

INTERACCIÓN SEMÁNTICA DE OBJETOS EN LA WEB DE LAS COSAS



MIGUEL ÁNGEL NIÑO ZAMBRANO
Tesis presentada para el grado de Doctor en Telemática

Director:
PhD. Ing. Gustavo Adolfo Ramírez González

Universidad del cauca
Instituto de Postgrados en Electrónica y Telecomunicaciones
Doctorado en Ingeniería Telemática
Departamento de Telemática
Línea de Investigación Aplicaciones y Servicios sobre Internet
Popayán, Marzo de 2016

MIGUEL ÁNGEL NIÑO ZAMBRANO

**INTERACCIÓN SEMÁNTICA DE OBJETOS EN LA WEB
DE LAS COSAS**

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca
Tesis presentada para el grado de Doctor en Telemática

Doctorado en:
Ingeniería Telemática

Director:
PhD. Ing. Gustavo Adolfo Ramírez González

POPAYÁN
2015

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis hijos Julián, Ángel, Miguel Ángel y Valery a quienes tuve que tomar un poco de su tiempo para poder realizar estos estudios. A mi querida esposa Elizabeth que me apoyó en todo momento y soporto las largas jornadas de traspasado que implico estos estudios. También a mi familia en Bucaramanga, quienes con su buena energía siempre tuvieron voces de aliento. A mi tutor Gustavo quien supo orientarme y apoyar mi trabajo. A mis queridos amigos Carlos Cobos, Martha Mendoza y Carlos Ardila quienes confiaron en mí más allá de una simple amistad. A los estudiantes que de alguna u otra forma hicieron parte de este trabajo. A la Universidad del Cauca que apostó económica y académicamente en mi formación y, finalmente, a Colciencias y este hermoso país Colombia que con el apoyo de becas de doctorado hicieron realidad el sueño de estudiar un doctorado con el cual podré servir y retribuir lo recibido en los años futuros.

Resumen Estructurado

Antecedentes

Normalmente las personas vivimos en una realidad mediada por nuestra relación con los objetos (físicos y conceptuales) y como a través de ellos intervenimos en dicha realidad; parece lógico pensar, que la siguiente evolución natural de la Internet es que éstos objetos se conecten a la misma, para que se comuniquen con nosotros y entre ellos mismos, con el fin de crear mejores servicios y bienestar; es precisamente lo que se busca en la Internet de las Cosas (*Internet of Things - IoT*).

La IoT permite interconectar las cosas del mundo real o digital, compartiendo sus datos y servicios, con el propósito de lograr una conectividad ubicua y disponibilidad de datos en tiempo real. La IoT integra un escenario complejo en el que confluyen varias tecnologías de sensores, tecnologías semánticas y protocolos de comunicación, sin embargo para lograr la interconexión ubicua aún existen varios problemas por resolver, entre ellos la heterogeneidad semántica, la cual se presenta por la dificultad en acceder, describir y comunicar sensores que utilizan hardware, software y protocolos de diferentes proveedores. Una estrategia para afrontar ésta dificultad se ha desarrollado con la implementación de componentes software mediadores denominados middleware y servidores IoT, que por medio de anotaciones semánticas y librerías de desarrollo (*application program interface – APIs*), reconcilian las diferencias entre formatos e interfaces, implementando en la Web de las Cosas (*Web of Things – WoT*) servicios de acceso a dichos sensores, a través de arquitecturas como: Transferencia de Estado Representacional (*Representational State Transfer – REST*) y Arquitectura Orientada a Servicios (*Service Oriented Architecture – SOA*), haciendo uso de estándares como: Lenguaje de marcado extensible (*eXtensible Markup Language – XML*) y notación objeto JavaScript (*JavaScript Object Notation - JSON*) entre otros.

Los middleware y servidores del IoT están acumulando gran cantidad de datos en el orden de exabytes. Adicionalmente, los sensores conectados proveen flujos de datos crudos y sin contexto, constituyéndose en uno de los principales obstáculos para aprovechar al máximo los potenciales servicios del WoT.

Las investigaciones previas han utilizado técnicas de recuperación de información - RI y minería de datos para aprovechar la información producida, sin embargo, algo más importante de resolver como la contextualización de los datos es aun difícil de lograr y generalmente queda a juicio del usuario, quien debe hacer un proceso largo de lectura,

interpretación y análisis de datos, con el fin de establecer que sensores pueden resolver sus necesidades de información.

Por otro lado, dependiendo del middleware o servidor IoT que provea los datos de los sensores, es necesario programar los APIs específicos para gestionar la información de los mismos, dificultando su aprovechamiento de manera transparente para los usuarios finales.

Ya sea para crear mejores motores de búsqueda de información en la IoT o para encontrar mejores servicios de información de la IoT, es necesario poder identificar la información relevante proveniente de los objetos. Para ofrecer mejores resultados, una posible solución es la integración de técnicas de la web semántica en los servicios de búsqueda de información de la IoT, es así como el presente proyecto se enfoca en la creación de índices semánticos en la WoT como un servicio (Semantic Indexing as a Service - SlaaS), con el fin de que sirvan como herramientas para mejorar el descubrimiento, la contextualización y usos de los dispositivos de la IoT en diferentes contextos. Adicionalmente, el proyecto incursiona en la creación de servicios web para exponer la funcionalidad del índice semántico como elemento interesante para ofrecer una mejor experiencia de incorporación en aplicaciones a los usuarios de los objetos en la IoT. Lo anterior se ha integrado en un modelo de búsqueda semántica para el IoT.

Finalmente, en este proyecto se propone un modelo para la interacción semántica de objetos para el WoT. El elemento principal para la interoperabilidad semántica está basado en manejo del contexto a través de los índices semánticos para la IoT y a través de ontologías y reglas semánticas.

Objetivo General.

Definir las características, funcionalidades y restricciones que se deben tener en cuenta para modelar la interacción semántica entre objetos inteligentes¹ en la Web de las Cosas, a través de un enfoque de indexación y búsqueda semántica, con el fin de que sirvan como base para procesos de recuperación de la información semántica en la WoT.

Objetivos Específicos.

1. Proponer un modelo de interacción semántica entre objetos inteligentes de la Web de las Cosas (MIO) con las siguientes características:
 - Proveer una vista arquitectónica de interacción entre objetos de la web de las cosas, reutilizando infraestructura abierta como middlewares y APIs de desarrollo.
 - Proponer una estrategia para almacenar y procesar la información semántica que soporta la interacción de los objetos de la WoT, basado en ontologías,

¹ Son objetos que poseen capacidades de procesamiento, almacenamiento y comunicación (Smart Thing), o implementa estrategias que permiten emular estas características (Smart Gateway).

- estándares de objetos y/o protocolos existentes, apoyando la comunicación semántica entre los objetos inteligentes de la web de las cosas.
- Establecer un mecanismo de indexación y búsqueda semántica en la WoT, de tal forma que incorpore información del contexto en el que se intercambia dicha información entre los objetos de la WoT.
2. Implementar una prueba de concepto de interacción de objetos (PIO), que utilice el modelo propuesto para conectar e interactuar entre si objetos inteligentes de la WoT en un caso de estudio particular².
 3. Evaluar la funcionalidad de las herramientas desarrolladas, midiendo la relevancia de los procesos de recuperación de información provistos en el caso de estudio propuesto.

Método(s).

Dado que los productos tienen diferentes metodologías para su desarrollo, se decidió implementar un enfoque metodológico, uniendo las diferentes metodologías seleccionadas en cada etapa de la investigación. Así para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta tres etapas principales: conceptualización, construcción y evaluación. En cada etapa se ejecutan una serie de actividades, cada una con productos definidos y metodologías apropiadas.

En la etapa de conceptualización se propone la construcción del modelo de interacción semántica para la WoT. Se siguió una metodología que especifica cuatro fases: en la fase 1 se creó un referente teórico en interoperabilidad semántica en la WoT siguiendo el enfoque de investigación documental, posteriormente se creó un diseño de alto nivel (arquitectura de la solución), que será la base para las siguientes fases. En la fase 2 se definió un modelo de interacción semántica para la WoT, apoyado en la arquitectura definida y formalizado a través herramientas case. Para el modelo ontológico se realizó una adaptación de la metodología METHONTOLOGY, la cual permite crear las ontologías y reutilizar las estandarizadas. Para el modelo de servicios se eligió la metodología de infraestructura orientada a servicios (*Service-Oriented Methodology Framework – SOMF*) y la herramienta Enterprise Architect Modeling Tool. Finalmente, en la fase 3 se eligió el caso de estudio de acuerdo a las tecnologías seleccionadas en la arquitectura, elementos y dispositivos necesarios para construirlo. Por un lado se eligió la creación de un índice semántico en el dominio de la contaminación medioambiental y por otro lado, el escenario de interacción semántica en el dominio de la casa inteligente.

En la etapa de construcción se desarrollaron los prototipos y herramientas software se utilizó la metodología UP Ágil. Se abordan las fases de inicio, elaboración, construcción y transición. Para la construcción del escenario de interacción semántica se siguió primero un proceso de prototipo físico de los dispositivos hasta obtener el funcionamiento requerido. Posteriormente se siguió una metodológica de desarrollo de

² Este caso de estudio será seleccionado durante la elaboración del proyecto buscando ajustarlo a los recursos existentes.

escenarios de interacción semántica en la WoT, propuesta por este proyecto y basada en las herramientas desarrolladas que soportan el modelo definido en la etapa anterior.

Finalmente, en la etapa de evaluación se utilizaron distintos métodos para los distintos productos. En el caso del software, la metodología de desarrollo de software elegida (Agile UP) propone actividades que permitieron evaluar la usabilidad y calidad del mismo. Para el caso de la evaluación del índice semántico y del escenario de interacción semántica se utilizó lo siguiente:

- Con respecto del software de búsqueda e indexación semántica para la WoT, se debía evaluar a relevancia de la información recuperada, así se tomó como base los indicadores existentes en la RI tradicional: Precisión at K, MAP y el índice Kappa, calculándolos y posteriormente realizando su análisis.
- Con respecto del escenario de interacción semántica para la WoT se tuvo que adecuar indicadores para realizar una propuesta de medición de los mismos. Para esto se procedió a realizar primero un referente teórico del tema, posteriormente seleccionar las medidas más adecuadas y adaptarlas a los objetivos de medición del proyecto, finalmente su medición e interpretación de datos.

Resultados

Los resultados de la investigación se agrupan en: generación de nuevo conocimiento y desarrollo tecnológico, fortalecimiento de la comunidad científica y apropiación social del conocimiento.

Con respecto a la generación de nuevo conocimiento, se aportó en el área de la Web semántica de las cosas, en específico con: un modelo conceptual - semántico para la interacción semántica en la WoT, que propone cinco vistas: vista conceptual, vista arquitectónica, vista funcional, vista semántica y una vista de servicios. Finalmente, entre los productos adicionales se aportó con: un estado del arte en el área de la interacción semántica de la WoT, un método de indexación semántica para la WoT, un enfoque de expansión de consultas en ontologías de dominio, un enfoque metodológico para crear ontologías para la WoT y un enfoque metodológico para la creación de escenarios de interacción semántica en la WoT.

Con respecto a la generación de desarrollo tecnológico se aportó con las siguientes herramientas software: Ontología de contaminación ambiental, Ontología Objeto Semántico, indexador y buscador semántico para la WoT con servicios web para exponer su funcionalidad, herramienta móvil para monitorear la calidad del aire, un escenario de interacción semántica en el caso de estudio de una casa inteligente: Aplicación Web para el monitoreo de variables del escenario y aplicación móvil para el control e interacción con el escenario.

Con respecto al fortalecimiento de la comunidad científica, se aportó con la formación de siete estudiantes de pregrado y uno de posgrado en los temas del proyecto y

actuando como director y codirector respectivamente. Adicionalmente, se realizaron varias presentaciones, talleres y cursos relacionados al tema en la Universidad del Cauca en el Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

Con respecto a la apropiación social del conocimiento se aportó con cinco publicaciones en eventos y congresos nacionales e internacionales y tres publicaciones nacionales en revistas indexadas, esperando aún las publicaciones que están en revisión que son internacionales.

Finalmente, otras actividades relacionadas a la apropiación social del conocimiento son el desarrollo de un curso práctico basado en talleres de tecnologías de la IoT, participación como par evaluador de una revista internacional y sitio web del proyecto.

Conclusiones

- Es posible crear escenarios de interacción semántica entre objetos inteligentes de la WoT con el modelo propuesto en esta tesis, con el fin de tener acceso ubicuo a la información y servicios de los objetos de la WoT.
- Los resultados preliminares permiten establecer que la prueba de concepto puede ser reutilizada para construir una plataforma más robusta y eficiente para crear escenarios de interacción semántica en la WoT, ya que los objetos presentaban características colaborativas entre sí.
- Se pudo verificar que al adoptar los objetos inteligentes un comportamiento colaborativo, los servicios a los usuarios son más personalizados a sus necesidades particulares.

Palabras Clave: Interacción Semántica, Internet de las Cosas, Web de las Cosas, Objetos Inteligentes, Objeto Semántico, Ontologías, Redes de Sensores Inteligentes.

Structured Abstract

Background:

Normally people live in a reality that is mediated by our relationship with the objects (physical and conceptual) and as though they intervene in this reality; It seems logical to think, that the next natural evolution of the Internet is that these objects are connected to it, that communicate with us and each other, in order to create better services and welfare; It is precisely what is being sought in the Internet of things – (IoT).

The Internet of things allows you to interconnect things in the digital or real world, sharing its data and services, with the aim of achieving a ubiquitous connectivity and availability of data in real time. The IoT integrates a complex scenario in which converge several technologies of sensors, semantic technologies and communication protocols, however to achieve ubiquitous interconnection still there are several problems to be resolved, among them the semantic heterogeneity, which arises because of the difficulty in access, describe and communicate sensors using hardware, software and protocols of different suppliers. A strategy to deal with this difficulty has been developed with the implementation of components software known as middleware and servers IoT, mediators that reconciled the differences between formats and interfaces, implemented in the Web of things - WoT through semantic annotations and *application program interface* - APIs for development, access to these sensors through architectures as services: *Representational State Transfer* - REST and *Service Oriented Architecture* - SOA, using standards as *EXtensible Markup Language* - XML and *JavaScript Object Notation* - JSON among others.

The middleware and servers of the IoT are accumulating large amounts of data in the order of Exabyte. In addition, the connected sensors provide flows of raw data and without context, becoming one of the main obstacles to take advantage of the potential services of the WoT.

Previous investigations have used techniques of information retrieval and data mining to take advantage of the information produced, however, something more important to resolve as the contextualization of data is still difficult to achieve and usually is at

discretion of the user, who must make a long process of reading, interpretation and analysis of data, in order to establish that sensors can meet their information needs.

Furthermore, depending on the middleware or IoT server that provides data from the sensors, it is necessary to set the specific APIs to manage the information of them, making it difficult to use transparently to end users.

Whether to create better information search engines in the IoT or to find best information services of the IoT, it is necessary to be able to identify the relevant information from the objects. For best results, a possible solution is the integration of techniques of the semantic web in search of information of the IoT services, this is how this project focuses on the creation of semantic indexing in the WoT as a service - SaaS, with the purpose that they serve as tools to improve discovery, contextualization, and devices of the IoT applications. Additionally, the project moves into the creation of web services to expose the functionality of the semantic index as an interesting element to provide a better experience for incorporation into applications to users of the objects in the IoT. This has been integrated into a model of semantic search for the IoT.

Finally, in this project a model for the semantic interaction of objects is proposed for WoT. The main element for semantic interoperability is based on the context management through semantic indices for the IoT and through ontologies and semantic rules.

Main Aim

Define the characteristics, features and restrictions that must be considered for modeling semantic interaction between smart objects in the Web of things, through an approach to indexing and semantic search, in order to serve as a basis for recovery of the semantic information in the WoT

Specific Aims

1. Propose an interaction model between smart objects of semantic Web of Things with the following characteristics:
 - Provide an architectural view of interaction between objects in the web of things, reusing infrastructure open as middleware and development APIs.
 - Propose a strategy for storing and processing the semantic information that supports the interaction of objects of the WoT, based on ontologies, standards of objects and/or existing protocols, supporting semantic communication between smart objects for the web of things
 - Establish a mechanism for indexing and search semantic in the WoT, so that it incorporates the context information that is exchanged such information among the objects of the WoT.

2. Implement a proof of concept of interaction of objects (PIO), that the proposed model uses to connect and interact between if smart objects of the WoT in a case of particular study.
3. To assess the functionality of the tools developed by measuring the relevance of information retrieval processes provided in the case of proposed study.

Method(s):

Since the products have different methodologies for its development, it was decided to implement a methodological approach, uniting the different methodologies selected in each stage of the investigation. Thus for the development of this project taking into account three main stages: conceptualization, construction and evaluation. In each stage run a series of activities, each with defined products and appropriate methodologies.

The conceptualization stage proposes the construction of the semantic model interaction to the WoT. Followed used a methodology that specifies four phases: phase 1 created a theoretical reference on semantic interoperability in the WoT, in turn following the approach of documentary research, was subsequently created a high level design (architecture of the solution) that will form the basis for the following phases. A model of semantic interaction for the WoT was defined in phase 2, supported in the architecture defined and formalized through tools case. The ontological model was an adaptation of the METHONTOLOGY methodology, which allows to create ontologies and reuse the standardized. The *service-oriented methodology framework* - SOMF methodology and tool Enterprise Architect Modeling Tool was chosen for the service model. Finally, in phase 3 was the case study according to the selected technologies in the architecture, elements and devices necessary to build it. On the one hand was the creation of a semantic index environmental pollution and on the other hand the scene of semantic interaction in the smart home.

In the construction phase prototypes and software tools, developed mainly used the Agile UP agile and Scrum methodologies. Usually start, elaboration, construction and transition phases are addressed. For the construction of semantic interaction scenario was followed first a process of physical prototype devices to obtain the required performance. Then followed a methodological development of scenarios of semantic interaction in the WoT, proposed by this project and based on the developed tools that support the model defined in the previous step.

Finally, different methods for different products were used in the evaluation stage. In the case of software, the selected software development methodologies (Agile UP, Scrum) propose activities allowing to evaluate the usability and quality of the same. In the case of evaluation of semantic index and the semantic interaction scenario was used as follows:

- With respect to the search and semantic indexing for the WoT software, had to be assessed to relevance of the recovered information, so was taken as a basis

existing in traditional IR Precision indicators: Precision At K and the Kappa index, measuring them and subsequently making his analysis

- With regard to the stage of semantic interaction for the WoT had to adapt indicators to perform a measurement of the same proposal. For this was to first perform a benchmark theorist of the topic, then select the most suitable measures and adapt them to measurement of the project objectives, finally measurement and interpretation of data.

Results.

The results of the research are grouped into: generation of new knowledge and technological development, strengthening of the scientific community and social appropriation of knowledge.

With regard to the generation of new knowledge, is provided in the area of the Semantic Web of things, specifically with: a conceptual - semantic model for semantic interaction in the WoT, which proposes an architectural view, a semantic view and a view of services. Finally, additional products is provided with: a State of the art in the area of semantic interaction of the WoT, a method of semantic indexing to the WoT, an approach of query expansion on ontologies of domain, a methodological approach to create ontologies for the WoT and a methodological approach for the creation of scenarios of semantic interaction in the WoT.

With regard to the generation of technological development are provided with the following software tools: environmental pollution, semantic object ontology, ontology indexer and search semantic for the WoT with web services to expose its functionality, mobile tool to monitor the quality of the air, a scenario of semantic interaction in the case study of a smart home, Web application for the monitoring of variables of the scenario and mobile application for control and interaction with the scene.

With regard to the strengthening of the scientific community is provided with the formation of seven students of undergraduate and post-graduate degree in the subjects of the project and acting as a director and Co-Director respectively. Additionally, were various presentations, workshops, and courses related to the subject in the University of Cauca in the Faculty of electronic engineering and telecommunications.

With regard to the social appropriation of knowledge he contributed with five publications in national and international conferences and events, and three national publications in indexed journals, waiting for even the publications that are in review which are international.

Finally, other activities related to the social appropriation of knowledge are the development of a practical course based on workshops of technologies of the IoT, participation as evaluator of an international magazine and web site of the project.

Conclusions

- Is possible to create scenarios semantic interaction between intelligent objects with the proposed model in this thesis, in order to have ubiquitous access to its objects information and services.
- Preliminary results allow to establish proof of concept that can be reused to build a more robust and efficient semantic interaction scenarios in the WoT, since the objects had each other collaborative features.
- We could verify that by adopting smart objects collaborative behavior, user services are more customized to his particular needs.

Keywords.

Semantic Interaction, Internet of Things, Web of Things, Smart Objects, Ontologies, Intelligent Sensor Networks.

Tabla de Contenido

	Página
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.2 ESCENARIO DE MOTIVACIÓN	26
1.3 CONTRIBUCIONES	26
1.3.1 <i>Generación de nuevo conocimiento y desarrollo tecnológico</i>	26
1.3.2 <i>Fortalecimiento de la Comunidad Científica</i>	28
1.3.3 <i>Apropiación Social del Conocimiento</i>	28
1.4 ALCANCE.....	29
1.5 CONTENIDO DE LA TESIS.....	30
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	32
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	35
2.1.1 <i>Interacción Semántica de la WoT</i>	35
2.1.1.1 Arquitecturas IoT	37
2.1.1.2 Web Semántica de las Cosas	40
2.1.1.3 Comportamiento Social e Inteligente	43
2.1.2 <i>Mejores Prácticas en Interacción Semántica en la WoT</i>	46
CAPITULO 3 MODELO DE INTERACCIÓN SEMÁNTICA EN WOT.....	49
3.1.1 <i>Introducción</i>	49
3.1.2 <i>Metodología para la creación del modelo</i>	49
3.1.2.1 Paso 1: Determinación del ámbito o realidad en la cual se desarrolla el modelo de interacción semántica para la WoT	51
3.1.2.1.1 Conceptos Básicos del Modelo	51
3.1.2.1.2 Conceptos Específicos del Modelo.....	53
3.1.2.1.3 Conceptos adaptados al modelo (isomorfismos).....	56
3.1.2.2 Paso 2: Definir un lenguaje para abstraer y representar el modelo	61
3.1.2.3 Paso 3: Definir diferentes niveles de abstracción del modelo	61
3.1.2.3.1 Preguntas a resolver por parte del modelo	61
3.1.2.3.2 Establecimiento de la Hipótesis	63
3.1.2.3.3 Vista arquitectónica del modelo	64
3.1.2.3.4 Vista Dinámica del modelo propuesto	69
3.1.2.3.5 Vista semántica del modelo	70

3.1.2.3.5.1	Principios de diseño de la ontología	70
3.1.2.3.5.2	Metodología para el Desarrollo Ontologías para la Interacción Semántica en la WoT 71	
3.1.2.3.5.3	Metodología de Diseño de Ontologías	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2.3.5.4	Ontología Objeto Semántico.....	75
3.1.2.3.6	Vista de Servicios del Modelo	87
3.1.2.3.6.1	Metodología de Creación de Servicios.....	87
3.1.2.3.6.2	Conceptualización de Servicios.....	88
3.1.2.3.6.3	Análisis de Servicios	94
3.1.2.3.6.4	Diseño de Servicios	95
CAPITULO 4	MÉTODO DE INDEXACIÓN Y BÚSQUEDA SEMÁNTICA PARA LA WOT	97
4.1.1	<i>Creación del Modelo</i>	97
4.1.2	<i>Retos y soluciones para crear índices semánticos en la IoT</i>	97
4.1.3	<i>Vistas del Modelo de Búsqueda Semántica para la IoT</i>	100
4.1.4	<i>Método de Indexación Semántica para la IoT</i>	101
4.1.5	<i>Arquitectura propuesta para el desarrollo de Buscadores Semánticos en la IoT</i>	102
4.1.6	<i>Ventajas y Desventajas del Modelo Propuesto</i>	104
4.1.7	<i>Creación de un Índice Semántico en la IoT</i>	105
4.1.8	<i>Modelo Semántico del Índice</i>	107
4.1.8.1	Vista Contextual	107
4.1.8.2	Vista de conceptos	108
4.1.8.3	Vista de indexación	112
4.1.8.4	Vista de Servicios.....	113
4.1.9	<i>Buscador Semántico para el Web de Objetos</i>	114
4.1.9.1	Escenario de Aplicación del Buscador	114
4.1.9.2	Escenario de Motivación	115
4.1.9.3	Principales Interfaces Desarrolladas	115
4.1.10	<i>Evaluación del Buscador Semántico</i>	120
4.1.10.1	Definición de Preguntas a Realizar en el Buscador Semántico	121
4.1.10.2	Selección de los Usuarios de la Prueba	121
4.1.10.3	Recolección y Análisis de los Datos.....	121
4.1.10.3.1	Indicadores de Relevancia Utilizados	121
4.1.10.3.2	Planeación y Ejecución de la Prueba	124
4.1.10.3.3	Análisis de Resultados	125
4.1.11	<i>Caso de Estudio Alternativo: Aplicación Móvil de Monitoreo de calidad del Aire</i>	127
4.1.12	<i>Conclusiones del Método de Indexación Semántica Propuesto</i>	129
CAPITULO 5	ESCENARIO DE INTERACCIÓN SEMÁNTICA EN LA WOT	132
5.1	CASO DE ESTUDIO: LA CASA INTELIGENTE.....	132
5.2	DESPLIEGUE FÍSICO Y DE SERVICIOS DEL ESCENARIO	133
5.3	PASOS PARA CREAR EL ESCENARIO DE INTERACCIÓN SEMÁNTICA EN LA CASA INTELIGENTE	134
5.4	EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE INTERACCIÓN SEMÁNTICA	137
5.4.1	<i>Referentes de Evaluación en Interacción Semántica de la WoT</i>	137
5.4.1.1	Latencia de Interacción - LI	138
5.4.2	<i>Calidad del Servicio en Interacción - QoSI</i>	139
5.4.3	<i>Diseño y Ejecución de los Experimentos</i>	140
5.4.3.1	Primera Prueba de Funcionalidad.....	140
5.4.3.2	Arreglos Realizados después de la primera fase de pruebas	144
5.4.3.3	Segunda Prueba de Funcionalidad	145
5.4.3.4	Arreglos Realizados después de la segunda fase de pruebas	147
5.4.3.5	Tercera Prueba de Funcionalidad	147

5.4.3.6	Análisis de Latencia de los Experimentos Realizados al Escenario	148
5.4.3.6.1	Análisis de la Prueba1	149
5.4.3.6.1.1	Medición de Latencia en Lectura de Metadatos	149
5.4.3.6.1.2	Latencia Promedio Encendiendo el Servicio Inteligente	150
5.4.3.6.1.3	Latencia Promedio Creación ECA	151
5.4.3.6.1.4	Latencia Promedio de Activación de ECA	152
5.4.3.6.1.5	Latencia Promedio de Eliminación de ECA	153
5.4.3.6.1.6	Promedio Latencia Todos los Procesos	154
5.4.3.6.2	Análisis de la Prueba6	155
5.4.3.6.2.1	Análisis de cantidad de mensajes por Recurso Inteligente	155
5.4.3.6.2.2	Análisis de mensajes de estados de las Entidades de Interés	157
5.4.3.6.2.3	Llamados al Objeto Inteligente.....	157
5.4.3.6.2.4	Llamados a los recursos Inteligentes.....	158
5.4.4	<i>Conclusiones de la Construcción de Escenarios de Interacción en la WoT</i>	159
CAPITULO 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
6.1	CONCLUSIONES	160
6.2	RECOMENDACIONES	163
6.3	TRABAJO FUTURO	163
CAPITULO 7	BIBLIOGRAFÍA	165

Lista de Figuras

	Página
FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LA SWoT.....	36
FIGURA 2. VISTA CONCEPTUAL PARA LA INTERACCIÓN SEMÁNTICA DE LA IOT	51
FIGURA 3. VISTA ESTÁTICA DE LA ARQUITECTURA PROPUESTA	65
FIGURA 4. VISTA DINÁMICA DE LA ARQUITECTURA PROPUESTA	69
FIGURA 5. DIAGRAMA METODOLÓGICO Y DE COMPONENTES DE LA ONTOLOGÍA DE INTERACCIÓN SEMÁNTICA WoT	74
FIGURA 6. MODELO DE DEPENDENCIA DE ONTOLOGÍAS	75
FIGURA 7. MODELO CONCEPTUAL DEL OBJETO SEMÁNTICO	76
FIGURA 8. MAPA CONCEPTUAL ONTOLOGÍA OBJETO SEMÁNTICO	82
FIGURA 9. GENERAL PATTERN OF THE SEMANTIC OBJECT	83
FIGURA 10. MÓDULO DE LAS PROPIEDADES DE LOS OBJETOS SEMÁNTICOS (MODELO ORIENTADO A OBJETOS)	83
FIGURA 11. MÓDULO DE MÉTODOS DE OBJETOS SEMÁNTICOS (MODELO ORIENTADO A OBJETOS)	83
FIGURA 12. MÓDULO DE CONOCIMIENTO DEL OBJETO SEMÁNTICO (MODELO DEL DOMINIO DE LA ONTOLOGÍA)	84
FIGURA 13. MÓDULO DE LA INTERACCIÓN SEMÁNTICA (EVENTO-CONDICIÓN-ACCIÓN, BASES DE DATOS).....	84
FIGURA 14. MÓDULO DE ESTADO DE LOS OBJETOS SEMÁNTICOS (PATRÓN DE LA TEORÍA DE CONTROL)	85
FIGURA 15. MODELO CONCEPTUAL DE ATRIBUTOS	88
FIGURA 16. MODELO DE ÁRBOL DE DECISIÓN DE ATRIBUTOS	90
FIGURA 17. DIAGRAMA CONCEPTUAL DE ASOCIACIÓN	92
FIGURA 18. DIAGRAMA RELACIONES DE LOS SERVICIOS	94
FIGURA 19. MODELO DE COMPOSICIÓN DE SERVICIOS	95
FIGURA 20. DIAGRAMA ARQUITECTÓNICO DEL MÉTODO DE INDEXACIÓN SEMÁNTICA EN LA IOT.....	101
FIGURA 21. ARQUITECTURA DEL BUSCADOR SEMÁNTICO PARA LA IOT	103
FIGURA 22. MODELO CONCEPTUAL DEL BIOTIPO.....	110
FIGURA 23. MODELO CONCEPTUAL DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	110
FIGURA 24. INTERFAZ DE BÚSQUEDA INICIAL.....	116
FIGURA 25. RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN EN EL BUSCADOR	117
FIGURA 26. BIOTIPOS Y SENSORES DETECTADOS EN EL BUSCADOR SEMÁNTICO	118
FIGURA 27. ANÁLISIS DE VARIABLES MEDIOAMBIENTALES POR BIOTIPO.....	119
FIGURA 28: INTERFACES DE LA APLICACIÓN MÓVIL DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	128
FIGURA 29: EJEMPLO DE LA CASA INTELIGENTE	132
FIGURA 30: TENDENCIA DE LA LATENCIA PROMEDIO EN LA LECTURA DE METADATOS DEL OBJETO INTELIGENTE.....	150
FIGURA 31: TENDENCIA DE LA LATENCIA PROMEDIO EN LA CREACIÓN DE ECAS	152
FIGURA 32: TENDENCIA EN LA LATENCIA PROMEDIO EN LA ACTIVACIÓN DE ECAS.....	153
FIGURA 33: TENDENCIA DE LATENCIA PROMEDIO EN ELIMINACIÓN DE ECAS	154

FIGURA 34: COMPARACIÓN DE LATENCIAS PROMEDIO DEL ESCENARIO 155

FIGURA 35: DIAGRAMA RADIAL DE MENSAJES ENVIADOS POR RIOTI 156

FIGURA 36: PORCENTAJE DE MENSAJES POR ENTIDAD DE INTERÉS 157

FIGURA 37: COMPARACIÓN DE MENSAJES ENVIADOS POR OBJETO INTELIGENTE..... 157

FIGURA 38: DIAGRAMA RADIAL DE MENSAJES DE LOS RECURSOS INTELIGENTES 158

Lista de Tablas

	Página
TABLA 1. INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PROPUESTAS ARQUITECTÓNICAS DE LA IOT	38
TABLA 2. INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LA INTEROPERABILIDAD SEMÁNTICA	40
TABLA 3. INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON SOCIAL Y COMPORTAMIENTO INTELIGENTE.....	44
TABLA 4. DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES DE HIPÓTESIS.....	64
TABLA 5. ESPECIFICACIÓN ONTOLOGÍA OBJETO SEMÁNTICO	76
TABLA 6. GLOSARIO DE TÉRMINOS DE LA ONTOLOGÍA DE OBJETO SEMÁNTICO	81
TABLA 7. CONCEPTOS DE NIVEL SUPERIOR.....	89
TABLA 8. TIPOS DE DATOS SEMÁNTICOS	92
TABLA 9. SERVICIOS Y USUARIOS IDENTIFICADOS	94
TABLA 10. RETOS VS. CARACTERÍSTICAS DE LOS ÍNDICES SEMÁNTICOS EN LA IOT	99
TABLA 11. VENTAS VS. DESVENTAJAS DEL MODELO DE BÚSQUEDA SEMÁNTICA EN EL IOT PROPUESTO	105
TABLA 12. PREGUNTAS DE REFERENCIA EN EL DOMINIO DE CALIDAD DEL AIRE.....	121
TABLA 13. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS KAPPA	124
TABLA 14. RESUMEN DE PRECISIÓN PROMEDIO PARA CADA CONSULTA	125
TABLA 15. TABLAS DE CONTINGENCIA DE LOS JUECES 5 Y 6.....	125
TABLA 16. RESUMEN DE KAPPA DE CHOEN POR CONSULTA	125
TABLA 17. RESUMEN DE KAPPA FLEISS PARA CADA CONSULTA.....	126
TABLA 18: CÁLCULO DE QoSI RELACIONADO A LA LATENCIA DE INTERACCIÓN.....	139
TABLA 19: ASIGNACIÓN DE CLAVES A LOS PRINCIPALES PROCESOS DEL ESCENARIO	141
TABLA 20: RESULTADOS PRIMERA FASE DE EVALUACIÓN DE FUNCIONALIDAD	143
TABLA 21: PLAN DE PRUEBAS DE LA SEGUNDA FASE DE PRUEBAS DEL ESCENARIO.....	146
TABLA 22: LATENCIA PROMEDIO DE LECTURA DE METADATOS DE LOS OBJETOS INTELIGENTES	149
TABLA 23: LATENCIA PROMEDIO DE ENCENDIDO DEL SERVICIO INTELIGENTE.....	150
TABLA 24: TENDENCIA DE LA LATENCIA PROMEDIO EN EL ENCENDIDO DEL SERVICIO INTELIGENTE	151
TABLA 25: LATENCIA PROMEDIO DE CREACIÓN DE ECA.....	151
TABLA 26: LATENCIA PROMEDIO DE ACTIVACIÓN DE ECAS	152
TABLA 27: LATENCIA PROMEDIO DE ELIMINACIÓN DE ECA.....	153
TABLA 28: COMPARACIÓN DE LATENCIAS POR GRANDES PROCESOS DEL ESCENARIO DE INTERACCIÓN	154
TABLA 29: NÚMERO DE MENSAJES ENVIADOS POR RECURSO INTELIGENTE.....	156
TABLA 30: CANTIDAD DE MENSAJES ENVIADOS POR LA ENTIDAD DE INTERÉS.....	157
TABLA 31: CANTIDAD DE MENSAJES ENVIADOS POR LOS OBJETOS INTELIGENTES	157
TABLA 32: MENSAJES ENVIADOS POR LOS RECURSOS INTELIGENTES.....	158

Lista de Ecuaciones

ECUACIÓN 1. PRECISION AT K.....	122
ECUACIÓN 2. AVERAGE PRECISION (AP).....	122
ECUACIÓN 3. AVERAGE PRECISION ATK.....	122
ECUACIÓN 4. MEAN AVERAGE PRECISION (MAP).....	122
ECUACIÓN 5. KAPPA COHEN.....	123
ECUACIÓN 6. CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE ACUERDO.....	123
ECUACIÓN 7. CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE ACUERDO DEBIDO AL AZAR.....	123
ECUACIÓN 8. KAPPA FLEISS.....	123
ECUACIÓN 9: FÓRMULA DE LATENCIA DE INTERACCIÓN.....	139

Lista de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: OBJETOS INTELIGENTES DEL ESCENARIO DE INTERACCIÓN SEMÁNTICO FÍSICO	133
ILUSTRACIÓN 2: IMÁGENES DE LOS PROCESOS FÍSICOS EN EL ESCENARIO DE INTERACCIÓN SEMÁNTICA	141
ILUSTRACIÓN 3: IMÁGENES DE MEJORAS AL ESCENARIO CON PANEL DE VISUALIZACIÓN Y TAG DE EI.....	145

Capítulo 1 Introducción

Normalmente las personas tienden a ser definidas por la forma en que estas se relacionan con el mundo físico, así son descritas por las cosas que poseen o por aquellas cosas con que se relacionan (Ej. señor del carro rojo, el dueño de Microsoft, el esposo de Maria).

Las cosas u objetos³ del mundo real, están dejando de tener un papel inerte para convertirse en parte fundamental y activa de la calidad de vida de las personas y de las organizaciones. Un ejemplo de ello, es el teléfono inteligente o “*Smart Phone*”, a esto se le ha llamado la Internet de las Cosas o “*Internet of Things*” – IoT.

Al conectar las cosas (objetos físicos reales o imaginarios) a la Web, permiten crear representaciones digitales de las mismas e interactuar con sus propietarios para monitorear estados de las entidades del mundo real, a esto se le conoce como Web de las Cosas o “*Web of Things*” - WoT. Por ejemplo, una cámara Web ubicada en casa, puede ser monitoreada por el propietario a través del teléfono inteligente desde la oficina y verificar el estado de la casa, los niños, la mascota, entre otros.

Los objetos de hoy en día mantienen una relación básica y es su propietario; sin embargo, cada objeto tiene en sí mismo un objetivo de interacción con su entorno y a su alrededor, hay otros objetos que hacen parte de ese entorno y que pueden estar relacionados al contexto de aplicación de sus interacciones⁴. Lamentablemente el desarrollo de la IoT al igual que muchas tecnologías de la Internet, inició de manera desorganizada, generando problemas de heterogeneidad y conectividad, lo que ha redundado en una incapacidad técnica y semántica para permitir a los objetos tener consciencia de su entorno, desplegando funcionalidades restringidas a la interacción con los usuarios y muy poco con otros objetos de su alrededor, por ello, es conveniente definir una forma transparente para que los objetos colaboren entre sí de manera inteligente dando la posibilidad de que generen servicios más complejos y útiles a sus usuarios.

³ En adelante en el documento se utilizará indistintamente la palabra “objetos” o “cosas” para referirse a entidades del mundo real dotadas de dispositivos con sensores y actuadores que están conectados a Internet y pueden ser accedidos vía Web.

⁴ Se entiende por interacciones de las cosas como la capacidad de recopilar datos crudos a través de sus sensores y a su vez intervenir en su entorno a través de sus actuadores.

Desde hace varios años, el número de objetos conectados a la Web superó el número de personas conectadas a la misma, lo que muestra que la tasa de crecimiento de dispositivos conectados es cada vez más grande, esperando que para el 2020 existan más de 50 billones de objetos conectados. Estos objetos generalmente son dispositivos dotados de sensores y actuadores que realizan mediciones de ciertas propiedades de interés del entorno para sus propietarios y usuarios. Estas mediciones, generan ingentes cantidades de datos crudos o “*raw data*” y algunos de esos datos son procesados por modelos y programas hechos a medida. Adicionalmente, es complejo el aprovechamiento de los objetos instalados para reutilizarlos en otros contextos⁵ y así crear nuevos y mejores servicios a los usuarios, ya que los objetos de la WoT se crean con funcionalidades y configuraciones específicas y hechos sobre pedido, así si los usuarios desean utilizarlos para otras funcionalidades, deben adquirir nuevos objetos y/o configurar los nuevos servicios con un despliegue adicional de hardware y software, aumentando costos económicos, energéticos, tiempo y de sobrecarga de redes y comunicaciones.

El presente proyecto aporta en la búsqueda de modelos y mecanismos para aprovechar más fácilmente dichos datos y proveer una base para generar interacción semántica entre objetos inteligentes de la WoT. Esta interacción debe permitir a los usuarios definir nuevos servicios de manera transparente reutilizando la capacidad instalada.

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente, gran parte de los objetos de nuestro mundo real tienen una representación digital en la Web, los cuales están asociados a dispositivos hardware y software con capacidades para interpretar los cambios del entorno a través de sensores e incluso intervenir con actuadores. El desarrollo de la nanotecnología y el abaratamiento de los costos del hardware de microcircuitos, ha logrado masificar la construcción de dispositivos conectados a Internet [1]. Estos objetos conectados a la Web, permiten generar nuevos servicios sobre la Web que son llamados Web de las Cosas, pero existen varios retos por resolver [2], entre ellos la heterogeneidad y conectividad [3]. Esto se ha solucionado en parte con la creación de Middlewares o software que brinda una interfaz común para la representación digital de los objetos de la IoT, encargándose de gestionar los datos y metadatos de los recursos tecnológicos e infraestructura de las cosas del WoT a través de API's.

⁵ El contexto se refiere al dominio de aplicación e intereses de los usuarios acerca de los servicios que puede proveer un objeto. Ejemplo: Utilizar un sensor de temperatura para medir la temperatura de una persona o utilizarlo para medir la temperatura de un cuarto en una casa, dónde se cambia tanto la entidad de interés: de persona a cuarto, como también el contexto: de salud a climático.

Dado lo anterior, algunas investigaciones buscan conectar de manera transparente⁶ los objetos a la IoT para aprovechar al máximo la gran cantidad de datos que generan [4]. La idea no es sólo adquirir los datos específicos que ofrecen cada objeto, sino interpretarlos adecuadamente y crear servicios compartibles con otros objetos, aplicaciones y personas. Esto no es fácil, ya que para crear los servicios de WoT se deben tener en cuenta las capacidades [5] y la diversidad tecnológica de los objetos así como un correcto manejo del contexto [6].

La conectividad además de definir como conectar los objetos, debe establecer cómo lograr cooperación con los mismos en tiempo real. Para solucionar lo anterior, un enfoque ha sido el desarrollo de técnicas semánticas, haciendo abstracciones entre hardware, aplicaciones y usuarios del WoT, con el fin de construir servicios de información inteligentes y que suplan las necesidades de información de los usuarios; a esto último, se le ha denominado la Web Semántica de los Objetos o “*Semantic Web of Things*” – SWoT [7].

