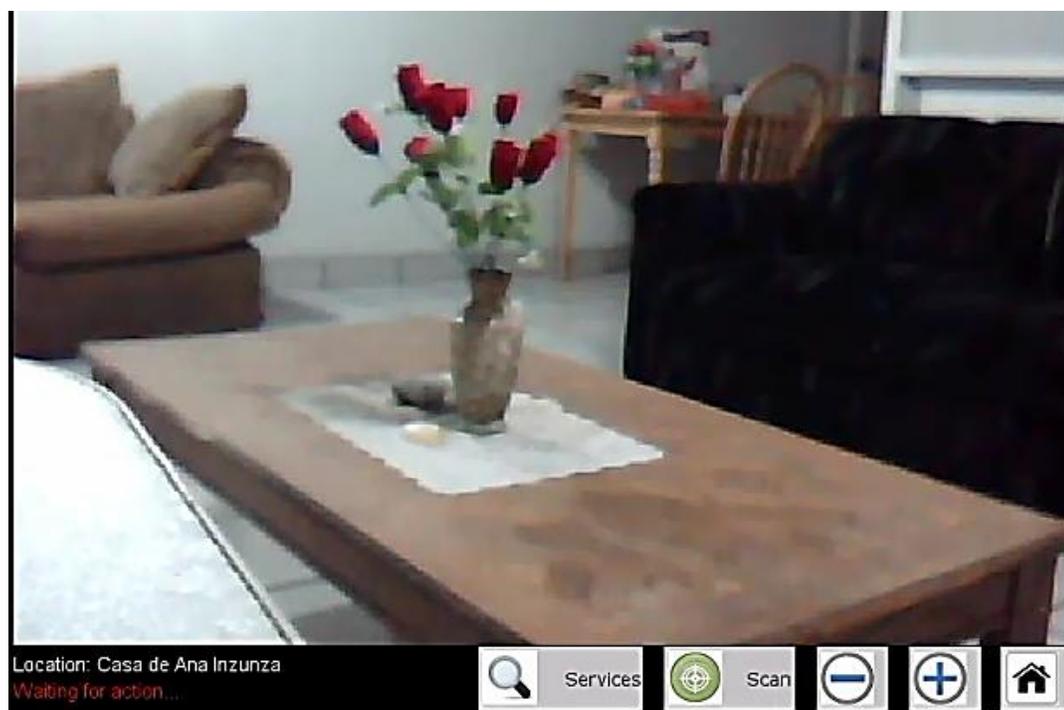


Figura 41. Interfaz de usuario del visor sensorial.

VI.7.2 Consulta de objetos inteligentes

El usuario llega a un entorno físico aumentado donde se encuentran objetos inteligentes. En este caso son unas macetas con flores, que tienen una etiqueta con un código QR, además de sensores de temperatura y humedad. Para hacer accesible la información de estos objetos inteligentes vía Web, se implementaron como servicios Web de tipo REST (Fielding, 2000). Para esto se utilizó la librería Restlet²¹. De esta forma, la información de los objetos inteligentes se puede acceder a través de los mecanismos estándar soportados por HTTP (GET, POST, PUT, DELETE), utilizando el URI del objeto inteligente.

Cuando el usuario se acerca al objeto inteligente, utiliza el dispositivo donde tiene instalado el visor sensorial para apuntar con la cámara hacia el objeto. Entonces, elige consultar la información del objeto (ver Figura 42). Al hacer esto, el visor sensorial analiza el flujo de video de la cámara en busca de códigos QR. En el momento en que detecta el código, lo decodifica y obtiene el URI del objeto inteligente.

En este caso, el usuario está interactuando con una maceta que tiene unas orquídeas y su URI es <http://localhost:8182/ubicomp/plants/1>. Enseguida, el visor sensorial obtiene el URI del usuario que se encuentra almacenado en la configuración del visor. En este caso, el usuario es Ana Inzunza y su URI es <http://localhost:8182/ubicomp/users/1>.

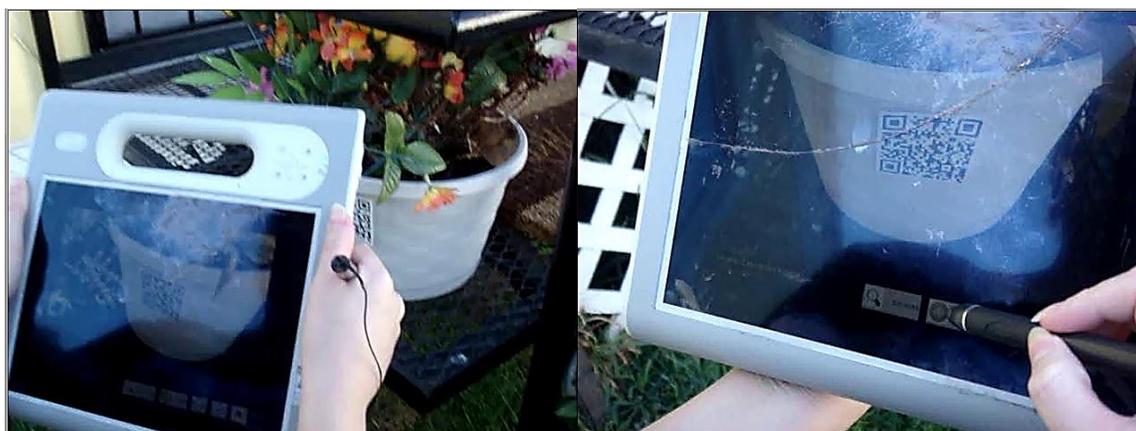


Figura 42. Consultando la información de una maceta inteligente con el visor sensorial (izquierda: el usuario apunta hacia la maceta; derecha: el usuario elige la opción consultar).

Después, el visor sensorial envía una petición de información al servidor Web encargado de procesar la información para el visor, utilizando como parámetros el URI del usuario y el URI del objeto inteligente. La funcionalidad de este servidor también se implementó como un servicio REST (*http://localhost:8182/ubicomp/filter*). Por tanto, la petición GET enviada al servidor es: *http://localhost:8182/ubicomp/filter?user=http://localhost:8182/ubicomp/users/1&object=http://localhost:8182/ubicomp/plants/1*.

Al recibir una petición de información, el servidor lleva a cabo una serie de acciones para responderle al visor sensorial (ver Figura 43). Primeramente, el servidor obtiene los modelos semánticos RDF correspondientes al usuario y al objeto inteligente, enviando una petición GET al URI de cada uno.

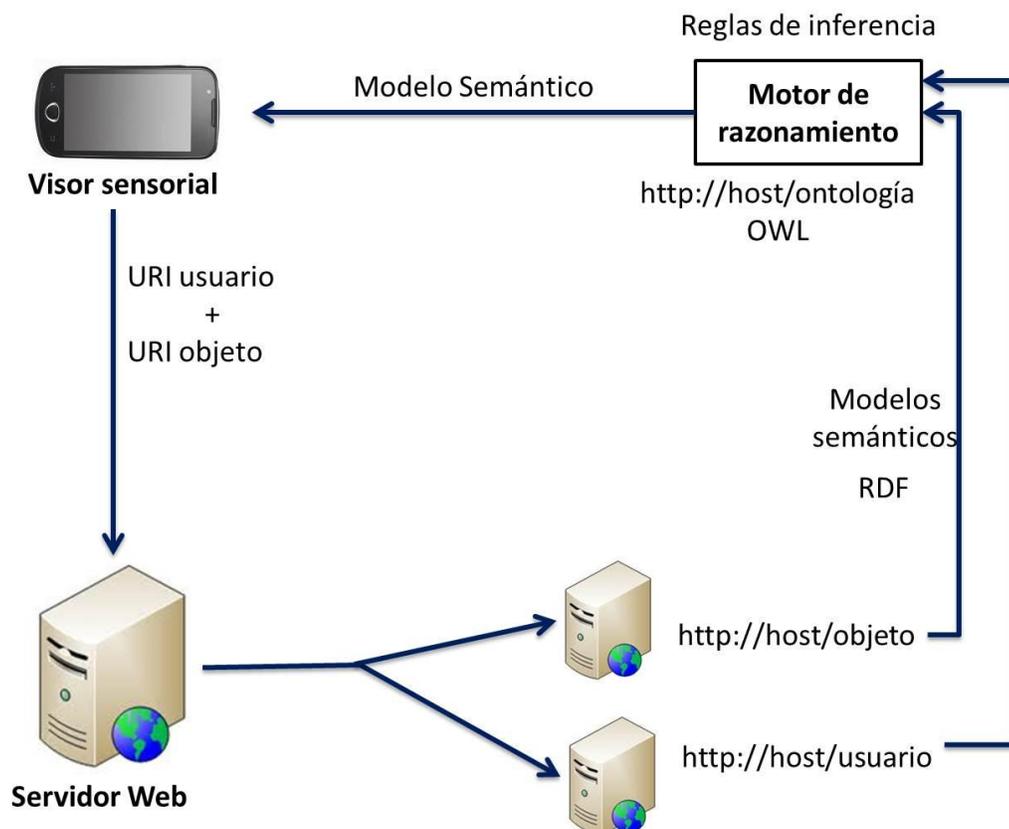


Figura 43. Flujo de acción para la consulta de objetos inteligentes con el visor sensorial.