Las propuestas realizadas hasta el momento, aún presentan vacíos [8] de modelamiento para poder implementar la SWoT. Uno de los retos válidos de investigación es el desarrollo de **niveles adecuados de abstracción de los objetos e interacción inteligente entre los mismos**, con el fin de servir como base para proveer servicios personalizados a los usuarios. Las soluciones iniciales proponen por una parte, una web social de objetos o “*Social Web Objects*” [9], con modelos de interacción entre objetos y personas, basados en las redes sociales existentes [10-12], modelando más la interacción de las “cosas” con los usuarios, que la interacción entre ellas mismas. Por otro lado, se ha propuesto una interacción básica entre sensores y actuadores (“*filter and mapping*”) [13], necesitando la intervención directa del usuario para crear las relaciones y servicios, generando problemas de escalabilidad. Finalmente, Yao [14] propone un modelo matemático para establecer que “cosas” de la WoT son compatibles con otras “cosas” en un sistema de recomendación que funciona en una red social de usuarios; pero, modela sólo un elemento del contexto primario [6] como lo es la cercanía entre objetos, dejando vacíos importantes en el modelamiento de contexto secundario y mecanismos de interacción inteligente.

Teniendo en cuenta lo anterior, la posibilidad de modelar la interacción semántica entre objetos se convierte en un vacío importante a resolver [15], con el fin de ofrecer servicios más ajustados a las necesidades de los usuarios, surgiendo la pregunta de investigación: **¿Cuáles son los elementos, estructuras y mecanismos que permiten modelar la interacción semántica entre los objetos de la WoT?** A su vez se puede dividir en otras preguntas más específicas:

⁶ En la computación ubicua uno de los principios acuñados por Mark Weiser fue la *Invisibilidad*, la cual está relacionada con la integración natural de la computación distribuida en el entorno humano, así los humanos no perciben el hardware y software subyacente, sino que están inmersos y la interacción es transparente entre el usuario y el mundo que lo rodea.

1. ¿Cómo identificar, descubrir y utilizar la información y servicios de las cosas en un contexto particular?
2. ¿Cómo desarrollar la capacidad para interactuar inteligentemente las cosas entre sí y con las personas?
3. ¿Cómo crear servicios personalizados a partir de un entorno cooperativo de cosas de la WoT?

Como la interoperabilidad semántica se basa en modelos de interacción entre dos o más entidades, para el presente proyecto se propone un **modelo de interacción semántica entre los objetos de la Web de la Cosas**, con el fin de proveer a los usuarios, abstracciones semánticas de los objetos en diferentes niveles; es decir, en abordar los elementos semánticos que se podrían tener en cuenta para permitir comunicar a las “cosas” de la WoT entre sí, de manera que compartan dominios comunes de conocimiento e intercambien su información, sirviendo como base para crear servicios a los usuarios. Los trabajos previos generalmente hacen la búsqueda y descubrimiento de “cosas” a través de consultas a bases de datos centralizadas, búsqueda en archivos OWL (*Web Ontology Language*), por exploración (crawling) o por búsqueda con el explorador Web (*browsing*). Como enfoque particular, primero se modela el **enriquecimiento semántico de los objetos a través de la indexación semántica** de sus capacidades y servicios, para posteriormente realizar procesos de descubrimiento e interacción entre los mismos con la implementación de servicios web y servicios de comunicación estandarizados entre objetos de la WoT.

1.2 Hipótesis de Investigación

La hipótesis general de investigación del proyecto es: “La implementación del modelo de interacción semántica (MIO) basada en indexación semántica como servicio (SlaaS) entre los objetos semánticos de la web de la cosas, genera un comportamiento colaborativo entre los objetos, sirviendo como base para crear servicios más ajustados a las necesidades de sus usuarios”. Esta hipótesis se puede dividir en las siguientes hipótesis derivadas:

- H1. El enfoque de indexación semántica como servicio entre objetos semánticos de la WoT permite acceso ubicuo (descubrir, conectar y contextualizar de forma transparente) a la información y servicios de los objetos semánticos de la WoT.
- H2. Los objetos semánticos que implementen el modelo de interacción semántica adquieren la posibilidad de exponer un comportamiento colaborativo con otros objetos semánticos
- H3. Los objetos que adopten un comportamiento colaborativo entre ellos, son capaces de generar nuevos servicios autónomos e inteligentes como producto de su interacción semántica

1.3 Escenario de Motivación

El desarrollo de la IoT según Associati [16], pasa por una serie de etapas evolutivas, entre ellas: *indexar el mundo, poner el mundo en línea, tomar el control del mundo, dejar que las cosas hablen entre sí y dejar que las cosas se vuelvan inteligentes*. En esta evolución se puede decir que estamos en el nivel de dejar que las cosas tomen en control y que hablen entre sí, sin embargo aún falta proveer los mecanismos y recursos técnicos para que la interacción entre los objetos sea transparente, escalable, fácil de configurar y mejor aún con capacidades inteligentes para actuar en contexto.

Las ciudades, casas y en general los objetos de nuestro entorno se están dotando de sensores, actuadores y dispositivos de procesamiento con finalidades particulares. En este escenario se busca automatizar de las tareas, con el fin de mejorar nuestra calidad de vida, sin embargo, si estos sistemas son cerrados y sólo prevén interacción con sus objetos y sus usuarios, podríamos tener un futuro de mucha información de nuestro entorno y poca coordinación y aprovechamiento de la misma, en la cual el usuario estaría sometido a una carga fuerte de toma de decisiones.

El futuro de la WoT depende de que tan inteligentes sean los dispositivos para poder colaborar unos con otros, generan servicios más complejos y ajustados a la medida de los usuarios.

1.4 Contribuciones

Se describen los resultados obtenidos en la investigación, clasificados por grupos: Generación de nuevo conocimiento, fortalecimiento de la comunidad científica y apropiación social del conocimiento.

1.4.1 Generación de nuevo conocimiento y desarrollo tecnológico

- **En el área de arquitecturas de la IoT:** Uno de los aportes del proyecto en esta área, es presentar una vista arquitectónica de la IoT centrado en la interacción entre objetos de la WoT, que puede complementar las arquitecturas ya presentadas. (ver Capítulo 3)
- **En el área de incorporación semántica de la IoT:** Realiza una propuesta de un modelo conceptual de interacción semántica de objetos de la WoT, basado en técnicas de la web semántica y que provee diferentes niveles de abstracción de los objetos. La solución plantea un enfoque de indexación semántica como servicio, con el fin de realizar los procesos de búsqueda y descubrimiento de información entre los objetos de la IoT. (ver Capítulo 3)

-
- **En el área de comportamiento inteligente y social de la IoT:** Se provee un modelo e infraestructura software de interacción semántica entre objetos, el cuál sirve como base para crear entornos más inteligentes y apoyar procesos de descubrimiento y composición de servicios a otras aplicaciones que se centren más en la inteligencia de las máquinas y sus interacciones con los humanos. Inicialmente se aporta con las herramientas que se desarrollaron que en el caso de estudio, las cuales pueden ser reutilizadas, reescritas o mejoradas. (ver Capítulo 5 y memorias en cd con código fuente)

 - **Fortalecimiento teórico en el área de la web semántica de las cosas.** A partir del estudio realizado y el análisis de diferentes investigaciones por medio de fichas bibliográficas, se fortalece la base teórica perteneciente a la institución académica en lo referente a la SWoT, lo cual permite establecer una base teórica para futuras investigaciones en estas áreas. En específico se aportó con:
 - Creación de un estado del arte en el área de la Interacción Semántica en la WoT. (ver Capítulo 2 y Anexo 2 – Anexo 3)
 - Definición de un método de indexación semántica para la Web de las Cosas. (ver Capítulo 4)
 - Definición de un modelo de servicios web para la WoT. (ver Capítulo 3)
 - Definición en un enfoque de expansión de consulta a partir de ontologías de dominio específico. (ver Capítulo 3)
 - Definición de un enfoque metodológico para crear ontologías de dominio para la WoT (ver Capítulo 3)
 - Definición de un enfoque metodológico para crear escenarios de interacción semántica para la WoT. (ver Capítulo 5)

 - **Prototipos y herramientas desarrolladas.** Se implementaron varias herramientas que pueden ser un insumo importante para futuros desarrollos:
 - Ontología de contaminación ambiental. (ver Capítulo 5)
 - Ontología objeto semántico para la interacción en la WoT (ver Capítulo 3)
 - Servicio web del índice semántico de contaminación ambiental. (ver Capítulo 4)
 - Servicio web del índice semántico de domótica. (ver Capítulo 5)
 - Aplicación web para la búsqueda de información semántica de la IoT. (ver Capítulo 4)
 - Aplicación móvil para monitoreo de calidad del aire. (ver Capítulo 4)
 - Escenario de interacción semántica básico para placas Galileo, programadas con Linux y Python. (ver Capítulo 5)
 - Aplicación web para el monitoreo de variables del escenario de interacción. (ver Capítulo 5)
 - Aplicación móvil para el control y gestión del escenario de interacción semántica. (ver Capítulo 5)

1.4.2 Fortalecimiento de la Comunidad Científica

- **Formación de recursos humanos a nivel profesional.** Dirección de cuatro proyectos de trabajo de grado en el programa de ingeniería de sistemas e ingeniería electrónica, con temas relacionados a la tesis doctoral. Total de estudiantes participantes (7). Universidad del Cauca.
- **Formación de recursos humanos a nivel de postgrados.** Co-Dirección de un trabajo de grado en el programa de Maestría en Ingeniería Telemática, total de estudiantes participantes (1). Universidad del Cauca.
- **Formación de recursos humanos a nivel de pregrado y postgrados.** Se hicieron exposiciones, presentaciones y talleres a estudiantes del curso de computación ubicua de la Universidad del Cauca en los temas de la tesis.
- **Talleres en internet de las cosas.** Se desarrollaron un conjunto de talleres que presentan paso a paso la creación de proyectos para la IoT con tecnologías de placas Arduino y Netduino. Los talleres van desde la conexión de sensores a la web hasta el uso de tecnologías RFID y realidad aumentada. Los talleres se agruparon en un curso online y además se creó una versión en libro texto <http://univirtual.unicauca.edu.co/moodle/course/view.php?id=1196>.

1.4.3 Apropiación Social del Conocimiento

- **Publicaciones en Revistas**
 - "**Modelo Semántico de Expansión de Consultas para la Búsqueda Web (MSEC)**" Miguel Angel Niño Zambrano, Iván Darío López Gómez, Carlos Adrian Andrade, Carlos Alberto Cobos Lozada, Ramon Fabregat Gesa. Revista UIS Ingenierías ISSN: 1657-4583 Ed.: Publicaciones UIS. V.11 fasc.2 p.1 – 10 ,2012. **Clasificación** B Colciencias.
 - "**Procedimiento para la Construcción de Índices Semánticos Basados en Ontologías de Dominio Específico**". Autores: Pezo, D. M., Perez, D. J., Niño, M. A., Cobos, C. A., & Ramírez-González, G. A. Revista Entramado, Vol. 9 No 1 - Enero - Junio 2013. **Clasificación:** B
 - "**An Information Search Model for Online Social Networks – MOBIRSE**". Autores: Miguel Angel Niño-Zambrano, Jesus Alberto-Niño Zambrano, Gustavo Adolfo Ramírez-González, Luis Carlos Gómez-Flórez. Revista Ingeniería E Investigación. Volumen 35 No. 3. 12, 2015. **Clasificación:** A1 Colciencias.
- **Publicaciones en eventos y congresos.**
 - "**Recuperación de la Información en la Internet de Objetos**". Autores: Niño-Zambrano M.A. & Ramírez-González Gustavo. **Evento:** FIET 50 años Experiencias y Desarrollo Tecnológico. Universidad del Cauca - 2011. <http://congresofiet50.unicauca.edu.co/>.
 - "**Interacción Semántica de Objetos en la Web de las Cosas**". Autores: Niño-Zambrano M.A. & Ramírez-González Gustavo. **Evento:** XI Coloquio Doctoral de CLADEA 2013. Octubre 21 del 2013 en Rio de Janeiro - Brasil.

-
- **“Método de Indexación Semántica en la Web de las Cosas”**. Autores: Miguel Angel Niño-Zambrano, Jesus Alberto-Niño Zambrano, Gustavo Adolfo Ramírez-González, Luis Carlos Gómez-Flórez. **Evento:** Semantic Web and Linked Open Data workshop (SW-LOD 2013). Octubre 30 – Noviembre 2 del 2013, Michoacán – México.
 - **“Hablando con las Cosas” Un mundo mediado por el Internet de las Cosas, vacíos y retos de los próximos 10 años**. Autores: Miguel Angel Niño Zambrano, Gustavo Adolfo Ramírez. **Congreso:** Congreso de Ingeniería de Sistemas "El Internet de las cosas: Inmersos en un mundo digital". Noviembre 05 - 07 del 2014.
 - **"Semantic Indexing as a Service in the WoT"**. Autores: MIGUEL ANGEL NIÑO ZAMBRANO, GUSTAVO ADOLFO RAMÍREZ. **Congreso:** VII Congreso Iberoamericano de Telemática. CITA 2015. Simposio Doctoral. Junio 10 - 12 del 2014, Popayán- Colombia.
 - **Par evaluador de dos artículos en revista internacional en el área.** Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research. Special Issue: RFID: towards Ubiquitous Computing & the Web of Things. Guest editors; Ygal Bendavid, Samuel Fosso Wamba, and Joseph Barjis.
 - **Sitio web del proyecto:** Corresponde a un sitio web en el cual se encuentran publicados todos los resultados de la investigación realizada: <https://sites.google.com/site/websemanticaiot/>.
 - **Monografía del trabajo de grado.** Corresponde al presente documento, donde se describe el proceso seguido en el desarrollo del proyecto, los problemas que se presentaron, las respectivas soluciones, los principales aportes, las conclusiones y recomendaciones para el desarrollo de futuras investigaciones.

1.5 Alcance

El presente proyecto aportó a la interoperabilidad semántica en la IoT, enfocándose en la interacción entre los objetos de la WoT. Los principales retos alcanzados fueron:

- Se categorizaron los objetos de acuerdo a sus capacidades con el fin de definir cuáles de ellos pueden interactuar y en que niveles.
- Se definieron las plataformas middleware más adecuadas para el modelo de interacción propuesto, de tal forma que permitan una implementación correcta del modelo.
- Se definió un método de indexación semántica en la WoT, de tal forma que se convierta en una fuente de información importante para la búsqueda, el descubrimiento y la interacción entre los objetos.
- Para la construcción de la base de conocimiento se respondieron las siguientes preguntas: ¿cuáles ontologías construir?, entre ellas: objeto semántico,

contexto, modelo de usuario, estimación y traducción. Adicionalmente, establecer la reutilización de las ontologías estandarizadas existentes.

- En cuanto al modelo de interacción se aportó en: ¿qué arquitectura adoptar?, ¿cómo comunicar los objetos?, ¿qué activa las interacciones?, ¿qué estrategia de composición de servicios de interacción definir? y ¿cómo definir una aproximación a un comportamiento inteligente?
- En cuanto a cómo exponer los servicios del modelo se creó una plataforma Web que expone los servicios de información semántica de los objetos.

1.6 Contenido de la Tesis

- **Capítulo I. Introducción**
En este capítulo se hace la introducción al contenido de la Tesis, el planteamiento del problema, el escenario de motivación, las contribuciones y el alcance de la tesis.
- **Capítulo II. Marco Teórico**
En este capítulo se presentan las bases conceptuales que son importantes para el desarrollo de la presente tesis, las cuales hacen referencia a los núcleos temáticos como la Internet de las Cosas, Web de las Cosas, Recuperación de Información y la Web Semántica; además, se realiza el análisis del estado del arte destacando los trabajos de investigación relacionados con este proyecto.
- **Capítulo III. Modelo de Interacción Semántica en WoT**
Esta sección abarca las diferentes vistas semánticas propuestas para la creación de los escenarios de interacción semántica.
- **Capítulo IV. Método de indexación y búsqueda semántica para la WoT**
Este capítulo presenta una estrategia para almacenar y procesar la información semántica que soporta la interacción de los objetos de la WoT, basado en ontologías, estándares de objetos y/o protocolos existentes, apoyando la comunicación semántica entre los objetos inteligentes de la web de las cosas.
- **Capítulo V. Escenario de interacción semántica en la WoT**
Se realiza una prueba de concepto en el cual se implementa el modelo propuesto con el fin de obtener información de su implementación.
- **Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones**
Es un capítulo en el cual se resumen los principales aportes y se discute sus fortalezas y debilidades. Además permite reorientar las futuras investigaciones.

Capítulo 2 Marco Teórico

Este apartado se presenta con tres enfoques complementarios: el primero desarrolla el **marco de referencia**, el cual detalla los conceptos, disciplinas, métodos y técnicas utilizadas para el desarrollo del proyecto (ver anexo 1). El segundo enfoque es el de **evolución conceptual de la SWoT**, como una evolución de conceptos relacionados que llevan a la construcción de la web semántica de objetos, estableciendo así el entorno y elementos en los cuales se desarrollará la investigación, relacionando a su vez investigaciones previas e importantes en ese aspecto (ver anexo 2). Finalmente, el tercer enfoque es el de **estado del arte**, permite la identificación de trabajos relacionados, en la cual se detalla explícitamente los retos por resolver en el área de trabajo, se utiliza una estrategia de lo general a lo específico y se relacionan las principales investigaciones que aportan al mismo y las falencias que aún se presentan, estas investigaciones previas se clasifican con un método evolutivo y conceptual en categorías para su mejor entendimiento, con el fin de presentar los vacíos o brechas a ser allanadas en el proyecto. Para este último enfoque se utilizó la metodología de investigación documental propuesta por [17] [18], así un resumen de las principales propuestas se encuentran en el Anexo 3 y las fichas descriptivas detalladas en el cd adjunto a este documento.

A continuación se hace un resumen del marco de referencia y la evolución conceptual de las disciplinas relacionadas, posteriormente se presenta el estado del arte.

Es importante hacer una diferencia entre la Internet de Objetos (IoT) y la Web de Objetos (WoT) [19, 20], la primera se refiere a los objetos físicos de la realidad (ejemplo: Mesas, libros, camisas, autos, semáforos, edificios, celulares, cámaras, tarjetas electrónicas de desarrollo, entre otros), los cuales en diferentes escalas están dotados de entradas (sensores) y salidas (actuadores), conectados entre sí y a Internet [21]; además, se estudian las tecnologías (protocolos y hardware), desarrolladas para su comunicación inalámbrica [2] e intercambio de señales e información [1]. Por otro lado, la WoT tiene por objetivo traer los objetos físicos al mundo de la Web [5], es decir con una representación digital de los mismos y con el desarrollo de servicios de información sobre ellos. Por eso se utilizan los protocolos de internet, las arquitecturas Web y los desarrollos en la Web Semántica para dotarlos de conocimiento e inteligencia. Sin embargo, muchos autores combinan y utilizan indistintamente estos dos conceptos, por ejemplo Atzori, et al. [2], establece la IoT como una convergencia de tres visiones: los objetos, el Internet y la semántica; así la Web de las cosas sería la visión desde el punto de vista de protocolos estandarizados y servicios web.

La integración de los conceptos anteriores da lugar a otros conceptos que están abordando los investigadores actualmente como: objetos inteligentes – “**smart objects**”, productos inteligentes – “*intelligent products*” [22], ambientes inteligentes – “*Intelligent Environments*” [12, 19, 23], ciudades inteligentes – “*smart cities*” y por ende un mundo inteligente – “*smart world*”.

Los objetos tienen unas características especiales como: diferentes tipos de datos [24] o señales, capacidad de almacenamiento, capacidad de procesamiento, comunicación, autonomía energética, localización, origen, estado, utilización y una capacidad de identificación única [25]. Por esto, es necesario iniciar con una taxonomía de las características y propiedades de los objetos actuales, con el fin de servir como base para su conceptualización. Entre los trabajos a resaltar, el de Mathew, et al. [5], permite caracterizar los objetos basado en tres dimensiones: comunicación, procesamiento y almacenamiento y, establecer una jerarquía de los mismos.

Una vez que se han establecido las características de los objetos, con el fin de aprovechar su información, es necesario definir metadatos que permitan etiquetar los objetos [26], para que sean consultados y actualizados. Los metadatos corresponden a un conjunto de propiedades o atributos necesarios para etiquetar, catalogar, describir y clasificar⁷ información de una fuente o recurso [27]. Berners-Lee y la W3C los definen como: “*información inteligible para el ordenador sobre recursos Web u otras cosas*”. Lo importante es decidir en dónde almacenarlos y como accederlos de manera eficiente, ya que las características de los objetos imponen restricciones en este sentido.

Para poder obtener el mayor provecho a los metadatos encontrados en la IoT es necesario tener en cuenta la reutilización de estándares de metadatos como: vocabularios controlados⁸, taxonomías⁹ y/o tesauros¹⁰, los cuales permiten que se defina una semántica compartida por una comunidad, de tal forma que su interpretación sea igual para muchos usuarios. Por lo tanto es importante analizar la información existente de las propuestas realizadas en este sentido, evaluarlas y definir cuáles de ellas se pueden reutilizar en el modelo conceptual.

⁷ Metadatos. María Jesús Lamarca Lapuente. Hipertexto: El nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen. <http://www.hipertexto.info/documentos/metadatos.htm>. (27/01/10).

⁸ Un Vocabulario Controlado en la Web puede verse como una lista cerrada de términos, que se usan para clasificar, ya que hacen referencia de manera unívoca a un solo sujeto. Ej. <http://www.wikipedia.com>.

⁹ Una Taxonomía se puede entender como un vocabulario controlado al cual se le ha establecido una jerarquía semántica. Ej. En Hipertext.net. <http://www.hipertext.net/Web/pag264.htm>. (27/01/10), presenta una documentación relacionada con la construcción de taxonomía para clasificar información en sitios Web.

¹⁰ Un Tesauro se entiende como una Taxonomía a la cual se le han añadido enlaces para definir relaciones entre los diferentes conceptos del vocabulario controlado tomado como base. Ej. <http://www.dmoz.org>. (27/01/10).

Entre los trabajos encontrados para lograr la interoperabilidad semántica en la IoT, está la creación de repositorios de conocimiento para poder utilizarlos de una forma más productiva, como el concepto de Ontología desde la Inteligencia Artificial [28], la cual permite ordenar los términos de los lenguajes humanos y organizarlos de tal forma que podamos establecer relaciones de jerarquía y semántica en un dominio del conocimiento, dando la posibilidad también de realizar operaciones de raciocinio basados en la lógica. Los metadatos de los objetos se pueden analizar con éstas ontologías para definir los contextos de sus servicios.

Un problema que surge de la necesidad de los metadatos y de las ontologías es que es necesario realizar el proceso de anotación semántica, ya sea cuando se crean los objetos o en objetos ya existentes, lo cual conlleva un fuerte trabajo que debe ser realizado por un experto conocedor del dominio en que se está etiquetando. Esto es posible a través de mecanismos manuales o semi-automáticos, en los cuales interviene un experto, pero también se debe entender en un contexto automático [29] y controlado, como una estrategia para inferir conocimientos a partir del texto, utilizando como base las ontologías y así poder entregar al usuario conocimiento relacionado con el objetivo inicial.

Para superar el problema de encontrar ontologías abstraídas de los recursos sobre los que se consulta, existe un concepto en el desarrollo de la Web semántica denominado el Aprendizaje Ontológico -“*Ontology Learning*” [30], el cual consiste en la extracción de conceptos de diversas fuentes y su posterior organización (creación, modificación) en una ontología. Lo anterior se logra con el uso de métodos como: Procesamiento de Lenguaje Natural - “*Natural Language Processing*” (NLP), Inteligencia Artificial – “*Artificial Intelligence*” (AI) y Aprendizaje de Máquina – “*Machine Learning*” – (ML).

Hay otro concepto por el cual se pueden obtener diferentes interpretaciones de una misma página Web, las vistas semánticas es un concepto propuesto por Fernandez [31] en su tesis de doctorado, definiéndolo como “*una estructura de información formado por una o varias interpretaciones que proporcionan diferentes visiones de acuerdo a diferentes ontologías de un mismo contenido*”; así, una página Web se asocia a diferentes vistas semánticas que pueden ser utilizadas por los buscadores semánticos dependiendo del contexto del usuario o el objetivo de búsqueda. Uno de los elementos importantes de esta implementación, es que permite convertir las páginas HTML en páginas Semánticas, las cuales hacen referencias mediante URIs a las diferentes vistas semánticas, pero sin interferir con las operaciones normales de los mismos sitios Web de donde se recupera la información. Este concepto de vistas semántica fue un elemento importante para reutilizar en esta tesis, ya que se utilizó en las vistas del modelo semántico propuesto y en la indexación semántica de la WoT.

Otro problema a resolver en el presente proyecto es ¿Cómo compartir la información de los objetos para suplir las necesidades de información entre ellos mismos y los usuarios?, por lo cual se estudia otro concepto importante en la solución propuesta y es el de Servicios Web Semánticos o “*Semantic Web Services*” [32]. Los servicios web permiten acceder a los recursos de las organizaciones sin tener que conocer de la

lógica del negocio de las mismas, utilizan lenguajes estándar de comunicación entre máquinas como el XML [33] y bajo una arquitectura orientada a servicios, denominada SOA [34], la cual permite que un cliente pueda consumir servicios e interoperar conjuntamente. Los servicios web se perciben como la solución para resolver las necesidades de las aplicaciones, mediante la integración e interoperabilidad de diversos proveedores de servicios.

Hasta ahora los servicios web, normalmente han sido utilizados para soportar el desarrollo de aplicaciones distribuidas, principalmente comercio electrónico, gobierno y salud [32], a pesar de que con las tecnologías de la Web Semántica algunos investigadores han visto la posibilidad de combinarlos con técnicas de Recuperación de la Información, con el fin de mejorar sus resultados cuando sean utilizados por las aplicaciones.

Aparte de las ventajas de los servicios Web, se pueden aumentar los problemas de tráfico en la red y los tiempos de latencia pueden aumentar para dar al usuario una respuesta en un tiempo razonable, tal como lo plantea Chourmouziadis and Pavlou [35] en su estudio.

Para el presente proyecto, los metadatos y sus tecnologías son una fuente importante de información a tener en cuenta para el logro de los objetivos, ya que los objetos y los servicios Web semánticos deben auto-describirse y los algoritmos de búsqueda toman sus metadatos como base para la clasificación y recuperación de la información. Con el fin de ampliar esta información refiérase a los anexos 1 y 2.

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Interacción Semántica de la WoT

Los diferentes trabajos encontrados, han aportado a diversos retos y medidas, dejando aún brechas por definir o resolver, identificando una evolución gradual del desarrollo de la SWoT. En la Figura 1 en donde se destacan en forma evolutiva los trabajos que más aportan a la interacción semántica de los objetos y clasificando los trabajos en tres grandes áreas de desarrollo: Arquitecturas de la IoT, Integración Semántica en la WoT y Comportamiento Inteligente y Social en la WoT.

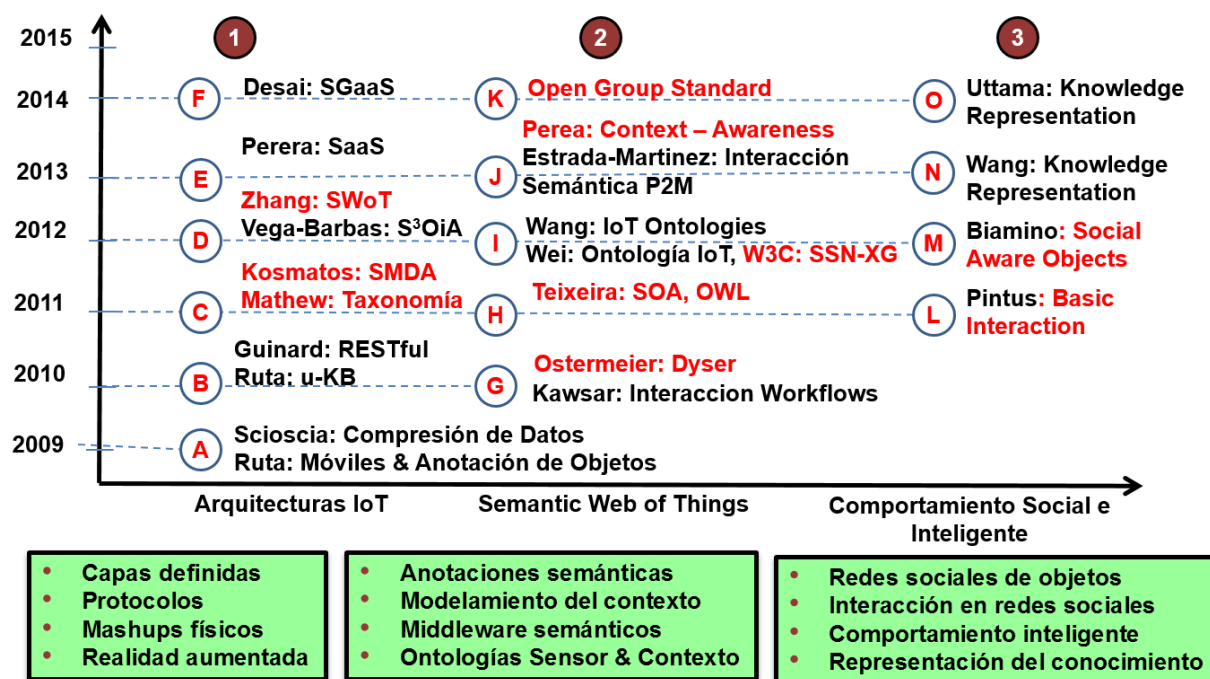


Figura 1. Evolución de la SWoT

Las áreas y sus principales conceptos son:

- **Arquitecturas IoT:** A([7, 36]), B([12, 37-39]), C([40-42]) y D([10, 15, 43, 44]), E([45]), F([46]): Trabajos que proponen marcos de referencia para la construcción de la IoT, definen los retos, capas, tecnologías y las interfaces de interacción con las personas. Los primeros trabajos inician explorando la anotación semántica de los sensores y como comprimir [7] los metadatos; además de la interacción con dispositivos móviles [36]. Posteriormente se realizan estudios para aplicar un estilo arquitectónico adecuado para la IoT como REST [38], SOA [39, 44], *Middleware oriented* [37] y *Semantic Model oriented* (SMDA) [40]. Finalmente, los trabajos más recientes proponen conceptos como: *social Web of things* (SoWoT) [10], *sensing as a service* (SaaS) [45] y *semantic Gateway as a service* (SGS) [46], los cuales fijan la tendencia en convertir los servicios de los sensores como servicios Web inteligentes.
- **Integración Semántica en la IoT:** G([11, 47-49]), H([3, 26, 50, 51]), I([52, 53]), J([6, 23, 54, 55]) y K([56, 57]): Estos proyectos presentan la integración de técnicas de la Web semántica adaptados a la IoT. Los primeros trabajos proponen mecanismos de incorporación de semántica en los objetos y creación de servicios de indexación y búsqueda en la WoT [48]. Posteriormente se realizan las principales contribuciones al modelamiento semántico con la creación de ontologías para IoT [23, 26, 52, 53] y el desarrollo de servicios web soportados en middleware semánticos [3, 51]. También se identifican y definen los elementos para el manejo del contexto-conciencia en la IoT [6], así como los

problemas que hay que resolver cuando las personas tienen que interactuar en un escenario de objetos inteligentes [55]. Finalmente, se están proponiendo estándares que permitirán unificar las diferentes visiones de estructura de los datos y de su comunicación semántica [56, 57], posibilitando que las soluciones sean más escalables.

- **Comportamiento Social e Inteligente en la WoT:** L([58]), M([9, 13, 14, 53, 59]), N([60]) y O([61]): En este punto, los proyectos incursionaron en la necesidad de manejar el conocimiento para cooperar transparente entre objetos y construcción automática de nuevos servicios, este manejo lleva a la implementación de inteligencia en los objetos. Adicionalmente, se proponen los modelos y ontologías para el manejo de la Web social de las cosas, sus interacciones y comportamientos. Las primeras propuestas iniciaron con una interacción básica conectando directamente las salidas de un dispositivo con las entradas de otro dispositivo en una red social personalizada [13, 58]. Posteriormente, se exploran las características que deben tener los objetos sociales y se desarrollan ontologías para almacenar estos comportamientos [9], modelos matemáticos [14] y la aparición de la Wisdom Web of Things (W2T), en el cual se presentan interacciones entre humanos, humanos – cosas y humanos–entorno [59]. Finalmente, se le ha dado mucha importancia al modelamiento semántico del conocimiento y de las técnicas semánticas que se pueden aplicar para desarrollar inteligencia en la interacción con los sensores [53, 60, 61], quedando por desarrollar la infraestructura que utilice este conocimiento en forma adecuada.

A continuación se realiza un estudio comparativo de investigaciones por las áreas identificadas, con el fin de encontrar similitudes, tendencias y técnicas utilizadas en el desarrollo de cada una de ellas.

2.1.1.1 Arquitecturas IoT

Los trabajos desarrollados en arquitecturas para el IoT, se encontraron diversas capas, algunas de ellas esenciales y otras particulares del proyecto o enfoque de estudio. Así en la Tabla 1 se hizo un estudio comparativo con el fin de obtener las capas en consenso y los principales modelos identificados para crear arquitecturas en la IoT.

Proyecto	Capas Identificadas							Modelos			
	Capa de objetos físicos	Capa de representación Digital de objetos	Capa de conocimiento o contexto	Capa de software mediador	Capa de red social	Capa de Aplicación	Capa de descubrimiento y composición	Capa de seguridad y datos	Patrones Web: REST(R), SOA(S)	Modelo publicador/suscriptor(S), P2P(P)	Interoperabilidad: M2M(M), M2H(H)
Botts, et al. [62]	X	X	X	X		X	X		R	S	H
Li, et al. [63]	X		X	X		X					H
Park, et al. [64]	X			X		X				P	H
[Broll, et al. [36]]	X	X				X	X		S		H
Scioscia and Ruta [7]	X	X	X				X	X	S		H
[Guinard, et al. [38], 41]	X	X			X	X		X	R		H
Roalter, et al. [12]	X		X	X	X					X	H
Kosmatos and Tselikas [40]	X	X		X	X		X		X	S	M
Zorzi, et al. [65]	X		X				X		R		H
IoT-A [66]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H
Gluhak, et al. [67]	X	X	X	X	X	X	X	X			H
Raghava-Rao, et al. [29]		X	X			X		X			H
Hernández-Muñoz, et al. [42]	X	X			X		X		X		H
[Vega-Barbas, et al. [43], Vega-Barbas, et al. [44]]	X	X	X		X	X	X	X	S		M
Heesuk, et al. [15]	X	X	X		X	X	X				H
Wan, et al. [68]	X	X	X	X		X	X		X		M
Fortino, et al. [69]	X	X	X		X						M
Domingo [70]	X	X	X								H
Zhang, et al. [10]	X	X	X		X		X		S	X	M
Perera, et al. [45]	X	X	X	X					S		H
Desai, et al. [46]	X	X	X	X			X	X	S	X	H

Tabla 1. Investigación sobre las propuestas arquitectónicas de la IoT

Estas capas también son manejadas como módulos y se pueden encontrar con distintos nombres en los estudios, pero se pueden agrupar de la siguiente forma:

- **Capa de objetos físicos:** En esta capa se encuentran los sensores, dispositivos, recursos, objetos inteligentes y entidades de interés, de los cuales se obtienen datos crudos y por diversos protocolos de comunicación, hardware y software. También se implementan protocolos de comunicación entre sensores como: MQTT, XMPP (modelo publicador / suscriptor) o CoAP (modelo REST). Con respecto a los protocolos de red, se trabaja sobre la misma TCP/IP. Sin embargo, se están haciendo esfuerzos para implementar el protocolo 6LOWpan, ya que es un protocolo más ligero para ser almacenado en los dispositivos de la IoT y resuelve los problemas de disponibilidad de direcciones.
- **Capa de representación digital de objetos:** Es una capa que se encarga de incorporar formatos estandarizados para describir las características de los elementos de la capa de objetos. Estos formatos en general están basados en

representaciones XML, JSON o CSV. Permite, en primera instancia, lograr una interoperabilidad sintáctica entre sistemas y aplicaciones.

- **Capa de conocimiento o contexto:** Esta capa está destinada a adquirir, modelar, razonar y diseminar el contexto [6] y conocimiento de los sensores, entidades de interés, entorno y requerimientos de usuario. Para ello, utiliza técnicas de la Web semántica como el uso de ontologías estandarizadas como la SSN-XG. Otros estudios proponen el uso de “*Linked Open Data*” (LOD) creando repositorios de especificaciones en RDF (*Resource Description Framework*) para aprovechar las tecnologías de la Web y enlazar recursos que se pueden manejar como conocimiento.
- **Capa de software mediador (*Middleware*):** En esta capa se desarrollan plataformas software que permiten abstraer las complejidades de conexión de los dispositivos de la capa de objetos, implementando una interfaz única de acceso a las aplicaciones, describiendo los sensores mediante la capa de representación basándose en estilos arquitectónicos como REST o SOA.
- **Capa de red social:** En esta capa se busca interactuar con las redes sociales existentes mediante el uso de APIs de acceso a cada red social. La idea es que las personas puedan acceder a los servicios de los sensores e interactuar con ellos desde las mismas herramientas de las redes sociales.
- **Capa de aplicación:** En esta capa se sitúan las interfaces de los usuarios, las cuales pueden estar destinadas a desplegarse en diferentes dispositivos como computadores personales, teléfonos inteligentes, tabletas y otras aplicaciones que utilizan sus datos como entradas. Con respecto a interfaces interactivas se habla de tecnologías web como: HTML5, AJAX y *Mashups* físicos y se está incursionando en la integración de la realidad aumentada como elemento importante de interacción M2H.
- **Capa de descubrimiento y composición:** En esta capa se realizan procesos de búsqueda de sensores y creación de relaciones entre los mismos para componer servicios más complejos. Generalmente usan servicios RESTful o servicios SOA. También se han hecho propuestas para componer servicios utilizando los principios que los servicios WS-BPEL (*Business Process Execution Language*).
- **Capa de seguridad y datos:** En esta capa se implementan protocolos de autenticación y autorización para el acceso a los datos, metadatos y servicios de los sensores. La seguridad a nivel de *middleware* normalmente se maneja con claves de autenticación y autorización; sin embargo, otras propuestas están utilizando cifrado de datos y el uso de protocolos de seguridad como OAuth2.

Es importante destacar varios trabajos que hacen aportaciones muy específicos al estado del arte.

- IoT-A [66] realiza un estudio de los proyectos más relevantes en la IoT con respecto a los conceptos relacionados con la arquitectura de la IoT. Presenta un estado del arte en cada aspecto y proporciona una serie de principios de diseño de arquitecturas, siendo resaltadas sus características en la Tabla 1 para

que los desarrolladores de arquitecturas tengan en cuenta sus principios con el fin de implementar las mejores prácticas.

- Heesuk, et al. [15] establece que para lograr presentar información contextual en interfaces de realidad aumentada es necesario que exista una comunicación semántica entre objetos y lo relacionan a un middleware que desarrollaron para tal fin. El middleware permite abstraer los objetos e información semántica relacionada con ellos, pero no establece los mecanismos que disparan las acciones de su colaboración.

2.1.1.2 Web Semántica de las Cosas

Para construir el conocimiento alrededor de los objetos, se ha propuesto la creación de repositorios de conocimiento basados en ontologías (ver Tabla 2) mediante la aplicación de diferentes estrategias para almacenar el conocimiento de los procesos de los sensores de la internet de objetos.

Proyecto	Conceptos Semánticos & Técnicas									
	Modelos semánticos formales	Interacción objeto - objeto	Puerta Sensor y Objetos Inteligentes	Servicios Web	Base de conocimiento (Ontologías)	Servicio de descubrimiento y composición	Software intermediario semántico	Consciencia - contexto	Modelos matemáticos	Web social de las cosas
Ruta, et al. [37]					X	X				
[Römer, et al. [47], 48]			X						X	
Guinard, et al. [11]			X				X			
Zhexuan, et al. [49]	X			X	X	X	X	X		
Zhang and Li [71]			X				X			
Amaral, et al. [50]						X	X	X		
Kostelník, et al. [51]	X		X	X	X	X	X	X	X	
[Teixeira, et al. [3], Hachem, et al. [26]]	X			X	X	X	X		X	
Kotis and Katasonov [52]	X		X		X					
Biamino [9]	X		X		X			X	X	X
Wang, et al. [53]	X				X					
Yao [14]	X	X			X				X	
Pintus, et al. [13]	X					X	X			X
Zaslavsky, et al. [72]	X			X						
Razzak [23]	X	X	X		X			X		
Perera, et al. [6]								X		
Aggarwal and Abdelzaher [54]			X					X		X
Raghava-Rao, et al. [29]	X				X					
Vega-Barbas, et al. [44]	X	X	X	X	X	X	X	X		
Desai, et al. [46]	X	X	X	X	X		X			
Perera, et al. [45]	X				X	X		X		
Gluhak, et al. [67]	X							X		

Tabla 2. Investigación Relacionada con la Interoperabilidad Semántica

En la Tabla 2, se hizo un estudio comparativo de las principales características que implementaron los proyectos enfocados en la interoperabilidad semántica para la IoT identificando los siguientes conceptos:

- **Modelos Semánticos Formales:** Corresponden a estudios que proporcionan modelos específicos por los cuales se guía la construcción de la solución y la creación de modelos semánticos formales para encontrar una forma adecuada para inferir información y el conocimiento de los objetos. Es indispensable para los modelos semánticos, el estudio del contexto [6], encontrándose que los datos de los sensores son útiles como se relacionan con su medio ambiente y los objetivos de los usuarios.
- **Interacción Objeto a Objeto:** Se proponen modelos de interacción entre dispositivos y objetos de la IoT, como mecanismos para crear servicios más complejos.
- **Puerta Sensor (*Gateways*) y Objetos Inteligentes (*Smart Things*):** Son trabajos cuyo foco principal es el desarrollo de las *puertas de acceso* semánticas, con el fin de habilitar en la WoT los sensores con pocas o nulas capacidades de memoria, procesamiento y comunicación, para posteriormente poder tratarlos como dispositivos inteligentes. También permite resolver problemas de direcciones reales para los dispositivos.
- **Servicios Web:** Trabajos cuya base para la interoperabilidad es el desarrollo de servicios Web, los cuales permiten reutilizar los servicios de los sensores entre aplicaciones y usuarios sin importar las plataformas.
- **Base de conocimiento (Ontología):** Trabajos que apoyan la gestión del contexto y conocimiento mediante el desarrollo de ontologías para los sensores o las alineaciones con ontologías existentes. Las ontologías son el mecanismo para el almacenamiento y el razonamiento sobre la información semántica de los objetos. Los modelos son diversos y necesitan encontrar algún mecanismo de la normalización [73].
- **Servicio de Descubrimiento y Composición:** Trabajos que plantean procesos de descubrimiento de sensores y mecanismos para crear procesos más complejos a través de composición de servicios. La búsqueda Web se ha asociado más con el descubrimiento de servicios desde dispositivos de la IoT [74]. Sin embargo, es necesario explorar la posibilidad de indexar toda esta información con el fin de proporcionar servicios de información semántica en el WoT.
- **Software intermediario semántico (*Semantic Middleware*):** Trabajos cuya base para crear interoperabilidad es la creación de middlewares semánticos, los cuales proveen los servicios de conexión, descubrimiento, búsqueda y creación de servicios para aplicaciones y usuarios.
- **Conciencia - contexto:** Trabajos que tienen en cuenta el manejo del contexto—conciencia y definen mecanismos para su gestión.
- **Modelos matemáticos:** Propuestas que asumen la interacción semántica desde el enfoque explícitamente matemático, proporcionando una base

interesante para la creación de modelos de interacción. No todos los trabajos plantean un modelado matemático para la interacción semántica de objetos.