Para el manejo de los modelos semánticos se utilizó la librería Jena²². Esta librería proporciona herramientas para desarrollar aplicaciones web semánticas y manipular modelos RDF, RDFS y ontologías OWL desde aplicaciones Java.

Una vez que obtiene los modelos semánticos RDF, el servidor ejecuta el motor de razonamiento, enviándole los modelos del usuario y del objeto inteligente, mientras que también carga la información de la ontología para poder hacer las inferencias. Para implementar el motor de razonamiento se utilizó Pellet²³, el cual es un motor de razonamiento OWL que también soporta inferencias basadas en reglas SWRL y consultas semánticas SPARQL. Además, también se utilizó el API de razonamiento incluido en Protége, que requiere el uso del motor de reglas Jess²⁴. Se implementó de esta manera porque se obtiene la ventaja de poder enlazar Jena, Protége y Pellet en aplicaciones Java. De esta forma, cada herramienta proporciona un aspecto funcional específico para crear el motor de razonamiento requerido en esta tesis.

Posteriormente, el motor de razonamiento aplica las reglas SWRL definidas en la ontología para el objeto inteligente y para el usuario. Enseguida, ejecuta una consulta semántica SQWRL para obtener la información del objeto inteligente derivada de las inferencias. En la Figura 44 se muestra una regla SWRL para la maceta inteligente.

```
SmartObject (?so) ^ hasPlant (?so, ?p)
^ hasHumidity (?so, ?hum) ^ hasMinHumidity (?p, ?min)
^ swrlb:lessThan (?hum, ?min)
→ ThirstyPlant (?p)
```

Figura 44. Regla SWRL de una maceta inteligente. La regla define que cuando la humedad de la maceta está por debajo del mínimo permitido por la planta, entonces la planta tiene sed.

²² <http://jena.sourceforge.net/>

²³ <http://clarkparsia.com/pellet>

²⁴ <http://www.jessrules.com/>

Cuando el motor de razonamiento termina su tarea, el servidor crea un modelo semántico RDF con el resultado de las inferencias (ver Figura 45). En este caso, el modelo semántico contiene la descripción del estado de la maceta inteligente correspondiente a la planta de orquídeas.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:sv="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor#">
  <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/1">
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/1/status">
        <sv:zoom>0</sv:zoom>
        <sv:value>good</sv:value>
        <sv:presentation>
          <sv:texture>http://localhost:8182/ubicomp/plants/1/status/presentation/textures/1</sv:texture>
        </sv:presentation>
        <sv:name>Status</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Figura 45. Modelo semántico RDF inferido para la maceta inteligente con orquídeas.

Por último, el servidor envía este modelo RDF inferido al dispositivo del usuario, donde el visor sensorial analiza el modelo RDF e identifica el estado actual de la maceta inteligente (elementos *sv:name* y *sv:value*). Además, también identifica el tipo de presentación (*sv:presentation*), que en este caso es una imagen de textura (*sv:texture*) almacenada en el URI: *http://localhost:8182/ubicomp/plants/1/status/presentation/texture*. Para habilitar la manipulación de modelos RDF en el visor sensorial también se utilizó la librería Jena. Así, el visor sensorial logró procesar la información y muestra en pantalla el resultado de la consulta del objeto inteligente. En este caso, la planta se encuentra en rangos adecuados de humedad y temperatura, lo que gráficamente se manifiesta con una cara feliz (ver Figura 46).



Figura 46. El visor sensorial le muestra al usuario que la planta está feliz, por lo que no requiere agua en estos momentos.

VI.7.3 Zoom semántico

Siguiendo con el ejemplo del monitoreo de plantas, ahora se explica el funcionamiento del zoom semántico. Este mecanismo de interacción se puede utilizar mientras el visor sensorial presenta información al usuario.

Para probar el zoom semántico se utilizó el visor sensorial para interactuar con otra maceta inteligente. En esta ocasión se trata de una maceta con rosas, cuyo URI es <http://localhost:8182/ubicomp/plants/2>. El flujo de acción ocurre de la misma manera que al consultar un objeto inteligente, lo cual se explica en el apartado anterior.

Sin embargo, debido a que esta planta tiene un nivel bajo de humedad y diferente temperatura, el servidor crea el modelo RDF inferido en base a esta información y se la envía al visor sensorial (ver Figura 47). En este modelo semántico aparecen los tres servicios de la maceta (estado, temperatura y humedad) identificados por el elemento *sv:service* en el modelo. Cada uno de los servicios tiene asignado un nivel de zoom

semántico (*sv:zoom*) determinado por el objeto inteligente. Para este trabajo no se consideró ningún criterio específico para definir el nivel de zoom de cada tipo de información, es decir, se asume que el objeto inteligente es el encargado de asignar el nivel de zoom a cada uno de sus servicios. Esto es porque al realizar este trabajo de investigación, notamos que el control de la privacidad es un factor importante en algunos escenarios de aplicación, por lo que no cualquier tipo de información debe poder ser consultada por cualquier usuario o en cualquier circunstancia.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:sv="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor#">
  <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/2">
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/status">
        <sv:zoom>0</sv:zoom>
        <sv:value>sad</sv:value>
        <sv:presentation>
          <sv:texture>http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/status/presentation/textures/1"</sv:texture>
        </sv:presentation>
        <sv:name>Status</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/temperature">
        <sv:zoom>1</sv:zoom>
        <sv:value>27C</sv:value>
        <sv:presentation>
          <sv:texture>http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/status/presentation/textures/2"</sv:texture>
        </sv:presentation>
        <sv:name>Temperature</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/humidity">
        <sv:zoom>2</sv:zoom>
        <sv:value>40%</sv:value>
        <sv:presentation>
          <sv:texture>http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/status/presentation/textures/3"</sv:texture>
        </sv:presentation>
        <sv:name>Humidity</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>

```

Figura 47. Modelo semántico RDF inferido para la maceta con rosas.

Una vez que el visor sensorial analiza el modelo semántico, identifica el nivel de zoom asignado a cada servicio y selecciona el servicio con el nivel de zoom más bajo ($sv:zoom = 0$). Enseguida, le presenta al usuario la información del servicio con ese nivel de zoom y el usuario puede elegir aumentar o disminuir el nivel de zoom semántico en el visor sensorial.

En base al modelo semántico obtenido (ver Figura 47) el nivel de zoom cero ($sv:zoom = 0$) corresponde al servicio del estado de la planta (<http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/status>), por lo que el visor sensorial toma los elementos del modelo RDF correspondientes a ese servicio y los utiliza para presentarle la información al usuario. En este caso le muestra la imagen de una planta triste, lo cual puede sugerir que la planta necesita agua y que tiene la temperatura elevada (ver Figura 48).



Figura 48. El visor sensorial le muestra al usuario que la planta esta triste, por lo que tal vez necesita agua.

Si el usuario desea saber con más detalle porqué la planta está triste, puede elegir aumentar el nivel de zoom semántico. Para esto, oprime el botón Más (+) en la interfaz del visor sensorial. Al aumentar el zoom, el visor sensorial analiza de nuevo el modelo semántico RDF que ya tiene (ver Figura 47) y selecciona la información con el siguiente nivel de zoom ($sv:zoom = 1$). Ahora el nivel de zoom corresponde al servicio de

temperatura de la maceta (<http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/temperature>), por lo que el visor sensorial selecciona los elementos del modelo RDF correspondientes a ese servicio y los utiliza para presentarle la información al usuario. En este caso, muestra en la pantalla un medidor de temperatura marcando 27° Centígrados, por lo que ahora el usuario sabe que la planta puede estar triste porque tiene calor (ver Figura 49). Para la generación dinámica de las gráficas se utilizó el API de Google Chart²⁵.



Figura 49. El usuario utiliza el zoom semántico en el visor sensorial para ver la temperatura de una maceta inteligente.

Si el usuario todavía quiere saber más, puede aumentar nuevamente el nivel de zoom. Entonces, el visor sensorial selecciona la información del modelo RDF (ver Figura 47) con el nuevo nivel de zoom ($sv:zoom = 2$), que ahora corresponde al servicio de humedad de la maceta (<http://localhost:8182/ubicomp/plants/2/humidity>). En este caso, el visor sensorial muestra el medidor de humedad marcando un 40% de humedad (ver Figura 50), por lo que el usuario ahora sabe que la planta necesita agua y por tal motivo mostraba la imagen de una planta triste en el primer nivel de zoom semántico.

²⁵ <http://code.google.com/intl/es/apis/chart/>



Figura 50. El usuario utiliza el zoom semántico en el visor sensorial para ver la humedad de una maceta inteligente.

De la misma forma en que el usuario utiliza el zoom semántico para ver más información del objeto inteligente, también puede reducir el nivel de zoom semántico y regresar a ver la información que estaba viendo antes. Para esto, el usuario solo tiene que oprimir el botón Menos (-) en la interfaz del visor sensorial, con lo cual se analiza nuevamente el modelo RDF con el nivel de zoom específico y se le presenta la información al usuario. En este caso, si el usuario reduce el nivel de zoom el visor sensorial le mostrará de nuevo el medidor de temperatura (ver Figura 49) y si vuelve a reducirlo de nuevo, le mostrará la imagen de la planta triste (ver Figura 48), tal como aparecía en un principio. Por tanto, el usuario puede utilizar el zoom semántico para cambiar entre distintos niveles de información en diferentes representaciones.

VI.7.4 Descubrimiento de servicios utilizando semántica

Para explicar el funcionamiento del mecanismo de descubrimiento de servicios del visor sensorial, se continúa con el ejemplo del monitoreo de plantas. Primeramente, cuando el usuario se encuentra utilizando el visor sensorial, puede hacer uso del mecanismo para

buscar los servicios de objetos inteligentes presentes en el entorno. Para esto, el usuario oprime el botón de buscar servicios en la interfaz del visor sensorial. Al hacer esto, el visor sensorial obtiene el URI de la ubicación semántica consultando el servicio de localización (en esta tesis se supone la existencia de este sistema de localización) y también obtiene el URI del usuario de la configuración del visor (<http://localhost:8182/ubicomp/users/1>). El visor sensorial prototipo fue utilizado por el usuario Ana Inzunza y la ubicación era la “Casa de Ana Inzunza”. Esta ubicación corresponde al URI: <http://localhost:8182/ubicomp/locations/1>.

El visor sensorial utiliza estos dos URIs para crear una consulta semántica SPARQL (ver Figura 51). El significado de esta consulta se traduce en: “*selecciona los URIs de los servicios de objetos inteligentes que se encuentren en la casa de Ana Inzunza*”, es decir, los servicios cuya ubicación está identificada por el URI: <http://localhost:8182/ubicomp/locations/1>.

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX sv: <http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor.owl#>
SELECT ?uri
WHERE {
  ?x rdf:type      sv:SmartObject .
  ?x sv:hasService ?s .
  ?s sv:hasUri     ?uri .
  ?x sv:hasLocation ?y .
  ?y sv:hasUri     'http://localhost:8182/ubicomp/locations/1' .
}
```

Figura 51. Consulta semántica SPARQL para el descubrimiento de servicios.

Después, el visor sensorial envía una petición de servicios al servidor Web encargado de procesar la información para el visor (<http://localhost:8182/ubicomp/filter>), utilizando como parámetro el URI del usuario y la consulta SPARQL. Para esto, se envía una petición POST de la siguiente forma: <http://localhost:8182/ubicomp/filter?user=http://localhost:8182/ubicomp/users/1&content=X>, donde “X” es una cadena de texto con la consulta SPARQL de la Figura 51.

Al recibir una petición de servicios, el servidor registra la petición en el recurso del usuario, quedando la petición disponible con un URI (<http://localhost:8182/ubicomp/users/1/query>) y después lleva a cabo una serie de acciones para responderle al visor sensorial (ver Figura 52). Primeramente, el servidor obtiene el modelo semántico RDF del usuario, enviando una petición GET al URI del usuario.

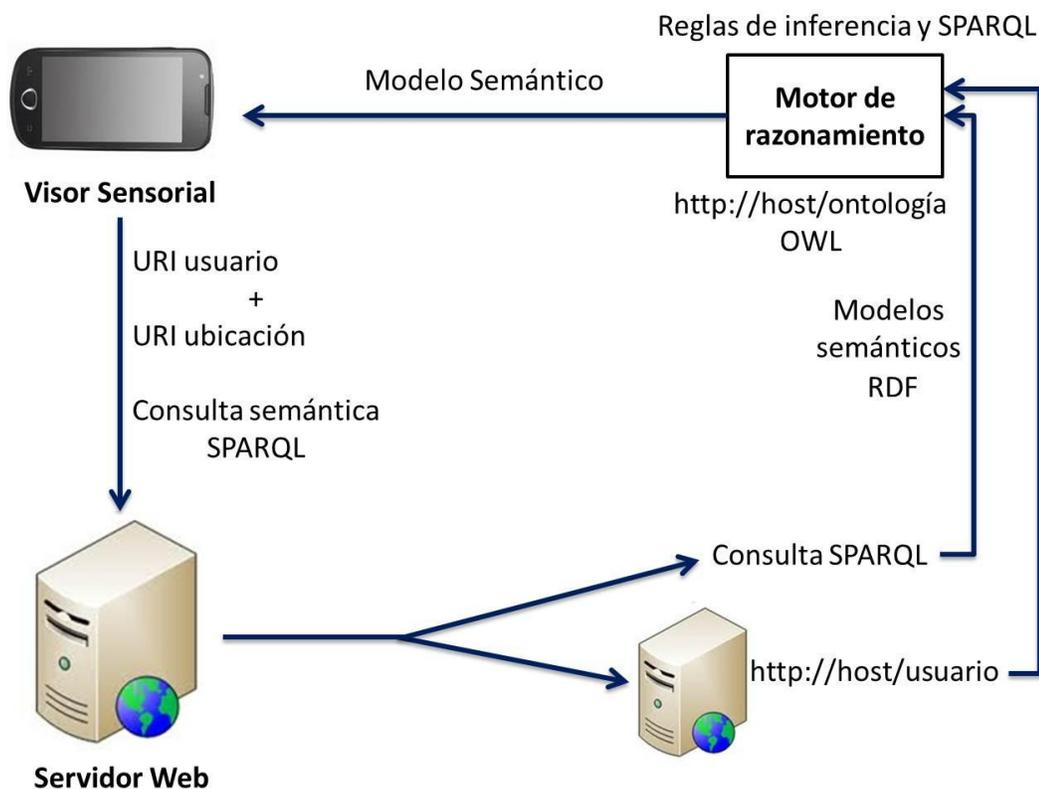


Figura 52. Flujo de acción para el descubrimiento de servicios utilizando información semántica.

Una vez que obtiene el modelo semántico RDF, el servidor ejecuta el motor de razonamiento, enviándole la consulta SPARQL, mientras que carga la información de la ontología para poder hacer la consulta. Para las consultas SPARQL también se utilizó Pellet²⁶. Cuando el motor de razonamiento termina de hacer la consulta, genera un modelo semántico RDF con el resultado de la consulta (ver Figura 53).

²⁶ <http://clarkparsia.com/pellet>

En este caso el modelo semántico incluye la lista de servicios encontrados en la ubicación actual, que son los servicios de macetas inteligentes en la casa del usuario Ana Inzunza.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:sv="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/30/sentientVisor#">
  <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/services">
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/1/temperature">
        <sv:name>temperature</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/1/status">
        <sv:name>status</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
    <sv:service>
      <rdf:Description rdf:about="http://localhost:8182/ubicomp/plants/1/humidity">
        <sv:name>humidity</sv:name>
      </rdf:Description>
    </sv:service>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Figura 53. Fragmento del modelo semántico RDF con la lista de servicios encontrados con una consulta SPARQL.