- **Web social de las cosas (*Social Web of Things*):** Trabajos que utilizan o proponen una red social de las cosas con el fin de establecer mecanismos de interacción semántica. Se han propuesto varios modelos, pero aún es necesario desarrollar la infraestructura y herramientas para mejorar esta idea.

Es importante destacar varios trabajos que hacen aportaciones muy específicas al estado del arte y ameritan detallar mejor su aporte.

- [Römer, et al. [47], Ostermaier, et al. [48]] son los primeros que incorporaron de técnicas de RI en la IoT. Presentan un motor de búsqueda de información en tiempo real para la IoT llamado *Dyser*, el cual debe superar retos diferentes a los de un buscador tradicional, especialmente el tamaño de la información a procesar en tiempo real. Establecen dos aproximaciones para crear un motor de búsqueda en la IoT: el enfoque de inserción (*push*) y el enfoque de extracción (*pull*). Proponen un algoritmo de clasificación de sensores (*Sensor Ranking*), con el fin de establecer que dada una consulta, cual es la probabilidad de que cierto sensor produzca la salida buscada, para esto proponen tres modelos de predicción de datos; finalmente, implementan los modelos en *Gateways* inteligentes. Los conceptos y problemas encontrados para la creación del motor de búsqueda sirven de precedentes para estudios en el sentido de capturar la información semántica de los objetos, la cual será comunicada a otros objetos. El motor de búsqueda y el modelo establecido, fue probado midiendo la sobrecarga y los tiempos de latencia, indicadores importantes que se podrían incorporar a los modelos conceptuales de otros estudios; sin embargo, es necesario que se haga medición de relevancia con los indicadores tradicionales de RI, con el fin de establecer si cumple con los requerimientos de búsqueda de los usuarios. Aunque no plantean conceptos en interacción de objetos, los elementos semánticos introducidos permiten vislumbrar las ventajas de separar las consultas de los usuarios en dos tiempos: unas que se pueden resolver sin conexión a los objetos y otras en tiempo real, teniendo que decidir cuál realizar o hacer una combinación de las mismas. La interacción de objetos debe ser disparada por un evento interno o externo, uno de esos eventos podría ser una consulta de usuario.
- [Teixeira, et al. [3], Hachem, et al. [26]] proponen un middleware orientado a Servicios con cinco módulos (descubrimiento, expansión, mapeo, optimización y ejecución), soportando sus funcionalidades en tres ontologías (ontología de dominio, ontología de estimación, ontología de dispositivo), las cuales son tratadas como una base de conocimiento ("*Knowledge Base*" - KB). La propuesta conceptual es muy interesante, en el sentido que los módulos propuestos se comportan como grandes procesos de indexación semántica. Las ideas de una ontología de estimación y de un proceso de descubrimiento permitieron contemplar la posibilidad de procesar el conocimiento de los sensores para ajustarlos a las necesidades de las aplicaciones y usuarios.

-
- Wang, et al. [53] presenta una ontología en la cual modelan los aspectos de la IoT con el fin de almacenar conocimiento en ella. Definen unos principios de diseño de la ontología y posteriormente definen varios módulos que pretenden abarcar todo el conocimiento del área. Realizan alineaciones con la ontología DUL, SSN-XG y los servicios con el estándar OWL-S. Los principios de diseño presentados pueden tenerse en cuenta para la construcción de las ontologías de otras propuestas. Adicionalmente, algunos de los módulos presentan conceptos interesantes que permiten abstraer características de la IoT, por ejemplo la definición de los servicios y tipos de servicios utilizados. Otro elemento interesante es que reutilizan las ontologías más aceptadas en este momento sobre la IoT, lo cual garantiza un buen aporte a las mismas.
 - Perera, et al. [6], Hace un estudio bastante detallado sobre el análisis del contexto para la Internet de Objetos. Aporta identificando los principales problemas para desarrollar la IoT y adicionalmente establece un estudio de *middleware* que implementa características de contexto. Afirman que son pocos los estudios que se han enfocado en conciencia y contexto para la IoT. Finalmente, establece los principales retos que deben afrontar los sistemas que trabajen con el contexto para la IoT. Es un excelente referente para tenerlo en cuenta al momento de establecer los elementos de contexto que se podrían integrar en el desarrollo de la interacción entre objetos.
 - Los trabajos que proponen modelos conceptuales como Gluhak, et al. [67] y Vega-Barbas, et al. [44], realizan propuestas de conceptos que son básicos para entender la interacción en la WoT como: “objeto inteligente”, “usuarios de recursos” (personas físicas o aplicaciones), “recursos” (sensores, actuadores, procesadores), “entidades de interés” (gente, lugares y cosas), “espacio inteligente” y “objetos virtuales” (composición de servicios de otros objetos).
 - Raghava-Rao, et al. [29] y Desai, et al. [46] realizan propuestas de incorporación de ontologías para realizar razonamiento que permita obtener información semántica de los sensores.
 - Finalmente, el trabajo de Perera, et al. [45], propone un conjunto de técnicas bien definidas para indexar y recuperar información de los sensores, a través de unos algoritmos y medidas relacionadas con los algoritmos básicos de recuperación de la Información. Define un conjunto de métricas para evaluación enfocadas en el rendimiento y eficiencia de recursos. Esta propuesta aunque no habla de la interacción semántica de objetos de la WoT, sienta las bases para encontrar dispositivos basados en el contexto de la información del sensor, un primer paso para poder iniciar procesos de interacción semántica.

2.1.1.3 Comportamiento Social e Inteligente

Para desarrollar comportamientos sociales, se deben desarrollar capacidades inteligentes a los objetos, elementos que requieren el aporte de disciplinas como aprendizaje ontológico, inteligencia artificial y aprendizaje máquina.

El desarrollo completo de esta área dependerá del avance del comportamiento inteligente de los objetos, de la nanotecnología y el abaratamiento de sus costos, lo cual es una tendencia actual. En la Tabla 3, se hace una comparación de los principales estudios encontrados que se relacionan con esta área.

Proyecto	Conceptos Semánticos									
	Reúso de Ontologías Estándar	Productos (Aplicación, Teórica)	Interacciones (M2M, M2H, H2E)	Tipo de Red social (Existente, Propia)	Representación Matemática	Características (Descubrimiento, Mapeo, Servicios)	Modelo de Objeto Inteligente	Modelo Social	Modelo de Usuario	Contexto – Modelo de dominio
Pintus, et al. [58], Pintus, et al. [13]		A	M	E		DM				
Biamino [9]		T	H				X	X	X	X
Guo, et al. [59]		T	MHE							
Wang, et al. [53], Wang, et al. [60]	X	T	H			DS				X
Yao [14]		T	MH	X	X	X		X	X	
Uttama, et al. [61]	X	T	M			DS				X

Tabla 3. Investigación relacionada con Social y Comportamiento Inteligente

Los principales conceptos son:

- **Reúso de Ontologías Estándar:** Consiste en la reutilización de ontologías estándar existentes como: SSN, *Geonames*, OWL-S o *Quantity Kinds and Units*.
- **Productos:** Se evalúa el estado de la investigación. Para el caso se establece si solo provee información teórica o ya tiene desarrollos de aplicaciones en los que prueba los conceptos.
- **Interacciones:** Establece si describe los tipos de interacciones, la cuales pueden ser M2M, M2H o *machine–environment* (M2E).
- **Tipo de Red Social:** Define si la propuesta plantea una interacción con una red social existente o crea una propuesta de su propia red social.
- **Representación Matemática:** Establece si el estudio realiza una propuesta con un modelo matemático bien formalizado.
- **Características:** Establece las funcionalidades que describen las propuestas para ser implementadas en la solución. Estos pueden ser: *Discovery*, *Mapping and Service*.
- **Modelos:** Se establecen por separado cada uno de los posibles modelos a desarrollar en la solución. Estos modelos pueden ser: *Smart object*, *social*, *user* y *context–domain*.

Las investigaciones más relevantes, asociadas a la interacción semántica de la IoT, desde el punto de vista de comportamiento inteligente y social se presentan en los siguientes apartados.

-
- Pintus [13, 58], propone una plataforma Web en la que permiten registrar usuarios con sus objetos (sensores y actuadores). Un aporte interesante es como conectan la salida de un sensor a un actuador a través de su plataforma, utilizando el concepto de “*filter and mapping*”. La plataforma presentada permite un proceso básico de interacción entre objetos, la cual es adaptar la salida de un sensor a la entrada de un actuador, mediado por el usuario, quien es el que define la forma de conexión, incluso en actuadores de dispositivos embebidos debe adaptar un código fuente para su correcta utilización. La propuesta es interesante en la forma en que identifica los problemas iniciales que tiene la interacción entre objetos, pero no presenta una solución para un proceso de interacción más inteligente o al menos autónoma entre objetos, ya que exige que los usuarios adapten los diferentes dispositivos. Las interacciones sociales están medidas en la posibilidad de compartir los datos de los dispositivos conectados con los amigos en redes sociales existentes.
 - Biamino [9], plantea un entorno en el cual interactúan los objetos y las personas, para lo cual establece el concepto de “*Social Aware Objects*”, propone un modelo de conocimiento de contexto-conciencia social y razonamiento basado en ontologías para modelar el contexto, adicionalmente un modelo de usuario para implementarlo en las redes sociales. Define tres ontologías para el modelo de conocimiento (ontologías de contexto, ontología de objetivos sociales y ontologías de objetos), más un modelo básico de preferencias de usuario. La propuesta se percibe como el primer acercamiento a la definición de un modelo conceptual para el manejo de lo que llamaron una comunidad inteligente “*Smart community*”, definida por el autor como una comunidad de objetos físicos y personas compartiendo servicios ubicuos de manera social e inteligente. Por otro lado, comenta que las preferencias del usuario son adquiridas a través de las API de la red social. Las propuestas realizadas con respecto al enfoque de construcción de las ontologías y los indicadores de medición de detección de contextos, son valiosos y permiten orientar la construcción de las ontologías de contexto de esta propuesta.
 - Yao [14], define un modelo de recomendación de amigos en las redes sociales, teniendo en cuenta las interacciones entre las personas y las cosas de la WoT. Establece tres tipos de interacciones: “*people to people*”, “*people to things*”, y “*things to things*”. Para relacionar lo anterior define un modelo gráfico de variable latente, es decir un modelo de conexiones entre las interacciones definidas y trabajando la técnica de filtrado colaborativo (interacciones pasadas entre usuarios y objetos de la vecindad), buscando que el modelo pueda sugerir que servicios de un objeto puede utilizar un usuario de la red social, encontrando la similitud ¹¹de la interacción. Para ello propone un modelo matemático de cada uno de los tipos de interacciones definidas. El modelo matemático de personas y objetos se trabaja con variables semánticas de las personas, de sus intereses y de los objetos, los cuales se calculan en un

¹¹ Es una medida de cercanía semántica entre dos conceptos

promedio ponderado de pesos de las similitudes de estas variables. Para el modelo de la interacción persona con persona, utilizan la formalización matemática “*random walk*” y la interacción entre objetos la realizan con un modelo de similitudes graficas no funcionales como la proximidad.

- Guo, et al. [59], explora las tecnologías para incrustar inteligencia en los objetos de la IoT o W2T. Plantea conceptos de conciencia en niveles de usuario, ambiente y social. Establece varios retos por resolver como: medir la participación humana, representación - colección de datos, definición de estándares para la comunicación y representación del conocimiento, manejo de la incertidumbre, selección de modelos de aprendizaje de complejidad, privacidad y economía. Finalmente presenta una arquitectura orientada a la W2T, con un ejemplo práctico como caso de estudio. Los conceptos introducidos de cómo lograr la inteligencia embebida y como los diferentes tipos de objetos pueden interactuar con los humanos para capturar información sobre su contexto son interesantes. Sin embargo, el estudio no plantea una interacción entre objetos, ya que su perspectiva está orientada por la interacción con los humanos explícitamente.

2.1.2 Brechas Identificadas

En este apartado se resumen las brechas encontradas en cada una de las áreas identificadas en el estado del arte. Así se plantean las siguientes:

1. Existe una falencia de un correcto desarrollo de fusión de datos y desarrollo de interfaces de los servicios de los sensores con las personas, de tal forma que permitan proveer más información (contextual), que los simples flujos de datos medidos por los objetos. Aún, se deben proveer modelos conceptuales (ontológicos), que permitan vislumbrar soluciones adecuadas para este fin.
2. El trabajo desarrollado en privacidad y seguridad está relacionado con técnicas de compresión y cifrado de datos, manejo de contraseñas y seguridad otorgada por las redes sociales, pero hay que hacer un trabajo más holístico y elaborado en este aspecto tan importante para las personas, ya que podría representar un obstáculo para el uso de los objetos con capacidades semánticas en las actividades diarias de las mismas.
3. Las arquitecturas que se enfocan en describir con mayor detalle la interacción M2M aún son escasas y la mayoría de estudios plantean mecanismos de envío de mensajes entre dispositivos, pero poco centrados en la cooperación de acuerdo al contexto identificado, lo cual requiere un mayor grado de complejidad.
4. Se ha incrementado la necesidad de crear modelos formales semánticos, con el fin de encontrar un mecanismo adecuado para aprovechar la información y el conocimiento inferido de los objetos. Existen varias propuestas, pero muy pocas profundizan en tema particular de interacción semántica entre objetos.

5. El modelamiento del contexto y de la conciencia es un campo que tienen aún mucho por proponer. Se tienen identificados los elementos básicos de contexto, pero hasta ahora se está estudiando cómo implementarlos adecuadamente.
6. La búsqueda y descubrimiento en la WoT se ha centrado en el enriquecimiento semántico y muy poco en la indexación semántica, éste enfoque podría ser un buen punto de partida para implementar esta funcionalidad.
7. Los conceptos de redes sociales de objetos todavía son más conceptuales que implementados. Aún no es claro si se deben conectar a las redes sociales existentes o crear una red propia de objetos.
8. Muy pocos estudios abordan las características que debe tener la interacción entre objetos en una red social de objetos que se colaboran.
9. En cuando a las redes sociales y los objetos, todavía no se logra alcanzar una forma transparente y efectiva que permita compartir los objetos e interactuar con ellos. Aún es necesaria la programación de relaciones y movimiento de código fuente a dispositivos por parte del usuario.
10. El razonamiento y la inteligencia de los objetos aún está por desarrollar, ya que hasta ahora se está buscando como almacenar el conocimiento adecuadamente para su correcto uso y posterior raciocinio. Las ontologías son un buen punto de trabajo, pero debe realizarse adecuadamente para evitar proliferación de ontologías incorrectas, las cuales en vez de aportar generarían más complicaciones. Una buena práctica es reutilizar las ontologías existentes en lo posible las estándar.
11. La “*Wisdom Web of Things*” - W2T o Web sabiduría de las cosas, necesita del aporte de muchos trabajos y de diferentes disciplinas con el fin de encontrar un modelo escalable. Adicionalmente, es necesario el avance de las capacidades de procesamiento con el fin de embeber más objetos con inteligencia.

De las brechas identificadas anteriormente, el presente proyecto abordó las brechas 3 a 6, las cuales se pretende aportar con la creación de un modelo conceptual - semántico para permitir la interacción semántica entre los objetos de la WoT, teniendo como componente de contextualización la indexación semántica y como componente para interoperar la exposición de servicios web de índice semántico de la WoT. La principal razón del enfoque seleccionado es que la indexación semántica permite capturar y compartir una cantidad importante de información contextualizada de los objetos indexados, en este caso las cosas de la WoT y al convertirlos en servicios web es posible generar servicios más complejos a sus usuarios. Otro enfoque, es la creación de una ontología llamada objeto semántico, la cual es incorporada a cada cosa de la WoT, con el fin de permitir dotar al objeto capacidades de cooperación y comportamiento inteligente.

2.1.3 Mejores Prácticas en Interacción Semántica en la WoT

La revisión bibliográfica permitió identificar mejores prácticas al momento de crear escenarios de interacción semántica en la WoT. Así se propone un conjunto de pasos

para incorporar conocimiento semántico y capacidades de interacción a los objetos de la WoT.

Con el fin de incorporar los conceptos y mejores prácticas determinadas en el campo de la interacción semántica de la WoT se presenta un enfoque de desarrollo de aplicaciones para la SWoT, el cual no pretende ser una camisa de fuerza, pero sí un referente metodológico que ayudaría a soportar este tipo de aplicaciones para la WoT. Para ahondar en el tema, remitirse al Anexo 4.

Capítulo 3 Modelo de Interacción Semántica en WoT

3.1.1 Introducción

Una definición general de *interacción de objetos de la WoT* se puede entender como la capacidad de los objetos de la WoT para comunicarse entre sí, con los usuarios y aplicaciones en un contexto bien definido.

En los siguientes apartados se presentan los conceptos básicos a tener en cuenta en la interacción semántica de objetos (cosas) de la WoT seguidos de la propuesta de interacción semántica de este trabajo, la cual está basada en técnicas de recuperación de la información y web semántica. Finalmente se aporta con una guía para la creación de aplicaciones para la SWoT que centra su atención en la interacción semántica de los objetos de la WoT.

3.1.2 Metodología para la creación del modelo

Para la creación de este modelo se escogió una metodología [75] que se puede adaptar fundamentalmente en cuatro pasos. Los pasos pueden ser iterados con el fin de crear varias versiones del modelo propuesto. Adicionalmente en cada paso, se escogió una metodología apropiada para cada subproducto con el fin de formalizar mejor el modelo, la cual se detalla más adelante en cada ítem. Los pasos generales de la metodología son los siguientes:

Paso 1. Determinar el ámbito o realidad al cual se desarrolla el modelo:

Este paso corresponde a una revisión del estado del arte en los temas principales que abordan la realidad que se desea modelar para aplicar abstracciones necesarias que permitan eliminar la complejidad del problema para así obtener los *elementos estáticos* (estructuras, reglas, restricciones, objetos) y los *elementos dinámicos* (funciones o procedimientos, interacciones), que se pueden modelar para el entendimiento de la realidad que se desea representar. En el capítulo de estado del arte se utilizaron modelos y técnicas para obtener la información relevante, como el modelo de investigación documental y

tablas comparativas de análisis, los cuales permitieron abstraer y proponer los elementos fundamentales del modelo de interacción semántica en la WoT.

Paso 2. Definir un lenguaje para abstraer y representar el modelo: En este paso se escoge un lenguaje de representación formal para comunicar el modelo, que sea entendido y utilizado por otros. Como el modelo permitirá desarrollar software en la WoT, se han elegido representaciones formales de desarrollo de software basados en las especificaciones de la herramienta CASE como *Power Designer*, *CMapsTools COE* y *Enterprise Architect*. El primero, permitió utilizar modelos arquitectónicos y modelos orientados a objetos para los aspectos de arquitectura. El segundo, permitió desarrollar las estructuras de conocimiento utilizadas y, el tercero, se utilizó para la definición de los servicios basados en la metodología *service-oriented methodology framework-SOMF*.

Paso 3. Definir diferentes niveles de abstracción del modelo: Se definieron vistas específicas, de acuerdo a las características del modelo a crear, estas son:

- **Vista de Conceptos:** Esta vista presenta la relación de los conceptos definidos en el modelo. En este caso se definieron tres tipos de conceptos: generales-básicos, específicos y adaptados de otras áreas.
- **Vista arquitectónica (estática):** Reutiliza los principales conceptos y elementos encontrados en las propuestas anteriores, además de incorporar los propios como: indexación semántica, servicios web de objetos, objeto semántico, escenario de interacción semántica entre otros.
- **Vista Funcional (Dinámica):** Esta vista presenta los principales componentes de la solución propuesta con respecto al comportamiento de los mismos a través del tiempo y su interacción para dar solución al problema.
- **Vista Semántica:** Esta vista define las estructuras de conocimiento que utilizará el modelo diseñado. Entre las estructuras está el desarrollo de la ontología objeto semántico.
- **Vista de Servicios:** Se definen y presentan los diferentes servicios a crear en el modelo propuesto. Los servicios están diseñados en el uso de servicios web, con el fin de compartir la información entre objetos y aplicaciones.

Paso 4. Validación del modelo: Para este caso se propone la creación de un caso de estudio en el cual se conectan objetos físicos de la IoT. Se realizará una prueba de concepto con usuarios y aplicaciones para verificar la interacción semántica entre los objetos inteligentes (ver apartado 5.4).

En los siguientes apartados se presentan los principales productos de cada uno de los pasos mencionados. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el primer paso incluye el capítulo del estado del arte, así como la sección 3.1.2.1.2 y 3.1.2.1.3, en

las cuales se presentan los productos finales del análisis de conceptos que se incluyeron en el modelo.

El segundo paso consiste en las herramientas CASE seleccionadas y los modelos utilizados para formalizar el modelo, así en el tercer paso se pueden ver las vistas de representación del modelo. Y en el paso cuatro se desarrolla la validación.

3.1.2.1 Paso 1: Determinación del ámbito o realidad en la cual se desarrolla el modelo de interacción semántica para la WoT

Este paso arranca desde la creación de estado del arte y la ejecución de una serie de técnicas para abstraer los conceptos clave, estos conceptos se dividen en tres tipos:

- **Conceptos básicos:** Son conceptos generales que establecen el entorno de trabajo del modelo, los límites, los actores, los principales servicios y el enfoque de solución al problema modelado.
- **Conceptos específicos:** Estos conceptos desarrollan en detalle las estructuras sobre las cuales se creará el modelo de interacción semántica en la WoT. Define conceptos específicos que se deben tener en cuenta para comprender el modelo.
- **Conceptos adaptados (isomorfismos):** El modelo incorpora conceptos de otras disciplinas con el fin de crear sus servicios, en este apartado se desarrollan dichos conceptos adaptándolos a la WoT y definiendo la forma en que se usarán en el modelo.

3.1.2.1.1 Conceptos Básicos del Modelo

Esta vista presenta una abstracción de conceptos básicos y sus interrelaciones, para lograr el objetivo de interacción semántica en la IoT. En la Figura 2 se presentan tres conceptos clave que integran el modelo.



Figura 2. Vista Conceptual para la Interacción Semántica de la IoT

El primer concepto es el entorno en que la solución es desarrollada, este es la Web de la Cosas y Personas-WCP. Esta es una web híbrida de objetos y personas que comparten información y servicios. La Web 3.0 juega un papel importante en este entorno, ya que los servicios de información deben ser inteligentes o al menos basados en el conocimiento. Los objetos y personas tienen una identificación digital y capacidades diferenciales; además, los servicios de información deben estar dotados de seguridad, confidencialidad y políticas de privacidad.

El segundo concepto es de las Redes Sociales de cosas y personas-RSCP, que se define como una unidad natural de la agrupación de objetos y personas que comparten objetivos e intereses comunes. Esta red social debe incluir un modelo de interacción que establece los mecanismos de interoperabilidad y las capacidades de la red social para lograr sus objetivos. Otro elemento es la personalización de los servicios a usuarios y aplicaciones, esto va de la mano con la información de contexto; es decir, la información de las entidades de interés en un dominio específico de información.

El tercer concepto en que se basa el modelo, es el objeto semántico. Este concepto aparece como un integrador de los diferentes miembros del RSCP en un sólo elemento; por lo tanto, una persona y un objeto se pueden representar a través de este concepto único, que integra tres diferentes representaciones, pero complementarias:

1. **Representación física:** es un dispositivo-persona con la infraestructura de hardware, necesaria para procesar, almacenar y transmitir señales en la web (objeto inteligente), detecta los cambios físicos a su alrededor o actúa en su entorno. En el caso de las personas, este corresponde a la misma persona en la vida real, que a través de otros objetos inteligentes se puede comunicar en la WoT (Ej. a través de su teléfono inteligente).
2. **Representación digital:** posee un identificador único y un mecanismo para encontrarlo y usarlo. Las personas también tienen su identificador digital, por ejemplo, cuando utilizan etiquetas RFID o NFC propias o a través del objeto inteligente que porta.
3. **Representación semántica:** Como parte de sus metadatos, tiene referencias a la ontología objeto semántico, esta retorna las capacidades del dispositivo/persona, sus relaciones, los contextos, propiedades, estados, métodos y calidad. Es clave para generar nuevos servicios de interacción.

Los conceptos anteriores tienen por objetivo que los servicios de interacción entre los elementos de la red social se adapten a las necesidades de los miembros y garanticen el desarrollo de servicios de gran valor para sus usuarios. La infraestructura de red social ya establecida puede ser reutilizada para crear comportamientos complejos derivados de sus interacciones, ya que son entidades autónomas que interactúan entre sí y con la gente. La capacidad de interactuar y

la autonomía de estos objetos se limitarán a la posibilidad de incorporar las tecnologías de inteligencia artificial y agentes inteligentes a los objetos.

3.1.2.1.2 Conceptos Específicos del Modelo

En esta sección se definen los conceptos específicos sobre los que se fundamenta la propuesta de interacción semántica de la presente tesis. Los conceptos son:

- **Mundo físico:** Esta investigación comparte el concepto dado por Gluhak, et al. [67] en la que definen el mundo real como “... *el entorno físico que es instrumentado a través de máquinas identificadas a través de etiquetas, sensores, actuadores y elementos de procesamiento organizados en islas de dominios específicos, con el fin de monitorear e interactuar con las entidades físicas en las que estamos interesados*”.
- **Recursos IoT – RIoT:** Son los dispositivos (hardware y software embebido) del mundo real acerca de los instrumentos que poseen. Normalmente se acoplan o relacionan a entidades del mundo real, con el fin de capturar la información de dicha entidad o de su entorno, procesarla y comunicarla a través de la red. También podrían tener la capacidad de cambiar el estado de la entidad o su entorno a través de actuadores. Un RIoT puede tener incorporados uno, dos o todos los elementos siguientes:
 - ✓ **Sensores:** Dispositivo que examina el entorno y capta la información de entrada al sistema. Ej. detectores de presencia, de humo, de lluvia, de viento, de luz, entre otros.
 - ✓ **Controladores:** Dispositivo que recibe la información extraída por el sensor y la gestiona enviando la instrucción al actuador correspondiente.
 - ✓ **Actuadores:** Dispositivo que recibe la información de un controlador y efectúa una acción sobre un sistema o aparato concreto. Es el encargado por ejemplo de activar la cafetera, de encender el motor que enrolla la persiana.
- **RIoT Inteligentes–RIoTI:** Son RIoT que poseen en su instrumentación capacidades de almacenamiento, procesamiento y comunicación [5], además de conectarse directamente a sensores y actuadores. Para los RIoT que no poseen una de las capacidades descritas se utilizarán soluciones con *Gateway* inteligentes, que en esencia es un RIoTI que se conecta a otros RIoT más básicos (sensores y actuadores distribuidos) y suple sus falencias de capacidades y de identificación digital.
- **Espacios inteligentes-Esl:** Se pueden caracterizar como una taxonomía de entidades más generales (contexto) o específicas (zoom semántico [55]) dependiendo de los objetivos de los usuarios.
- **Entidades:** Son representaciones de personas, lugares y cosas del mundo real. Una entidad debe tener relacionado al menos un RIoT, pero podría tener relacionados varios RIoT en un momento dado.
- **Usuarios:** Representan las personas físicas o software de aplicación que interactúan con los objetos semánticos, es decir con las entidades de interés

a través de los RIoT, de tal forma que los usuarios tengan una experiencia natural y transparente de interacción, en la cual los RIoT en lo posible son invisibles a los ojos humanos. En el modelo los usuarios son representados también con un OS.

- **Mundo Digital:** Se refiere a la información que se almacena digitalmente acerca del mundo físico mediado por tecnologías de la IoT. Así tenemos:
 - **Entidades de Interés–EI:** Cuando las entidades son objeto de búsqueda de información o interacción por parte de los usuarios, se les denomina entidades de interés, éstas se identifican a través del modelo de contexto utilizado en la interacción.
 - **Propiedades o Atributos:** Corresponde a las características de las entidades que son percibidas a través de los sensores y por medio de los cuales se puede describir el estado de dicha entidad en un momento dado.
 - **Propiedades de Interés–PI:** Cuando se selecciona una EI y una de sus propiedades se relacionan a un atributo de contexto del cual están interesados los usuarios.
 - **Objeto Semántico–OS (Objetos inteligentes):** Cuando se relacionan los RIoT a entidades de interés específicas, estamos hablando de objetos semánticos. Los objetos inteligentes o semánticos pueden tener RIoT embebidos en una entidad específica (Ej. Sombrilla inteligente, bolígrafo inteligente, etcétera) o RIoT acoplados en algún momento particular (Ej. Dispositivo móvil de calidad del aire). En el modelo propuesto los OS son representados a través de una ontología personalizada llamada **ontología de objeto semántico-OOS**, la cual almacena el conocimiento de su infraestructura (sensores, actuadores, nodos de procesamiento, almacenamiento y comunicación), entidades de interés, capacidades semánticas, contextos e interacciones con otros OS. Exhiben mecanismos software para identificar, conectar, detectar, etiquetar, encontrar, compartir y requerir servicios de información o actuación en el entorno en que se encuentran y que heredan a sus entidades relacionadas.
- **Interacción semántica de objetos de la WoT:** Se puede entender como la capacidad de dos o más objetos semánticos para comunicarse entre sí en un contexto bien definido, exhibiendo comportamientos cooperativos y sociales con el fin de resolver requisitos de usuarios, aplicaciones y otros objetos de la WoT.
- **Escenario de interacción semántica:** Es un entorno físico o virtual en el cual los objetos semánticos son capaces de ofrecer sus recursos y funcionalidades, e interactuar de forma dinámica con otros objetos semánticos. En este espacio se pueden identificar las *entidades de interés* de las cuales se quiere conocer su estado midiendo las *propiedades de interés*, para informarse o actuar sobre ellas.

-
- **Contexto:** El presente trabajo comparte la definición de contexto de Abowd, et al. [76] en la que dice que el contexto¹² es “*cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar, u objeto que es considerado relevante para la interacción entre el usuario y la aplicación en sí misma*”. Desde este punto de vista, el contexto se puede tomar como un conjunto de atributos o PI que se pueden recopilar no sólo de los sensores, sino también de las personas y las EI en un escenario de interacción dado.
 - **Contexto–Consciencia:** También Abowd, et al. [76] define el contexto-consciencia¹³ como: “*Un sistema es de contexto – consciencia si usa el contexto para proveer información relevante y/o servicios para el usuario, dónde la relevancia depende de las tareas del usuario*”. Así, los sistemas que se enfoquen a la colaboración, necesariamente deben gestionar el contexto, por lo cual en su arquitectura se debería incorporar la orientación basada en el contexto–consciencia.
 - **Modelo de Gestión del Contexto:** Define un conjunto de atributos de contexto que describen las EI a través de sus PI, este modelo utiliza principalmente la gestión de metadatos: anotación (¿qué almacenar?), ejecución (¿qué servicios usar?) y presentación (¿qué información presentar?). También define mecanismos para adquirirlo, modelarlo, razonar sobre este y diseminarlo [6]. En el modelo propuesto esto se hace con la creación de índices semánticos.
 - **Atributos de contexto:** Son un conjunto de conceptos interrelacionados que dependen del contexto definido. Se pueden manejar como **metadatos** o un conjunto de *propiedades* usadas para etiquetar, describir y clasificar la información de una EI. Los RIoT tienen características especiales (Ej. restricciones de operación, calidad, confiabilidad, entre otros) que pueden ser anotadas con el fin de aumentar la información semántica sobre los mismos. Así mismo, las EI tienen propiedades que pueden ser anotadas con respecto a normatividades, estandarizaciones, descripciones o simplemente requisitos de usuarios que dependen del dominio en que se deseen usar (estos son atributos de contexto). Cuando una propiedad o atributo de una EI se relaciona a un Atributo de Contexto, estamos hablando de Propiedades de Interés.
 - **Tipo de Contexto:** Perera, et al. [6] hace un estudio muy detallado del mismo, enfocándose principalmente en el contexto de los sensores, es decir información de metadatos y datos que ellos miden. Distingue dos tipos de contexto (primario y secundario), agrupados en las dimensiones de localización, identidad, tiempo y actividad. El contexto primario maneja datos sin procesar y el contexto

¹² Traducción libre de la definición original de contexto

¹³ Traducción libre de la definición original de contexto - consciencia

secundario realiza algún tipo de procesamiento a la información. Sin embargo, el contexto para el presente trabajo es más amplio que la información técnica de los sensores y de lo que miden, así el contexto incluye también el contexto del escenario de interacción y de los usuarios que pueden ser personas, aplicaciones u otros objetos, los cuales se pueden gestionar con ontologías de dominio.

Las razones por las cuales el modelo plantea el uso de OS u Objetos Inteligentes como base para la interacción son:

- Distribuyen el procesamiento de la información en los bordes de la red (“*fog computing*” [77]) reduciendo el ancho de banda en la comunicación de datos y el tiempo de respuesta para aplicaciones en tiempo real.
- Se les puede programar un comportamiento inteligente y social con el fin de generar nuevas interacciones con los usuarios u otros OS.
- Se les puede compartir y reutilizar en diversos contextos y para diferentes servicios dado que en definición no están acoplados a una entidad única, entorno o propósito particular y dependerá de los objetivos del usuario en un momento dado.
- Permiten crear redes de OS con el fin de cooperar en la creación de nuevos servicios a los usuarios, participando en objetivos diferentes para lo que originalmente fueron creados.

3.1.2.1.3 Conceptos adaptados al modelo (isomorfismos)

Dado que el modelo está orientado a la colaboración entre objetos, al manejo de la información y a la posibilidad de compartirlos en diferentes contextos, se seleccionó del estado del arte un cuerpo teórico básico para permitir modelar sus principales conceptos utilizando el concepto de isomorfismos.

Desde la teoría del comportamiento colaborativo podemos hacer el siguiente isomorfismo:

Elementos que incentivan la colaboración (Fernández-Cardador, et al. [78]):

1. **Objetivos Comunes:** Los OS cuando trabajan en un contexto deben tener un objetivo de contexto a parte del objetivo específico o funcionalidades para el cual fueron creados. Ej. un OS se le puede dar el objetivo de contexto de colaborar en la medición de temperaturas del salón en el que está a otros.
2. **Altruismo:** El OS siempre está publicando información sin esperar recompensa de los demás objetos semánticos o de su progenitor.
3. **Confianza Mutua:** Siempre que los OS estén en un mismo contexto debidamente autenticados, éstos no dudarán de las informaciones provistas por los otros OS.

4. **Reputación:** Este es un indicador de que tan bien valorado son las mediciones de uno de los OS y dará a los OS de otros contextos la posibilidad de utilizar sus servicios.
5. **Reciprocidad:** Si un OS colabora con otro, el contrato debe exigir que el otro le colabore cuando sea necesario también.
6. **Sentido de pertinencia:** Esta dado por el contexto al cual esté inscrito y al progenitor del OS.

Desde la teoría de aprendizaje mediada con objetos de aprendizaje reutilizables se puede hacer el siguiente isomorfismo al respecto de los principios de los OS reutilizables:

1. **Compatible:** Un OS puede ser utilizado todas las veces que sea necesario para resolver una necesidad de información. Ej. Si pepito creo un sensor de temperatura (Tempi), Tempi siempre va a dar su temperatura y si lo comparte con Alan, éste lo puede utilizar cuando quiera también.
2. **Migrable:** Un OS puede enviar toda la información de cómo fue construido y los elementos y código fuente, con el fin de que otro lo replique. Ej., Alan no quiere utilizar a Tempi, quiere replicarlo, por lo cual solicita su código e instrucciones de creación.
3. **Localizable:** Es la posibilidad de que a partir de una búsqueda obtener la información de su dirección y metadatos.
4. **Accesible:** Se refiere a que sea fácilmente direccionarle desde cualquier aplicación o usuario. Ej. En este punto se utilizará URIs con REST o Servicios Web los cuales son ampliamente soportados en la Web.
5. **Archivable:** Ofrecer un método de empaquetado de sus funcionalidades y metadatos con el fin de almacenarlo global o localmente para su posterior consulta y reutilización. Ej. Cuando Alan descarga la información de Tempi, este vendrá empaquetado en un archivo con toda la información necesaria para su replicación.
6. **Personalizable:** Permite a los diferentes usuarios definir características propias de su uso. Ej. Alan quiere que Tempi de una alerta cuando pase los 30 grados y no los 18 de Pepito.
7. **Durabilidad:** Establece el ciclo de vida del OS, el cual dependerá de sus datos, precisión, detrimento por tiempo y finalización. Ej. Alan debería saber cuánto tiempo va durar Tempi para poder establecer si lo puede usar y cuánto tiempo.

Con respecto al manejo de la comunicación, datos e información (Gurrola [79]) se definieron conceptos con el fin de ser incorporados al modelo así:

- **Fuentes de Información:** El fin último de una fuente de información es facilitar datos con los que reflexionar y posteriormente constituir información. Así un OS es una fuente de información o datos. Tipos de fuentes por su representación:
 - Fuente de Información Textual: Es aquella cuyo contenido es completa o predominantemente texto. Por ejemplo: datos de temperatura de Tempi.

-
- Fuente de Información Gráfica: Es aquella fuente donde la información es completamente o predominantemente ilustrada. Por ejemplo: una fotografía de un sensor de cámara o una gráfica de los datos históricos de temperatura.
 - Fuente de Información Sonora: Es aquella que transmite o transfiere, básicamente, la información que contiene a través de sonidos. Por ejemplo: un sensor de ruido.
 - Fuente de Información Audiovisual: Es aquella que combina el suministro o transferencia de la información que contiene a través de imágenes y sonidos. Por ejemplo: videocámara.
 - Fuente de Información Electrónica: Es aquella cuyo portador material y las vías de acceso y suministro de la información son, fundamentalmente, computadorizados. Por ejemplo: una enciclopedia on-line, un disco compacto.
- **Valor y Confiabilidad de la Fuentes:**
 - El *valor* se refiere a la relevancia que pueda tener una fuente de información. Este valor estará medido por la relevancia con respecto al contexto de aplicación de los OS.
 - La *confiabilidad* se refiere a qué tanto podemos creer en la información que nos brinda. Dependerá de los propietarios y la red de usuarios que confían en los OS de sus amigos.
 - **Datos:** Son registros icónicos, simbólicos (fonéticos o numéricos) o sígnicos (lingüísticos, lógicos, matemáticos). Por medio de los cuales se representan hechos, conceptos o instrucciones. Ejemplo: Listado 1, 14°C, 5°C, 3°C. Un dato es un conjunto discreto, de factores objetivos sobre un hecho real. Dentro de un contexto empresarial, el concepto de dato es definido como un registro de transacciones. Un dato no dice nada sobre el porqué de las cosas, y por sí mismo tiene poca o ninguna relevancia o propósito. Se clasifican según su fuente. Para los OS los datos de Tempi son un número sin contexto alguno (Ej. 18 Grados)
 - **Información:** Datos o materia relacionada o estructurada de manera potencialmente significativa. Es el ordenamiento de los datos en función de la obtención de un sentido cognoscitivo relevante. Los datos adquieren valor informacional cuando los elementos se identifican. Hecho que se comunica. Mensaje utilizado para representar un hecho o una noción en proceso de comunicación, con el fin de incrementar el conocimiento. Con respecto a los OS los datos adquieren semántica cuando se relacionan a una entidad de interés del mundo real y se definen una propiedades de interés a medir. Ej. Tempi provee la temperatura de la oficina de Alan, pudiendo con esta información tomarla como base para ejecutar una acción.
 - La información tiene significado, relevancia y propósito.
 - ¿Cómo transformar los datos en información?: contextualizando, categorizando, calculando, corrigiendo y condensando. La contextualización para lo OS la da el índice semántico y los objetivos del usuario.

-
- Los medios de comunicación de la información son: textual, sonido, gráfica, tacto, olfato. Para los OS dependerá del tipo de actuador utilizado para la comunicación.
 - Tipos de Información Semántica:
 - ✓ **cuantitativa**: observable valores relativos vs. Absolutos. Los OS por defecto presentan este tipo de información digital.
 - ✓ **cualitativa**: refleja el valor aproximado o frecuencia de cambio Ej. Más cerca, más lejos. Por ejemplo el cálculo de la distancia de un OS al usuario.
 - ✓ **estado**: condición de un sistema Ej. En marcha, parado, etc. En la IoT se refiere a los valores actuales de los sensores y actuadores aplicados a la entidad de interés.
 - ✓ **alerta**: guías para el usuario acerca de procedimientos correctos o incorrectos, advierten de ciertas preocupaciones en la acción. En los OS se definen cuando los sensores cumplen con una condición relacionada a su estado. Ej. Si Temp en mayor de 25 grados entonces activar el ventilador.
 - ✓ **Identificación**: establece el lugar de donde proviene o esta. En los OS se almacena las coordenadas GPS y su entidad de interés relacionada en el momento.
 - ✓ **Contextual**: indica el entorno en el cual se produce la información. Este contexto es definido por el índice semántico construido para encontrar y utilizar los OS. También depende de los objetivos del usuario.
 - Características de la Información:
 - ✓ **Actualizada**: Implica que ésta es capturada cuando se genera y no un tiempo después mediante procesos adicionales. En la IoT se busca que la información provista por los OS sea en tiempo real, sin embargo se debe manejar el retraso inherente que se presenta en su procesamiento y comunicación. Ya sea en los mismos OS o en los servidores IoT.
 - ✓ **Relevante**: provee elementos clave para el trabajo que se desempeña. Para el caso de la IoT la información esta contextualizada a través del índice semántico.
 - ✓ **Oportuna**: se proporciona en el momento adecuado cuando tiene valor para su uso. La información de un OS es provista normalmente por programaciones tipo push/pull para completar o procesar información relevante.
 - ✓ **Veraz**: debe ser real y verificable. Es difícil establecer esto con el modelo actual, sin embargo se puede consultar del estado del sensor / actuador provisto por el servidor middleware y de la credibilidad de la fuente.
 - ✓ **Entendible**: debe estar en términos que la mayoría de las personas pueda comprender con facilidad. En la IoT se utilizan protocolos de comunicación semántica, los cuales permiten

interpretar adecuadamente la información enviada o recibida por cualquier OS.