Por último, el servidor envía este modelo semántico RDF al dispositivo del usuario, donde el visor sensorial analiza el modelo RDF e identifica los objetos inteligentes encontrados, tras lo cual el visor sensorial presenta en pantalla sus nombres (ver Figura 54). En este caso se muestran las dos macetas inteligentes encontradas en la casa del usuario Ana Inzunza, que son una maceta con orquídeas y otra con rosas.

Si el usuario quiere acceder a los servicios de alguna de las macetas inteligentes, solo tiene que oprimir el nombre del objeto inteligente en la pantalla y automáticamente el visor sensorial analiza el modelo RDF para obtener la información proporcionada por los servicios del objeto seleccionado (ver Figura 55). En este caso, el visor sensorial muestra el estado de la maceta con rosas, su humedad y su temperatura.

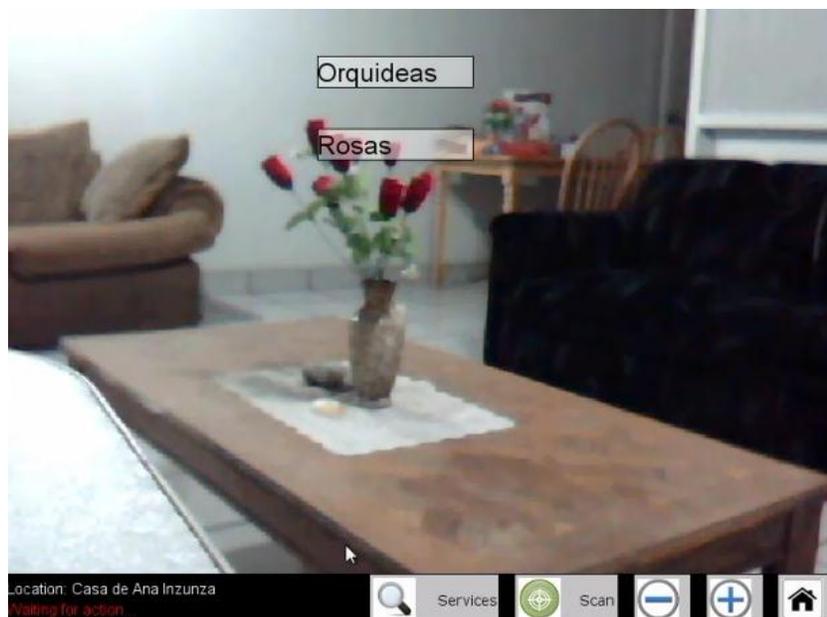


Figura 54. El visor sensorial muestra en la pantalla los nombres de los objetos inteligentes encontrados en la ubicación actual.

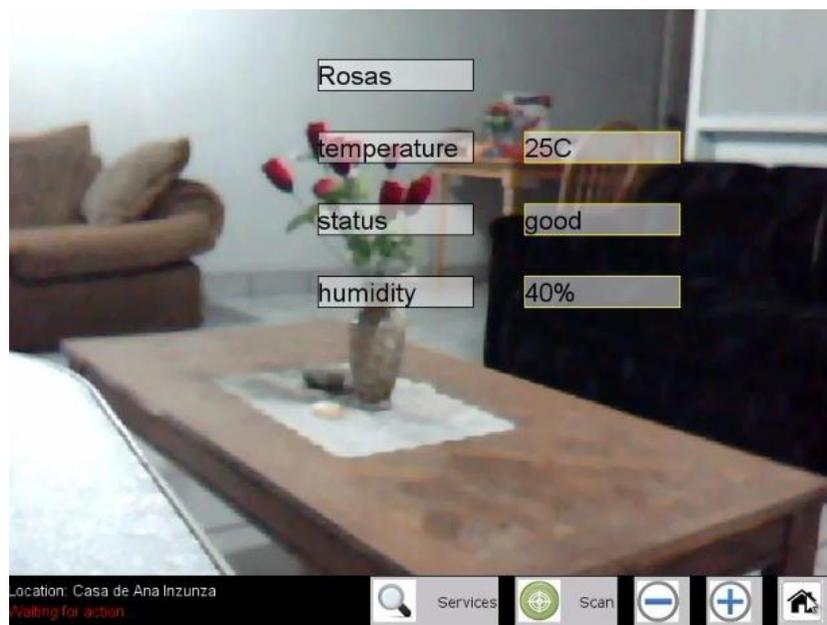


Figura 55. El visor sensorial muestra la información de los servicios de una maceta inteligente.

VI.8 Conclusiones

En este capítulo se presentó la implementación de un visor sensorial prototipo con el propósito de comprobar la factibilidad de tener un navegador para el Internet of Things, tomando en cuenta las características que se proponen en este trabajo. Se lograron implementar mecanismos de interacción para el visor sensorial de una manera genérica, permitiendo que el sistema identifique y comprenda la información obtenida de diferentes objetos inteligentes.

Las diferentes tecnologías semánticas utilizadas ayudaron a implementar los mecanismos para consultar objetos inteligentes, realizar zoom semánticos y descubrir servicios de objetos inteligentes en un entorno físico aumentado.

En base a esta implementación, en el siguiente capítulo se presenta la evaluación de este trabajo, para lo cual se hace una discusión analizando las diferencias con respecto a otros sistemas encontrados en la literatura.

Capítulo VII

Evaluación

VII.1 Introducción

En este capítulo se presenta la evaluación de este trabajo de investigación, la cual fue conducida de dos maneras: la primera mediante una discusión sobre las características del visor sensorial prototipo. En esta discusión se presenta una comparación del visor sensorial con respecto a otras propuestas similares encontradas en la literatura, con el objetivo de analizar las ventajas y limitaciones de este trabajo. La segunda evaluación se refiere a una evaluación funcional del prototipo, en la que los requerimientos de diseño fueron cotejados con la solución implementada. El objetivo de la segunda evaluación es verificar que efectivamente el prototipo cumple con estos requerimientos.

VII.2 Discusión

Después de haber implementado el visor sensorial prototipo presentado en esta tesis, se realizó un análisis comparativo donde se consideran algunos de los sistemas de navegación física abordados en el Apartado IV.2, los cuales comparten una mayor similitud con el concepto del visor sensorial. En la Tabla V se resume la comparación, donde se toman en cuenta las dimensiones del espacio de diseño del visor sensorial.

Como se puede observar en la comparación, existen otros sistemas en la literatura que consideran las dimensiones del espacio de diseño del visor sensorial. Por ejemplo, los sistemas comparados identifican alguna clase objetos del mundo real y proporcionan

conciencia del contexto. Además, también consideran el uso de información multimodal y una interfaz de usuario de realidad mixta.

Tabla V. Comparación del visor sensorial con otros sistemas de navegación física.

Sistema	Dimensiones de Diseño del Visor Sensorial					
	Identificación de objetos y descubrimiento de servicios	Conciencia del contexto	Información multimodal	Interfaz de usuario de realidad mixta	Razonamiento contextual	Comunicación semántica
Visor Sensorial	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ajanki <i>et al</i> , 2010	✓ *	✓ *	✓	✓		
Schmalstieg y Reitmayr, 2007	✓ *	✓ *	✓	✓		
Roduner y Langheinrich, 2010	✓	✓	✓			
Kindberg <i>et al</i> , 2002	✓	✓	✓ *			
Kooper y MacIntyre, 2003	✓ *	✓ *	✓	✓		

*Limitado

Sin embargo, los sistemas móviles de realidad aumentada presentados por Ajanki *et al* (2010) así como también por Schmalstieg y Reitmayr (2007), no permiten navegar el espacio de información del Internet of Things. Aunque la idea de los autores es utilizar sus sistemas como un navegador para visualizar información contextual y utilizar el mundo real como interfaz de usuario, si se trataran de usar para el Internet of Things estarían algo limitados. Esto es porque esos sistemas no consideran la posible interacción con objetos inteligentes individuales por medio de la presencia en la Web de dichos objetos y sus

servicios. Por tanto, un usuario sería incapaz de identificar un objeto inteligente e interactuar con él utilizando esos sistemas.

Es importante mencionar también que la conciencia del contexto en esos sistemas de realidad aumentada es baja, ya que se enfocan únicamente en aplicaciones basadas en la localización, mientras que el espacio de diseño para el visor sensorial considera diferentes valores para la dimensión de conciencia del contexto. Además, a diferencia del visor sensorial prototipo presentado en esta tesis, esos sistemas de realidad aumentada no fueron concebidos específicamente para el Internet of Things. Por este motivo, el visor sensorial proporciona una mayor capacidad para interactuar con objetos inteligentes y utilizar los servicios disponibles en un entorno físico aumentado.

En el trabajo de Roduner y Langheinrich (2010), los autores proponen un marco de trabajo para acceder a los servicios de productos físicos y mencionan que podría utilizarse como un navegador para el Internet of Things. Ese trabajo comparte la idea de un navegador universal con el visor sensorial y también toma en cuenta la ubicación de los objetos inteligentes y sus servicios. Sin embargo, existen diferencias importantes en cuanto a las consideraciones de diseño presentadas en ese trabajo y esta tesis. Por ejemplo, los autores no consideran el razonamiento contextual, la comunicación semántica o una interfaz de usuario de realidad mixta, que forman parte del espacio de diseño del visor sensorial. Estos elementos principales convierten al visor sensorial en un sistema adaptivo que infiere de forma autónoma la información que debe presentarle al usuario, razonando sobre la información contextual que incluye información del usuario, de los objetos inteligentes y de sus servicios.

Otro proyecto es CoolTown (Kindberg *et al*, 2002), en el cual se utiliza una PDA para acceder a servicios digitales y consultar información local sobre personas, lugares y objetos. Este proyecto fue uno de los primeros en explorar el concepto de una plataforma universal para interactuar con objetos del mundo real. Sin embargo, carece de algunas características definidas en el espacio de diseño del visor sensorial, tales como la comunicación semántica y el razonamiento contextual. Además, tampoco considera el uso de una interfaz de usuario de realidad mixta, ya que los autores solo consideran la presentación y visualización de información mediante páginas web.

Por otra parte, el sistema de navegación propuesto por Kooper y MacIntyre (2003) hace uso de la realidad aumentada para mostrar anotaciones o mensajes virtuales en el espacio físico, dependiendo de la ubicación y la orientación de la vista. Así, su funcionamiento se basa en enlazar cierta información a ubicaciones particulares para que el usuario pueda visualizarla al llegar a esa ubicación. De esta forma, la información está enlazada solamente a lugares en vez de objetos individuales, por lo que sus capacidades para identificar objetos inteligentes y sus servicios son limitadas.

Al hacer este análisis comparativo se encontró que la comunicación semántica y el razonamiento contextual son aspectos importantes del visor sensorial que no son considerados por ninguno de los proyectos de navegación física relacionados a esta tesis. Estos aspectos son necesarios para desarrollar un navegador para Internet of Things, capaz de aprovechar la información semántica disponible en el espacio de información.

Por ejemplo, en el Internet tradicional una persona utiliza típicamente un navegador web para escribir consultas en un motor de búsqueda o navega accediendo a diversos hiperenlaces. Pero en el Internet of Things, un navegador como el visor sensorial requiere considerar otras entradas más sutiles, tales como: apuntar hacia un objeto inteligente, conocer la información asociada a un usuario o identificar cierto tipo de servicios de manera autónoma. Para lograr esto se necesitan mecanismos de interacción genéricos capaces de lidiar con la heterogeneidad de información disponible en un entorno físico aumentado.

Ante esta situación, el uso de información semántica para la comunicación entre el visor sensorial y los objetos inteligentes, así como también para el razonamiento contextual, permite realizar inferencias y comprender el significado de la información independientemente del formato de origen o dominio de aplicación. De esta forma, el visor sensorial implementado en esta tesis aprovecha la semántica para habilitar la consulta de información de diferentes objetos inteligentes y el descubrimiento de los servicios ofrecidos por estos objetos en un entorno físico aumentado. Además, el zoom semántico utilizado en el visor sensorial proporciona también un mecanismo genérico para manipular la información, permitiendo cambiar entre distintos niveles de información.

Por lo anterior, el visor sensorial presentado en esta tesis considera aspectos que los otros sistemas de navegación mencionados no toman en cuenta y que son necesarios para habilitar la navegación del espacio de información en el Internet of Things.

Es importante mencionar que la idea de llevar un dispositivo móvil con el visor sensorial también presenta algunos inconvenientes. Por ejemplo, en determinados lugares o circunstancias, el usuario puede tener prohibido utilizar dispositivos como celulares con cámara, ya sea por razones de seguridad u otros motivos. Para estas situaciones, las pantallas ambientales podrían constituir un medio más adecuado para visualizar información del entorno.

VII.3 Evaluación funcional

En este apartado se presenta la evaluación funcional del visor sensorial prototipo. Este tipo de pruebas funcionales tienen el objetivo de encontrar las diferencias entre los requerimientos funcionales y el sistema implementado. En el apartado V.5.2 se definieron cinco requerimientos para el visor sensorial prototipo, que son:

1. Consulta de objetos inteligentes.
2. Descubrimiento de servicios.
3. Interfaz de navegación y zoom semántico.
4. Consulta de usuario y localización de objetos inteligentes.
5. Información semántica.

Prueba del requerimiento 1

El requerimiento de consulta de objetos inteligentes se refiere a que el visor sensorial debe permitir identificar los objetos inteligentes y posteriormente acceder a la información asociada a dichos objetos.

El visor sensorial prototipo habilita la consulta de objetos inteligentes mediante dos métodos. El primero son las etiquetas con códigos QR que se colocaron en los objetos inteligentes. El visor sensorial puede identificar este tipo de códigos analizando el flujo de video de la cámara y decodificando el código para obtener el URI del objeto. De esta forma, el visor sensorial identifica al objeto.

El segundo mecanismo radica en que la información de los objetos inteligentes se implementó a través de servicios web. De esta forma se puede acceder a esta información mediante peticiones HTTP GET a los recursos del objeto inteligente. Así, el servidor encargado de procesar la información para el visor sensorial es capaz de obtener la información relacionada a los objetos inteligentes y responder las peticiones del visor sensorial.

Con estos dos métodos se logra consultar la información de un objeto inteligente. Sin embargo, el espacio de diseño del visor sensorial permite considerar otras posibilidades que podrían ser implementadas tanto para identificar los objetos inteligentes como para interactuar con ellos a través del visor sensorial. Esto se discute en el apartado VII.4.

Prueba del requerimiento 2

Este requerimiento para el descubrimiento de servicios se refiere a que el visor sensorial debe ser capaz de encontrar los servicios de objetos inteligentes en un entorno físico aumentado para poder acceder a ellos y utilizarlos. Para lograr esto, el servidor encargado de procesar la información proporciona un servicio web que realiza la búsqueda de servicios ofrecidos por objetos inteligentes. Esta búsqueda toma en cuenta el tipo de servicios (servicios de objetos inteligentes) y la ubicación actual del visor sensorial.

La ubicación permite que el servidor filtre los servicios registrados en la ontología, obteniendo solo los servicios de objetos inteligentes presentes en la ubicación actual. Así, cuando el usuario requiere conocer los servicios disponibles estando en una ubicación particular, el visor sensorial envía una petición HTTP POST al servidor, con lo cual se registra y se ejecuta la búsqueda de servicios para el usuario. Posteriormente, el visor le muestra al usuario los servicios de objetos inteligentes encontrados, tras lo cual el usuario

puede hacer uso de dichos servicios. De esta forma, se cumple el requerimiento sobre el descubrimiento de servicios.

Prueba del requerimiento 3

El requerimiento sobre la interfaz de usuario y zoom semántico se refiere a la interactividad que proporciona el visor sensorial. El visor debe contar con una interfaz de usuario con ciertas funciones básicas, que son comunes para todos los escenarios de aplicación, las cuales son: consultar objetos inteligentes, descubrir servicios y realizar el zoom semántico.