- ✓ **Calidad:** de la información que se presente en sus niveles de confiabilidad. Es decir, qué tanto se puede creer en la información que se está recibiendo. En la IoT depende del servidor middleware y de la calificación de la fuente.
- ✓ **Explicable:** es decir, se debe poder ver a todos los niveles de detalle el origen de toda información. Para cada total, se tienen también los valores de los componentes de estos totales. Además se deberá poder analizar la información en el tiempo por lo que se requiere acceso a la información tanto presente como histórica. En la IoT se refiere al acceso de toda la información histórica de los OS, además de las funcionalidades de contexto secundario en la información a partir de repositorios de conocimiento como ontologías y el índice semántico.
- ✓ **Conocimiento:** Es información organizada según ciertas relaciones lógicas. Esta transformación se produce gracias a: comparación, consecuencias, conexiones y conversación. Ya que el modelo plantea el uso de ontologías para crear índices semánticos y apoyar el proceso de interacción semántica entre objetos inteligentes de la IoT, cada vez que se necesite automatizar un conocimiento se debe crear una ontología de dominio específico y un índice semántico correspondiente, ampliando así el conocimiento en manos de los OS y la posibilidad de crear aplicaciones inteligentes.
- ✓ **Comunicación:** La comunicación es el proceso mediante el cual se puede transmitir información de una entidad a otra. Los procesos de comunicación son interacciones mediadas por signos entre al menos dos agentes que comparten un mismo repertorio de signos y tienen unas reglas semióticas comunes¹⁴. Todas las formas de comunicación requieren un emisor, un mensaje y un receptor destinado, pero el receptor no necesita estar presente ni consciente del intento comunicativo por parte del emisor para que el acto de comunicación se realice. En el proceso comunicativo, la información es incluida por el emisor en un paquete y canalizada hacia el receptor a través del medio. Una vez recibido, el receptor decodifica el mensaje y proporciona una respuesta. Para el caso del modelo la comunicación se realiza entre los OS que representan objetos inteligentes de la IoT que utilizan RIoT para capturar la información del entorno, procesarla y enviarla a otro OS. Esta información al final es

¹⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicación>

parte de un servicio que ha sido creado por el usuario y por ende es enviada al mismo por mecanismos e interfaces adecuadas a los usuarios, como texto, datos, gráficos entre otros. En fin cualquier medio adecuado al perfil del usuario.

3.1.2.2 Paso 2: Definir un lenguaje para abstraer y representar el modelo

Dado que el modelo en esencia busca desarrollar sistemas que permitan la interacción semántica en la WoT, se decidió utilizar lenguajes formales de representación del modelo orientado a desarrollo. Así para las diferentes vistas del modelo se seleccionó una herramienta y modelo cómo se describió en la sección de metodología.

3.1.2.3 Paso 3: Definir diferentes niveles de abstracción del modelo

Para el modelo específico se inicia con la identificación de las hipótesis a probar, con el fin de determinar los conceptos y variables que deben ser definidos y medidos en la creación del modelo. Posteriormente se crean las ontologías y se presentan cada una de las decisiones realizadas con respecto a las mejores prácticas realizadas en el apartado anterior. Finalmente, se presentan los productos de cada una de las vistas desarrolladas. En el paso 1 se mostró la vista conceptual, en este apartado se obtienen las demás vistas del modelo: arquitectónica, funcional y de servicios.

3.1.2.3.1 Preguntas a resolver por parte del modelo

Esta tesis propone un modelo de interacción semántica entre objetos semánticos de la WoT, el cual permite generar procesos de interoperabilidad, recuperación de la información, representación y generación de servicios de información para los usuarios de la WoT. Las tareas se apoyan debido a la capacidad del modelo para presentar diferentes niveles de abstracción de los objetos de la WoT y sus interacciones semánticas, exponiendo sus propiedades, relaciones y servicios aislados y complejos resultantes de su interacción. La base del modelo es un conjunto de ontologías articuladas entre sí con el fin de integrar el conocimiento necesario para su correcto aprovechamiento. Las preguntas principales del problema planteado y retos particulares del modelo propuesto son:

1. ¿Cómo se pueden categorizar los objetos de acuerdo a sus capacidades con el fin de definir cuáles de ellos pueden interactuar y en que niveles?
A partir del trabajo de Mathew, et al. [5] se pudo definir las capacidades de un objeto inteligente: almacenamiento, comunicación, procesamiento., además de una clasificación de los otros RIoT que no tienen todas las capacidades. Así el modelo amplió el concepto de objeto inteligente añadiéndole además las características de tener sensores, actuadores y

controladores en el mismo dispositivo. Los otros tipos de objetos se deben conectar a un objeto inteligente Gateway para suplir sus falencias.

2. ¿Cuáles son las características de las plataformas *middleware* más adecuadas al modelo de interacción propuesto?

En el estado del arte se hizo un estudio para seleccionar la mejor plataforma para los casos de prueba, la cual fue Xively. En general las características principales son: tener un API de acceso a los servicios, una representación de los formatos de datos y metadatos de los sensores estandarizado en XML o JSON, soporte para varios entornos de desarrollo, búsqueda de sensores por palabras clave y acceso a una gran cantidad de sensores de manera pública y gratuita.

3. ¿Cuál es el proceso que permitiría indexar semánticamente la WoT, de tal forma que se convierta en una fuente de información importante para la búsqueda, descubrimiento y la interacción entre los objetos?

El proceso está definido en el capítulo anterior donde se explica el método de indexación semántica de sensores de la WoT.

4. Para la construcción de la base de conocimiento es necesario decidir ¿cuáles ontologías construir?, entre ellas: objeto semántico, contexto, modelo de usuario, estimación y traducción. Adicionalmente establecer la reutilización de las estandarizadas existentes. Se decidió construir la ontología objeto semántico, la cual permite almacenar la información digital de los OS. Entre la información almacenada se cuenta con: RIoT y sus características, entidad de Interés y propiedades de interés, servicios e interacciones. Esta ontología se puede alinear con la ontología SSN con el fin de almacenar la información técnica de los dispositivos y se puede ampliar para almacenar la información técnica de los actuadores. El contexto se almacena como un conocimiento en la ontología, este conocimiento también puede modelar los usuarios.

5. En cuanto al modelo de interacción se debe resolver: ¿qué arquitectura adoptar?, ¿cómo comunicar los objetos?, ¿qué activa las interacciones?, ¿qué estrategia de composición de servicios de interacción definir? y ¿cómo definir una aproximación a un comportamiento inteligente?

Con respecto a la arquitectura, la forma de comunicar los objetos se describe en este capítulo y en esencia se eligió el protocolo y la infraestructura para implementar MQTT entre los objetos inteligentes. La activación de las interacciones está dada por cumplimiento de un requerimiento por parte del usuario u otro objeto inteligente a través del patrón evento-condición-acción (ECA). El comportamiento inteligente se propone con la creación de una interacción avanzada basada en patrones de servicios.

6. Finalmente, ¿cómo exponer los servicios de información de los objetos del WoT, privilegiando los servicios producto de su interacción?

Se ha realizado una propuesta de acceso a la información de interacción a través de una interfaz de implemente mecanismos de realidad aumentada. En este trabajo se presentan las bases para este tipo de interfaces, pero su desarrollo queda como trabajo futuro.

3.1.2.3.2 Establecimiento de la Hipótesis

El modelado de la interacción de objetos tiene por objetivo encontrar un mecanismo que le permita asociar objetos semánticos entre sí de acuerdo al contexto y objetivos por los cuales fueron construidos. Se supone que ésta interacción permitirá generar más valor agregado a los servicios productos de dicha interacción. Así las hipótesis de investigación se expresan como:

- H1. “Las **capacidad de interacción** entre objetos semánticos es posible gracias a la mediación de un conjunto adecuado de **ontologías** que describen los **objetos** y sus servicios de información”.
- H2. “Las ontologías para la de interacción semántica entre objetos de la WoT, deben tener como principal fuente la semántica de los mismos objetos (**objetos semánticos**) y la **información del contexto** en el cual están interactuando”
- H3. ”Los **objetos semánticos** que implementan el **modelo de interacción semántica** propuesto en un escenario de interacción semántica, permitirá ofrecer mejores **servicios de información** que la provista por los **objetos sin interacción semántica**”.

Definición conceptual y operacional de variables identificadas se presenta en la Tabla 4.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
Capacidad de Interacción	Se refiere a las funcionalidades que permiten a los objetos semánticos enviar información semántica a otro objeto y recibir su respuesta para procesar dicha información de acuerdo a sus objetivos.	Si un OS es capaz de: <ol style="list-style-type: none"> 1. Enviar datos / información a otro OS a través de la red y que este la entienda. 2. Recibir datos / información de otro OS y poder entenderla y aprovecharla. 3. Mantener la información de una relación con otro OS y definir condiciones de ejecución de la misma para enviar o recibir datos / información. Entonces el objeto se clasifica en 1 como “OS publicador”, en 2 como “OS suscriptor” y en 3 como “OS de interacción”
Ontologías de Objetos WoT	Estructuras de almacenamiento de conocimiento de los objetos, su contexto, modelo de usuarios, estimación y traducción.	La evaluación de ontologías debe realizarse como cualquier componente de software [80]. Se puede hacer con las siguientes fases: <ol style="list-style-type: none"> 1. Uso correcto del lenguaje. 2. Exactitud de la estructura taxonómica 3. Validez de vocabulario. 4. Adecuación a Requerimientos.
Objetos semánticos	Es un conjunto de RIoT al cual se le ha asignado una entidad en un contexto específico, se encuentran enriquecidos con información semántica acerca de sus características y servicio que es capaz de proveer y	Un OS puede representar una entidad, la cual es una cosa, lugar o persona. Un OS puede ser representado en tres vistas diferentes e integradas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Representación física 2. Representación Digital 3. Representación Semántica Estas representaciones se definieron en el modelo conceptual en la sección 3.1.2.1.1 de este documento.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
	compartir con otros OS. Ampliar con la definición de la sección 3.1.2.1.2	
Información del contexto	Definición en la sección 3.1.2.1.2	Aunque la evaluación del contexto dependerá del modelo final a implementar, inicialmente se puede medir a través de los algoritmos que permitan identificar el contexto (manual o automático).
Modelo de Interacción de WoT	Conjunto de conceptos, propiedades, relaciones y restricciones que permiten realizar una abstracción del conocimiento acerca de los objetos semánticos de la WoT y su interacción con otros OS.	El modelo debe ser formalizado en un lenguaje que permita su comprensión por parte de los humanos y su implementación por parte de los dispositivos hardware. Así el modelo se presentara en dos formas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Documento con la especificación del modelo, conceptos, elementos, relaciones, restricciones y alcances del mismo. 2. Infraestructura software que implementa el modelo y permite su reutilización por parte de usuarios y sus objetos que cumplan con las restricciones del mismo.
Servicios de Información	Desde el punto de vista de la recuperación de la información es un conjunto de funcionalidades software que permiten realizar consultas de información sobre una la base de datos (puede ser documental) o sistemas y retornan información relevante para el usuario.	La medición de estos servicios se realizará con los indicadores de: Curva de precisión-recuerdo, Mean Average Precisión (MAP) y Precisión en K resultados ordenados de la recuperación de la información. Estos indicadores tienen un proceso bien definido para establecer la relevancia del sistema y la calidad de sus servicios de información. Adicionalmente se pueden incluir indicadores propios de la RI en IoT como sobrecarga y tiempos de latencia.
Objetos sin Interacción Semántica	Son dispositivos de la WoT que aunque manejen algo de semántica, no implementan el modelo de interacción propuesto.	Son objetos que se comportan como publicadores y/o suscriptores, pero no mantienen la relación con los objetos a los cuales ha servido o es servido.

Tabla 4. Definición conceptual y operacional de las variables de hipótesis

3.1.2.3.3 Vista arquitectónica del modelo

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta la vista estática de la arquitectura (

Figura 3). Esta arquitectura fue inferida a partir del estado del arte y de los elementos identificados para el establecimiento del modelo de interacción semántica propuesto.

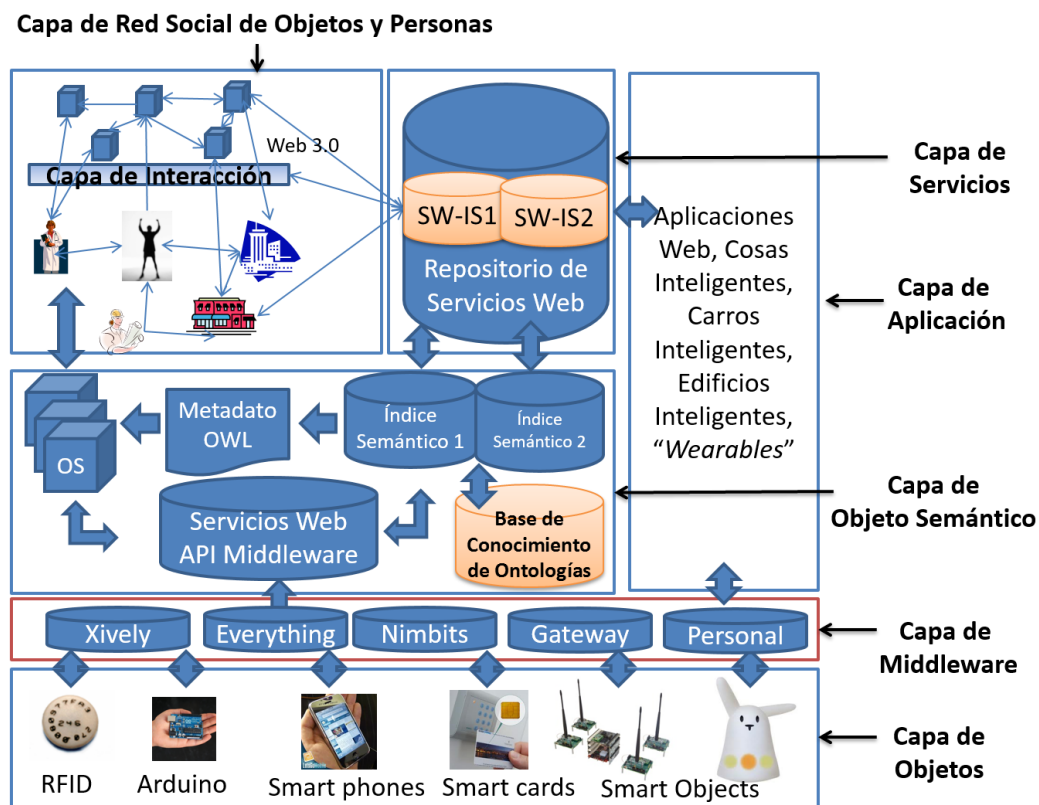


Figura 3. Vista Estática de la Arquitectura Propuesta

La arquitectura propuesta une los conceptos más importantes presentados, además de las perspectivas de solución. La arquitectura es orientada a servicios, conducida por un modelo semántico y distribuida en capas bien definidas. La explicación de cada una de las capas y elementos que intervienen se describe a continuación:

- **Capa de objetos:** Esta es la capa del dispositivo físico que puede ser conectado a Internet, disponible en la web, en donde los objetos pueden ser etiquetados con RFID, enviar información a través de sensores (Ej. Arduino), ser dispositivos inteligentes como teléfonos móviles, tarjetas y objetos, que a su vez se conectan con varios tipos de sensores/actuadores para interactuar con su entorno. De acuerdo con los conceptos presentados anteriormente en esta capa se tienen dispositivos inteligentes y sus respectivas EI.
- **Capa Middleware:** Esta capa puede utilizar cualquier *middleware* o servidor IoT existente que exponga un API de programación con las siguientes características mínimas:
 - Debe permitir el acceso a los datos y metadatos de cualquier objeto que tenga relacionado utilizando esquemas estandarizados como XML o JSON.
 - Debe permitir realizar búsquedas de objetos por metadatos o palabras clave.
 Con ello, la arquitectura delega el problema de heterogeneidad al *middleware* seleccionado, teniendo en cuenta que se encuentran bien desarrollados y con

diferentes funcionalidades y capacidades que no ameritan la construcción de uno personalizado. El *middleware* proporciona la primera información de los RIoT que existen en el entorno.

- **Capa de Objeto Semántico:** En esta capa lo primero que se crea es una interfaz en formato de servicio web, en la que se implementan operaciones básicas que se debe desarrollar para cada *middleware* diferente del que provengan los objetos, las operaciones básicas definidas son:
 - **empujarDatos (id, medición):** permite registrar en el *middleware* nuevas mediciones provenientes de los sensores relacionados con el dispositivo. El “id” corresponde al identificador del sensor que le da el *middleware* seleccionado y “medición” corresponde a los datos en el formato que lo pide el API del *middleware* seleccionado.
 - **tirarDatos (id, medición):** realiza una solicitud de los datos crudos reportados en un intervalo de tiempo por los sensores del dispositivo. El “id” corresponde al identificador del sensor que le da el *middleware* seleccionado y “medición” corresponde a los parámetros de rango de fechas en el formato que lo pide el API del *middleware* seleccionado.
 - **leerMetadatos (id):** realiza una petición al *middleware* sobre el archivo de descripción del dispositivo. El formato en lo posible debe ser JSON. El “id” corresponde al identificador del sensor que le da el *middleware* seleccionado.
 - **ejecutarAcción (id, acción):** realiza una petición de cambio de estado de un actuador del dispositivo. No todos los *middleware* soportan esta funcionalidad y puede ser que esta interface no se pueda desarrollar. El “id” corresponde al identificador del sensor que le da el *middleware* seleccionado y “acción” corresponde al comando que recibe el dispositivo en el formato que lo pide el API del *middleware* seleccionado.

Estas operaciones (métodos) permitirán posteriormente realizar el proceso de indexación semántica y anotación semántica mediante la creación de objetos semánticos.

Esta capa también crea una vista digital de cada de los objetos que están conectados al sistema. Se crea la vista digital para un conjunto de metadatos adaptados a la ontología del objeto semántico propuesto. Después se lleva a cabo un proceso de indexación semántica de cada uno de los objetos y sus funciones, mediante la aplicación de los conceptos de recuperación de información, de modo que las aplicaciones, los objetos y las personas pueden hacer preguntas sobre ellos cuando tienen una necesidad de información específica. Por último, la misma identificación de objetos se almacena como un servicio web semántico para su uso. Para cada contexto de consulta existe un índice semántico, que puede indexar los mismos objetos semánticos, pero para diferentes propósitos.

La red semántica se modela con RDF y OWL que se almacenan en una base de conocimientos de ontologías-BCO, las cuales permiten inferencias sobre la red

social de los objetos y las personas. Las ontologías identificadas pueden ser de objetos, de interacciones, de personas y de dominio específicos. Sin embargo, como el modelo también se ocupa de la gestión de perfiles de usuario, esta información se puede almacenar en ontologías. Las ontologías deben ser dinámicas de acuerdo al contexto de información.

- **Capa de Servicio:** Esta capa permite exponer las funcionalidades de los objetos semánticos y de contexto a las aplicaciones y a la red social de objetos y personas a través de servicios web. Toda la información almacenada en el índice semántico es encapsulada y expuesta a través de servicios web, así es posible que las aplicaciones, personas e incluso otros objetos puedan consumir los metadatos, datos y demás información de contexto de una manera interoperable y transparente. Esta capa también permite proveer la información y servicios necesarios para soportar diferentes escenarios de interacción semántica M2M y M2H. La interfaz define los siguientes grupos de métodos estandarizados para su consumo:
 - Los **servicios básicos del índice** son métodos basados en consultas que usan lenguaje natural para retornar los sensores que concuerdan con la información requerida. Por ejemplo el método *buscar(consulta, idioma)*, retorna un conjunto de resultados (sensores), ordenados por relevancia, la relevancia depende del modelo de similitud semántica que aplica el indexador, opcionalmente puede especificar el idioma de búsqueda, para esto la ontología, debe tener sinónimos en los conceptos en el idioma requerido los cuales se describen como *labels*.
 - Los **servicios de geolocalización** se desarrollan sobre la base del API de Geonames y la información contenida en sus bases de datos. Los servicios desarrollados en el índice permiten la obtención de lugares cercanos basados en texto en lenguaje natural que se tiene que ser un lugar, así como los lugares cerca de una ubicación geo-posicional designado y las divisiones políticas relacionadas, con el fin de encontrar las áreas donde los sensores se encuentran. Por ejemplo *obtenerConsultaCiudades(consulta)*, esta función busca cuales conceptos corresponden a un lugar geográfico dependiendo de los sensores que satisfacen la consulta en lenguaje natural provista.
 - Los **servicios web de los sensores** permiten encapsular a los servicios REST del servidor IoT, para el caso de estudio se utilizó el servidor Xively. Se crean métodos como obtener metadatos y datos de los sensores en formato JSON y con la posibilidad de establecer un rango de tiempo en la consulta de datos. Por ejemplo *obtenerJSONSensor(idSensor)*, esta función permite obtener Información de metadatos en formato JSON directamente del servidor Xively. Se debe crear un servicio por cada *middleware* seleccionado párrafo indexación.
 - Por último, **los servicios contextuales del caso de estudio**, estos servicios dependen del caso de estudio en particular. Por ejemplo, para el caso de contaminación ambiental se construyeron servicios a la medida. Los servicios permiten la identificación de los biotopos a partir de los datos geo

posicionales de los sensores devueltos como resultado de la consulta. También proporciona métodos para el análisis de las diferentes variables de la ontología elegida y para la categorización de los sensores que se encuentran en cada variable. Los métodos se encuentran con más detalle en el anexo 5 del caso de estudio. Estos métodos se debe crear para cada contexto de información y hecho a la medida de las necesidades de las aplicaciones.

- **Capa de Aplicación:** Esta capa, que permite a las aplicaciones distribuidas utilizar *mashups* de Web 3.0 y Telco 3.0¹⁵, integrar diversos objetos y personas para generar nuevos servicios de información, incluyendo los nuevos dispositivos que se pueden crear para reutilizar esta infraestructura. Estas aplicaciones pueden acceder directamente a los servicios de los objetos a través de una consulta al índice semántico, que presentará los objetos y sus servicios más adecuados para su uso, en orden de relevancia. Los objetos de la IoT, que se pueden beneficiar de esta capa son los *smart-**, los cuales pueden iniciar procesos de interacción con otros sensores y dispositivos.
- **Red social de cosas y personas:** Esta es la capa más compleja de la arquitectura propuesta, ya que se debe integrar varios conceptos que se discutieron en la definición del modelo conceptual. Sus componentes y funciones son:
 - Cada objeto semántico tiene autonomía en esta red social, ya que contiene en sí mismo, toda la información y los conocimientos necesarios para interoperar con otros objetos semánticos.
 - La red social puede generar nuevos servicios que se deben mostrar en el repositorio de servicios web semánticos, de modo que otros objetos y aplicaciones pueden utilizarlos.
 - En esta capa se pueden implementar los mecanismos sociales, ya sea publicando en una red social existente o creando una interfaz que permita enviar y recibir los mensajes de interacción.
 - En esta capa se debe trabajar también lo relacionado a la seguridad y privacidad, inicialmente se pueden conceder permisos a través de la misma red social; sin embargo deben estar relacionados al *middleware* seleccionado en las capas inferiores.
 - Se pueden desarrollar interfaces transparentes con técnicas de realidad aumentada con el fin de facilitar los procesos de interacción M2M y M2H.

¹⁵ Es una propuesta que se hace cuando los servicios de telecomunicaciones y la Web 3.0 trabajen en servicios conjuntos e interoperables.

3.1.2.3.4 Vista Dinámica del modelo propuesto

Es importante tener una vista funcional del modelo propuesto con el fin de entender el funcionamiento de la misma (Figura 4).

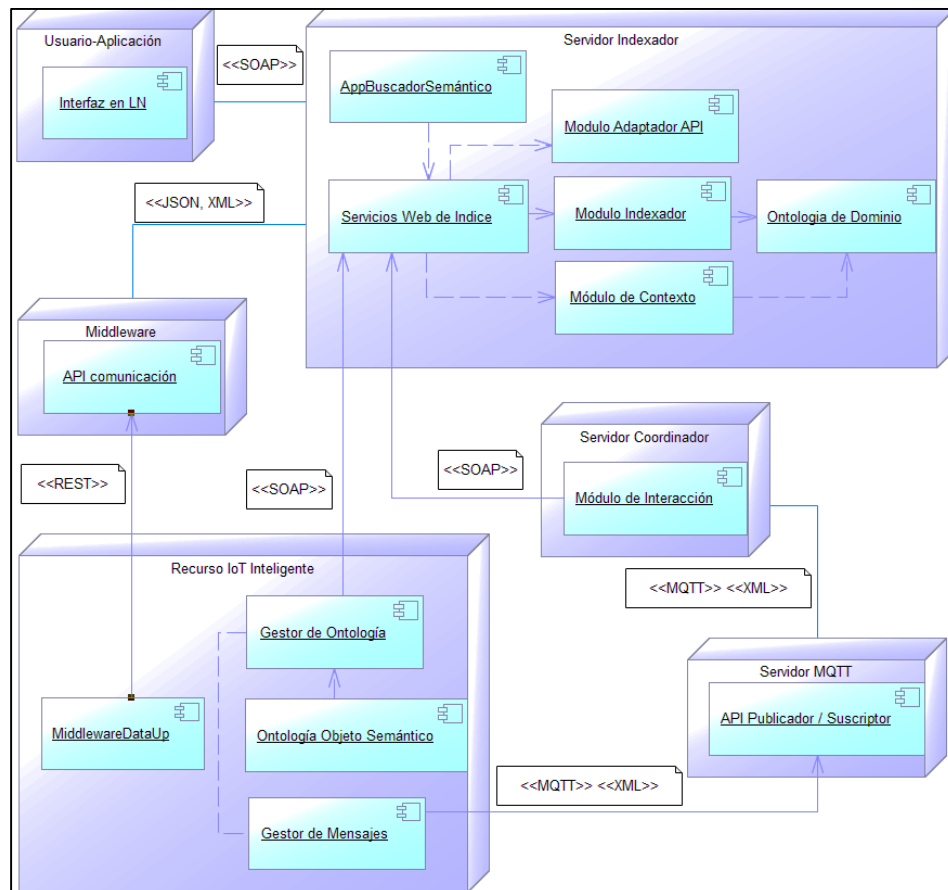


Figura 4. Vista Dinámica de la Arquitectura Propuesta

El proceso inicia con la incorporación de los *middleware* y servidores IoT existentes a la plataforma; para ello, deben cumplir con los requisitos de proveer un *API de comunicación* que permita generar la interfaz de servicios a ser utilizados por el servidor indexador y utilizar formatos estándar como JSON o XML. La incorporación consiste en crear una interfaz (servicio web del API) con unos métodos bien definidos detallados anteriormente en la capa de objeto semántico. El objetivo es desvincular la creación de los índices de una plataforma específica y así poder utilizar diversas plataformas aportando a la escalabilidad de la solución.

El módulo indexador se encarga de tomar la ontología de dominio específico para hacer un barrido de conceptos y a partir de ellos realizar consultas a los servidores por sensores que estén relacionados al mismo. Los servidores pueden retornar cero o más especificaciones de sensores en un formato compatible como JSON. Se inicia el proceso de indexación aplicando el método definido por esta misma investigación para crear índices semánticos en la IoT [81], la salida es un índice

semántico en el contexto de la ontología de dominio utilizada para crearlo. Este índice al ser semántico contiene más información que las descripciones simples de los sensores, dependiendo de los campos escogidos para indexar la información serán contextualizadas y más interrelacionada con el área de interés. El módulo ha sido construido para poder utilizar cualquier ontología de dominio para realizar el proceso de indexación, así se pueden generar tantos índices semánticos como ontologías se usen para el indexado, aportando a la escalabilidad de la solución.

El módulo de contexto toma los índices semánticos y crea una interfaz de servicios web con métodos estandarizados para consultar y obtener la información de los sensores, datos e información de contexto, tal como se comentó en la capa de servicios web. Así a través del servicio web se puede tener acceso al contexto y la información de los sensores que están relacionados al mismo.

Finalmente, el módulo de interacción consulta la información de los sensores a través de los servicios web creados y genera un escenario de interacción por cada usuario propietario de sus sensores, este escenario inicia con la instanciación y creación de ontologías de objeto semántico por cada sensor a representar, la anotación semántica se hace con un proceso semi-automático, en el cual el módulo de interacción instancia la ontología OS de cada sensor con los metadatos almacenados en el índice semántico, posteriormente los datos externos de requerimientos del usuario son anotados a través de una interfaz apropiada y diseñada para este fin, actualmente se trabaja en un proyecto con realidad aumentada. En el entorno real cada objeto inteligente, queda representado por un Objeto Semántico y con una capacidad autónoma para gestionar su ontología y cooperar con otros objetos inteligentes. Para la comunicación entre sensores se ha escogido un bróker de comunicación entre dispositivos de la IoT que permita gestionar mensajes con protocolos MQTT, CoAP o XMPP.

3.1.2.3.5 Vista semántica del modelo

El modelo desde un principio definió la creación de ontologías como mecanismos para manejar el conocimiento. En este apartado se presentan los principios de diseño por los cuales se registrarán las ontologías a construir. Posteriormente se elaboró una metodología para crear ontologías para el escenario de interacción semántica en la WoT, basado en las metodologías existentes generales y adaptarlas a las necesidades del proyecto. Posteriormente, se aplicó resultando como producto la ontología objeto Semántico–OOS utilizada para representar los objetos inteligentes de la WoT.

3.1.2.3.5.1 Principios de diseño de la ontología

Es importante definir unos principios de diseño de la ontología con el fin de mantener una coherencia con los objetivos de la misma. Ya que la ontología va de la mano

con el conocimiento de la IoT y la WoT, es necesario tener presente que se necesitan estructuras que faciliten su aprovechamiento, equilibrando adecuadamente el impacto que produzcan estas infraestructuras con los requerimientos propios de los objetos de la IoT. Así, el trabajo de Wang, et al. [53] en el cual proponen una ontología para esta área, definen unos principios de diseño, los cuales compartimos, adecuamos y ampliamos de la siguiente manera:

- **Ligera:** un modelo ontológico ligero que equilibre adecuadamente la complejidad en la expresividad y la inferencia, tiene más posibilidades de ser utilizado y adaptado.
- **Complejidad:** la posibilidad de reutilizar los modelos anteriores y hacerlos en lo posible completos con respecto del dominio de la IoT garantizarán también su importancia.
- **Compatibilidad:** la ontología debe ser coherente con las ontologías existentes bien diseñadas, así se pueden alinear con las existentes fácilmente.
- **Modularidad:** la ontología diseñada se desarrolla con un enfoque altamente modular para facilitar su evolución, la extensión y la integración con ontologías externas.
- **Abstracción:** La ontología debe permitir diferentes niveles de abstracción con el fin de ofrecer vistas adecuadas del conocimiento de los objetos de la IoT.
- **Adaptable:** La ontología debe proveer un mecanismo de personalización, de tal forma que permita a sus usuarios adecuarla, ampliarla y reutilizarla como mejor les parezca.

El enfoque para la construcción de la ontología que permita interacción semántica debe seleccionar los elementos importantes de los estándares actuales para la descripción y manejo de los sensores como las especificaciones XML provistas por la *Open Geospatial Consortium* (OGC) [62] y las ontologías de sensores como SSN-XG [73], así como el aprovechamiento de otras propuestas ontológicas para la WoT como: clasificación de los objetos propuesto por Mathew, et al. [5], manejo de contexto social de Biamino [9], modelo de servicios de Kostelník, et al. [51] y de representación de conocimiento IoT propuesto por Wang, et al. [53].

El reto de alinear estas ontologías y seleccionar los elementos que más enriquecen el modelo aporta a la complejidad, pero puede ir en detrimento de una propuesta ligera, por tal motivo se utiliza el principio de abstracción y modularidad con el fin de hacer más fácil de implementar y describir la ontología resultante.

3.1.2.3.5.2 Metodología para el Desarrollo Ontologías para la Interacción Semántica en la WoT

Con el fin de realizar el proceso de desarrollo de las ontologías de manera formal y rápida, se propuso una metodología ajustada a las necesidades y particularidades de la WoT mediante la adaptación de otras metodologías [82-85] generales y la

inclusión de herramientas *CASE* en su creación; así, en la Figura 5, se presenta un ciclo de construcción de ontologías en dos fases y con pasos internos. Adicionalmente se presentan las ontologías que se pueden reutilizar y/o crear, teniendo en cuenta el enfoque de la WoT y su utilización en una creación de servicios web. Las etapas y pasos de la metodología son:

1. **Etapa I Abstracción Formal:** Esta etapa identifica la ontología y permite obtener los conceptos, relaciones y restricciones de la ontología. Esta etapa reutiliza el trabajo de METHONTOLOGY [83] en las etapas de especificación, conceptualización y formalización. Se puede dividir en fases y pasos así:
 - **Paso 1: Requerimientos de la ontología:** Se diligencia una tabla que permite identificar y definir el contexto, objetivos, alcance, público objetivo y clasificación de la ontología. Se responden las preguntas: ¿Cuál es su Nombre?, ¿Por qué se construye?, ¿Cuál es su uso?, ¿Quiénes son sus usuarios?, ¿Cuál es el tipo de ontología?
 - **Paso 2: Reutilización de Ontologías y Metadatos:** Se toman decisiones acerca de las taxonomías, ontologías y repositorios de metadatos a utilizar, reutilizando las taxonomías presentadas como la de Mathew, et al. [5] y los estándares ontológicos existentes como SSN-XG [73], las cuales serán aportadas a la fase de conceptualización con el fin de identificar su reutilización.
 - **Paso 3: Elaboración del Modelo Conceptual:** Se realizan las tareas y formatos tabulares propuestos como: glosario de términos, lista de conceptos, diagrama de clasificación de conceptos, lista de atributos de concepto, lista de atributos de relación, lista de restricciones de propiedades, axiomas formales e instancias. Esta especificación permite elegir que plantillas crear; sin embargo, la más importante que debería hacerse es la de conceptos.
 - **Paso 4: Uso de herramientas CASE:** Se utiliza la herramienta CmapTools COE¹⁶, las cuales permiten genera el modelo conceptual gráficamente y siguiendo la especificación de patrones de diseño de COE con el fin de facilitar el proceso de implementación.

2. **Etapa II Implementación:** Se plantea una etapa de construcción de la ontología y de los servicios de interacción. Los pasos son los siguientes:
 - **Paso 1: Exportar la Ontología en formato OWL:** a través de la utilidad de exportación de la herramienta CmapTools COE. CmapTools utiliza patrones de diseño propios para simplificar la construcción conceptual, sin embargo hasta la versión usada en esta tesis (5.0.3) la exportación correcta a OWL de los patrones no funcionaba adecuadamente, por ello se decidió usar el diseño sin los patrones y con las equivalencias básicas.

¹⁶ <http://www.ihmc.us/groups/coe/>, consultado 05/07/2013. Es un conjunto de herramientas software que permiten construir, compartir y visualizar ontologías basados en CmapTools. Estas herramientas son desarrolladas por Florida Institute for Human & Machine Cognition – IHMC y bajo el proyecto Concept-map Ontology Environment - COE

Para que la exportación tenga éxito y con pocos cambios se debe tener en cuenta las siguientes equivalencias básicas entre la especificación de CmapTools, OWL y Protégé así:

Concepto de Ontología	OWL	Cmap Tools-COE	Protégé
Concepto hijo	rdfs:subClassOf	are	SubClassOf
Instancias	Rdf:individual	Is a	Instance
faceta	Rdf:allValuesFrom	must be	Only
faceta		must be exactly	Values
faceta	Rdf:someValuesFrom	can be	some

- **Paso 2: Abrir la ontología en la herramienta Protégé¹⁷:** con la cual se revisa su correspondencia con la conceptualización y en caso de necesitar ajustes adicionales se realiza en esta etapa. Se puede verificar la estructura utilizando las herramientas gráficas incluidas en Protégé como OWLViz y Ontograf.
- **Paso 3: Verificar el funcionamiento de la ontología:** teniendo en cuenta las preguntas que se espera que conteste, en lo posible utilizando el módulo SPARQL query integrado en Protégé. Así se hacen ejemplos generales de cada pregunta y se desarrollan las consultas SPARQL necesarias para su contestación. También se utilizan los razonadores con el fin de establecer si la ontología responde adecuadamente a sus objetivos de desarrollo.
- **Paso 4: Diseño de Servicios de la Ontología:** corresponde a la encapsulación de los servicios de la ontología desarrollada para su correspondiente uso. Para el caso particular el enfoque es la creación de un índice semántico y su capacidad para compartirse con la creación de servicios web.

Finalmente, en la Figura 5, se presentan las dos etapas, sin embargo, la figura presenta las ontologías y conceptualizaciones que se propone deberían tener en cuenta la momento de desarrollar ontologías para la WoT. Así en la etapa de conceptualización se sugiere reutilizar (alinear) la ontología SSN-XG y otras como la de Wei Wan entre otras. Para la etapa de implementación se debe elegir el tipo de ontología para la WoT: contexto, usuario, estimación o la ontología objeto semántico propuesta en esta tesis.

Las ontologías de aplicación aparecen a partir de la personalización de las ontologías desarrolladas para la interacción semántica, estas ontologías reutilizan la información de las ontologías de dominio y definen tareas específicas con los elementos reales de un caso de estudio particular.

¹⁷ <http://protege.stanford.edu/>, consultado 05/07/2013. Es un editor de ontologías de código abierto y gratuito que permite crear y editar ontologías en diversos formatos estándar como RDF(S), OWL y XML entre otros. Es modular y permite incorporar herramientas de visualización y razonamiento.

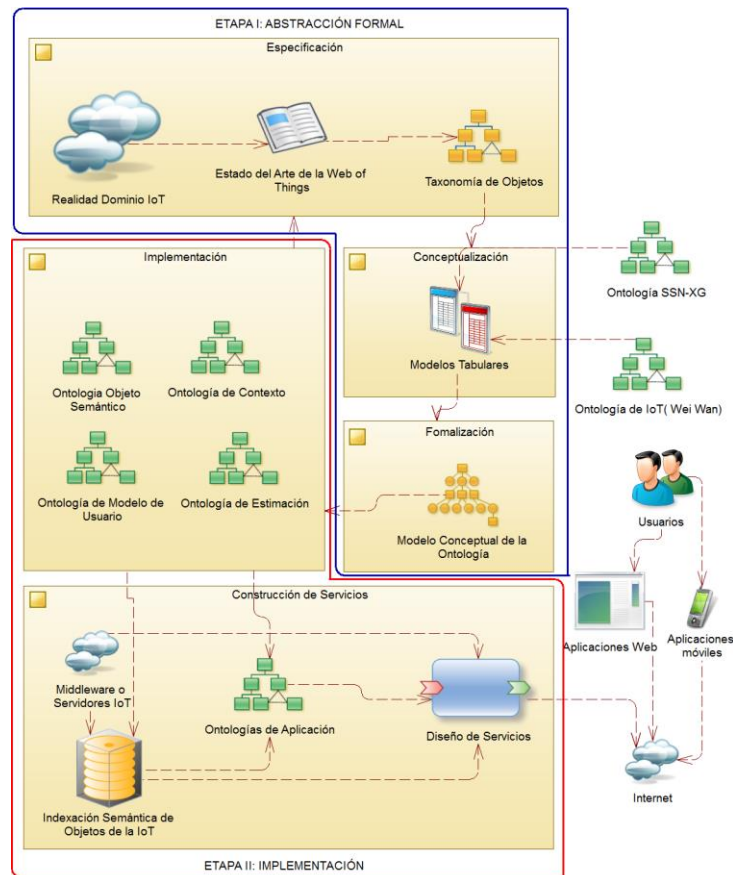


Figura 5. Diagrama Metodológico y de Componentes de la Ontología de Interacción Semántica WoT

Teniendo en cuenta que el proyecto debe reutilizar las ontologías existentes en el tema de la web de las cosas se decidió crear y adaptar ontologías de nivel superior, que posteriormente se reutilicen en ontologías de dominio específico y de tarea, con el fin de desarrollar ontologías de aplicación para la creación de servicios en la WoT como lo muestra la Figura 6.

Para este trabajo se propone una ontología de nivel superior que modela cualquier objeto, denominada ontología objeto semántico–OOS. Esta ontología define los elementos primordiales para que exista un objeto capaz de interactuar en cualquier contexto. Posteriormente, se alinearon y adaptaron las ontologías de la IoT relacionadas con el presente trabajo [5, 9, 51, 53, 73], creando una ontología de dominio llamada ontología de objeto semántico IoT–OOSIoT.