El prototipo implementado cumple con este requerimiento a través de la barra de opciones en la interfaz del visor sensorial. Esta barra de opciones, proporciona algunos botones para poder ejecutar las acciones requeridas (consultar un objeto inteligente, iniciar la búsqueda de servicios). Además, cuando el visor sensorial le está presentando información al usuario, éste puede utilizar el zoom semántico para cambiar entre distintos niveles de información. Para esto, el visor sensorial posee dos botones que permiten aumentar y reducir el nivel de zoom semántico.

Por otra parte, la interfaz del visor sensorial también incluye un área donde se muestra la ubicación actual y el estado del visor (en espera, consultando objeto, buscando servicios).

Prueba del requerimiento 4

El requerimiento de consulta de usuarios y localización de objetos inteligentes se refiere a que el visor sensorial debe considerar el acceso a la información del usuario y a la información sobre la ubicación de los objetos inteligentes. Lo anterior para poder hacer las consultas de objetos inteligentes y descubrimiento de servicios.

Para esto, la información de los usuarios y de los objetos inteligentes se implementó como servicios web, de tal forma que tanto el visor como el servidor pueden acceder a ellos para obtener la información requerida. Por ejemplo, los datos del usuario (nombre, edad,

entre otros) o los datos de un objeto inteligente (tipo de objeto, nombre, ubicación, servicios).

El visor sensorial prototipo conoce donde se encuentra la información del usuario porque el URI del usuario se almacena en el propio visor. Así, cuando el visor sensorial envía peticiones al servidor utilizando los URIs del usuario y del objeto inteligente, el servidor es capaz de acceder a esta información mediante peticiones a esos recursos web, lo cual permite realizar la consulta de objetos inteligentes y descubrimiento de servicios.

Prueba del requerimiento 5

El requerimiento de información semántica se refiere a que la solución propuesta debe considerar el uso y manipulación de información semántica para los mecanismos de interacción del visor sensorial.

En el visor sensorial prototipo se utiliza información semántica de varias maneras. Primeramente, la información de los objetos inteligentes y sus servicios, así como también la información del usuario, se modelaron utilizando una ontología. Además, se utilizan modelos semánticos RDF para enlazar la información específica de cada entidad con los conceptos definidos en la ontología.

Para realizar la consulta de objetos inteligentes y el descubrimiento de servicios, el servidor ejecuta un motor de inferencias utilizando las reglas y consultas SWRL, SQWRL y SPARQL, donde se incluye información de los modelos semánticos RDF y la ontología.

Con respecto al zoom semántico, el visor sensorial analiza el modelo semántico RDF que el servidor le envía como respuesta, con lo cual puede identificar el nivel de zoom definido para cada elemento del modelo y determinar qué tipo de información presentarle al usuario.

VII.4 Consideraciones del espacio de diseño

El visor sensorial prototipo presentado en esta tesis representa una instancia del espacio de diseño propuesto para desarrollar visores sensoriales. Sin embargo, tal como se explica en el apartado V.4, las dimensiones de este espacio de diseño pueden tener diferentes valores que permiten crear visores con diferentes capacidades dentro de las dimensiones especificadas. Debido a esto, existe la posibilidad de tener visores sensoriales más avanzados que el presentado en este trabajo.

Por ejemplo, otro visor sensorial podría utilizar técnicas de visión artificial para reconocer tridimensionalmente el lugar donde se encuentra, así como también reconocer los objetos individuales a través de la cámara o también mediante mecanismos electrónicos como NFC. Además, podría tener acceso a algún servicio de directorio para encontrar servicios o algún sistema ad hoc.

Otra posibilidad sería que un visor sensorial pudiera reconocer su ubicación mediante el análisis del ruido ambiental o incluso inferir la ubicación en base a otros datos contextuales, tales como: eventos, el clima, patrones de movilidad del usuario, el tráfico, entre otros.

También se podría tener una interfaz de usuario adaptable, cambiando el tipo de interfaz de acuerdo a la actividad o dispositivo donde se está ejecutando el visor (un celular, un reloj, un automóvil, unos lentes, etc). Esto requeriría explorar distintos niveles de virtualidad para la interfaz (2D, realidad aumentada, realidad virtual) y otras metáforas de interacción.

Por otra parte, el zoom semántico implementado también puede mejorarse. Un visor más avanzado podría aumentar o disminuir automáticamente el nivel de zoom semántico en base a la proximidad del usuario con el objeto inteligente. Este tipo de zoom apoyado en la proximidad está siendo explorado como una nueva forma de interacción en aplicaciones de cómputo ubicuo (Greenberg *et al*, 2011).

Para poder desarrollar un visor sensorial con cualquiera de las características mencionadas, es necesario explorar diferentes valores para cada una de las dimensiones del espacio de diseño. No obstante, con el visor sensorial prototipo de esta tesis se ejemplifica

como una instancia del espacio de diseño puede servir para interactuar con los objetos inteligentes en entornos físicos aumentados, quedando abierta la posibilidad de extender aún más su funcionalidad y por tanto considerar otros requerimientos para futuras implementaciones.

VII.5 Conclusiones

En base a la evaluación presentada en este capítulo, se han analizado las diferencias de este trabajo con otros sistemas de navegación encontrados en la literatura, haciendo notar como cada una de las dimensiones de diseño son requeridas para habilitar la navegación del espacio de información en entornos físicos aumentados. De esta forma, se puede apreciar como los trabajos relacionados a esta tesis no pueden servir como un navegador universal para Internet of Things al carecer de las características del visor sensorial. Además, la evaluación funcional de este trabajo permite ver que el prototipo implementado cumple con los requerimientos propuestos.

Por otra parte, el visor sensorial presentado en esta tesis hace uso del enfoque orientado a la semántica del paradigma Internet of Things, lo cual ayudó a implementar los mecanismos de interacción genéricos para consultar la información de objetos inteligentes, realizar zoom semánticos y descubrir los servicios de objetos inteligentes presentes en entornos físicos aumentados.

Por último, en el siguiente capítulo se presentan las conclusiones de esta investigación, las principales aportaciones y limitaciones, así como también el trabajo futuro que se deriva de este proyecto.

Capítulo VIII

Conclusiones

VIII.1 Conclusiones

Conforme se avanza hacia la creación del Internet of Things es necesario explorar nuevas formas de interacción entre las personas y los objetos cotidianos del entorno. En esta visión del mundo donde todos los objetos cotidianos están interconectados y hacen uso de sus capacidades sensoriales, se requieren herramientas efectivas que puedan recolectar, interpretar y transmitir la información disponible en el espacio de información. Esta tesis ha sido motivada por esta visión del paradigma Internet of Things.

La navegación de espacios físicos es un tema que ha sido abordado en diferentes investigaciones en la literatura, siendo notorios los sistemas de navegación con realidad aumentada. Sin embargo, el concepto del visor sensorial se basa en tener un navegador universal para interactuar con todos los objetos inteligentes y servicios del Internet of Things, por lo que se requiere considerar mecanismos de interacción genéricos capaces de lidiar con la heterogeneidad del espacio de información conformado por los objetos inteligentes, sus servicios e información del entorno. En esta tesis se han presentado las consideraciones de diseño e implementación de un visor sensorial prototipo con mecanismos de interacción genéricos utilizando información semántica, con los cuales se aborda esta problemática.

Esta investigación permitió aprovechar las experiencias previas del Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo de CICESE sobre el proyecto visor sensorial, dando como resultado un prototipo funcional con el cual se habilita la navegación en entornos físicos aumentados, a través de la interacción con los objetos inteligentes y el acceso a sus servicios.

Se puede concluir que el objetivo de esta tesis, el diseño e implementación de mecanismos de interacción con objetos inteligentes para los visores sensoriales utilizando información semántica se ha cumplido satisfactoriamente. Es factible tener un sistema como el visor sensorial para interactuar con objetos inteligentes en entornos físicos aumentados.

VIII.2 Aportaciones

Las principales aportaciones de este trabajo de investigación son las siguientes:

En primer lugar, se utiliza el enfoque orientado a la semántica del paradigma Internet of Things para explorar mecanismos de interacción con el visor sensorial. Esto dio como resultado la consulta de información de objetos inteligentes, zoom semánticos y el descubrimiento de servicios utilizando información semántica.

Se propone el espacio de diseño para visores sensoriales, lo cual sirvió como base para la implementación del visor sensorial prototipo. Este espacio de diseño puede ser utilizado como guía para desarrollar otros visores sensoriales que extiendan este trabajo y exploren otras capacidades tanto en funcionalidad como en interacción.