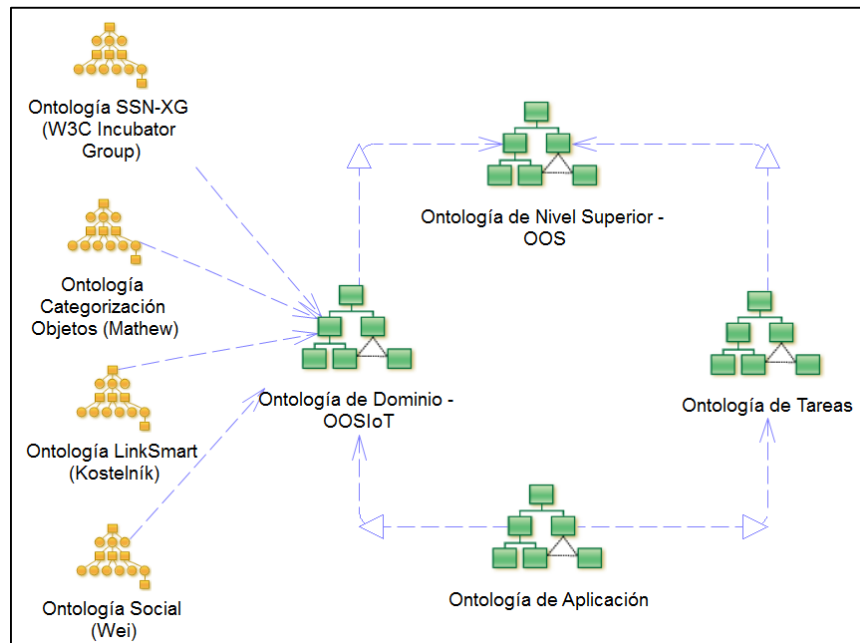


Figura 6. Modelo de Dependencia de Ontologías

En el caso de estudio se crea una ontología de aplicación que adapta la OOSIoT a los requerimientos específicos y de tareas del dominio particular. Cada caso de estudio debe crear su propia ontología de aplicación para que pueda recopilar el conocimiento necesario para crear servicios adecuados.

En fase de reutilización de ontologías se aplicará el método propuesto por [Kavouras and Kokla [86], 87] en el cual presentan la factorización semántica y los látices de conceptos como elementos para integrar ontologías y tres procesos de integración de las mismas.

3.1.2.3.5 Ontología Objeto Semántico

Abstracción Formal

Especificación	Descripción
¿Cuál es su Nombre?	Ontología Objeto Semántico – OOS.
¿Por qué se construye?	Esta Ontología se construye para formalizar el concepto de objeto semántico, el cual establece un marco de trabajo epistemológico en relación al conocimiento semántico, para personalizarlo y exhibir los contenidos y procesos necesarios que faciliten la interoperabilidad semántica en la Internet de Objetos.
¿Cuál es su uso?	Cuando se modelen ontologías de dominio que tengan por objetivo establecer relaciones y comportamientos semánticos, pueden tomar como base la ontología OOS y su contextualización de los diferentes aspectos que se deben modelar para tener un objeto semántico funcional y adaptado al dominio.

Especificación	Descripción
¿Quiénes son sus usuarios?	Para el caso serían los diseñadores de ontologías de dominio y aplicación, que estarían interesados en modelar la semántica de acuerdo a la clasificación propuesta por OOS.
¿Qué tipo de Ontología es?	Esta ontología es una Ontología de Nivel superior, la cual se puede contextualizar en diversos dominios.

Tabla 5. Especificación Ontología Objeto Semántico

Descripción de la Ontología Objeto Semántico

Un objeto semántico es una abstracción general para establecer las facetas que tiene un objeto para constituirlo como un objeto con información suficiente para poder desarrollar capacidades semánticas. Esta abstracción superior permite adaptar el objeto a las necesidades particulares en el cual se desee incorporar su estructura.

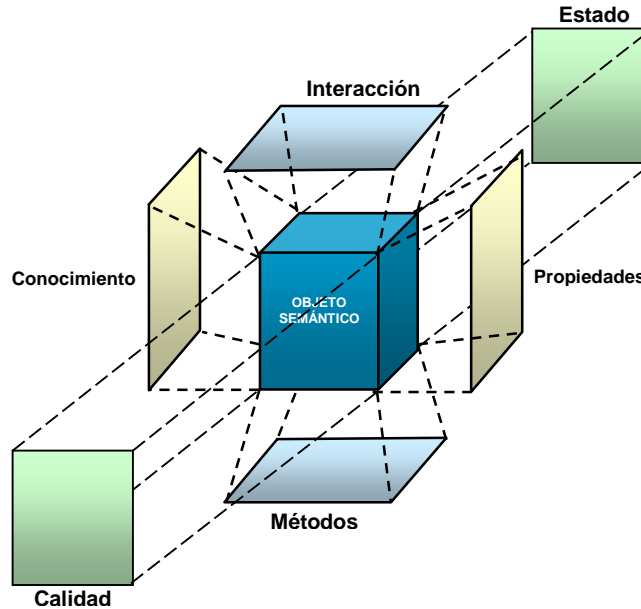


Figura 7. Modelo Conceptual del Objeto Semántico

El objeto Semántico sobre el cual se pueden modelar todas las cosas, representa la unidad estructural mínima, por el cual se espera abarcar los perfiles más relevantes del modelado semántico de las cosas. Por definición, los perfiles son ortogonales, esto con el fin de simplificar la formalización matemática. En un sistema de recuperación de información esta característica se puede utilizar para crear búsquedas por cada una de estas facetas.

Construcción del glosario de términos de OOS

Nombre	Sinónimos	Descripción	Tipo*
Propiedades	Atributos, cualidades, rasgos,	Estas corresponden a todo el conjunto de características o atributos que definen el objeto semántico modelado. Las propiedades pueden ser de	C

Nombre	Sinónimos	Descripción	Tipo*
	peculiaridades, características	objeto o de estado. Las primeras caracterizan el objeto mismo clasificándolo e identificándolo, las segundas también caracterizan el objeto, pero estas propiedades son públicas y su información es compartida a través de métodos, convirtiéndose en variables de estado del sistema. La identificación se estandariza con un método llamado identificador() el cual es público.	
Métodos	Funciones, Procedimientos, técnicas, reglas, planes	Corresponde al conjunto de funciones internas o externas para el intercambio de información. Las funciones internas corresponden a procesos que conciernen sólo al objeto semántico mismo y dependiendo de lo que representen definirán ciertos comportamientos en su lógica de negocio. Los métodos externos se enfocan particularmente a la comunicación y permiten enviar/recibir los datos e información de los otros objetos semánticos. Para estandarizar interfaces se proponen ocho interfaces iniciales que se describen más abajo.	C
Conocimientos	Juicio, comprensión, entendimiento, inteligencia, competencia	Este concepto añade semántica al objeto dependiendo del conocimiento del dominio en que se modele. Se propone manejar conocimiento de: contexto - conciencia, servicios y usuarios . El modelado de este conocimiento, permitirá establecer el comportamiento del objeto semántico y de las capacidades del mismo en un contexto definido. El conocimiento posteriormente es adquirido o enviado a otros objetos a través de métodos externos. Los diferentes modelos de contexto, servicios y usuario serán sub árboles de ontologías de dominio que se desprenden de estos conceptos.	C
Interacciones	Interrelación, colaboración, cooperación, participación, alianza, asociación, asistencia	Son todos los mecanismos que permiten establecer comunicación entre diversos objetos semánticos del sistema. Pueden ser estructurales o dinámicas. Así, si un objeto semántico colabora con otro, deben manejar el mismo lenguaje de interacción y deben exponer de manera estándar los métodos de sus funcionalidades, dependiendo de los objetivos de interacción definidos también de manera estándar. Esto permitirá que cualquier otro objeto participe el proceso si es necesario y que les permita construir servicios más elaborados al actuar sinérgicamente como estructuras más complejas	C
Calidad	Evaluación, eficacia, eficiencia, relevancia	Establece objetivos e indicadores que permiten monitorear y capturar datos sobre el desempeño del objeto semántico. Adicionalmente, puede definir objetivos de interacción y de conocimiento, en el cual pueden participar objetos externos y así colaborarse para el cumplimiento de los mismos. Se ha incorporado un patrón de indicadores de gestión, con el fin de medir adecuadamente el logro de los mismos.	C
Estados	Etapa, cambio, fase, curso,	En la teoría del control se definen los estados del sistema como el valor de las variables (propiedades) de estado que tiene el mismo en un momento dado	C

Nombre	Sinónimos	Descripción	Tipo*
	momento, periodo, estación, estadio	en el tiempo. Por ello aquí se define como las propiedades de estado en un rango de tiempo definido. El estado también está relacionado al contexto y las entidades de interés que participan en el mismo, por ello los diferentes modelos de conocimiento pueden definir estados particulares. Finalmente, en una estructura superior de interrelación entre varios objetos semánticos, el estado del sistema superior corresponderá a la suma de las propiedades públicas de los objetos participantes	
Propiedades de Objeto	Atributos de Objeto	Estas propiedades describen el objeto. Por defecto son privadas, es decir no necesitan ser conocidas por ningún otro objeto. Sin embargo, se pueden exponer de manera pública cuando se convierten en propiedades de interés. Una de las propiedades importantes del objeto es su Identificación, la cual si debe ser expuesta a través de un método externo para su identificación con otros objetos.	C
Propiedades de Estado	Atributos de Estado, Propiedades de Interés	Estas propiedades son públicas y permiten ser consultadas por otros objetos con el fin de establecer su estado actual. Dependen del contexto y del interés de los usuarios.	C
Métodos Internos	Internos	Son métodos que están definidos y conocidos sólo por el mismo objeto para desarrollar sus operaciones como sistema. También son conocidos por los métodos externos cuando necesitan cambiar propiedades internas.	C
Métodos Externos	Externos	Son métodos que están compartidos públicamente para enviar/recibir información del medio (Entorno). Los métodos deben seguir una especificación estándar para facilitar su interoperabilidad. Cada vez que se ejecuta un método es posible que se cambie el estado o un valor de propiedad pública del objeto semántico.	C
Enviar	send	Es un concepto que agrupa los métodos que permiten enviar datos e información a otro usuario u objeto semántico.	C
Recibir	receive	Es un concepto que agrupa los métodos que permiten recibir datos e información de otro usuario u objeto semántico. Especifica una interfaz del tipo de datos y cantidad de datos que es capaz de recibir.	C
Identificar()	Identify()	Es un método que permite enviar la información de localización del objeto semántico y con las propiedades de las capacidades relacionadas y métodos de ejecución que expone.	
EnviarDatos()	sendData()	Es un tipo de método externo que permite enviar los datos que el objeto semántico está capturando en un tiempo específico. Si no se especifica un rango de tiempo se envían los datos en el tiempo actual.	I
EnviarInformación()	sendInformation()	Corresponde al envío de datos procesados de acuerdo a los servicios del negocio o contexto definidos. Esta información debe estar adaptada al usuario que se envía (objeto, persona).	I

Nombre	Sinónimos	Descripción	Tipo*
EnviarEstado()	sendStatus()	Envía la información de los valores de las propiedades públicas del objeto semántico.	I
EnviarComando() ()	sendCommand()	Envía la ejecución de una acción o método externo de un objeto semántico para que la realice acciones internas, esto supone un cambio de estado del objeto que recibe el comando.	I
RecibirDatos()	receiveData()	Es un tipo de método externo que permite recibir datos de otro objeto semántico en un tiempo específico. Si no se especifica un rango de tiempo se reciben los datos en el tiempo actual.	I
RecibirInformación() ()	receiveInformation()	Corresponde a recibir datos procesados, de acuerdo a los servicios del negocio o contexto definidos. Esta información debe estar adaptada al usuario que se envía (objeto, persona).	I
RecibirEstado()	receiveState()	Recibe la información de los valores de las propiedades públicas de un objeto semántico.	I
RecibirComando() ()	receiveCommand()	Recibe la ejecución de una acción o método interno para que la realice internamente, esto supone un cambio de estado del objeto semántico.	I
Conocimiento de contexto	Context Knowledge	El conocimiento de contexto relaciona las propiedades que almacenan información de la relación del objeto con un dominio particular. Se deben definir modelos adecuados [6] del contexto particular con el fin de entregar información útil. Estos métodos debe heredar de enviar/recibir información.	C
Conocimiento de Servicio	Service Knowledge	Este conocimiento se relaciona a la publicación de servicios públicos de acuerdo al contexto particular. Los servicios pueden ir desde compartir simples datos, hasta compartir información y capacidades de raciocinio sobre la información. Los servicios web semánticos son una buena opción en este punto.	C
Conocimiento de usuario	User Knowledge	Este conocimiento está relacionado a los modelos de usuario que se implementan y como gestionar la información del mismo para adaptar los métodos de envío de datos e información.	C
Interacciones Estructurales	Structural Interactions	Definen una red de objetos semánticos que se crea al momento de definir las colaboraciones mutuas. Por ello está compuesta por objetos semánticos origen y objetos semánticos destino. Los primeros envían datos e información al objeto semántico modelado y los segundos reciben datos del objeto semántico modelado.	C
Interacciones Dinámicas	Dynamical Interactions	Definen un conjunto de disparadores que permiten realizar intercambio de datos e información entre objetos semánticos a través del patrón ECA: Evento-Condicción-Acción. El evento puede ser producido por otro objeto semántico o (incluso el mismo) por un estímulo externo de envío de información. Una vez se recibe el evento, se consulta la condición relacionada y se ejecutan las acciones si se cumplen las condiciones. Las acciones a su vez son métodos externos.	C

Nombre	Sinónimos	Descripción	Tipo*
OSOrigen	Objeto Semántico Origen	Es un objeto semántico que envía datos – información al objeto semántico actual.	C
OSDestino	Objeto Semántico Destino	Es un objeto semántico que recibe datos – información del objeto semántico actual.	C
Evento	event	Se corresponden con los métodos que permiten recibir información. Cada método de prueba con respecto a unas condiciones y así verificar la ejecución de alguna acción si es necesario.	C
Condición	condition	Define un conjunto de condiciones que se prueban con el fin de establecer un comportamiento del objeto semántico.	C
Acción	action	Se corresponden con métodos que envían información, después de validar unas condiciones específicas.	C
Objetivos	objectives	Están definidos como propósitos que se deben tener en cuenta con los modelos de conocimiento e interacción, a fin de establecer la sinergia de objetos.	C
Indicadores	indicators	Son variables que están relacionados a los objetivos y por medio de los cuales es posible medir su logro.	C
Variable		Es un elemento del cual se puede obtener información y dependiendo de su estructura permite ser definido como una relación de más variables, las cuales miden alguna característica de interés del desempeño del objeto semántico. Pueden medir contexto primario o secundario en el entorno actual.	C
Unidades	unit	Define las unidades que mide una variable. Una variable está relacionada sólo a un tipo de unidades particulares.	
Metas	goals	Una meta está relacionada directamente a un indicador. Se definen como un conjunto de tres valores, en los cuales se establece un rango (valor mínimo, valor máximo) y un valor de referencia para la variable que se ha calculado en la característica de interés medida. Esta permitirá hacer análisis de fallos, logro de objetivos y tendencias del indicador relacionado.	C
Valor Mínimo	Minimal value	Es un valor de referencia por el cual el valor de una determinada variable se considera mínima y es un fallo del sistema.	AI
Valor Referencia	Reference value	Es un valor que se considera el objetivo actual del sistema y por el cual se busca que el valor real medido de la variable este cerca o por encima del mismo.	AI
Valor Máximo	Maxim value	Es un valor máximo de una determinada variable indicando una fortaleza o un logro más allá de lo esperado.	AI
Rango Tiempo	Time range	Define un periodo de tiempo en el cual se van a obtener los valores de variables del objeto semántico.	C
Tiempo Menor	Time low	Define un valor de Referencia mínimo en el tiempo para obtener información después de esta fecha.	AI
Tiempo Mayor	Time Greater	Define un valor de Referencia mínimo en el tiempo para obtener información antes de esta fecha.	AI
are	subclase de, es	Tipo de relación definida por COE en el que se crean subclases.	R

Nombre	Sinónimos	Descripción	Tipo*
must be	debe ser	Tipo de relación definida por COE en el que se especifica que la relación es obligatoria.	R
can be	disjuntas, puede ser	Tipo de relación definida por COE en el que la relación es opcional	R
is a	es un	Tipo de relación definida por COE en el que define instancias de clase.	R

*C: concepto; AI: atributo de instancia; R: relación; I: instancia.

[Tabla 6. Glosario de Términos de la Ontología de Objeto Semántico](#)

Construcción del Modelo Conceptual del OOS

Para la construcción del modelo conceptual se siguió la metodología que propone COE, utilizando las plantillas de descripción- relación de clases y características de propiedades. El producto final es la ontología presentada en Figura 8.

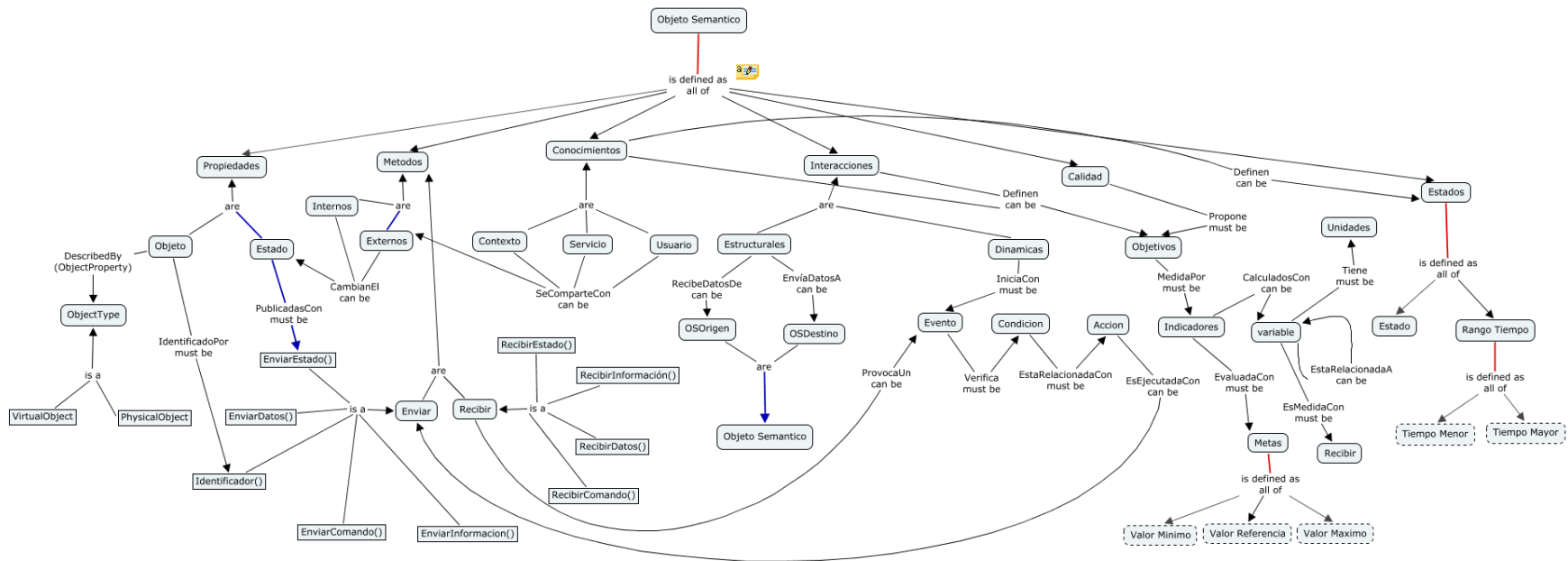


Figura 8. Mapa Conceptual Ontología Objeto Semántico

En la Figura 8, se pueden apreciar las seis facetas del objeto semántico y el detalle de sus conceptos relacionados, que permitirán obtener la información necesaria para crear relaciones con otros objetos semánticos atendiendo las descripciones realizadas en la Tabla 6. Esta ontología se considera de nivel general, ya que atiende a una propuesta para manejar la semántica de cualquier objeto o entidad y que tenga la posibilidad de relacionarse con otros de su mismo tipo. Lo que se realizará es reutilizar las ontologías definidas en el campo de la IoT para ampliarla.

Se decidió modelar el objeto semántico como una ontología que es capaz de manejar el conocimiento necesario para darle un comportamiento compatible y semántico a los objetos de la red social de objetos y personas.

Con todos los elementos definidos en los apartados anteriores, se hará la primera abstracción de la ontología desarrollada. Para hacer su representación se utilizaron la herramienta CmapTools COE. La ontología establece conceptos generales en su primer nivel y después de eso, se aplica patrones en cada concepto relacionado derivados de otras disciplinas en las que trabajan. De este modo, los módulos definidos son:

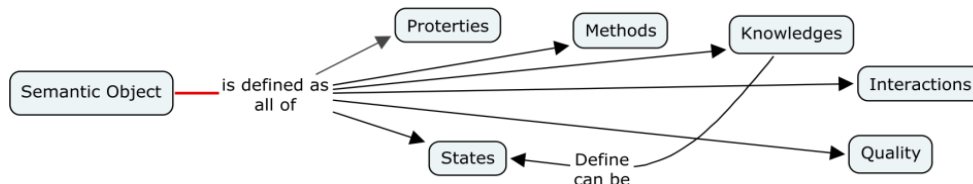


Figura 9. General Pattern of the Semantic Object

La Figura 9, muestra los elementos de alto nivel que deben ser modelados con el fin de construir un objeto semántico, creando todos los aspectos relacionados necesariamente. Estos aspectos se definen en módulos separados como sigue a continuación.

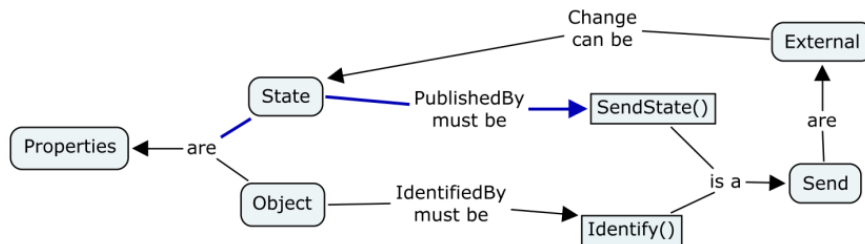


Figura 10. Módulo de las propiedades de los objetos semánticos (Modelo Orientado a Objetos)

La

Figura 10 corresponde al conjunto de características o rasgos que definen el objeto semántico modelado. Las propiedades pueden ser propiedades de los objetos o propiedades estatales, caracterizando el objeto en sí mismo, clasificándolo e identificándolo primero; sus propiedades son públicas y su información es compartida a través de los métodos (*SendState()*), convirtiéndose en variables de estado del sistema. La identificación ha sido estandarizada con un método llamado identificar(), que es público. Al mismo tiempo, los métodos externos pueden cambiar el estado.

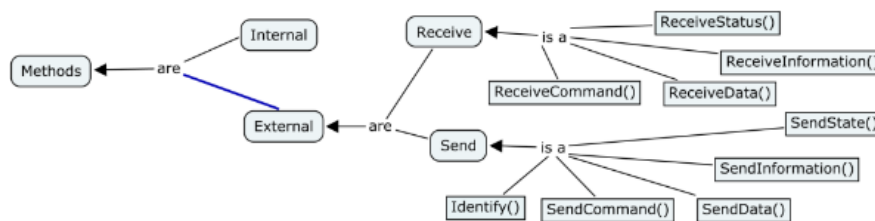


Figura 11. Módulo de métodos de objetos semánticos (Modelo Orientado a Objetos)

La Figura 11 representa el conjunto de funciones internas o externas para el intercambio de información. Las funciones internas corresponden a procesos relativos al propio objeto semántico y, dependiendo de lo que representan, se definirán algunos comportamientos en su lógica de negocio. Los métodos externos se centran sobre todo en la comunicación y permiten el envío y/o recepción de datos e información a/desde otros objetos semánticos.

Con el fin de estandarizar las interfaces, se proponen nueve inicialmente, las cuales permiten enviar y recibir información sobre los metadatos del objeto semántico y las variables de estado. Cuando se hace referencia a la información, esta es preprocesada por el objeto antes de enviarlo. Además, es posible enviar comandos de ejecución de la acción de un objeto a otro.

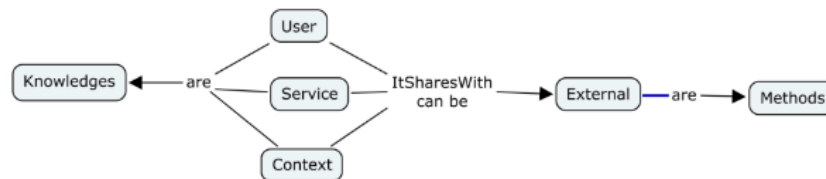


Figura 12. Módulo de Conocimiento del Objeto Semántico (Modelo del Dominio de la Ontología)

El módulo de la Figura 12, añade la semántica al objeto en función del conocimiento de dominio en el que se modela, sugiriendo el manejo del contexto-conciencia, servicios y usuarios. El modelado de este conocimiento permitirá establecer el comportamiento objeto semántico y sus capacidades en un contexto definido. Este conocimiento es posteriormente adquirido o enviado a otros objetos a lo largo de los métodos externos. Los diferentes modelos de contexto, de servicios y de los usuarios serán subárboles de las ontologías de dominio que se derivan de estos conceptos

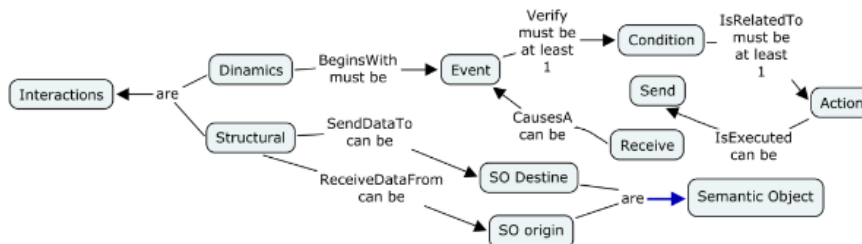


Figura 13. Módulo de la interacción semántica (Evento-Condición-Acción, Bases de Datos)

El módulo de la Figura 13, presenta los mecanismos que permiten establecer la comunicación entre los diversos objetos semánticos del sistema. Ellos pueden ser estructurales o dinámicos. Por lo tanto, si un objeto semántico colabora con otro, ambos deben manejar el mismo lenguaje de interacción y exponer sus métodos de funcionalidad en un stand, en función de los objetivos de interacción, también definidos de una manera estándar. Esto permitirá que cualquier otro objeto participe en el proceso si es necesario y también para crear servicios más elaborados cuando actúan sinérgicamente como estructuras más complejas.

Las interacciones estructurales son una red de objetos semánticos creados en el momento de establecer las colaboraciones mutuas. Es por eso que se compone de objetos semánticos origen y objetos semánticos de destino quien envía datos e información al objeto semántico modelado; este último recibe datos del objeto semántico modelado.

Las interacciones dinámicas definen un conjunto de factores desencadenantes que permiten el intercambio de datos e información entre los objetos semánticos a través del patrón de la ECA: Evento-Condición-Acción. El evento puede ser causado por otro objeto semántico (incluso el mismo), o por un estímulo externo cuando el envío de información que se recibe es por el objeto semántico. Una vez que se recibe el evento, la condición relacionada es consultada y las acciones se ejecutan si se cumplen las condiciones. Acciones, a su vez, son métodos externos de envío de información.

El concepto de calidad establece metas e indicadores que permiten el seguimiento y captura de datos sobre el rendimiento objetos semánticos. Adicionalmente se pueden definir interacciones y objetivos de conocimiento, en la que los objetos externos pueden participar y colaborar con el fin de alcanzarlos. Un modelo de los indicadores de gestión se ha incorporado con el fin de medir sus logros correctamente.

Los objetivos se definen como los propósitos que se deben tener en cuenta con los modelos de interacción y de conocimiento, a fin de establecer la sinergia de los objetos. Los indicadores son variables de alto nivel que están relacionados con los objetivos y permitan medir su logro. Estos indicadores se definen mediante el uso de una fórmula matemática de variables, que tienen valores de acuerdo con lo que se mide. Las variables, a su vez, responden a ciertas unidades de medida y deben tener la posibilidad de medirse a través de métodos externos adecuados. Un objetivo está directamente relacionado con un indicador. Se define como un conjunto de tres valores, en el que un rango y un valor de referencia para la variable que se ha calculado en la característica medida de interés, se establecen. Esto permitirá analizar el fracaso, el logro de los objetivos y la tendencia del indicador relacionado.

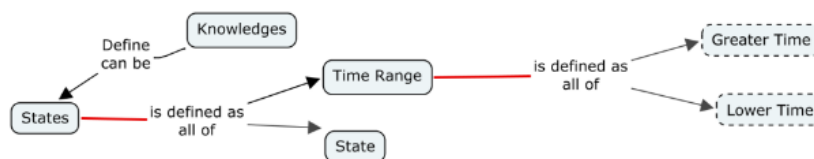


Figura 14. Módulo de Estado de los objetos semánticos (patrón de la teoría de control)

En la teoría de control, los estados del sistema presentados en la Figura 14, se definen como el valor de las variables de estado (propiedades), que tiene en un momento dado. Es por eso que se define aquí como las propiedades estatales en un período de tiempo definido. El estado también está relacionado con el contexto y entidades que participan en ella; es por eso que los diferentes modelos de conocimiento pueden definir estados particulares. En una estructura de interrelación mayor entre varios

objetos semánticos, el estado del sistema superior corresponderá a la suma de las propiedades públicas de los objetos que participan en ella.

Por último, el proceso para la siguiente iteración es alinear la ontología objeto semántico con las ontologías existentes, como lo plantea SSN-XG [88] con respecto a la descripción de los sensores y sus observaciones y proceso; Mathew, et al. [5] para la clasificación de las capacidades de los sensores; Kostelník, et al. [51] para la tipificación de servicios y Wang et al. [38] para el manejo de la calidad del servicio, con el fin de reutilizar sus conocimientos. Además, los estándares definidos por el OGC respecto a la gestión de los metadatos de los sensores de WoT, se están incorporando. Esta alineación dependerá de los objetos del estudio y de la funcionalidad que se desee dar a los objetos semánticos.

Las razones por las cuales el modelo plantea el uso de OS u Objetos Inteligentes como base para la interacción son:

- Distribuyen el procesamiento de la información en los bordes de la red (“*fog computing*” [77]) reduciendo el ancho de banda en la comunicación de datos y el tiempo de respuesta para aplicaciones en tiempo real.
- Se les puede programar un comportamiento inteligente y social con el fin de generar nuevas interacciones con los usuarios u otros OS.
- Se les puede compartir y reutilizar en diversos contextos y para diferentes servicios dado que en definición no están acoplados a una entidad única, entorno o propósito particular y dependerá de los objetivos del usuario en un momento dado.
- Permiten crear redes de OS con el fin de cooperar en la creación de nuevos servicios a los usuarios, participando en objetivos diferentes para lo que originalmente fueron creados.

Por otro lado, se ha diseñado el OS para generar procesos de razonamiento con SPARQL como:

- ¿Qué características tiene un objeto?
- ¿Cuáles son los servicios que provee el objeto?
- ¿En cuales contextos puede ser usado el objeto?
- ¿Qué relaciones tiene con los otros objetos de la WoT?
- ¿Cuáles son sus restricciones de operación?
- ¿Cuáles son sus estados y como éstos generan una interacción con otros objetos?

3.1.2.3.6 Vista de Servicios del Modelo

Para la vista de servicios se decidió utilizar la metodología SOMF y la herramienta *Enterprise Architect Modeling Tool*. El objetivo es definir los servicios que debe exponer el modelo de interacción semántica para que los OS puedan compartir su funcionalidad con otros OS.

3.1.2.3.6.1 Metodología de Creación de Servicios

Se basa en *service-oriented methodology framework* - SOMF. Se parte del ciclo de vida de los servicios, las características del negocio, escenarios de calidad y el marco de referencia de los conceptos especializados descritos más arriba. En general se modelan tres etapas:

1. Conceptualización de Servicios
2. Análisis de Servicios
3. Diseño de Servicios

3.1.2.3.6.2 Conceptualización de Servicios

Para la conceptualización se han utilizado los tres diagramas de SOMF. El primero de los diagramas es el modelo conceptual de atributos que se presenta en la siguiente Figura 15:

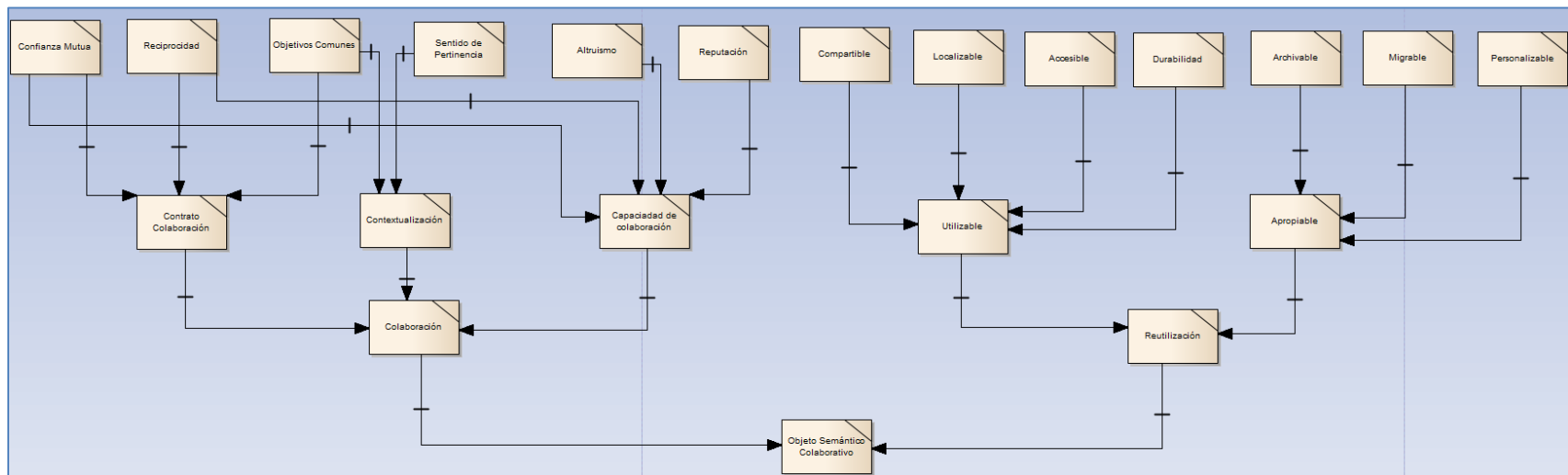


Figura 15. Modelo Conceptual de Atributos

Unifica los atributos del comportamiento colaborativo y de los objetos compartibles en el descubrimiento de nuevos conceptos de niveles superiores. En la Tabla 7, se describen los nuevos conceptos:

Concepto	Descripción
Contrato Colaboración	Dos de los objetivos comunes por defecto son: que exista un contrato de colaboración mutua y una confianza en los datos recibidos.
Contextualización	Para el logro de los objetivos comunes debe existir un sentido de pertenencia el cual se logra trabajando en el mismo contexto.
Capacidades de colaboración	Un objeto semántico tiene las capacidades para colaborar con otros, cuando reúne las características de altruismo, reputación, confianza mutua y reciprocidad.
Utilizable	Un objeto semántico que se puede compartir, localizar y acceder es completamente utilizable por otro. La durabilidad, permitirá establecer cuánto tiempo puede ser usado el mismo.
Apropiable	Es un objeto semántico que puede ser migrado, archivado y personalizado en otra plataforma para su uso particular.
Colaboración	La colaboración se logra cuando los objetos semánticos han definido un contrato de colaboración en un contexto dado. Los objetos deben tener capacidad de colaboración comprobada para poder participar.
Reutilización	Es un objeto semántico que expone todas las características para su reutilización, ya sea utilizándolo o apropiándolo.
Objeto Semántico Colaborativo	Es un objeto semántico que tiene todas las características para colaborar con otros y ser reutilizado con el fin de generar sistemas más complejos de servicios.

Tabla 7. Conceptos de Nivel Superior

El segundo diagrama es el modelo de árbol de decisión de atributos. Para este árbol se inicia con la clasificación de Mathew, ya que propone unos atributos reutilizables al modelo semántico de los objetos de la WoT. Posteriormente se relaciona a los atributos descubiertos en el diagrama de la Figura 15. El diagrama se presenta en la Figura 16:

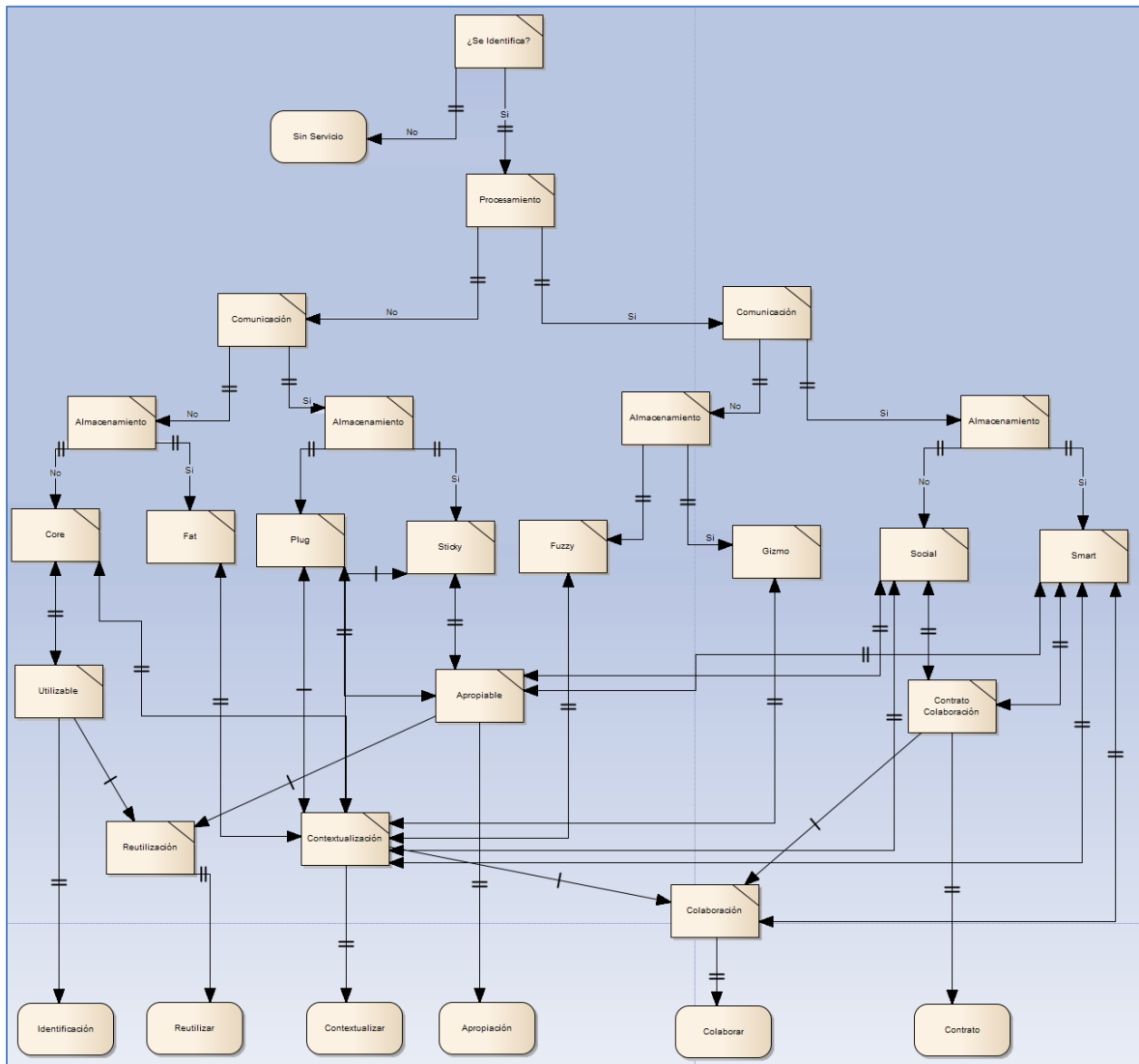


Figura 16. Modelo de Árbol de Decisión de Atributos

En este diagrama (Figura 16), se descubren servicios conceptuales asociados a los diferentes tipos de objetos semánticos, los cuales se describen en la Tabla 8:

Concepto	Descripción
Identificación (gestión)	<p>Definición Servicio que devuelve toda la información de metadatos y capacidades del objeto semántico. Por defecto todos los objetos tienen la capacidad "core", por tanto el servicio admite todos los tipos de objetos. Para compartirlo utiliza una URI única y comandos REST en formato JSON para interactuar, estableciendo servicios de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • GET: Usado para recuperar los datos actuales de las variables de estado del objeto semántico. Ej. temperatura actual • PUT: Usado para actualizar el estado de una variable del objeto semántico o crear variables nuevas en el objeto dando su identificación. • DELETE: Usado para remover un recurso. Se podría borrar el valor de un umbral específico.