Esta tesis permitió extender y complementar el proyecto de investigación sobre los visores sensoriales en el Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo de CICESE, lo cual resultó en la coautoría de dos artículos científicos que abarcan aspectos de este trabajo y el de Álvarez Lozano (2010):

- El artículo “The Sentient Visor: Towards a Browser for the Internet of Things” (Estrada Martínez *et al*, 2011)
- El artículo “Browsing the Internet of Things with Sentient Visors” (García Macías *et al*, 2011).

VIII.3 Limitaciones

A continuación se explican las limitaciones de este trabajo:

Aunque en un principio la idea era utilizar el visor sensorial en un teléfono inteligente (*smart phone*), esto no fue posible debido a falta de recursos (un teléfono) y problemas técnicos de implementación (incompatibilidades de algunas librerías de software requeridas), por lo que el visor sensorial solo pudo probarse en una computadora laptop y en una computadora tipo tableta. Sin embargo, gracias al uso de tecnologías Java, existe portabilidad entre diferentes sistemas operativos de escritorio (Windows, Mac OSX, Linux) y se puede migrar el prototipo a la plataforma Android reutilizando gran parte del código fuente.

La identificación de los códigos QR se ve afectada por la calidad de captura de video de la cámara y las condiciones de iluminación del entorno.

VIII.4 Trabajo futuro

El visor sensorial presentado en esta tesis se encuentra en una versión funcional pero sigue siendo un prototipo, por lo que aún se puede mejorar su funcionamiento y abordar otros aspectos de investigación. Por tanto, se considera como trabajo futuro los siguientes puntos:

Debido a que el prototipo se implementó con tecnologías Java, durante el desarrollo de esta tesis se analizó la factibilidad de migrar el visor sensorial prototipo a la plataforma Android, para lo cual se implementó una versión primitiva del sistema que no utiliza información semántica. Sin embargo, por requerirse más tiempo del establecido en este proyecto para lograr una migración total de los mecanismos de interacción presentados en

esta tesis, ya no se continuó con esta actividad. Por tanto, se sugiere como trabajo futuro migrar el prototipo a la plataforma Android.

Para implementar el uso de información semántica en los mecanismos de interacción del visor sensorial, se utilizaron tecnologías semánticas como RDF, OWL, SWRL y SPARQL. Sin embargo, los beneficios de estas tecnologías traen consigo la desventaja de que solo soportan el uso de inferencias monotónicas. Esto significa que el antecedente de una regla de inferencia siempre debe cumplirse para poder deducir su consecuencia (Si A entonces B). Esto puede generar un problema cuando la información semántica es incompleta por cuestiones de seguridad o privacidad. Por ejemplo, si un usuario no desea hacer accesible su edad o un objeto inteligente no permite acceder cierta información, entonces no se puede determinar si la regla se cumple o no. Para esto, se propone explorar el uso de inferencias no-monotónicas en las tecnologías semánticas (Si no A entonces no B).

En base a lo anterior, sería interesante extender este trabajo para incluir mecanismos de privacidad que hagan uso de la información semántica.

Otro punto interesante sería investigar metáforas para las interacciones con los objetos inteligentes. Para este trabajo se utilizó la metáfora de zoom semántico, sin embargo podrían existir otras metáforas de interacción más adecuadas para ciertas actividades. Por ejemplo, explorar como visualizar información de varios objetos inteligentes a la vez, como seleccionar un conjunto de objetos inteligentes con los cuales interactuar o hacer uso de la proximidad para habilitar otro tipo de interacciones.

Durante el desarrollo de esta tesis, Kalal *et al* (2010a; 2010b) publicaron un algoritmo para identificar objetos en el flujo de video de una cámara. Los autores demuestran que este algoritmo permite identificar un objeto individual, en tiempo real, en un flujo de video. El algoritmo fue publicado recientemente como un proyecto de software

libre. Por tanto, se propone ver la posibilidad de implementar este algoritmo como soporte para la identificación de objetos.

En este trabajo el procesamiento de información recae en un servidor Web. Sin embargo, los objetos inteligentes también pueden tener capacidades de procesamiento. Por tanto, se sugiere investigar el procesamiento distribuido de información en un entorno físico aumentado, así como también comunicaciones en tiempo real para el visor sensorial. El paradigma de inteligencia ambiental podría utilizarse para continuar con estas líneas de investigación.

Referencias

- Ailisto, H., Pohjanheimo, L., Väikkynen, P., Strömmer, E., Tuomisto, T. y Korhonen, I. 2006. Bridging the physical and virtual worlds by local connectivity-based physical selection. *Personal Ubiquitous Computing*. 10 (6): 333-344 p.
- Ajanki, A., Billinghamurst, M., Gamper, H., Järvenpää, T., Kandemir, M., Kaski, S., Koskela, M., Kurimo, M., Laaksonen, J., Puolamäki, K., Ruokolainen, T. y Tossavainen, T. 2010. An augmented reality interface to contextual information. En *Journal of Virtual Reality*. Springer London. 15 (2): 161-173 p.
- Álvarez Lozano, J. 2010. Marco de desarrollo para visores sensoriales. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Baja California, México. 127 pp.
- Ashton, K. 2009. That ‘internet of things’ thing. URL: <http://www.rfidjournal.com/article/view/4986> (Consultado en Junio del 2011).
- Atzori, L., Iera, A. y Morabito, G. 2010. The internet of things: a survey. *Computer Networks*. 54 (15): 2787-2805 p.
- Avilés López, E. y García Macías, J. A. 2008. Managing primary context through web services. En *Proceedings of the 24th International Conference on Data Engineering Workshop (ICDEW 08)*. IEEE CS Press. Cancún, México. Abril 2008. 164-167 p.
- Avilés López, E. y García Macías, J. A. 2009. UbiSOA dashboard: integrating the physical and digital domains through mashups. En *Proceedings of the Symposium on Human Interface 2009 on Conference Universal Access in Human-Computer Interaction. Part I: Held as Part of HCI International 2009*, Michael J. Smith and Gavriel Salvendy (eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. San Diego, USA. 19-24 Julio, 2009. 466-474 p.
- Avilés López, E., Villanueva Miranda, I., García Macías, J. A. y Palafox Maestre, L. E. 2009. Taking care of our elders through augmented spaces. En *Proceedings of the 2009 Latin American Web Congress (La-Web 2009)*. IEEE Computer Society, Washington, DC. 16-21 p.

- Azuma, R., Baillet, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. y MacIntyre, B. 2001. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 21 (6): 34-37 p.
- Barrett, R. y Maglio, P. P. 1998. Informative things: how to attach information to the real world. En *Proceedings of the 11th annual ACM symposium on user interface software and technology (UIST '98)*. ACM, New York, NY, USA. Noviembre, 1998. 81-88 p.
- Beigl, M., Gellersen, H.W. y Schmidt, A. 2001. Mediacups: experience with design and use of computer-augmented everyday artefacts. *Computer Networks*, 35 (4): 401-409 p.
- Berners-Lee, T. J., Hendler, J. y Lassila, O. 2001. The semantic web. *Scientific American* 284: 34-43 p.
- Castellani, A. P., Bui, N., Casari, P., Rossi, M., Shelby, Z. y Zorzi, M. 2010. Architecture and protocols for the internet of things: a case study. En *8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops PERCOM Workshops*, 678-683 p.
- Chui, M., Löffler, M. y Roberts, R. *The Internet of Things*. McKinsey Quarterly. March, 2010.
- Coetzee, L. y Eksteen, J. 2011. Internet of things – promise for the future? An introduction. *IST Africa*. 11-13 May 2011. 9 pp.
- Dey, A. K. 2001. Understanding and using context. *Personal Ubiquitous Computing*. 5 (1): 4-7 p.
- Estrada Martínez, P. E., Álvarez Lozano, J., García Macías, J. A. y Favela, J. 2011. The sentient visor: towards a browser for the internet of things. En *5th International Symposium on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI 2011)*. [Aceptado]
- Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer, T. y Webster, A. 1997. A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. En *Proceedings of the 1st International Symposium on Wearable*

Computers (ISWC 97). IEEE Press, 1997. Cambridge, Massachusetts, USA. 13-14 Octubre, 1997. 74-81 p.