Concepto	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • POST: Crea un nuevo recurso. Se puede utilizar para colocar un valor de un umbral específico. • OPTIONS: Recupera las operaciones permitidas en el recurso. <p>Este servicio está ligado al servidor IoT y al índice semántico a construir. También depende de la estrategia de comunicación: Coap o MQTT, así cuando se quiera definir debe establecerse como quedará finalmente el mismo.</p> <p>Objetos participantes Todos.</p>
Reutilizar (Descubrimiento)	<p>Definición Es un servicio compuesto, que devuelve la información de identificación, más la información necesaria para reutilizar el objeto semántico. Es decir, une el servicio de identificación más el servicio de apropiación junta.</p> <p>Objetos participantes Plug, Sticky, Social, Smart</p>
Contextualizar	<p>Definición Es un servicio que permite definir los objetivos y relacionarlos a un contexto particular. Este contexto puede existir o crearse uno nuevo. Una vez que se adhiere el objeto a un contexto este hace parte de la comunidad de objetos del mismo contexto. El objeto puede estar varios contextos a la vez. La identificación del objeto tiene unos elementos básicos de contextualización que de por sí indican algo de los mismos y por ello cualquier objeto se puede contextualizar, solo que en diferentes niveles. El contexto empieza desde la identificación del usuario o propietario del objeto.</p> <p>Objetos participantes Todos los objetos.</p>
Apropiación	<p>Definición Es un servicio compuesto que permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Archivar: Recibe la información de metadatos del objeto en un formato compacto, para su transferencia y posterior almacenamiento local. • Migrable: Contiene la información de su construcción, descripción del sistema, plataformas y código fuente para su construcción. • Personalización: Almacenar en el objeto semántico de las personas sus intereses u objetivos relacionados al contexto. <p>Objetos participantes Plug, Sticky, Social, Smart</p>
Colaborar	<p>Definición Es la unión de la información de contextualización y contrato de colaboración. Esta información se puede presentar en diferentes formas con el fin de establecer las redes de objetos que se forman a partir de las colaboraciones de otros. También define los algoritmos, medidas y elementos que debe tener en cuenta para una colaboración efectiva.</p> <p>Objetos participantes Social, Smart</p>
Contrato	<p>Definición Para que se realice un contrato entre dos o más objetos es necesario que estén en el mismo contexto y persigan objetivos iguales. El contrato define las interfaces de colaboración y el ECA (evento, condición, acción) correspondiente.</p>

Concepto	Descripción
	Objetos participantes Social, Smart

Tabla 8. Tipos de Datos Semánticos

Finalmente se presenta el diagrama conceptual de asociación, el cual permite establecer las relaciones entre los diferentes servicios conceptuales identificados, a la vez que se describen los servicios atómicos y los compuestos. La Figura 17, muestra el diagrama:

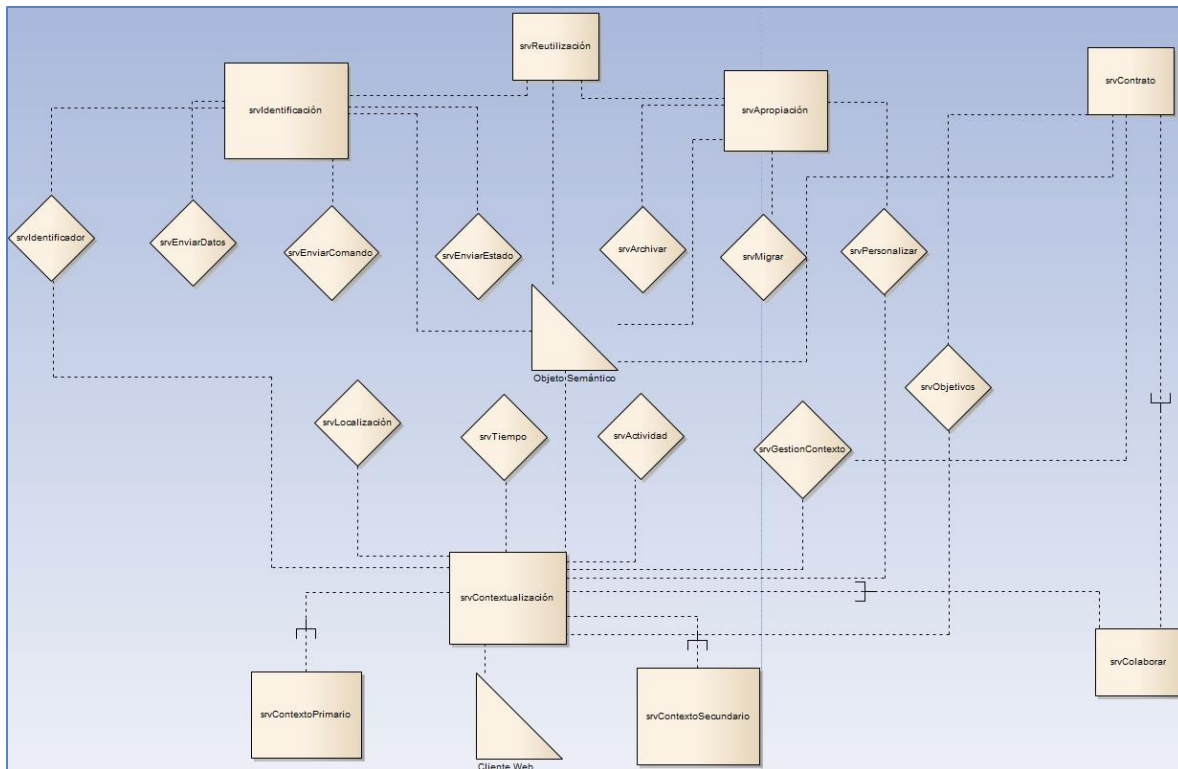


Figura 17. Diagrama Conceptual de Asociación

La descripción de cada uno de los servicios identificados y sus usuarios se presenta en la Tabla 9.

Servicio	Descripción
srvReutilización	Es una clasificación superior de servicios relacionados a la posibilidad de ser objetos reutilizables.
srvIdentificación	Servicio Compuesto de Identificación. El cual dependiendo de las funcionalidades del objeto permite realizar operaciones básicas de gestión de información del OS.
srvApropiación	Es un servicio compuesto que permite establecer los métodos necesarios para que se apropie el objeto semántico.

Servicio	Descripción
srvContrato	Es un servicio que permite formar comunidades de objetos semánticos que se encuentran en un mismo contexto. Define los prototipos de los cuales va a recibirDatos, recibirInformación y recibirComandos.
srvColaborar	Es un servicio que agrupa a la contextualización y al contrato. Adiciona funcionalidades de presentación de datos e información adecuados dependiendo del objeto que solicita la colaboración.
srvContextualización	Es un servicio compuesto que define una serie de servicios para el manejo del mismo.
srvContextoPrimario	Es un tipo de contexto que viene dado por datos directos de las variables de estado de los objetos semánticos
srvContextoSecundario	Son servicios que pre-procesan los datos de las variables de estado de los objetos semánticos y permiten enviar información relevante
srvIdentificador	Retorna un documento JSON o XML con la información de metadatos del objeto y sus capacidades. Cuando se trata de servicio de contexto responde al "Who" Ej. RFID, para el secundario retorna la información adicional relacionada al objeto semántico.
srvEnviarDatos	Servicio que retorna el dato actual de una de las variables de estado del objeto semántico.
srvEnviarComando	Este servicio recibe una petición con el fin de realizar un cambio en el estado del objeto semántico.
srvEnviarEstado	Este servicio retorna información del tipo de objeto con el fin de establecer las capacidades del objeto semántico. Adicionalmente retorna una lista de variables de estado y sus datos actuales.
srvArchivar	Envía toda la información del objeto semántico empaquetado en un archivo comprimido el cual puede ser almacenado localmente por el cliente para su posterior uso y reutilización.
srvMigrar	Es un servicio que retorna la información sobre la construcción misma del objeto semántico, descripción del sistema, plataformas y código fuente.
srvPersonalizar	Retorna los atributos personalizables y almacena las mismas en el origen del objeto siempre y cuando lo soporte. Si no puede almacenarlos en el origen, los almacena localmente para enviarlos como parámetros de personalización al objeto. Para los servicios de contexto corresponde a la captura de información de personalización con un usuario particular Ej. Enviar alerta cuando temperatura = 30. Para el secundario puede ser más complejo y responder a fórmulas matemáticas hechas con las variables personalizables.
srvLocalización	Es un servicio que permite utilizar datos que responden a "Dónde" se encuentra el objeto semántico y los datos relacionados. Ej. GPS para el primario y distancia entre dos sensores para el secundario.
srvTiempo	Retorna información del "cuándo" sucede el evento. Ejemplo tiempo. Para el secundario puede calcular tiempo transcurrido entre eventos
srvActividad	Es un servicio que permite establecer un evento o suceso que ocurre en el entorno del objeto semántico. Ej. Abre una puerta. Para el secundario puede ser predecir las acciones del usuario.
srvGestionContexto	Es un servicio que define contextos y permite relacionar los mismos a los objetos semánticos específicos.
srvObjetivos	Permite definir objetivos en un contexto particular. El objetivo es una operación ECA y el contexto esta dato por los servicios de localización, tiempo y actividad comunes a varios objetos semánticos. Define los indicadores de calidad que se utilizarán para medir los objetivos.
ObjetoSemantico	Es un cliente que se representa así mismo y es también fuente de servicios y solicitud de servicios

Servicio	Descripción
ClienteWeb	Este cliente puede ser un humano o una aplicación web que solicita los servicios de personalización.

Tabla 9. Servicios y Usuarios Identificados

3.1.2.3.6.3 Análisis de Servicios

Se realiza un análisis contextual y estructural combinado en un sólo diagrama (Figura 18), con el fin de identificar las relaciones de los servicios específicos:

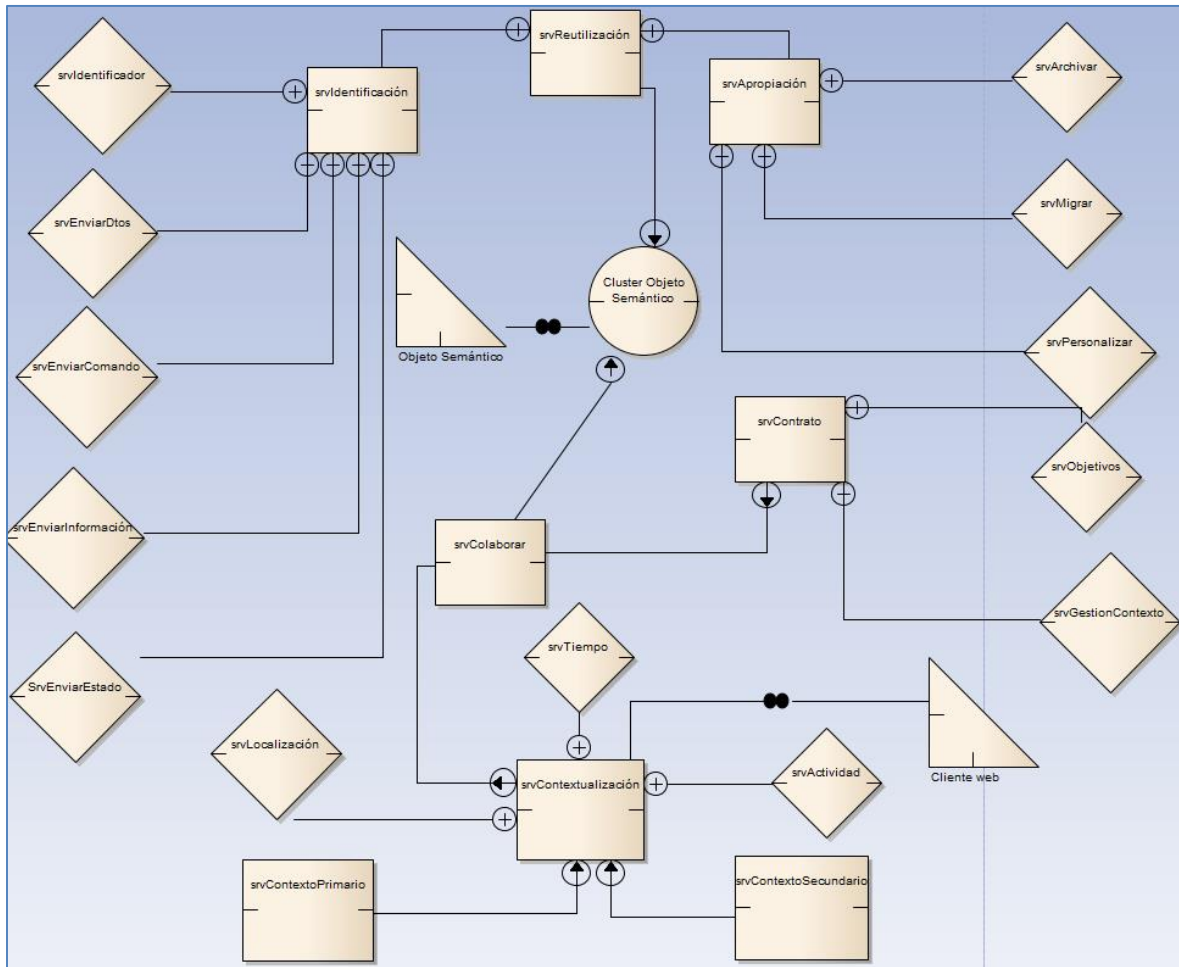


Figura 18. Diagrama Relaciones de los servicios

En este diagrama, el concepto de los servicios es el mismo que del modelo conceptual anterior, pero aparece un clúster de servicios de objetos semánticos, el cual permitirá el acceso a todos los servicios a los objetos semánticos mismos. Adicionalmente se definen de manera lógica las relaciones de los servicios, estableciendo las agregaciones y las generalizaciones correspondientes. Esto permitirá orientar la construcción de los servicios y como éstos se reutilizan entre sí.

3.1.2.3.6.4 Diseño de Servicios

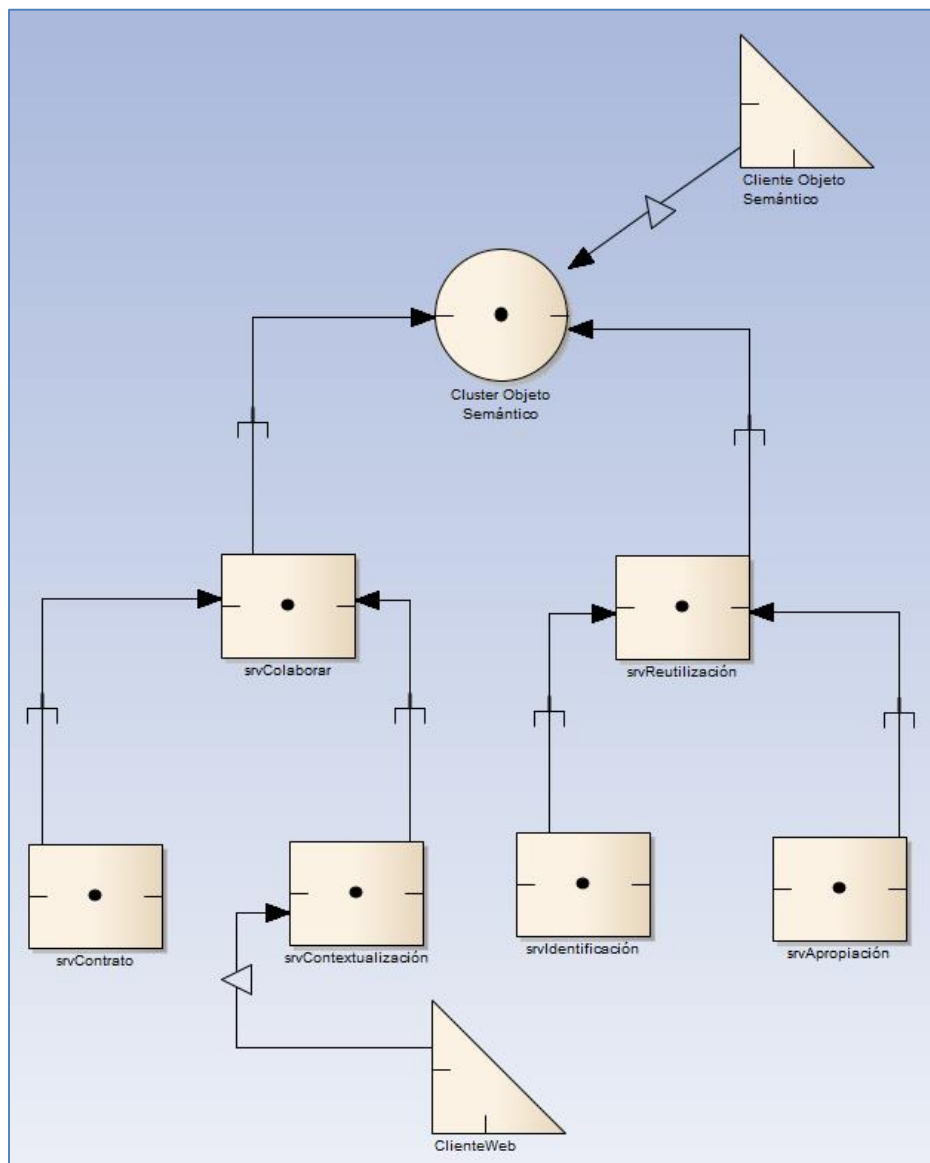


Figura 19. Modelo de Composición de Servicios

Se ha decidido utilizar el modelo de composición (Figura 19), con el fin de mostrar claramente en que puntos los usuarios del sistema hacen uso de los servicios (Cliente OS y Cliente Web). No se hace el diagrama lógico, ya que es igual al diagrama de análisis y no se desean hacer complejos los servicios a proveer por parte del objeto semántico. También se evitó utilizar el diagrama de transacciones, con el fin de no hacer más complicada la definición de los servicios encontrados.

Capítulo 4 Método de Indexación y Búsqueda Semántica para la WoT

4.1.1 Creación del Modelo

Para crear el modelo se siguieron los siguientes pasos:

1. Se identificaron los retos que se debían tener en cuenta para la creación de índices semánticos en la IoT, ofreciendo un camino de solución para los mismos.
2. Se definieron las diferentes vistas que debía exponer el modelo semántico con el fin de que capture la mayor cantidad de información semántica y así permitir una implementación ajustada a los requerimientos de los usuarios y el dominio de aplicación que se seleccionó.
3. Se propuso un método para la creación de índices semánticos con el fin de facilitar a los desarrolladores la implementación de los mismos, formalizándolo en un estándar de metodologías de desarrollo como SPEM 2.0. El método incorpora el modelo semántico y los pasos propios de recuperación de la información semántica definidas en los pasos previos.
4. Se propuso una arquitectura software que incorpora el modelo desarrollado y mediante la metodología propuesta se puede orientar en la construcción de sistemas de búsqueda semántica en la IoT.
5. Finalmente, se construyó un caso de estudio en el área de la contaminación medioambiental con el fin de se pudiera evaluar en primera instancia los resultados y aplicación del modelo, orientando las evaluaciones inicialmente a la satisfacción del usuario más que la eficiencia en las comunicaciones.

4.1.2 Retos y soluciones para crear índices semánticos en la IoT

En este estudio se identificaron los siguientes retos al momento de construir un índice semántico:

- **Eficacia en la extracción semántica:** Consiste en obtener la mayor cantidad de semántica posible de los objetos por lo cual es necesario analizar como anotar adecuadamente metadatos en los diferentes objetos de la IoT, con el fin de formar conceptos que se puedan indexar en diferentes dimensiones. Una opción es anotar en los documentos donde residen los metadatos originales de los objetos, otra es en estructuras externas, a través de la

utilización de estructuras de gestión de conocimiento como las ontologías, la cuales pueden aportar más conceptos y semántica.

- **Mecanismo eficiente de captura de datos:** los estudios previos en general describen dos formas básicas de captura de datos de los objetos: Pull/Push, en los cuales se consultan constantemente los objetos, o los objetos colocan directamente la información mediante una suscripción a ellos. Los datos a su vez pueden ser: continuos, discretos o por disparador. Actualmente existen *middleware* y servidores de infraestructura de la IoT que están permitiendo conectar y gestionar los datos de los objetos conectados por medio de diferentes protocolos de comunicación como: MQTT, COAP, o soluciones software en: *Gateways*, Contiki OS, Tiny OS, entre otros.
- **Correcto uso de estándares:** Un elemento importante para que los índices sean altamente reutilizables y adaptables a las necesidades de las aplicaciones semánticas, es el uso de los estándares en todas las fases de su desarrollo, así los datos y metadatos de los sensores deben en lo posible incorporar estándares de definición de los mismos como: SSN-XG y SensorML del proyecto Semantic Web Enable - SWE. Por otro lado, los formatos en los cuales se transmite la información también deben ser ampliamente aceptados, tales como Xml, Json y Csv. Los estándares como la ontología SSN-XG poseen un conocimiento que al anotarse con las características de los sensores permiten ofrecer procesos de razonamiento e información acerca de la plataforma, variables observadas y procesos de medición.
- **Selección adecuada del Modelo Semántico:** Este reto se refiere al correcto análisis de los datos obtenidos de los dispositivos para su estudio de representatividad (inferencia de conceptos) y el almacenamiento en una estructura de información que sea eficiente para su recuperación y actualización (estructura de datos y algoritmos). Adicionalmente, establecer un manejo adecuado para la información en tiempo real y la información que se puede consultar directamente del índice. Es importante aquí un manejo del contexto y de la reutilización de los objetos con el fin de compartirlos en diferentes situaciones.
- **Exposición de servicios:** Se debe dotar en lo posible de mecanismos de publicación y uso de los servicios de información que puede proveer el índice semántico. Una forma podría ser la utilización de servicios web, que permitan a las aplicaciones utilizar los mismos de una manera eficiente y transparente. Estos servicios deben proveer las características multidimensionales, adaptables y autocontenidas de los dispositivos con formatos compartibles conocidos como XML y JSON, entre otros.

Por otro lado, se deben tener en cuenta las características de un índice semántico [89] como:

- **Multidimensionalidad:** Un concepto se puede modelar como un conjunto de propiedades relacionadas, que a su vez son otros conceptos, estas propiedades se pueden entender como diferentes dimensiones con los que

se puede valorar la semántica de los conceptos encontrados en los documentos. Así, un concepto es realmente una estructura que es tomada como elemento de indexación cuyos valores de atributos pueden estar basados en complejas descripciones de objetos relacionados.

- **Adaptabilidad:** Es altamente adaptable a las necesidades de cada proyecto. Los conceptos de indexación pueden ser añadidos o eliminados como se desee, lo cual los hace muy densos y precisos con respecto al interés de un grupo de personas o dominio particular.
- **Autocontenido:** Dado que el índice es en realidad un conjunto de descripciones parciales de los objetos indexados, mucha información se puede extraer directamente del índice, sin tener acceso a los documentos para procesamientos posteriores.

Con la multidimensionalidad, adaptabilidad y autocontenido, se puede hacer una relación cartesiana con los retos identificados con el fin de orientar su implementación (ver Tabla 10).

Reto	Característica de los Índices Semánticos		
	Multidimensionalidad	Adaptabilidad	Autocontenido
Eficacia en la extracción semántica	X		X
Mecanismo Eficiente de captura de datos	X	X	
Correcto uso de estándares		X	X
Selección adecuada del modelo semántico	X		X
Exposición de Servicios	X	X	X

Tabla 10. Retos vs. Características de los Índices Semánticos en la IoT

Lo que se propone en la Tabla 10, es una relación de cada reto con las características de los índices semánticos, la cual está señalada con la “X”, esto permite establecer que la solución a dicho reto estaría reflejada en el desarrollo de la característica deseada del índice semántico.

Esto implica que con respecto a la “eficacia en la extracción semántica”, es posible aportar a su solución desarrollando la multidimensionalidad del índice, ya que cada categoría de conceptos se puede considerar como una dimensión a ser clasificada, también aporta a la característica de autocontenido ya que se puede consultar toda esta información directamente del índice cuando se realice una consulta sin necesidad de gastar tiempo consultando nuevamente los metadatos y algunos datos del objeto.

En cuanto a la “mecanismo eficiente de captura de datos” se puede relacionar con la multidimensionalidad, ya que dependiendo de la cantidad y calidad de conceptos que se puedan obtener del dispositivo se pueden implementar más dimensiones, también

se relaciona a la adaptabilidad ya que los metadatos se pueden incrementar o reducir con respecto a la ontología con la que se analizan.

Para el “correcto uso de estándares” lo podemos relacionar a la adaptabilidad y al autocontenido, ya que al incluir las ontologías y estándares más aceptados actualmente, nos permitirán agregar más dimensiones, por ejemplo: el proceso de observación o la estructura de los sistemas de sensores, los cuales se pueden obtener de la ontología SSN-XG, aumentando la semántica y generando procesos de respuesta sin tener que consultar los sensores.

Con respecto a la “selección adecuada del modelo semántico” se relaciona a la multidimensionalidad y al autocontenido, ya que la estrategia propuesta para manejar diferentes contextos es crear un índice semántico por contexto y esto se logra con ontologías de dominio específico que generan nuevos contextos y anotaciones a los dispositivos dependiendo del dominio en el que se consulten. Adicionalmente, el modelo semántico propuesto incluye un modelo de consultas, conceptos, algoritmos y servicios, los cuales según sean caracterizados asegurarán en mayor o menor medida la utilidad del índice construido, agregando dimensiones y evitando consultar los dispositivos directamente.

Finalmente, con respecto a la “exposición de servicios” se relaciona con las tres características ya que los mismos deben permitir compartir y reutilizar métodos a los usuarios para que interactúen con todas las características definidas en el índice semántico.

4.1.3 Vistas del Modelo de Búsqueda Semántica para la IoT

El modelo semántico se encarga de definir las características de las consultas, conceptos, modelos de similitud y servicios que debe implementar el índice semántico a construir, definiendo una vista (sub modelo), de cada característica a ser considerada para la construcción del índice semántico:

- **Vista de Contexto:** Es un artefacto que permite establecer el dominio de objetos que se deben indexar y como se va a caracterizar dicho dominio al momento de seleccionar la información, esto se logra a través de una serie de preguntas personalizadas, las cuales, se espera, el índice pueda responder.
- **Vista de Conceptos:** Es un artefacto que establece las estructuras a utilizar (ontologías, tesauros) y cómo utilizarlas. Inicialmente se busca reutilizar estructuras existentes y bien respaldadas; sin embargo, si el problema lo amerita, también se puede decidir desarrollar dicha estructura de conocimiento. Además, establece las decisiones que se deben tomar alrededor de los modelos conceptuales y algoritmos a utilizar en cada tarea desarrollada para la obtención, ampliación o reducción de los conceptos y de cómo gestionar el contexto y demás información semántica de los objetos, incluida la información de los

usuarios, la cual se puede almacenar en una ontología de usuario si es necesario.

- **Vista de Indexación:** Es un artefacto con un conjunto de decisiones alrededor de los algoritmos que se van a utilizar para el análisis de coocurrencia y representatividad. Se establece el uso de un *ranking* de sensores a ser retornados dependiendo del algoritmo seleccionado.
- **Vista de Servicios:** Es un artefacto que establece las interfaces a desarrollar con respecto a los servicios web de los objetos y los servicios web del índice mismo.

4.1.4 Método de Indexación Semántica para la IoT

Para crear el método de indexación semántica se siguió un proceso de tres pasos: primero se hizo un estudio del estado del arte de trabajos, herramientas y técnicas utilizadas para la integración semántica en la WoT; segundo, se obtuvieron las características, pasos y elementos a tener en cuenta (arquitectura), para la definición del método y tercero, se formalizó el método a través de un estándar internacional como SPEM 2.0, con el fin de que pueda ser reutilizado, adaptado o ampliado por cualquier grupo de desarrollo de software.

Con respecto a la arquitectura propuesta (Figura 20), es importante resaltar la capa de indexación semántica, la cual a su vez presenta tres subcapas: modelo semántico, motor de indexación semántica y repositorio de conocimiento, los cuales se personalizan a los objetivos y necesidades del índice semántico IoT a desarrollar.

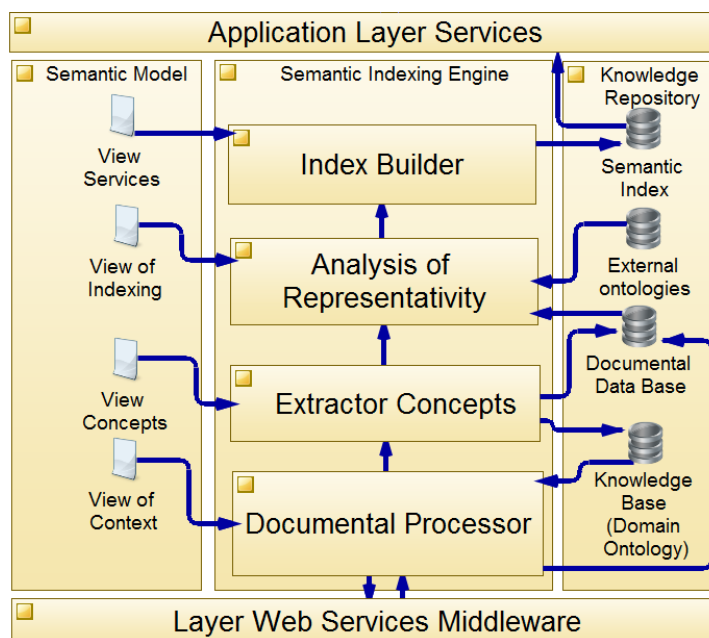


Figura 20. Diagrama Arquitectónico del Método de Indexación Semántica en la IoT

Cabe anotar que el Modelo Semántico incluye las vistas semánticas las cuales permiten guiar el desarrollo del índice en cada uno de los pasos de su construcción, generando o utilizando estructuras de conocimiento que serán almacenadas en un repositorio de conocimiento y que servirán como fuente de la capa de servicios de aplicación. Consta de:

- **Motor de indexación semántica:** Procesa la información provista por los *middleware* de la IoT y crea el índice semántico a través del procesamiento de la base de datos documental–BDD, la extracción de los conceptos, el análisis de representatividad y la construcción del índice. Estos pasos se complementan con el modelo semántico en cada uno de los procesos de indexación.
- **Repositorio de conocimiento** define un conjunto de estructuras de información de las cuales se puede almacenar/extraer conocimiento de todo el proceso de indexación semántica de la IoT. Por un lado son los productos del proceso de indexación y por otro son los insumos para realizar el proceso.
- **La creación de un buscador normalmente tiene dos fases:** la primera, de indexación en la cual se recolectan y procesan los documentos hasta crear el índice y, la segunda, de búsqueda, en la cual los usuarios realizan sus consultas y utilizan el índice para encontrar los resultados más relevantes, así la BDD se puede crear inicialmente en una fase de indexación, en la cual se consultan todos los objetos del servidor IoT que son candidatos a ser consultados de acuerdo con la base de conocimiento utilizada y el modelo de consultas personalizadas; posteriormente, se agregan al índice, documentos que se van encontrando; sin embargo, se necesita un programa autónomo (*crawler*), que realice el proceso en la fase de búsqueda y uso del índice.
- Las **Bases de Conocimiento (KB) son estructuras de conocimiento (ontologías o tesauros) utilizadas para almacenar el contexto o dominio de búsqueda.** Las ontologías externas consisten en un conjunto de ontologías establecidas y complementarias al dominio o contexto con el que se pretende crear el índice semántico IoT quien es una fuente de información y conocimiento acerca de los objetos que ha indexado.

El método se resume en cuatro fases bien definidas, cada una con actividades, tareas, responsables y productos, necesarias para crear un índice semántico en la IoT. Además, el método propuesto es adaptable a las necesidades de implementación, ya que puede funcionar como complemento software autónomo y apoya a otros servicios o aplicaciones. Su especificación en SPEM 2.0 se encuentra publicada en: <http://semanticsearchiot.net/sswot/simiot/Publish/index.htm>.

4.1.5 Arquitectura propuesta para el desarrollo de Buscadores Semánticos en la IoT

Con el fin de establecer como el modelo de búsqueda semántica puede ser incorporado para crear buscadores semánticos en la IoT, se definió una arquitectura

general en la cual se incorporan capas, módulos y herramientas que se pueden utilizar para hacer el desarrollo más rápido (Figura 21).

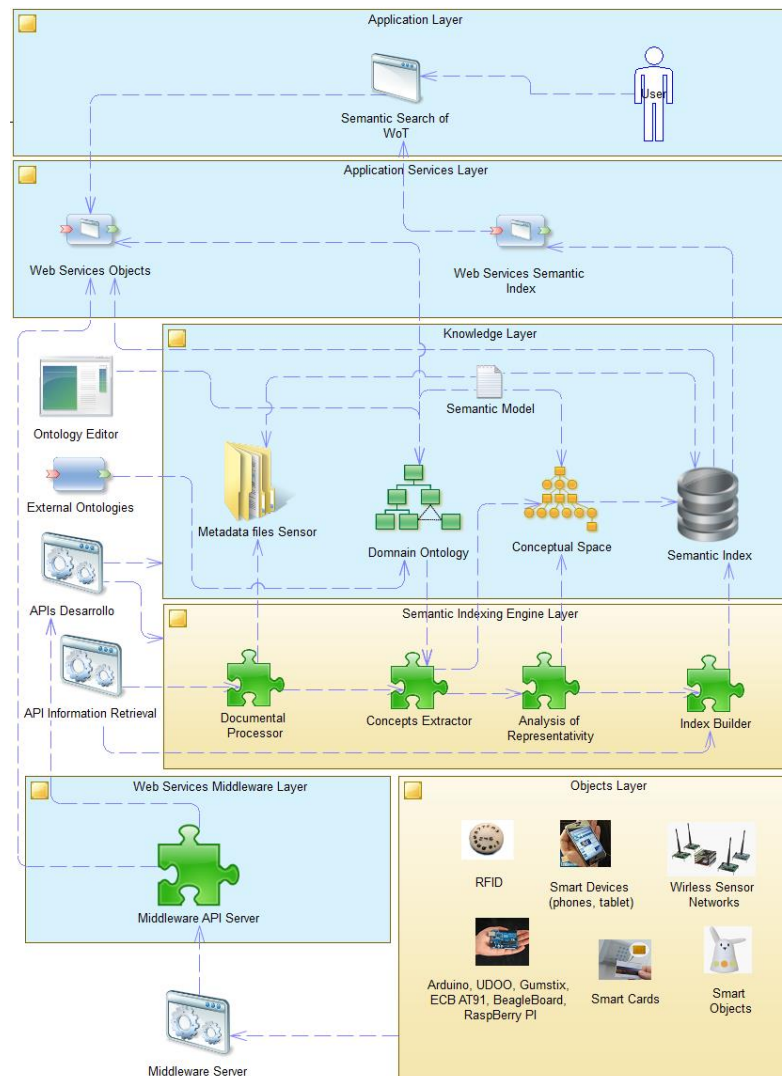


Figura 21. Arquitectura del Buscador Semántico para la IoT

En la Figura 21, se pueden apreciar las capas que se han personalizado con respecto a la arquitectura general propuesta en el método. Las herramientas software y servicios que son ajenos al sistema se han colocado por fuera de las capas. En la capa de servicios está el servidor IoT que debe ser seleccionado en el estudio de evaluación de servidores. Este servidor debe ofrecer un API de desarrollo que permita acceder a todos los objetos de la IoT que tenga conectados a su base de datos centralizada. Dado que el servidor IoT no permite la interacción hacia los objetos, el modelo está realizado sólo para obtener datos de los mismos.

- **Capa de indexación:** Es igual a la propuesta en el modelo general, teniendo en cuenta que cuando se realice su implementación, se deben tomar las decisiones

específicas de indexación semántica que se reúnen en el documento del modelo semántico, el cual afecta cada uno de los productos de la indexación que se encuentran en la capa de conocimiento.

- **Capa de conocimiento:** Con respecto a esta capa, los productos más importantes son el índice semántico y la personalización de la ontología. La ontología debe personalizarse de acuerdo al modelo semántico desarrollado, cambiando pesos y elaborando procesos de razonamiento sobre la misma.
- **Capa de servicios:** Exponen servicios web para ser utilizados en la capa de aplicaciones. Estos servicios pueden acceder directamente al índice, a la ontología y al servicio creado sobre el API del servidor de IoT seleccionado.

La propuesta anterior tiene el objetivo de orientar la construcción del buscador semántico utilizando el método y modelo semántico propuesto, siendo adaptable según las necesidades específicas del desarrollo.

4.1.6 Ventajas y Desventajas del Modelo Propuesto

El modelo de búsqueda semántica en el IoT propuesto tiene ventajas interesantes que pueden servir para su apropiación en la creación de nuevos servicios en la WoT, sin embargo también se determinan sus desventajas, las cuales deben ser tenidas en cuenta al momento de utilizar el modelo en los desarrollos. La Tabla 11, presenta el desarrollo de la misma:

Ventajas	Desventajas
El índice semántico se convierte en fuente de conocimiento y contextualización, datos y servicios. Es autónomo, incluso si los sensores no están conectados al momento de la consulta.	Deben existir índices por cada contexto a desarrollar y se debe colocar un especial énfasis en la manera de crear y actualizar el índice para que se mantenga una información actualizada de los sensores relacionados.
Un mismo dispositivo o sensor puede ser utilizado en diferentes contextos al ser incluidos en los diferentes índices desarrollados	Los dispositivos y sensores deben estar anotados correctamente (claridad, completitud y Exactitud), con el fin de que sean indexados adecuadamente.
El modelo propuesto no depende de una ontología particular, ya que las mismas se utilizan como insumo para crear los diferentes contextos.	La calidad de la indexación depende del grado de precisión y completitud de la ontología utilizada. Adicionalmente, las ontologías en lo posible deben ser alineadas con ontologías globalmente aceptadas para aumentar su calidad, la misma ontología debería proveer mecanismos de múltiples lenguajes, también elementos que permitan relacionar nombres de sensores a los conceptos y mecanismos para realizar razonamientos como valores de referencia y otras condiciones.
No depende de un <i>middleware</i> o Servidor IoT en particular para acceder a los objetos conectados en la IoT.	Es necesario crear los módulos que utilicen las API de los servidores IoT o Middleware para crear la capa de servicios web de metadatos y datos, además de las

Ventajas	Desventajas
	API en el entorno o lenguaje particular en el que se desarrolle el índice semántico.
Permite acceso a los usuarios, a las aplicaciones de la web y a los servicios de la IoT de manera abierta e interoperable, al utilizar los servicios web para exponer las funcionalidades de los índices creados.	El uso de servicios web para encapsular el envío de datos puede generar retrasos importantes en la llegada oportuna de la información en una aplicación de tiempo real. Sin embargo, estos servicios se pueden omitir y utilizar las API directas del servidor o <i>Middleware</i> para reducir el tiempo de respuesta una vez que se ha identificado el sensor a utilizar con el índice.

Tabla 11. Ventas vs. Desventajas del Modelo de Búsqueda Semántica en el IoT Propuesto

4.1.7 Creación de un Índice Semántico en la IoT

Se realizó una instancia del método definido y la arquitectura propuesta para el despliegue del índice. Así los componentes seleccionados y personalizados para la arquitectura de la Figura 21 son:

1. **Middleware Server:** Se seleccionó el servidor IoT Xively.
2. **Middleware API Server:** Xively proporciona una API REST que permite crear, consultar y gestionar dispositivos. Los metadatos y datos se pueden recuperar en formato JSON.
3. **Web Services Objects:** Se desarrollaron un conjunto de servicios web que permiten hacer un llamado al API Xively para obtener metadatos y datos de los dispositivos. Estos servicios deben ser ajustados si se desea consultar otro servidor IoT que posee su propia API de desarrollo.
4. **APIs Desarrollo:** Se crearon y utilizaron diversas API para realizar un desarrollo rápido y eficiente del índice, las seleccionadas fueron:
 - **API Middleware Xively C#:** Se desarrolló una API en lenguaje Microsoft .NET C#, la cual recrea los objetos de los metadatos de Xively y permite gestionar toda la información de los dispositivos a los cuales tiene acceso vía API Xively. Esta API se utiliza en la etapa de indexación recolectando de la base de datos documental de JSON con respecto a los conceptos consultados en la ontología seleccionada.
 - **API RestSharp:** Es utilizada por la API *Middleware Xively C#* creada para realizar las peticiones REST al servidor Xively.
 - **API Newtonsoft.JSON:** Esta API permite el manejo de documentos JSON que serán recuperados y consultados para los procesos de indexación y búsqueda.
 - **API owlapi:** Esta API permite gestionar las ontologías, consultando conceptos, relaciones y mecanismos de razonamiento.
 - **API NGeo:** Esta API permite conectar al servicio web GEONAMES con el fin de acceder a los métodos de geolocalización y soportar los métodos desarrollados para el índice.

5. **API Information Retrieval:** Se utilizó al API LUCENE.NET como herramienta que permite apoyar todos los procesos de indexación y búsqueda en el índice construido.
6. **External Ontologies:** Aquí se utilizaron ontologías que se relacionaban al caso de estudio y un general para expandir conceptos:
 - a. **WordNet Ontology:** Es una ontología de propósito general y se utiliza para detectar conceptos de términos que no fueron categorizados con la ontología de dominio seleccionada.
 - b. **ENVO Ontology:** *Environmental Ontology*, es una ontología de información ambiental creada por Consorcio para la creación de ontologías medioambientales en el tema y permite obtener más conceptos relacionados.
 - c. **AWS Ontology:** *Automatic Weather Station–AWS* [90], que define nombres estándar para los tipos de sensores y variables medioambientales, asegurando en mejor medida la inclusión de conocimiento experto a la ontología y de estándares que pueden ser utilizados por varios propietarios de dispositivos sensores.
7. **Ontology Editor:** Se utilizó como editor de ontologías Protégé, el cual permitió crear la ontología de dominio específico y alinearla a las ontologías externas.
8. **Metadata Files Sensor:** Corresponde a la base de datos documental reunida en el proceso de indexación, recuperando los metadatos en formato JSON (JSON files Sensor).
9. **Domain Ontology:** La ontología de dominio fue necesario construirla para el caso de estudio correspondiente a la contaminación medioambiental, ya que aunque existen ontologías de conceptos ambientales, no se encontraron ontologías que relacionaran los conceptos con sensores específicos de medición.
10. **Conceptual Space:** Con la finalidad de hacer un desarrollo rápido y eficiente del índice se seleccionó el modelo vectorial y un mecanismo de anotación semántica sencillo para obtener un espacio conceptual en el cual se puedan comparar con las consultas de los usuarios y retornar los dispositivos ordenados por relevancia.
11. **Semantic Model:** El modelo semántico desarrollado depende de quienes desean generar el nuevo índice y pueden utilizar el método propuesto para desarrollar este modelo.
12. **Web Services Semantic Index:** Corresponde a los servicios web que exponen la funcionalidad del índice semántico que finalmente se construyó.
13. **Semantic Search of WoT:** Finalmente se desarrolló una aplicación web que utiliza los servicios web del índice construido para desplegar la información de los sensores y realizar tareas de apropiación de los servicios de los dispositivos de la IoT en procesos personalizados de consulta de información como la contaminación medioambiental para este caso.

El desarrollo del índice y sus métodos básicos de búsqueda, contexto primario y conexión con el servidor seleccionado son independientes de la ontología a utilizar para contextualizar el índice, por ello el desarrollo del índice es general y es posible cambiar la ontología, la cual es responsabilidad de quienes desean crear el índice semántico en un dominio particular.

A continuación se presentan los principales productos relacionados con respecto del modelo semántico propuesto ya que permite visualizar como se apropió el mismo. Para verificar cada una de las fases desarrolladas con el método propuesto, se puede consultar el sitio web del proyecto, donde se puede encontrar los documentos en extenso con cada una de las fases, tareas y actividades, además de los productos en detalle (<http://semanticsearchiot.net/sswot/simiot/Publish/index.htm>).