- Fielding, R. T. 2000. Architectural styles and the design of network based software architectures. Tesis de doctorado, University of California, Irvine, Irvine, California.
- García Macías, J. A., Álvarez Lozano, J., Estrada Martínez, P. E. y Avilés López, E. 2011. Browsing the internet of things with sentient visors. *IEEE Computer*. 44 (5), 46-52 p.
- Gershenfeld, N. 1999. When things start to think. Henry Holt, New York, NY, USA. 225 pp.
- Gershenfeld, N., Krikorian, R. y Cohen, D. 2004. The internet of things. *Scientific American*. 26 (4): 46-51 p.
- Greenberg, S. y Fitchett, C. 2001. Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets. En *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '01)*. ACM, New York, NY, USA, 209-218 p.
- Greenberg, S., Marquardt, N., Ballendat, T., Diaz-Marino, R. y Wang, M. 2011. Proxemic interactions: the new ubicomp. *Interactions* 18 (1): 42-50 p.
- Gruber, T. R. 1993. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*. 5(2):199-220 p.
- Guerrero, L. A., Ochoa, S. F. y Horta, H. 2010. Developing augmented objects: a process perspective. *Journal of Universal Computer Science*. 16 (12): 1612-1632 p.
- Guinard, D., Trifa, V. y Wilde E. 2010a. A resource oriented architecture for the web of things. En *Proceedings of IEEE International Conference on the Internet of Things (IoT 2010)*. Tokyo, Japan. 1-8 p.
- Guinard D., Trifa, V., Karnouskos, S., Spiess, P. y Savio, D. 2010b. Interacting with the SOA-based internet of things: discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. *IEEE Transactions on Services Computing*. 3 (3): 223-235 p.

- Guinard, D., Trifa, V., Mattern, F. y Wilde, E. 2011. From the internet of things to the web of things: resource oriented architecture and best practices. En: D. Uckelmann, M. Harrison, and F. Michahelles (eds). Architecting the internet of things. Springer. 97-129 p.
- Horrocks, I., Patel, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B. y Dean. M. 2004. SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. URL: <http://www.w3.org/Submission/SWRL> (Consultado en Julio del 2011).
- Huang, Y. y Li, G. 2010. A semantic analysis for internet of things. En International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA). Vol. 1: 336-339 p.
- Hui, J. W. y Culler, D. E. 2008. Extending IP to low-power, wireless personal area networks. IEEE Internet Computing, 12 (4): 37-45 p.
- Kalal, Z., Mikolajczyk, K y Matas, J. 2010. Forward-backward error: automatic detection of tracking failures. En 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2010). 2756-2759 p.
- Kalal, Z., Mikolajczyk, K. y Matas, J. 2010. Face-TLD: Tracking-learning-detection applied to faces. En 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2010). 3789–3792 p.
- Kawsar, F., Fujinami, K., y Nakajima, T. 2005. Augmenting everyday life with sentient artefacts. 2005. En Proceedings of the 2005 Joint Conference on Smart Objects and Ambient intelligence: innovative Context-Aware Services: Usages and Technologies (Grenoble, France, October 12 - 14, 2005). sOc-EUSAI '05, vol. 121. ACM, New York, NY, 141-146 p.
- Kindberg, T., Barton, J., Morgan, J., Becker, G., Caswell, D., Debaty, P., Gopal, G., Frid, M., Krishnan, V., Morris, H., Schettino, J., Serra, B. y Spasojevic, M. 2002. People, places, things: web presence for the real world. Mobile Networks Applications Journal. 7 (5): 365-376 p.
- Kooper, R. y MacIntyre, B. 2003. Browsing the real-world wide web: maintaining awareness of virtual information in an AR information space. International Journal of Human Computer Interaction. 16(3): 425–446 p.

- Kortuem, G., Kawsar, F., Fitton, D. y Sundramoorthy, V. 2010. Smart objects as building blocks for the internet of things". IEEE Internet Computing. 14 (1): 44-51 p.
- Kostakos, V. y O'Neill, E. 2007. NFC on mobile phones: issues, lessons and future research. Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. PerCom Workshops '07, 367-370 p. 19-23 March 2007.
- Kranz, M.; Holleis, P. y Schmidt, A. 2010. Embedded interaction: interacting with the internet of things. IEEE Internet Computing. 14 (2): 46-53 p.
- Kuniavsky, M. 2010. Smart things: ubiquitous computing user experience design. Morgan Kaufmann Publishers. Burlington, MA. 336 pp.
- Lassila, O. y Adler M. 2003. Semantic gadgets: ubiquitous computing meets the semantic web. En Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. 363-376 p.
- Mankoff, J., Dey, A.K., Hsieh, G., Kientz, J., Lederer, S. y Ames, M. 2003. Heuristic evaluation of ambient displays. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Ft. Lauderdale, Florida, USA, April 05 - 10, 2003). CHI '03. ACM, New York, NY, 169-176 p.
- Milgram, P. y Kishino, A. F. 1994. A Taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information and Systems. 1321-1329 pp.
- Muguira, L., Ruiz-de-Garibay, J. y Vazquez, J.I. 2009. Interacting with the digital world through RFID-powered gadgets. En 17th International Conference on Software, Telecommunications & Computer Networks (SoftCOM). 24-26 Sept. 2009. 85-89 p.
- Newman, J., Ingram, D. y Hopper, A. 2001. Augmented reality in a wide area sentient environment. En Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 01). IEEE CS Press. 77-86 p.
- Noy, N. F. y McGuinness, D. L. 2001. Ontology development 101: a guide to creating your first ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.

- O'Connor, M. J. y Das, A. K. 2009. SQWRL: a query language for OWL. En OWL: Experiences and Directions (OWLED) 6th International Workshop. Chantilly, VA.
- Perlin, K. y Fox, D. 1993. Pad: an alternative approach to the computer interface. En Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM. 57–64 p.
- Poslad, S. 2009. Ubiquitous computing: smart devices, environments and interactions. John Wiley and Sons Ltd. Primera edición. United Kingdom. 473 pp.
- Rekimoto, J. y Nagao, K. 1995. The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments. En Proceedings of the 8th Annual ACM Symposium on User Interface and Software Technology (UIST 95), ACM Press, 1995. 29-36 p.
- Roduner, C. y Langheinrich, M. 2010. BIT – A framework and architecture for providing digital services for physical products. En Proceedings of the Internet of Things (IOT).1-8 p.
- Schmalstieg, D. y Reitmayr, G. 2007. The world as a user interface: augmented reality for ubiquitous computing. En: Georg Gartner, William Cartwright, Michael P. Peterson (eds.). Location Based Services and TeleCartography. Springer Berlin Heidelberg New York, 369-382 p.
- Schmuller, J. 2001. Aprendiendo UML en 24 horas. Prentice Hall. Primera edición. ISBN 968-444-463-X. 448 pp.
- Segura Saldaña, D., Favela Vara, J. y Tentori Espinoza, M. E. 2008. Sentient displays in support of hospital work. 3rd Symposium of Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence, SpringerLink Press. Octubre 22-34, Salamanca, España. 103-111 p.
- Tan, L., y Wang, N. 2010. Future internet: the internet of things. En 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE). vol. 5. V5-376-V5-380 p.
- Vasseur, J. P. y Dunkels, A. 2010. Interconnecting smart objects with IP: the next internet. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA. 407 pp.

- Vázquez J. J. y López-de-Ipiña, D. 2007. Principles and experiences on creating semantic devices. En Proceedings of the 2nd International Symposium on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAMI 2007).
- Want, R., Fishkin, K. P., Gujar, A., y Harrison, B. L. 1999. Bridging physical and virtual worlds with electronic tags. En Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit (CHI '99). ACM, New York, NY, USA, 370-377 p.
- Weiser, M. 1991. The computer for the twenty-first century. Scientific American. 265 (3): 94-104 p.
- Weiser, M. y Brown, J. 1996. The coming age of calm technology. Book: Beyond calculation: the next fifty years, 75-85 p.
- Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., Balazinska, M. y Borriello, G. 2009. Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience. IEEE Internet Computing. 13 (3): 48-55 p.
- Booch, G., Rumbaugh, J. y Jacobson, I. 1998. Unified modeling language user guide. Addison-Wesley. Primera edición. Massachusetts, USA. 512 pp.
- Wright, A. 2009. Get smart. Communications of the ACM. 52 (1): 15-16 p.