4.1.8 Modelo Semántico del Índice

Este modelo está compuesto por cuatro vistas semánticas definidas así:

4.1.8.1 Vista Contextual

Establece un conjunto de preguntas que son contestadas a la luz de los recursos y posibilidades de implementación y objetivos del proyecto. A continuación se presentan las más relevantes:

1. **¿Cuáles son los tipos de consultas que va a resolver el índice semántico?:** Puesto que el dominio del índice semántico se relaciona con el medioambiente, se definen primero el rango de mediciones medioambientales de la siguiente forma: temperatura, niveles de ruido, humedad, calidad del aire (CO₂), presión atmosférica, calidad del agua, radiactividad, movimiento. Las consultas que puede resolver son:
 - a. ¿Qué dispositivos cercanos a <<lugar>> pueden entregarme <<información medioambiental>>?
 - b. ¿Qué <<información medioambiental>> puedo obtener de <<lugar>>?
 - c. ¿Cuál es el histórico de la <<información medioambiental>> en el periodo de tiempo <<periodo>>?
 - d. ¿Qué <<variable medioambiental>> se puede medir en <<lugar>>?
 - e. ¿Cuál es la tendencia de la <<variable medioambiental>> en <<lugar>>?
 - f. ¿Cuáles <<variable medioambiental>> presentan <<contaminación medioambiental>> en <<lugar>>?

Los tipos de consultas a), b), d) y e) se pueden obtener directamente de la información almacenada en el índice, a su vez el índice se crea en una primera etapa con consultas directas a al servidor IoT a través del servicio web de API. Las preguntas c) y f) se deben consultar en tiempo real al servidor IoT por datos y luego calcular las mediciones solicitadas a través del modelo de servicios que se desarrolle.

2. **¿Qué cantidad de información se va a indexar y cual se va a consultar directamente al sensor?:** Se va a realizar consultas sobre el servidor IoT acerca de todos los conceptos relacionados con la información medioambiental, que se encuentran en la ontología que ha sido adaptada para la creación del índice. Por cada sensor que coincida con la búsqueda se recupera la información en formato JSON de sus datos y metadatos. Cuando se necesite información de los datos actuales o datos históricos se realizará una consulta directa al servidor IoT, recuperándolos y presentándolos o reprocesándolos en caso de que sea necesario.
3. **¿Cómo se va a modelar el contexto que necesariamente está asociado a los sensores?:** El contexto que se va a manejar inicialmente se cierra a los datos primarios [6] de localización, identidad, tiempo y actividad de los sensores, los cuales en el servidor IoT deben estar asociados a una ubicación geográfica y unos metadatos opcionales que coloca el creador del objeto. Se propone explorar datos secundarios en las mismas categorías. Los datos secundarios corresponden a un preprocesamiento de los datos de acuerdo a necesidades específicas. Sin embargo, el principal dato secundario es el cálculo de cercanía de sensores respecto de un lugar particular.
4. **¿Cuál es la estructura de datos más adecuada para almacenar el índice?:** Se decidió adaptar una ontología de dominio específico en información medioambiental (ENVO), a una ontología de contaminación ambiental desarrollada para este proyecto.

4.1.8.2 Vista de conceptos

El caso de estudio es la información medioambiental y la contaminación producida por el hombre. Dado que no se encontró una ontología específica en el área de la contaminación medioambiental, se decidió establecer claramente las variables y contextos que serán utilizados, tomando como base el libro de Mendiburu [91], en el cual hace una explicación muy detallada de lo que supone la información medioambiental y su contaminación, así como sistemas para automatizarla.

Se realizó un mapa conceptual (diseño de ontologías con IHMC CMAPS Tools¹⁸) del modelo medioambiental, el cual se presenta los principales elementos en las Figura 22 y Figura 23. El modelo conceptual está dividido en dos partes:

- La primera, es el **concepto de medio ambiente**, el cual está relacionado con el ecosistema y este a su vez con todos los seres vivos y no vivos (biocenosis) que interactúan en un biotipo. El **biotipo** relaciona las **condiciones medibles** de: la tierra (Edafotopo), el agua (Hidrotopo) y el aire (Climátopo). Así cada tipo tiene variables medibles como: la calidad del aire, humedad, magnetismo, presión atmosférica y demás variables que caracterizan un clima de una región particular. Al biotipo se le ha relacionado información del área de impacto con el fin de poder

¹⁸ El software y la especificación de creación de ontologías con COE se pueden descargar de <http://cmap.ihmc.us/download/>, accedido el 01/08/2013

relacionarlo posicionalmente con los sensores y también un **Bioma**, el cual servirá para alinear por este concepto la ontología ENVO¹⁹, la cual posee el mismo concepto (**Biome**) como una de las raíces de la misma y la caracteriza de manera experta. El ecosistema mismo puede tener unas alteraciones ambientales causadas principalmente por las actividades humanas que hacen que cambie sus componentes y equilibrio.

- La segunda, corresponde al **concepto de contaminación** (Figura 23) y todas las formas de contaminación de los ecosistemas. Esta contaminación puede ser producida por el hombre o por la naturaleza y se conoce como **contaminación ambiental**, ésta contaminación se produce por seis tipos de contaminación: agua, aire, suelo, sonora, visual y térmica. A cada tipo de contaminación se le ha desglosado los principales agentes contaminantes y a algunos como el agua y suelo los **tipos de alteraciones producidas**. Estos elementos terminan en eventos físicos, químicos, mecánicos que son posibles de medir a través de sensores. Los cuales se esperan encontrar en las consultas que se realicen a las bases de datos de servidores IoT. Finalmente, la contaminación ambiental puede producir un **daño ambiental** en el cual se relacionan las preocupaciones actuales más importantes de lo que ocurre a nivel ambiental en el mundo como: administración de residuos sólidos, deterioro de la capa de ozono, efecto invernadero y lluvia ácida.

En las figuras Figura 22 y Figura 23, se omiten otros conceptos y subconceptos como los otros tipos de contaminación: suelo, agua, sonora, térmica y visual que también se modelaron en la ontología. Para una revisión detallada del modelo conceptual se puede consultar en la página Web del proyecto²⁰. Finalmente, el valor de referencia es representado con un modelo que permite capturar los valores de referencia de las variables ambientales y de contaminación ambiental que se pueden relacionar a cierto ecosistema y así poder realizar procesos automáticos de alertas tempranas cuando los sensores presenten mediciones por fuera de los rangos establecidos y permitidos.

¹⁹ Consorcio para la creación de ontologías medioambientales: <http://www.environmentontology.org/Browse-EnvO>, consultado 01/07/2013. Proponen la ontología ENVO.

²⁰ Página Web del Proyecto: <https://sites.google.com/site/websemanticaiot/>.

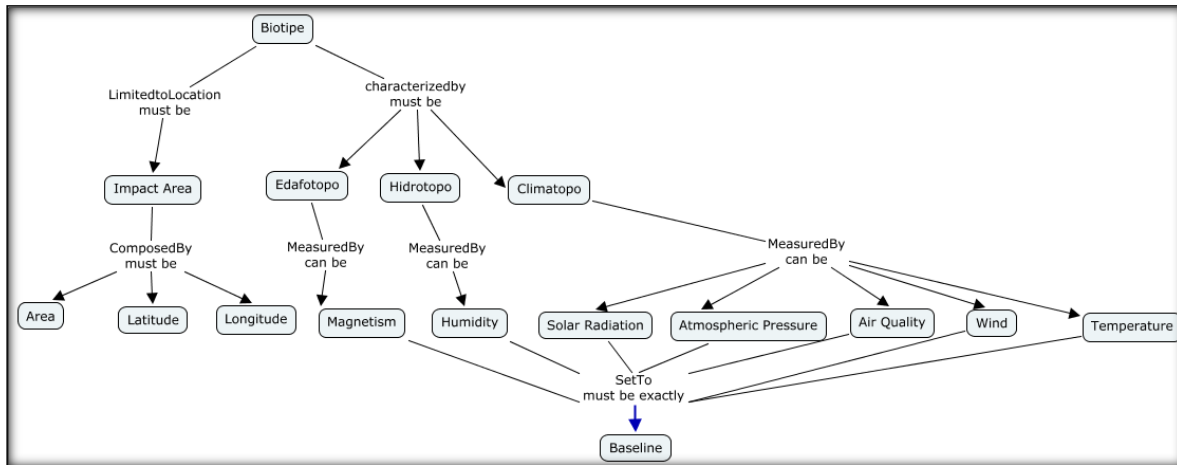


Figura 22. Modelo conceptual del Biotipo

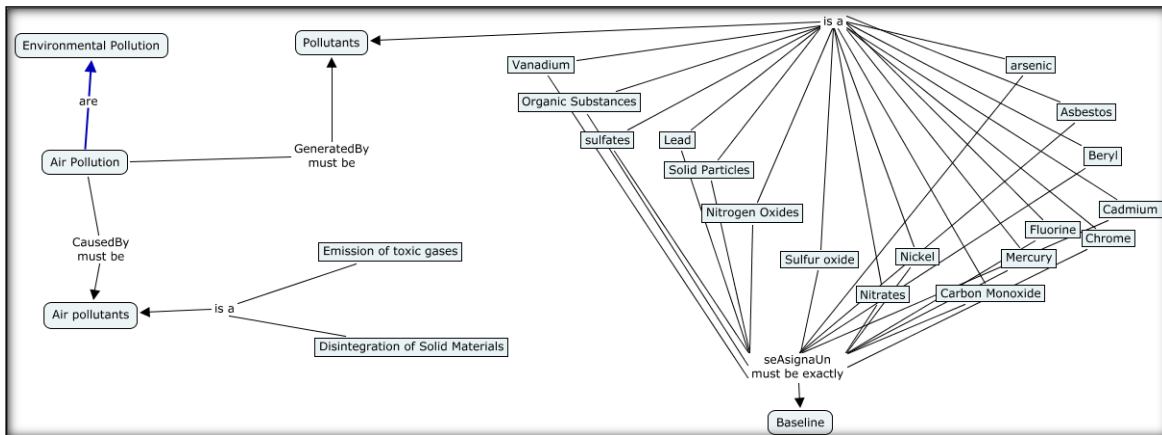


Figura 23. Modelo Conceptual de contaminación del Aire

Posteriormente se hizo la importación y alineación de la ontología en el área medioambiental ENVO desarrollada por expertos. La alineación se realizó por el método de equivalencia de conceptos [86, 87]:

1. El concepto **Bioma** corresponde con el concepto (**Biome**) de ENVO conectando el **biotipo** a **biome** y creando una clase equivalente a “**bioma**” del modelo conceptual. El Biome es un concepto raíz de la ontología ENVO y este desarrolla todos los conceptos relacionados por expertos al medioambiente, caracterizando de mejor forma el biotipo.
2. El concepto **Ambiente** corresponde con el concepto (**Habitat**) de ENVO. Este concepto desarrolla todos los tipos de hábitat disponibles en la ontología y clasificados de forma experta.
3. Los niveles de **materiales del ambiente** y las **características ambientales** están asociadas a los biomas. A través de ellos, se puede encontrar más información de los biotipos relacionados a determinados Biomas.

4. Finalmente, la condición ambiental (***environmental condition***) permite clasificar los biomas en categorías mayores, los cuales facilitan la interpretación del tipo de hábitat. También se pueden llegar a estos a través del Biome.

El principal aporte de la ontología desarrollada es la modelización correspondiente a la contaminación del medio ambiente y los posibles sensores que se pueden relacionar en cada elemento contaminante. Adicionalmente, se relacionan al Biotipo sensores que pueden caracterizarse y se pueden definir medidas normalizadas, que posteriormente se pueden comparar con las medidas reales.

Para utilizar la ontología denominada AWS [90] , se alinea la clase SensingDevice relacionándola al Biotipo para medir cada una de las siguientes características, con sus respectivos sensores a través de estrategia de clases equivalentes:

- Humidity = Humedad
- Atmospheric Pressure = Presión Atmosférica
- Radiation = Radiación Solar
- Temperature = Temperatura
- Wind = Viento
- Precipitation = Precipitación

Con el fin de poder utilizar la ontología en diferentes idiomas (español e inglés), se utilizaron anotaciones tipo “*Label [Language: es]*” y “*Label [Language: en]*” en cada concepto de la ontología. Esto permitió que el índice clasifique la información en los dos idiomas facilitando las búsquedas. De esta forma, se puede extender la ontología a otros idiomas si es necesario.

Cuando se hizo la exploración inicial de sensores conectados con información medioambiental en Colombia, se encontró muy pocos sensores que pudiesen ser reutilizados para el caso de estudio particular. La mayoría de sensores se encontraban en Norte América y Europa, por lo tanto se decidió crear un conjunto de sensores virtuales con el fin de simular estaciones de medición medioambiental distribuidas en tres regiones de Colombia, teniendo en cuenta la normatividad vigente, con el fin de que en un futuro, permita instalar las estaciones físicas o tener acceso a las actuales del IDEAM, lo que llevaría a que sólo se implementara la interfaz de envío de datos al servidor, adicionando al proyecto de Sensores Virtuales los siguientes conceptos a la ontología:

- Monóxido de Carbono = CO. Se adiciona etiqueta.
- Partículas Suspendidas Totales = PST. Se crea el individuo de la clase “Agentes contaminantes” y se agrega una etiqueta con el acrónimo.
- Material Particulado Menor a 10 micrómetros = MP10
- Óxido de Azufre = SO₂. Se crea una etiqueta con el acrónimo SO₂.
- Óxidos de Nitrógeno = NO₂. Se crea una etiqueta con el acrónimo NO₂.

- Ozono = Ozone = O₃. Aunque el ozono no es un agente contaminante, se ha adicionado a esta clase con el fin de tomar sus mediciones, como lo establece la norma colombiana de Sistemas de Calidad del Aire.

Posteriormente, se decidió utilizar el servicio de GEONAMES con la finalidad de caracterizar los lugares (ciudades) e identificarlos geoespacialmente, asegurando una correcta referenciación de dichos sitios lo más cercanos a la realidad espacial.

Después de las alineaciones se construyó la ontología que se utilizó para anotar los documentos de los dispositivos o sensores que se encuentre en el servidor IoT para su posterior indexación. Esta ontología fue utilizada en esta primera versión con propósitos de anotar semánticamente los documentos analizados del servidor IoT, para que posteriormente se indexen y realizar la consulta. En el momento de la consulta también fue utilizada la ontología para realizar una expansión de dicha consulta de usuario y así guiar mejor el proceso de búsqueda. Inicialmente la ontología no será usada para instanciar sensores y razonar sobre la misma, esta opción se deja para la segunda versión del proyecto o trabajo futuro.

La ontología finalmente se implementó en OWL utilizando la herramienta Protégé. Las características en general son las presentadas en el modelo conceptual presentado en párrafos anteriores. Las estadísticas de la ontología construida se presentan a continuación²¹: Total Number of Classes: 418, Total Number of Datatype Properties: 2, Total Number of Object Properties: 89, Total Number of Annotation Properties: 16, Total Number of Individuals: 229.

4.1.8.3 Vista de indexación

Es un modelo con un conjunto de decisiones alrededor de los algoritmos que se van a utilizar para el análisis de coocurrencia y representatividad. Dado que el tiempo de respuesta en el buscador semántico para la WoT es una variable importante para su aprovechamiento, en la primera versión del buscador se decidió aplicar un algoritmo rápido y eficiente como el cálculo de TF-IDF (frecuencia de términos-frecuencia inversa del documento), donde se mide la frecuencia de los conceptos candidatos en los documentos sensor que fueron recuperados, estos resultados son posteriormente guardados en una estructura de datos gestionada a través del API LUCENE.NET. La estrategia propuesta para la anotación y cálculo de la similitud semántica fue la siguiente:

1. Se toma la ontología creada en el modelo de conceptos y se hace una petición de búsqueda de sensores al servidor IoT con cada uno de los conceptos de la ontología. Por cada concepto, el servidor retorna un conjunto de archivos JSON con los metadatos de cada sensor almacenado en la base de datos que se relaciona con el concepto.

²¹ Sitio Web de la herramienta SWOOP con la que se analizan las ontologías, consultado el 20/08/14 <http://code.google.com/p/swoop/>.

2. Cada JSON que representa un sensor, es analizado estructural y textualmente. En el diseño del índice se identificaron campos del JSON que se indexan directamente y se relacionan a una propiedad que se desea almacenar en el índice (Ej. Feed ID, Feed URL, Latitude, Longitude, etcétera); posteriormente, los campos con información textual importante (Ej. Tags, Description, Title), son procesados con técnicas de recuperación de la información (Tokenización, Eliminación de palabras vacías, Lematización, etcétera) y web semántica (búsqueda de términos en la ontología para detectar conceptos y ponderación de conceptos).
3. Se realiza un proceso de anotación semántica a manera de lista de conceptos en cada JSON. Si el concepto ya está en la lista, se vuelve anotar en la misma lista con el fin de aumentar su frecuencia de aparición y así cuando el indexador realice el cálculo de frecuencias, estos conceptos tendrán más importancia y se clasificarán adecuadamente. Después del proceso de anotación se almacena cada archivo localmente en la base de datos documental del índice.
4. Se procede a indexar con el API de LUCENE, aplicando el método de TF-IDF sobre la base de datos documental, creando el índice sobre el cual se realizará posteriormente el proceso de búsqueda.
5. Una vez creado el índice se pueden realizar las búsquedas sobre el mismo. Para este proceso se implementaron dos opciones:
 - Consulta directa: enviando la consulta del usuario al buscador de LUCENE, para el cual el buscador realiza el cálculo de similitud con respecto a la consulta y retorna una lista de sensores en orden de relevancia calculada por similitud de cosenos estándar.
 - Realizando un preprocesamiento de la consulta a manera de expansión: a la consulta se identifican los conceptos comparándolos con la ontología, ponderando los mismos y adicionando otros conceptos relacionados con la asignación de pesos a los conceptos de la ontología, teniendo en cuenta la jerarquía de la misma [92]. Los pesos fueron asignados consecutivamente dando más peso a los hijos que los padres. Una vez modificada la consulta, es enviada al buscador realizando el mismo proceso de consulta directa, pero con mejores resultados al preprocesarla. Dado que en la consulta pueden aparecer términos no relacionados con la ontología, se decidió consultar ontologías externas, específicamente WordNet con el fin de complementar la información con sinónimos. Los términos no encontrados en las ontologías fueron añadidos al final de la consulta en orden de importancia menor, pero con la finalidad de que se tengan en cuenta también para la búsqueda de sensores.

4.1.8.4 Vista de Servicios

Es un modelo que establece las interfaces a desarrollar con respecto a los servicios web de los objetos y los servicios web del índice mismo. Estos servicios pueden ser consumidos por el buscador semántico y por aplicaciones de terceros que deseen

reutilizar su funcionalidad. Se presentan los principales tipos de servicios de los 24 servicios desarrollados:

- Los servicios básicos desarrollados del índice son métodos que parten de una consulta en lenguaje natural y retornan los sensores que pueden suplir la necesidad de información detectada en dicha consulta.
- Los servicios de Geolocalización se desarrollaron basados en el API de Geonames y la información que poseen en sus bases de datos. Los servicios desarrollados en el índice permiten obtener lugares cercanos a partir de un texto en lenguaje natural relacionado a un lugar y lugares cercanos a determinada ubicación geoposicional y las divisiones políticas asociadas, con el fin de encontrar las áreas en donde se localizan los sensores encontrados en la consulta.
- Los servicios web de los sensores permiten encapsular los servicios REST del Servidor IoT, para el caso de estudio del servidor Xively. Los métodos definidos obtienen los metadatos y datos de los sensores en formato JSON y con la posibilidad de establecer un rango de tiempo en la consulta de los datos
- Finalmente, se construyeron los servicios contextuales del caso de estudio en Información de contaminación medioambiental. Los servicios permiten identificar Biotipos a partir de los datos geo-posicionales de los sensores devueltos como resultado de la consulta. También ofrece métodos para analizar las diferentes variables de la ontología seleccionada y categorizar los sensores encontrados en cada variable.

4.1.9 Buscador Semántico para el Web de Objetos

Los buscadores de internet tradicionales están asociados a documentos que son tratados en una sola dimensión, buscando información concreta que no se está esperando que cambie en función del tiempo u otra variable. En la IoT, los documentos representan algún fenómeno físico o algunos sucesos que se desean medir, los ejemplos van desde eventos meteorológicos seguidos por sensores como también existencias de productos en almacenes monitoreadas por artículos tecnológicos tales como etiquetas RFID.

Los dispositivos que se desea recuperar están asociados a lo que se denomina “entidades en el IoT”, estos dispositivos se representan por un flujo de información que cambia en función del tiempo, adicionalmente también puede cambiar el lugar geográfico o sitio donde está ubicada la entidad estudiada, a esto se le denomina Dinamismo de Datos.

4.1.9.1 Escenario de Aplicación del Buscador

A continuación se presentan las características que debe presentar el buscador:

- Realiza las consultas en función de los conceptos o significados, extrayendo toda esta información de los recursos de conocimiento y de los metadatos

asociados a los dispositivos, esto lo diferencia de los buscadores tradicionales que se basan en palabras claves.

- Analizar y clasificar los conceptos al extraerlos y relacionarlos a los dispositivos utilizados por diversos controles para ser mostrados a los usuarios de una forma más conveniente para su posterior uso o reutilización.
- Para la visualización de los datos se puede valer de mapas, graficas, calendarios y así permitir comprender la información más fácilmente, en comparación con los buscadores tradiciones que sólo presentan un pequeño texto que contiene la palabra clave de la consulta para tratar de entender cuál es el contenido del recurso.
- Los conceptos en el buscador están asociados a la variable de tiempo y a los sitios o lugares donde se encuentran los fenómenos o eventos que se quieren monitorear, por este motivo, la información producida es un flujo que se debe diagramar, a diferencia de los datos continuos que tradicionalmente se requieren en los buscadores de propósito general.

4.1.9.2 Escenario de Motivación

La necesidad de buscar información en la IoT por parte de las personas o aplicaciones relacionadas con los dispositivos que pueden percibir y monitorear fenómenos físicos y climáticos, proponen nuevas necesidades de información y se están planteando soluciones que deben ser probadas y estandarizadas para su uso a nivel global.

Haciendo un rastreo inicial de la información contenida de dispositivos en los servidores de IoT, la mayoría son de información climatológica; por ello, esta área se convirtió rápidamente en la primera opción para desarrollar la prueba del buscador semántico. Por lo anterior, la ontología que se desarrolló fue en contaminación medioambiental y se incorporó como entrada para el algoritmo de indexación.

La primera interfaz (Figura 24) del buscador actúa como un buscador genérico. Si se cambia la ontología, el resultado será sensores en el contexto de la nueva ontología. Sin embargo, las interfaces de las Figura 25, Figura 26 y Figura 27 se desarrollaron con la finalidad de demostrar el uso de los servicios del índice en una aplicación hecha a la medida, para el caso el análisis de la información medioambiental y la calidad del aire en Colombia.

4.1.9.3 Principales Interfaces Desarrolladas

El buscador semántico se encuentra en <http://semanticsearchiot.net/sswot/SearchWoT/>. En la Figura 24, se puede apreciar como el usuario puede registrarse o ir al módulo de administración en caso de tener los privilegios. Una vez registrado e iniciada la sesión se muestra su nombre debajo del cuadro de búsqueda de texto. No es necesario iniciar sesión para realizar una búsqueda, esto se diseñó con el propósito de evaluación. Antes de realizar la búsqueda el usuario puede seleccionar su idioma preferido o una combinación de ambos, esta selección afectará fundamentalmente la expansión de consulta.



Figura 24. Interfaz de Búsqueda Inicial

Una vez que el usuario ha comprendido que tipo de pregunta realizar y en que dominio, puede realizarla en lenguaje natural, es importante que realice la consulta en el lenguaje seleccionado, ya que esto permitirá realizar la expansión de consulta adecuadamente.

Una vez que el usuario ha digitado su consulta, el buscador realiza primero una expansión de la consulta, esta expansión la realiza con un servicio web (<http://semanticsearchiot.net/sswot/WebServiceExpansionConsulta/ExpansionConsulta.aspx>) el cual toma la ontología de contaminación medioambiental y genera conceptos hijos y relacionados a la consulta original.

SEMANTIC SEARCH ON INTERNET OF THINGS

INICIO • REGISTRARSE • ADMINISTRAR • ACERCA...

Soportado en el Servidor de Objetos Xively.

Devices nearest to Bucaramanga could get me environment information like air pollutants? Buscar

Log in - Idioma Preferido: Español Inglés Ambos

Resultados de la búsqueda (Response time + Environment + Ambiente + habitat + Medio Ambiente + Environment Medium + Agentes Contaminantes + Pollutants + Vanadio + Vanadium + Plomo + Lead + Particulate Matter Less than 10 microns + PM10 + Material Particulado Menor a 10 micrómetros + Monóxido de Carbono + Carbon Monoxide + CO + Ozono + Ozone + O3 + Partículas Sólidas + Solid Particles + Nitrogen dioxide + NO + NO2 + Dióxido de nitrógeno + Fluor + Fluorine + Iltratos + Iltrates + SO2 + Dióxido de Azufre + Sulfur dioxide + Arsénico + Arsenic + Sustancias Orgánicas + Organic Substances + Cadmio + Cadmium + Cromo + Chrome + Óxido de Azufre + Sulfur oxide + Berilio + Beryll + Partículas Suspensas Totales + Total Suspended Particles + PST + Óxidos de Nitrógeno + Nitrogen Oxides + Mercurio + Mercury + Sulfatos + sulfates + Niquel + Nickel + Asbestos + + + + + (Information + Info) + (like + the like) + &devices &near &Bucaramanga &could &get &me &information &like &air). Total 25 - Tiempo Consulta: 1,119603 segundos

ID Dispositivo	Nombre del Sensor	Localización	Descripción	Lat	Lng	¿Relevante?
452485984	Bucaramanga	Bucaramanga	Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	7.11331	-73.120468	<input type="checkbox"/>
1422637955	El Tambo	El Tambo	Simulador Estación Meteorológica del Departamento del Cauca. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	2.4534228676818	-76.8037033081055	<input type="checkbox"/>
1942345911	Lebrija	Lebrija	Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	7.11471566995142	-73.2183408737183	<input type="checkbox"/>
1155676551	Floridablanca	Floridablanca	Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	7.06095774037291	-73.0876421928406	<input type="checkbox"/>
1509142040	Toribío	Toribío	Simulador Estación Meteorológica del Departamento del Cauca. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	2.9475624981474	-76.2712097167969	<input type="checkbox"/>
1898258902	Timbío	Timbío	Simulador Estación Meteorológica del Departamento del Cauca. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	2.34845834458275	-76.6856002807617	<input type="checkbox"/>

Figura 25. Resultados de la Búsqueda de Información en el Buscador

En la Figura 25, se puede apreciar el resultado de la búsqueda realizada por el usuario. Para el caso se escogió que utilizara una expansión y búsqueda por los dos idiomas (español e inglés), tal como se aprecia se identifican los conceptos de la consulta y se expanden privilegiando conceptos hijos. Posteriormente, se presentan los resultados con una lista de sensores ordenados por relevancia, de los cuales se espera cumplan con las necesidades de información del usuario. En “ID dispositivo” de la tabla correspondiente al identificador del sensor en el servidor Xively y dando clic en el enlace, los usuarios pueden ver los metadatos de los mismos directamente en el portal de Xively.

En el ejemplo de la Figura 25, de la lista de sensores recuperados, en las primeras posiciones de la lista aparecen lugares y ciudades cercanos a Bucaramanga, una variación en la pregunta o en los conceptos detectados, puede generar sensores de otros lugares alejados de Bucaramanga. Para solucionar esto, inicialmente se intentó detectar los lugares geográficos que escribe el usuario en la misma consulta, esto se hace a través del servicio GEONAMES; sin embargo, muchos nombres de lugares eran iguales a nombres y palabras del lenguaje natural y esto hacía que la consulta generara muchos lugares no deseados, otra opción era que el usuario seleccionara el lugar específicamente, pero esto le quitaba la fluidez y sencillez que se requiere en un buscador web. Al final, se agregan las palabras no detectadas como conceptos al final de la consulta, con el fin de que los lugares se detecten por las descripciones de metadatos de los sensores que previamente han sido indexados.

Aunque el nombre del sensor de la Figura 25, es el lugar donde están desplegados los sensores encontrados, por convención en el proyecto de sensores virtuales se decidió colocar como nombre del sensor la ciudad, pero los propietarios de los dispositivos pueden colocar allí nombres diferentes, incluso nombres de ciudades en

las cuales el sensor realmente no está ubicado; por ello, este metadato no se pudo utilizar para detectar el lugar del sensor. Dado lo anterior, se decidió utilizar los metadatos geo-posicionales (Lat, Lng), los cuales son también aportados por los propietarios, pero se espera que estos datos si sean más cercanos a la realidad por ser tan específicos. De esta forma, cuando el usuario presiona el botón “Detectar Biotipos”, lo que hace la aplicación es buscar en orden de lista los datos geo-posicionales del sensor, luego busca en GEONAMES la ciudad o lugar habitado más cercano al mismo, calcula la distancia geográfica entre los dos puntos y si es menor a 100 kilómetros se agrupa el sensor en dicho lugar, buscando el área política de primer orden ya que depende del país donde se encuentre, lo mismo se realiza con los siguientes sensores y así se obtiene una lista de lugares (Biotipos) habitados con sensores relacionados (ver Figura 26). El radio del Biotipo detectado puede variarse y realizar una nueva búsqueda con el botón “Buscar Sensores”, pudiendo encontrar más o menos sensores dependiendo si se amplía o reduce el área de análisis.

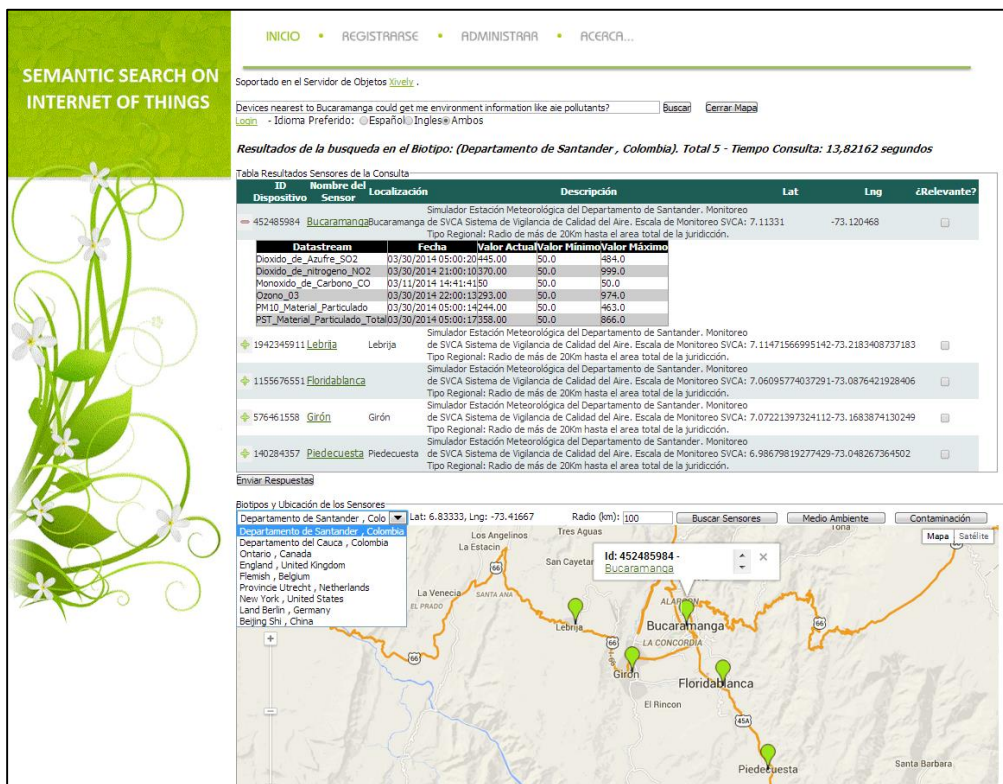


Figura 26. Biotipos y Sensores Detectados en el Buscador Semántico

En la Figura 26, también se puede apreciar la ubicación de los sensores en el Biotipo, dando clic en los globos verdes del mapa, se puede visualizar el nombre del sensor y navegar al sitio web del servidor IoT donde se pueden consultar sus metadatos y datos.

Otro elemento importante de esta interfaz es que el usuario puede explorar los metadatos los “Datastreams” de cada dispositivo haciendo clic en el icono “más” de la primera columna. Lo interesante, es que estos datos se obtienen directamente del

índice y por eso su uso y visualización es muy rápido, sin necesidad de ir al servidor IoT para su consulta. Para los datos en tiempo real se diseñaron otras interfaces para su aprovechamiento y en este caso se crea un servicio web para la consulta en el servidor.

Aunque la consulta original del ejemplo buscaba sensores cercanos a la ciudad de Bucaramanga, en el análisis de biotipos se detectaron ciudades de diferentes partes del mundo, esto es lógico ya que la ciudad es un término de la consulta que se tienen en cuenta para la búsqueda, pero existen más conceptos con este valor. Es importante anotar también, que los biotipos se presentan en el orden de relevancia en que se generó la lista de sensores relevantes, así tenemos que en las primeras posiciones de Biotipos se esperaría encontrar los biotipos y sensores más relevantes a lo que se busca, tal como ocurre en el ejemplo.

Finalmente, se desarrollaron dos funcionalidades adicionales a los de un buscador tradicional, para aprovechar los datos de los sensores en tiempo real en el dominio seleccionado, estas son ejecutadas con los botones: “Medio ambiente” y “Contaminación”, los cuales se presentan en la siguiente Figura 27.

Precipitation

Calidad del Aire

ID Dispositivo	Nombre del Sensor	Localización	Descripción	Lat	Lng
576461558	Girón	Girón	Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio 7.07221397324112-73.1683874130249 de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.		
452485984	Bucaramanga	Bucaramanga	Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio 7.11331 de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.	-73.120468	

Dispositivo	Datastream	Fecha	Valor Actual	Valor Mínimo	Valor Máximo
452485984	Dioxido_de_Azufre_SO2	03/30/2014 05:00:20	445.00	50.0	484.0

Medición	Fecha
317.00	2014-04-02T05:00:28.124362Z
432.00	2014-04-03T05:00:34.471717Z
406.00	2014-04-04T05:00:33.898408Z
340.00	2014-04-07T05:00:41.806242Z
497.00	2014-04-08T05:00:44.713030Z
357.00	2014-04-09T05:00:47.693091Z
489.00	2014-04-10T05:00:51.907090Z
354.00	2014-04-11T04:59:56.692423Z

452485984	Dioxido_de_nitrogeno_NO2	03/30/2014 21:00:10	370.00	50.0	999.0
452485984	Monoxido_de_Carbono_CO	03/11/2014 14:41:41	50.00	50.0	50.0
452485984	Ozono_O3	03/30/2014 22:00:13	293.00	50.0	974.0
452485984	PM10_Material_Partificado	03/30/2014 05:00:14	244.00	50.0	463.0
452485984	PST_Material_Partificado_Total	03/30/2014 05:00:17	358.00	50.0	866.0

1942345911Lebrija Lebrija Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio 7.11471566995142-73.2183408737183 de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.

1155676551Floridablanca Simulador Estación Meteorológica del Departamento de Santander. Monitoreo de SVCA Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, Escala de Monitoreo SVCA: Tipo Regional: Radio 7.06095774037291-73.0876421928406 de más de 20Km hasta el área total de la jurisdicción.

Air Quality

Figura 27. Análisis de variables Medioambientales por Biotipo

En la Figura 27, se puede apreciar el resultado por análisis de variables ambientales, las cuales son contenidas en la ontología de dominio debajo del concepto de biotipo en la Figura 25. En este caso ya no utiliza el resultado de los sensores retornados

sino el biotipo seleccionado y los sensores dentro de su área de acción. Se puede cambiar el radio de acción del Biotipo, las fechas de medición y presentar una página categorizada con cada una de las variables ambientales, los sensores encontrados y la posibilidad de consultar sus mediciones históricas y/o actuales. Lo mismo se hace con la opción de “Contaminación”, pero este se enfoca en encontrar las variables relacionadas con la contaminación del aire en dicho Biotipo.

En este punto se pueden programar las alertas cuando un sensor este reportando mediciones por fuera del rango definido en cada una de los países dependiendo de sus regulaciones locales, aunque esta funcionalidad se desarrollara en la próxima versión.

Con el fin de ampliar la información de implementación refiérase al anexo 5.

4.1.10 Evaluación del Buscador Semántico

Para la evaluación del buscador semántico se decidió utilizar estadísticas orientadas a los usuarios, como la Precisión at K y el índice Kappa. Inicialmente se evaluó la capacidad de encontrar dispositivos con sensores que respondan las preguntas de los usuarios en el dominio de la contaminación medioambiental, no se evaluó la detección de biotipos o la clasificación de variables por medioambiente y por contaminación, lo cual se deja para revisión en la próxima versión del buscador. Otro elemento importante es que no se hacen predicción de flujos o mediciones, ya que el proyecto se enfoca en la indexación semántica para encontrar dispositivos con sensores que se puedan reutilizar en aplicaciones, para el caso el índice semántico provee la funcionalidad como un conjunto de métodos en un servicio web que es consumido, en este caso, por el buscador semántico creado.

Aunque el buscador semántico permite consultar cualquier sensor que estuviese registrado en el servidor Xively al momento de hacer la indexación, la prueba se realizó enfocándose en la búsqueda de los sensores virtuales (60 en total) en tres regiones de Colombia²², creados con la finalidad de recopilar los datos semánticos de los dispositivos diseñados explícitamente para la calidad del aire, teniendo en cuenta la normatividad y estandarización Colombiana para tal fin.

Los pasos seguidos para a evaluación fueron: primero se definió el conjunto de preguntas que realizarán los usuarios que utilizarán el buscador, luego se seleccionó el grupo de usuarios que realizaron la prueba de acuerdo a unas características definidas, posteriormente se desarrolló la prueba recopilando los datos de las evaluaciones en línea en un BD local y finalmente se analizaron los resultados.

²² Documento del proyecto de sensores virtuales de medición de calidad del aire en tres regiones de Colombia: <https://sites.google.com/site/websemanticaiot/documents/Creaci%C3%B3n%20de%20sensores%20virtuales%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf?attredirects=0>. Consultado el 23/09/2014.

4.1.10.1 Definición de Preguntas a Realizar en el Buscador Semántico

Las características de las preguntas deben ser analizadas con especial cuidado para garantizar resultados fiables de relevancia de los documentos evitando vicios que pudieran desviar las mediciones. En la Tabla 12, se presentan las preguntas con las cuales se realizó las pruebas y las características que se buscaban tener en cada una de ellas.

ID Pregunta	Pregunta	Descripción
1	Calidad del aire en Santander	En esta pregunta se incluye el nombre de una región y un término muy general como lo es la calidad del aire. Así lo que se desea saber aquí si el buscador puede ubicar adecuadamente la región o biotipo y los dispositivos que miden variables de Calidad del Aire
2	Agentes contaminantes en el Cauca	En esta pregunta asume que la necesidad de información del usuario está relacionada con un conjunto de variables bajo un solo concepto y es encontrar dispositivos relacionados a todos los agentes contaminantes del aire.
3	Monóxido de carbono en Santander	En esta consulta se plantea un elemento muy específico, el objetivo es verificar la capacidad del buscador para encontrar unidades de información muy detallada que se encuentren en una región o diferentes regiones
4	Contaminación en new york	En esta pregunta se presenta un concepto muy común que se puede encontrar en cualquier región del mundo. La idea es demostrar que es posible encontrar dispositivos de otras regiones del mundo

Tabla 12. Preguntas de referencia en el Dominio de Calidad del Aire

4.1.10.2 Selección de los Usuarios de la Prueba

Las características de los usuarios se definieron teniendo en cuenta lo siguiente: personas con nivel de escolaridad universitaria, que posean conocimiento sobre medio ambiente y contaminación medioambiental y que tengan un promedio de edad similar. Finalmente, se escogieron 13 estudiantes de sexto semestre de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Popayán, con edades entre los 19 a 22 años.

4.1.10.3 Recolección y Análisis de los Datos

4.1.10.3.1 Indicadores de Relevancia Utilizados

En este punto es importante medir la relevancia de la información recuperada por el buscador IoT implementado; para esto, se han utilizado ciertas métricas encaminadas a determinar la relevancia de un sistema de recuperación de información que retorna dispositivos clasificados por relevancia (*ranked*), en los cuales se evalúa la precisión At k [93] y la precisión media (MAP). Para la precisión At k tenemos la siguiente fórmula (Ecuación 1):

$$PrecisionAt_k = \frac{\sum_{i=1}^k Rel(i)}{k}$$

Dónde $Rel(i)=1$ Si el dispositivo es relevante, y k es el tamaño de la lista de los primeros k dispositivos

Ecuación 1. Precisión At k

Podemos calcular la precisión promedio de cada uno de los evaluadores que clasificaron los resultados (Ecuación 2):

$$AP = \frac{\sum_{k \in K} PrecisionAt_k * Rel(k)}{Relevantes}$$

Donde $PrecisionAt_k$ es la precisión en el recall point k , $Rel(k)$ es una función que indica 1 si el dispositivo es relevante (0 si no lo es) y K son posiciones de ranking con dispositivos relevantes

Ecuación 2. Average Precision (AP)

Para nuestro caso no conocemos de antemano todos los dispositivos relevantes, así se puede utilizar una fórmula alternativa para calcular el AP (Ecuación 3):

$$APrecisionAt_k = \frac{\sum_{k \in K} PrecisionAt_k * Rel(k)}{\min(m, n)}$$

Donde n es el máximo número de dispositivos que se están entregando en la lista, y m es el número de dispositivos marcados como relevantes por el evaluador.

Ecuación 3. Average Precision At k

Una vez calculada la precisión promedio de cada evaluador, se puede calcular la media de las precisiones promedios de varios usuarios, así la ecuación el índice MAP es (Ecuación 4):

$$MAP = \frac{\sum_{q=1}^Q APrecisionAt_k(q)}{Q}$$

Donde Q es el número de consultas y q la consulta actual

Ecuación 4. Mean Average Precision (MAP)

Por otro lado se consideró importante evaluar la concordancia entre los jueces, esto lo hacemos con las métricas de Kappa Cohen en la cual se tienen en cuenta dos jueces y Kappa Fleiss que se tienen en cuenta (m) jueces, así:

$$Kappa_c = \frac{P_a - P_e}{1 - P_e}$$

Dónde P_a es la proporción de las veces en que los jueces están de acuerdo, y P_e es la proporción de las veces en las que podría esperarse que estén de acuerdo por azar

Ecuación 5. Kappa Cohen

$$P_a = \frac{\sum_{i=1}^r n_{ii}}{N}$$

Dónde r es el número de categorías de clasificación, y n_{ii} son las frecuencias conjuntas de los jueces están de acuerdo en la misma categoría, N es el número total de dispositivos para ser categorizado.

Ecuación 6. Cálculo de la Probabilidad de Acuerdo

$$P_e = \sum_{i=1}^r \frac{n_{i.} * n_{.i}}{N^2}$$

Dónde $n_{i.}, n_{.i}$ es la frecuencia marginal de cada categoría de cada evaluador. La frecuencia marginal es la sumatoria de frecuencias por categoría de cada evaluador.

Ecuación 7. Cálculo de la Probabilidad de Acuerdo debido al Azar

Para el Kappa Fleiss tenemos:

$$Kappa_F = \frac{\bar{P}_a - \bar{P}_e}{1 - \bar{P}_e}$$

El factor $1 - \bar{P}_e$ da el grado de acuerdo que es alcanzable por encima del azar, y, $\bar{P}_a - \bar{P}_e$ da el grado de acuerdo alcanzado realmente por encima del azar. Si los evaluadores están en completo acuerdo entonces $Kappa_F = 1$, Si no hay acuerdo entre los calificadores entonces $Kappa_F \leq 0$

Ecuación 8. Kappa Fleiss

Para interpretarlo se puede utilizar la propuesta de Landis and Koch [94] que se resume en la Tabla 13:

Kappa	Grado de Acuerdo
< 0,00	sin acuerdo
>0,00 - 0,20	Insignificante

0,21 - 0,40	Discreto
>0,41 - 0,60	Moderado
0,61 - 0,80	Sustancial
0,81 - 1,00	casi perfecto

Tabla 13. Interpretación de resultados Kappa

4.1.10.3.2 Planeación y Ejecución de la Prueba

A continuación se presentan los pasos definidos para la ejecución de prueba:

1. **Ambientación del Tema:** Se inició con una breve introducción 10 minutos a los conceptos de la IoT, los dispositivos y sus sensores, se explicó las características del buscador semántico y el dominio de aplicación que era la contaminación medioambiental, haciendo énfasis en tres regiones de Colombia, además del objetivo de la prueba a desarrollar.
2. **Recopilación de datos:** A los evaluadores se les informó que debían realizar 4 consultas (preguntas) predefinidas (Tabla 13) al buscador y relacionadas con el dominio de la contaminación medioambiental, para posteriormente realizar una evaluación de cada dispositivo retornado así: si el dispositivo encontrado tenía los sensores que podían ayudar a contestar dicha pregunta, se les indicó que debían marcarla como “Relevante”, en caso contrario, no colocar nada para una evaluación “No Relevante”. Participaron 13 jueces que emitieron juicios de relevancia sobre cada uno de los dispositivos encontrados por el buscador y cuya muestra se determinó que fuera limitada a 25 dispositivos como máximo por consulta realizada.
3. **Validación de los datos recopilados:** Una vez se recopiló la información en la Base de Datos se procedió a validar si la información obtenida era consistente; es decir, si los evaluadores habían escrito (copiado) las preguntas de manera exacta y si habían realizado el proceso de calificación adecuadamente. Se encontró que siete de los evaluadores cometieron serios errores al momento de hacer la consulta y algunos colocaron la misma con diferente ortografía y hasta incompletas, generando así resultados diferentes en los documentos retornados, otros no ejecutaron todas las preguntas y otros enviaron dos y tres veces la calificación de un mismo resultado, por todo lo anterior se decidió descartar los datos de éstos jueces, quedando solo la información de seis jueces que hicieron el proceso correctamente.
4. **Codificación de datos y medidas generales:** En la recopilación de datos se identificaron 2 categorías (r) de resultados (1=Relevante), (0=NO relevante). El número de jueces con datos válidos fue de 6 (n) y el número total de dispositivos en la lista de resultados del buscador semántico fue de 25 (N) en todas las consultas.

4.1.10.3.3 Análisis de Resultados

Los resultados del índice MAP para cada consulta se puede ver en la Tabla 14

Consulta	Índice MAP
1	67,5%
2	97,2%
3	81,9%
4	63,3%

Tabla 14. Resumen de Precisión Promedio para cada consulta

Comparando el índice MAP para cada uno de las consultas realizadas en la prueba, se puede verificar que se obtienen valores superiores a 60%, de lo que se puede inferir que los evaluadores determinaron como relevantes un mayor número de documentos en las primeras posiciones de la respuesta del buscador en todas las consultas. Las consultas 2 y 3 se encuentran por encima de 80% lo que determina una precisión excelente dada por el sistema.

		Juez 5		Total
		No Relevante	Relevante	
Juez 6	No Relevante	81	0	81
	Relevante	4	15	199
Total		85	15	100

Tabla 15. Tablas de contingencia de los Jueces 5 y 6

Con el fin de afianzar los resultados del índice MAP se decidió utilizar la métrica Kappa, la cual es una medida de concordancia entre evaluadores. Se midió inicialmente la métrica Kappa Cohen, la cual determina la concordancia entre pares de Jueces. Para implementar esta métrica se tomaron al azar tres pares de jueces de los seis evaluadores. Se presentan los resultados del par de jueces 5 y 6 en las tablas de contingencia acumulada de las cuatro consultas, es decir que cada juez analizó 100 dispositivos (ver Tabla 15). Finalmente, se presentan los resultados discriminados por consultas (ver Tabla 16).

No. Consulta	Kappa Cohen		
	Juez 1, Juez 2	Juez 3, Juez 4	Juez 5, Juez 6
1	0	.286	.865
2	.516	1	.865
3	0	1	.884
4	.336	.627	.779
Total	.293	.778	.859

Tabla 16. Resumen de Kappa de Cohen por Consulta

Tal como se puede observar en la Tabla 16, para el resumen de kappa del juez 1 y juez 2, en las consultas 1 y 3 se presenta un “No acuerdo” absoluto. Revisando los datos reportados por el juez 1 en dichas consultas reportó todos los 25 dispositivos como no relevantes para estas consultas, a diferencia de los demás jueces que evaluaron ciertos dispositivos como relevantes en las mismas consultas, lo cual nos lleva a pensar que el juez 1 pudo haber enviado las calificaciones a través del sistema sin haber evaluado los dispositivos; sin embargo, cabe la posibilidad que si allá evaluado éstos dispositivos de esta forma y por ello se incluyen en los resultados finales, así podemos ver que el juez 1 y el juez 2 tienen un acuerdo “discreto”.

Por otro lado, el reporte de acuerdo presentado por los otros dos pares de jueces es superior a 0,77, para el cual se puede decir que es un acuerdo “Sustancial”, corroborando que la percepción de los jueces es similar y no debida al azar, así la precisión calculada con el índice MAP y Kappa de Choen nos indica que las preguntas son consistentes con los resultados y le permite a los usuarios identificar el dispositivo que se encuentran en el dominio de búsqueda, estas consultas retornaron en las primeras posiciones los resultados de los sensores virtuales desarrollados y posteriormente sensores relacionados, permitiendo evidenciar que efectivamente la semántica recopilada permite identificar claramente el tipo de sensores que coinciden con la búsqueda.

Finalmente, se consideró evaluar el acuerdo de todo el grupo de jueces, esto se logra calculando la medida estadística para evaluar la fiabilidad de un acuerdo entre un número fijo de calificadores con Kappa de Fleiss (Tabla 17).

Consulta	Capa Fleiss	Grado de Acuerdo
1	0.455992923	Moderade
2	0.832506203	Almost Perfect
3	0.642857143	Substancial
4	0.580223881	Moderade

Tabla 17. Resumen de Kappa Fleiss para cada consulta

En las consultas 1 y 4 se presentó una concordancia “Moderada”, esto se debe a que en la consulta 1 los jueces 1, 2, 3 y 4 mostraron poco acuerdo, por otro lado el resultado en la consulta 4 se esperaba, ya que se elaboró buscando una región diferente a la de los sensores virtuales desarrollados (New york); sin embargo, un acuerdo moderado es un buen resultado que permite evidenciar inicialmente que el buscador es capaz de obtener resultados relevantes para cualquier región diferente a la de los sensores virtuales creados. Para las consultas 3 y 2, los resultados fueron muy significativos indicando que los dispositivos retornados en general son relevantes y que con un número relativamente bueno de jueces el resultado es consistente.

4.1.11 Caso de Estudio Alternativo: Aplicación Móvil de Monitoreo de calidad del Aire

Teniendo el índice semántico construido en el campo de la contaminación medioambiental es posible general aplicaciones que consuman los servicios desarrollados en el mismo contexto pero con diferentes funcionalidades. Para el caso se decidió desarrollar un proyecto de clase de la Materia Proyecto I en el programa de Ingeniería de sistemas de la Universidad del Cauca y se les pidió a un grupo de 5 estudiantes que desarrollaran una aplicación móvil para que evaluara la calidad del aire por dónde estaba pasando el usuario, así el índice recibe consultas sobre contaminación medioambiental y retorna un listado de dispositivos que cumplen con la consulta. A partir de esta información se debe crear una aplicación móvil para terminales Windows Phone que permita generar alertas, que indiquen sobre la contaminación del aire medida por estos dispositivos. Las alertas deben tener en cuenta los niveles establecidos por la normatividad Colombiana.

Debido a limitaciones de presupuesto se crearon un conjunto de sensores virtuales que miden calidad del aire, subiendo su información en el servidor Xively. Se geolocalizaron los sensores en tres facultades de las instalaciones de la Universidad ubicados en diferentes puntos estratégicos. Posteriormente se utilizó uno de los métodos del índice semántico que permite indexar en el índice existente los nuevos sensores. Así la aplicación móvil permite que los usuarios pueden crear sus propios dispositivos en Xively y posteriormente indexarlos para que la aplicación los pueda usar dependiendo del contexto.

El contexto utilizado fue de proximidad del sensor a la ubicación del móvil del usuario, además del cálculo del índice de contaminación del aire que se mide a partir de la medición de varios tipos de contaminantes que son medidos por varios sensores y de acuerdo a la normatividad colombiana, con el fin de crear alertas al usuario para que tome acciones para evitar inhalar el aire cuando se presente una situación peligrosa.

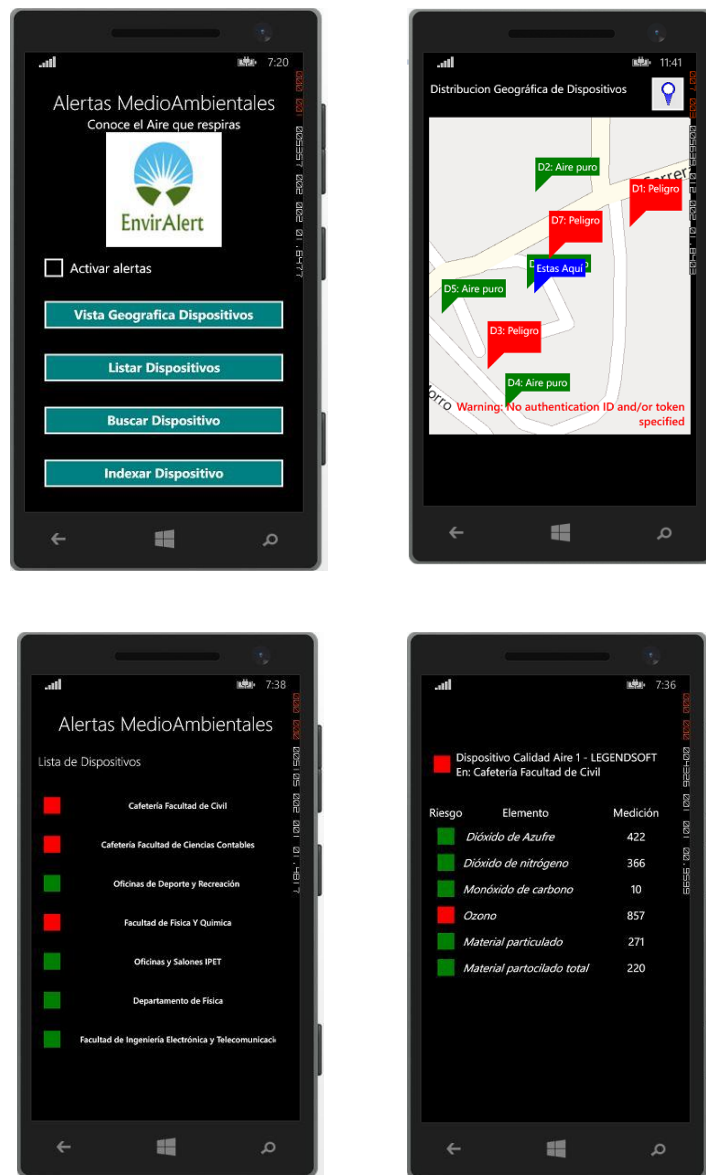


Figura 28: Interfaces de la Aplicación Móvil de Monitoreo de Calidad del Aire

En la Figura 28 se puede observar cuatro interfaces de la aplicación móvil. En la primera (superior-izquierda) se aprecia toda la funcionalidad, una de ellas es la “vista geográfica de Dispositivos”, (figura superior-derecha) que permite acceder a la información de la ubicación de los sensores y de su estado, representado por colores y textos, en general el verde implica que todos los sensores calculan un índice de calidad de “aire puro” y el rojo una alerta de “peligro”, dada por uno o varios sensores que han detentado mediciones por encima de los límites permitidos para salud de los humanos. El color azul representa la ubicación actual del usuario medida por el GPS de su terminal móvil. En las figuras inferiores (figura inferior-izquierda) se puede apreciar un resumen de los sitios que presentan buena calidad del aire (verde) y mala calidad del aire (rojo), escogiendo una de las ubicaciones (figura inferior-derecha) se

presenta el detalle de las mediciones de cada propiedad observada y cual está generando la contaminación y en qué nivel.

Así la aplicación permite determinar la calidad del aire por dónde el individuo va caminando y envía alertas al dispositivo cuando encuentre una situación de alerta.

Este último escenario demuestra cómo se puede utilizar el índice creado para desarrollar aplicaciones a la medida para la IoT. Para los detalles de implementación ver al anexo 6.

4.1.12 Conclusiones del Método de Indexación Semántica Propuesto

Las conclusiones del capítulo se presentan a continuación:

1. La instanciación del método permitió desarrollar un índice semántico para la IoT en el campo del dominio de contaminación medio ambiental. Sin embargo, se tuvo que tomar decisiones de diseño en ciertos pasos con el fin de solventar adecuadamente el índice, entre ellos, la construcción de una ontología en el campo de contaminación ambiental, lo cual llevo un tiempo significativo. El método utilizado para crear la ontología basado en herramientas CASE existentes, disminuyo el tiempo de desarrollo de la misma y permitió hacer una buena aproximación.
2. La selección del servidor IoT fue otro paso que demando bastante trabajo, ya que se tuvo que estudiar cada uno y revisar completamente sus documentaciones, crear clasificaciones e indicadores de selección. Sin embargo, este trabajo puede facilitar la selección del mismo para posteriores instancias del método.
3. La documentación desarrollada paso a paso y en carpetas instanciando el método propuesto del índice, permitió organizar adecuadamente la construcción del mismo y realimentar el método a la vez que se iban tomando las decisiones de diseño. Para el caso particular esto llevo a eliminar dos actividades y a unir otras dos de las propuestas inicialmente.
4. Aunque el método propuesto en la fase III, se definen tareas específicas de indexación semántica (análisis léxico, eliminación de palabras vacías, Lematización, indexación), para el caso de estudio, la decisión de reutilizar API's de desarrollo como Lucene.Net y modelos estandarizados como en vectorial, permitió resolver éstos procesos de construcción con dichas herramientas, facilitando un desarrollo rápido y eficiente. Para un estudio que quiera aplicar sus propios métodos y se enfoque más en ello, sería necesario construir sus propios módulos aumentando el proceso de construcción.
5. La decisión de realizar una expansión de consulta y un proceso de anotación semántica de listas de conceptos en los documentos de los sensores, permitió que el modelo vectorial arrojará resultados bastante precisos con sensores que más conceptos tienen del dominio de la ontología aplicada al índice. Sin embargo, castiga la ubicación del lugar ya que éste queda al final de la consulta, lo cual se podría mejorar haciendo un ranking posterior por sitio, esto se solucionó en parte con la detección de Biotipos.

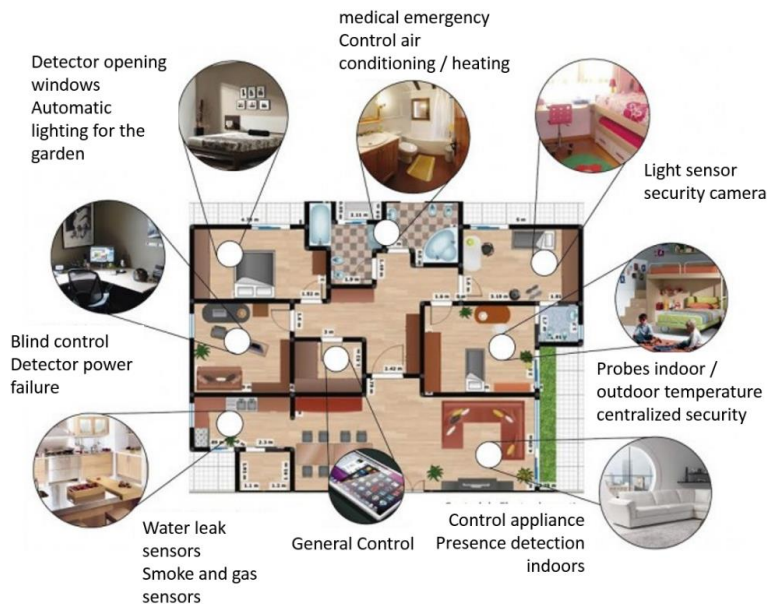
6. El proceso de detección de Biotipos fue apoyado con el API de Geonames. Un aporte interesante fue como se pudo determinar el mismo a partir de las ubicaciones de latitud y longitud de los sensores existentes en los resultados de la consulta del usuario.
7. La posibilidad de cambiar la ontología de dominio y generar un índice semántico que expone su funcionalidad mediante servicios web, permite que se puedan reutilizar los mismos sensores en diferentes ámbitos, conduciendo a una reutilización de su información por cualquier aplicación y objetivos.
8. Finalmente, aunque el uso de las herramientas CASE facilitó varios procesos de implementación, la curva de aprendizaje es alta para utilizarlas adecuadamente y es un factor que se debe tener en cuenta al momento de crear un índice con respecto a los tiempos de desarrollo.

Capitulo 5 Escenario de Interacción Semántica en la WoT

En este punto del proyecto se ha definido completamente el modelo de interacción semántica para la WoT y es necesario iniciar implementaciones enfocadas a su prueba, por ello se ha realizado una prueba de concepto con el fin de analizar las fortalezas, debilidades del modelo y su impacto en la construcción de este tipo de escenarios de interacción en la WoT.

5.1 Caso de Estudio: la Casa Inteligente

Actualmente se promocionan casas domóticas con un conjunto integrado de sensores, actuadores y controladores, es decir RIoT con los cuales se pueden automatizar diversos servicios tal como se presenta en la Figura 29: Ejemplo de la Casa Inteligente.



*Source: <http://www.dintelo.es/sistemas-domoticos-para-viviendas/>

Figura 29: Ejemplo de la Casa Inteligente

Se ha creado un escenario de interacción semántica denominado *casa inteligente*, la cual tiene normalmente un conjunto integrado de sensores, actuadores y controladores, es decir RIoT con los cuales se pueden automatizar diversos servicios.

El escenario será contextualizado (indexado) mediante la ontología DogOnt [95], que identifica entidades de interés y propiedades de interés en domótica. Esta ontología fue adaptada con las etiquetas en español e inglés para que el servicio pueda reconocer los dos idiomas, el resto se dejó como los autores la presentaron en su versión original.

5.2 Despliegue físico y de servicios del escenario

Para la primera versión del escenario se va a hacer uso de un solo espacio, específicamente la sala o “*living room*” como entidad de interés y varias propiedades de interés medidas con sensores así (Ilustración 1):

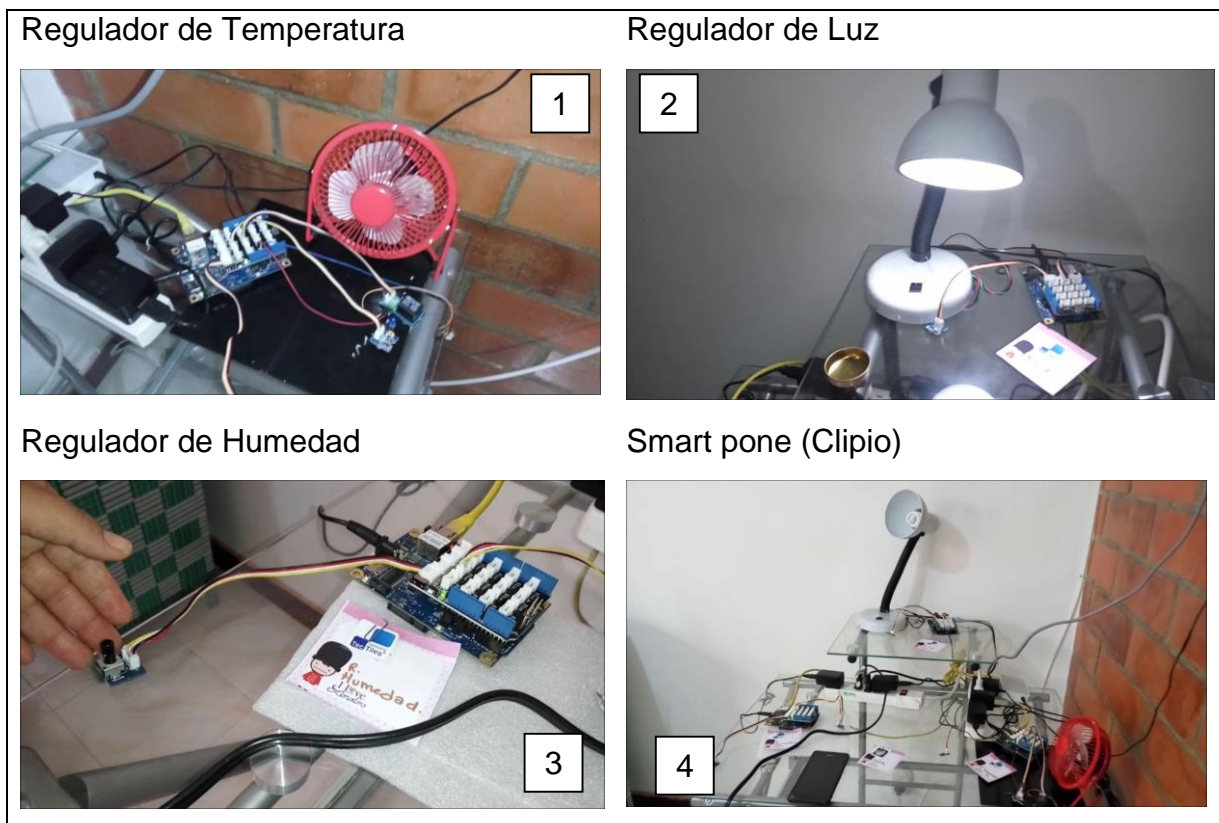


Ilustración 1: Objetos Inteligentes del Escenario de Interacción Semántico Físico

1. Regulador de Temperatura - CT: Este servicio le permite al usuario establecer la temperatura deseada (PI) en la cual se debe mantener en el *living room*. Contiene dos actuadores: subir temperatura con un termostato y un ventilador para bajar la temperatura. Contiene un conjunto de sensores de temperatura (LM34) desplegados por el *living room*.
2. Regulador de Luz – RL: Este servicio es capaz de mantener un nivel de luz deseado en el *living room*. Contiene un actuador: una bombilla que se puede ajustar su intensidad de luz. Contiene un conjunto de sensores que miden la intensidad de luz (foto resistores analógicos LDR07) desplegados por el *living room*.
3. Regulador de humedad en una materia: Permite controlar la humedad requerida por una planta en una maceta, dentro del *living room*, Contiene un actuador que permite agregar agua a la planta. Contiene un sensor que mide la humedad del suelo de la planta.
4. Clipio: Corresponde al Smart phone desde el cual se coordina y controla el escenario por parte del usuario humano.

Se tiene como controlador de cada servicio anterior una tarjeta Galileo, creando así los objetos inteligentes o RIoT. Se busca crear un escenario de interacción con los dispositivos anteriores con el fin que el usuario pueda monitorear y definir nuevos servicios, como producto de la interacción inteligente entre los dispositivos. El usuario podrá interactuar y gestionar el escenario y sus elementos por medio de una aplicación móvil construida para gestionar este tipo de escenarios, llamada *Clipio*.

Esta aplicación se comunica con las entidades de interés y los RIoT a través de etiquetas NFC, permitiéndole al dispositivo móvil contextualizar de primera mano los dispositivos y sus servicios que pueden ser utilizados para iniciar un proceso de interacción semántica entre dispositivos. Adicionalmente, se comunica con mensajes MQTT con los diferentes dispositivos y soportado en los servicios del índice semántico construido para el escenario doméstico. Para mayor información de la implementación se puede referir al anexo 7.

5.3 Pasos para crear el escenario de interacción semántica en la casa inteligente

En este contexto se puede desplegar la arquitectura propuesta, para esto se realizaron los siguientes pasos generales que propone el modelo creado:

1. Se dotaron de capacidad de procesamiento, almacenamiento y comunicación cada uno de los RIoT. Esto se ha hecho con tarjetas Galileo instaladas con un sistema

ligero en Linux²³ y la programación del monitoreo se realiza con phyton, creando así los RIoT descritos en el apartado anterior.

2. Se suscribieron los RIoT al servidor IoT Xively, creando los dispositivos (FeedId) y sus sensores (datastreams). Posteriormente se realizaron anotaciones semánticas en los metadatos de los dispositivos y sus sensores en la interfaz web de Xively, con el fin de identificar de manera primaria tipos de datos, atributos de contexto (*temperatura, humedad, intensidad de luz, etc.*) y entidades de interés relacionadas (*living room*), además de cualquier tipo de información relevante en sus descripciones.
3. Se seleccionó un Broker MQTT (iot.eclipse.org con librerías Paho) para gestionar los mensajes que deben enviar cada uno de los RIoT (Galileos) entre si y la aplicación Clipio.
4. Se desarrollan los servicios básicos²⁴ de los RIoT en cada Galileo, creando los siguientes servicios:
 - a. Monitoreo constante: Toma la información de los sensores y la publican en el servidor IoT Xively a través del servicio web del API (contexto primario).
 - b. Gestor de Mensajes MQTT: Se implementa un módulo que permite publicar o suscribirse al bróker MQTT previamente seleccionado para el escenario de interacción.
 - c. Alertas y notificaciones: Verifica si un sensor reporta mediciones que activan una condición y realiza una publicación de la misma hacia un canal MQTT o servicio de red social como una cuenta de Twitter (contexto secundario).
 - d. Estados de las Entidades de Interés: Almacena en un log lo que está sucediendo en cuanto a estados de las entidades de interés. Ej. regando planta, luz incrementada, etc. que posteriormente se puede publicar con el servicio de alertas y notificaciones.
 - e. Control inteligente básico: Realiza las operaciones básicas para las que fue construido cada RIoT. Ej. regar la planta cada vez que la humedad este por debajo de un valor específico.
5. Se realiza la indexación de los RIoT existentes a través del módulo indexador, de acuerdo a una ontología de dominio específico (DogOnt), con la cual se clasifican y relacionan a un conjunto de conceptos relacionados a las anotaciones semánticas iniciales.
6. El índice semántico creado, expone la información de los dispositivos relacionados a una consulta en lenguaje natural mediante un conjunto de servicios web, para que las aplicaciones, usuarios y otros RIoT los puedan consumir. Cuando cada RIoT crea su ontología OS debe consultar la información en el índice. Cuando las aplicaciones necesitan los datos, también se pueden consultar en el índice, ya que este conoce como consultar el servidor IoT Xively en este caso para devolver la

²³ Se utilizó una imagen de Linux Yocto, con herramientas para programación en Python y librerías necesarias para el manejo de XML, Servicios Web y MQTT.

²⁴ En el escenario se les denominó también servicios inteligentes, ya que son servicios de regulación y control con los que vendrían originalmente cada uno de los RIoT.

información requerida. Si se han desarrollado funciones de contexto secundario, estas pueden ser consultadas también en el mismo índice.

7. El escenario se activa con la presencia del usuario en el espacio definido (living room), esto se hace mediante una etiqueta RFID ubicada en dicho espacio, la cual lee la aplicación móvil Clipio, ésta procede a realizar una consulta al índice semántico por los dispositivos que están relacionados al living room en esa ubicación, posteriormente se recibe una lista ponderada de los dispositivos que pueden ser utilizados para la monitorización y creación de nuevos servicios. Clipio envía un mensaje a los RIoT seleccionados indicando que deben cargar las ontologías OS con la información del índice semántico y programaciones personalizadas previas por el mismo usuario, colocándolos en un estado de alerta para recibir mensajes y monitorear el entorno.
8. Para la interacción entre RIoT se implementaron formatos de mensajes en XML de acuerdo al estándar definido por el Open Group [57], en el cual se encapsulan los métodos, datos y metadatos almacenados en la ontología OS de cada RIoT. Cada vez que un RIoT envía un mensaje, consulta la ontología OS mediante una consulta SPARQL, genera el XML, lo encapsula en el mensaje MQTT y lo envía por el canal en el que publica. El RIoT que se suscribe al canal recibe el mensaje MQTT, obtiene el XML, lo analiza y ejecuta las acciones solicitadas. Los mensajes pueden solicitar datos, metadatos, ejecución de métodos y cambios de estado, tal como se definió en el modelo de servicios de escenario. Este proceso se repite hasta que los servicios solicitados sean detenidos por el usuario.
9. La estrategia para crear nuevos servicios utiliza el siguiente proceso:
 - a. El usuario abre la interfaz para crear nuevos servicios de interacción con Clipio.
 - b. Se aplica el modelo ECA definido en la ontología OS, para esto consulta los sensores y actuadores disponibles por parte de todos los RIoT participantes, posteriormente despliega una interfaz en la que el usuario selecciona el evento (sensor), define la condición (valor sensor >, <, =, etc. que un valor de referencia) y finalmente la acción (actuador con un estado “prendido”, “ejecutando”, etc.).
 - c. Solicita los datos faltantes al usuario si es necesario, en caso de no tener toda la información de los dispositivos. Valida los tipos de datos y verifica que si sea posible crear dicha interacción.
 - d. Al crear el ECA se encapsula en un XML y se envía por MQTT a los dos dispositivos RIoT, los cuales lo almacenan en sus ontologías OS respectivas. Cada dispositivo analiza el ECA y genera las publicaciones y suscripciones necesarias para que empiece a ejecutarse en el mismo en el escenario, ocurriendo lo que se describió en el punto 8.
10. Finalmente, el escenario se desactiva con la salida del usuario del espacio al detectar que entro a otro espacio (lectura de otro RFID) o cuando el mismo usuario cancela la interacción directamente.

5.4 Evaluación del Escenario de Interacción Semántica

Para evaluar el escenario lo primero que se hizo fue establecer en la literatura que indicadores o proyectos similares se podía utilizar para realizar las mediciones y posteriormente hacer la evaluación del mismo, ya que aunque utiliza el índice semántico como fuente de descubrimiento y contextualización, los indicadores utilizados en la recuperación de la información están diseñados para medir la relevancia de la información buscada y no la interacción semántica. A continuación se presenta los resultados de la investigación, los indicadores finalmente tomados y la evaluación realizada.

5.4.1 Referentes de Evaluación en Interacción Semántica de la WoT

Para realizar la evaluación de los servicios prestados por el escenario de interacción semántica de objetos en la WoT, se realizó una revisión bibliográfica (ver Anexo 8), encontrando que una de las medidas más citadas es la de calidad del servicio – “*Quality of Service*” - QoS en servicios de la IoT. Lamentablemente esta medida aún no se ha adecuado suficientemente para el servicio basado en la interacción semántica de los objetos de la WoT, además que los referentes aun la ubican en un punto subjetivo y que depende de los objetivos de las aplicaciones, la percepción de calidad del usuario e incluso del mismo hardware desplegado.

Se decide no manejar los indicadores de QoS referidos a la gestión de recursos como batería, procesamiento, ancho de banda, precisión o calidad de la medición ya que el objetivo de medición es la interacción entre los objetos inteligentes y no calidad en esos aspectos. Sin embargo, si se retoman las medidas relacionadas a:

1. **Duplicación de tareas para la tolerancia a fallos [96]:** En este sentido se identificaron tareas críticas como el envío de mensajes MQTT al servidor que se replica diez veces, con el fin de asegurar la llegada del paquete al mismo y su replicación a los consumidores. Igualmente los procesos de lectura de metadatos y cambios de estado se revisan por lo menos tres veces para asegurar una lectura completa.
2. **Configuración de los mensajes para dar un mejor tiempo de respuesta [97]:** En este sentido se realizó un sistema de multi-hilos en el cual se busca organizar y sincronizar los mismos con procesos redundantes, sobre todo en la lectura de estados de los dispositivos.
3. **El valor de QoS incorpora requisitos de los consumidores, proveedores y participantes de la red necesarios para apoyar la interacción [98]:** En este sentido se evaluó ya en un capítulo anterior la funcionalidad de

búsqueda de dispositivos que cumplan con los requerimientos del usuario. Por lo tanto este indicador fue incorporado previamente al escenario.

4. **Interactividad, Retardo y Criticalidad [99]:** Estos indicadores son retomados en la siguiente forma: La interactividad corresponde a las consultas que realizan los usuarios al índice semántico para detectar los dispositivos y sensores que puede utilizar en el escenario, no se mide el tiempo real y tampoco la Criticalidad. El retardo si es un indicador que se midió en los experimentos del escenario bajo el nombre de **latencia de Interacción** y con él podemos establecer una QoS de Interacción. Finalmente la Criticalidad se tuvo en cuenta al momento de enviar los datos al servidor Middleware y el servidor MQTT, con el fin de asegurar la llegada de los datos de los sensores y de los estados de los actuadores ya que son procesos críticos del sistema.
5. **Latencia²⁵ y gestión de la latencia²⁶:** La latencia definida por la norma como el máximo tiempo de retardo permitido para la comunicación de un mensaje y la gestión de la latencia en la difusión de datos definida como el asegurar la entrega oportuna de los datos del sensor de acuerdo con los requisitos globales y en tiempo real, fueron tomadas como elementos principales a ser medidos en las pruebas.

Otros indicadores importantes que se encontraron fueron la medición de sobrecarga y tiempos de latencia propuestos en el trabajo de [Römer, et al. [47], Ostermaier, et al. [48]], sin embargo los probaron para medir la relevancia de un buscador IoT llamado Dyser y fueron más adaptadas como recuperación de información que de interacción.

Analizando los trabajos de QoS y los indicadores utilizados, para el presente proyecto se decidió adaptar el indicador de latencia a los mensajes enviados y recibidos por los dispositivos cuando están interactuando. Así que se definió en el siguiente apartado.

5.4.1.1 Latencia de Interacción - LI

La latencia se puede entender como el tiempo transcurrido desde que un usuario (objeto inteligente o persona) hace una consulta o envía un mensaje, hasta que los resultados son retornados.

En el modelo propuesto es conveniente discriminar los tiempos que se suman en los diferentes módulos y bases, por ello el indicador es discriminado en esos tiempos tal como se presenta en la Ecuación 9. Así es posible establecer en donde se pueden producir la mayor cantidad de latencia en el funcionamiento del sistema.

²⁵ Recomendación D4.2.2 de la norma IEEE 802.15.4 de Calidad del Servicio en la red sensor.

²⁶ La recomendación D5.1.2 plantea que debe realizarse la adquisición de datos basado en la utilidad.

$$\text{Latencia Interacción} = tr - tc$$

Ecuación 9: Fórmula de Latencia de Interacción

Dónde las variables se definen a continuación:

- Tiempo de Consulta (tc): Es el tiempo en el cual se inicia una solicitud de consulta – envío de mensaje por un usuario.
- Tiempo de Retorno (tr): Es el tiempo en el cual finaliza la consulta - envío realizado, presentando los resultados al usuario.

Los tiempos de latencia de interacción específicos pueden ser (Ejemplos):

- Tiempo de Consulta al Índice (tci): Es el tiempo en el cual el índice recibe una solicitud de consulta y retorna los resultados al proceso que lo solicita.
- Tiempo de Consulta al Sensor (tcs): Este tiempo es el que demora el dispositivo inteligente en retornar los resultados solicitados al usuario.

5.4.2 Calidad del Servicio en Interacción - QoSI

Teniendo en cuenta que los tiempos de latencia de interacción, se puede medir una calidad de servicio de interacción – QoSI. Los resultados de las operaciones sobre el escenario deben ser en tiempos de unos pocos segundos (“Home Maestro [100]”)²⁷ o mejor, menor de un segundo, para que sean clasificados como tiempo real [101]. Se toma este último tiempo como referencia para los experimentos y se define la siguiente tabla para su interpretación cualitativa con respecto al QoSI:

Rango de LI (décimas de segundo)	QoSI	Descripción
[0,0 – 7,99]	Excelente	El tiempo de respuesta es el mejor para la percepción de los usuarios
[8,0 – 9,99]	Bueno	El tiempo de respuesta es aceptable para los usuarios.
Mayor de 10 o más	Deficiente	El tiempo es inaceptable y se pierde interés por parte del usuario.

Tabla 18: Cálculo de QoSI relacionado a la Latencia de Interacción

²⁷ HomeMaestro: A platform for intuitively defining home appliance behavior. <http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/projects/homeos/homeos-demos.htm>, Consultado el 06 de Diciembre de 2015. En el artículo establecen un tiempo menor de 10 segundos como aceptable para la comunicación de servicios.

5.4.3 Diseño y Ejecución de los Experimentos

Consiste en tres fases:

1. Probar la funcionalidad básica con el fin de determinar errores de primera mano y corregirlos. Medición de tiempos generales y no tan precisos.
2. Realizar pruebas de funcionalidad para corregir problemas detectados en la primera prueba exploratoria. Medición de tiempos generales y no tan precisos.
3. Desarrollar una batería de pruebas en combinatoria de posibilidades de interacción con el fin de encontrar el comportamiento del sistema en cuanto a sobrecarga y latencia. Medición de tiempos muy precisos

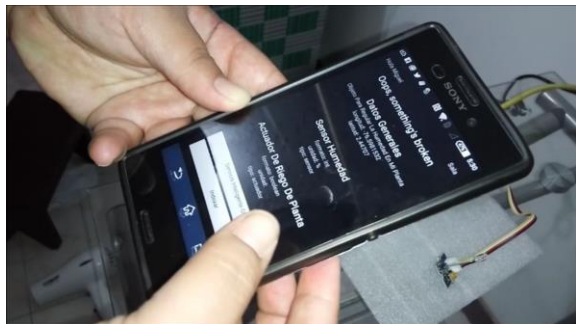
5.4.3.1 Primera Prueba de Funcionalidad

Para la primera fase se ejecutaron una a una cada una de las funcionalidades (caso de uso) del escenario construido y se fue tomando nota de los tiempos de demora obtenidos (ver Anexo 9).

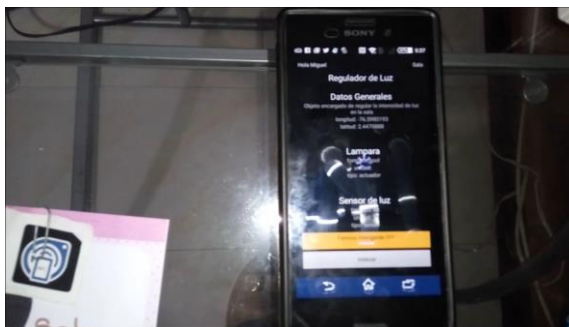
metadata_query 1



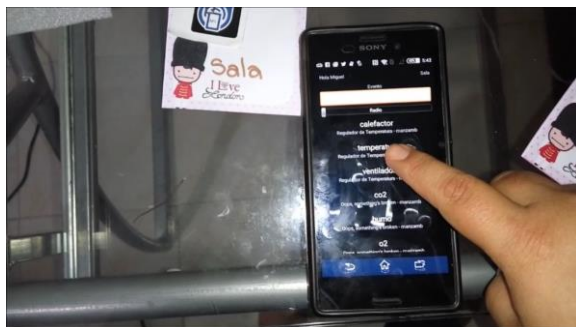
metadata_query 2



set_basic_state



eca_gen1



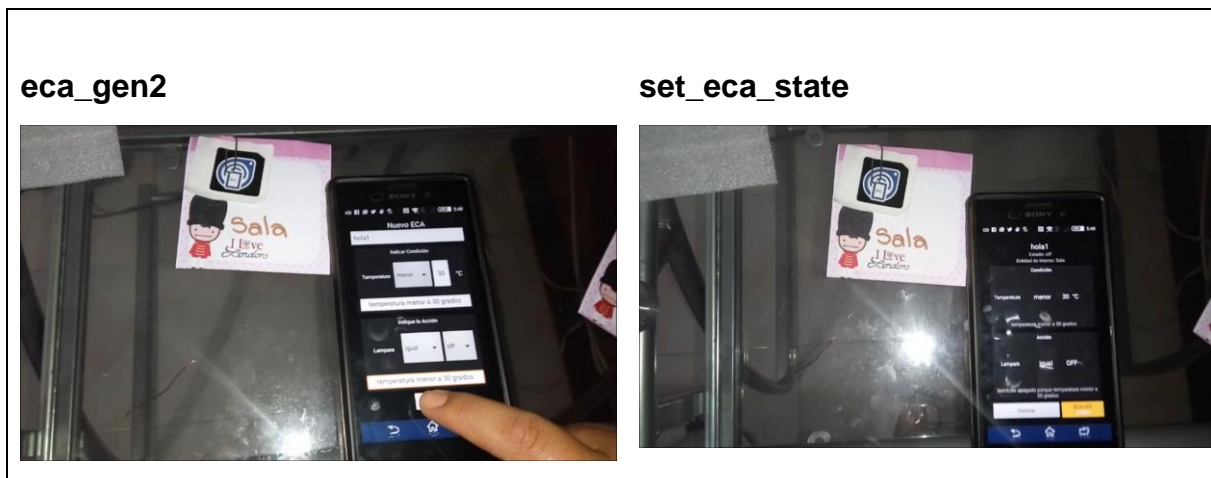


Ilustración 2: Imágenes de los procesos físicos en el Escenario de Interacción Semántica

La Ilustración 1 presenta las acciones del usuario para manipular el escenario de interacción semántica en la sala de su casa. Con el fin de identificar los grandes procesos se asignaron claves a cada uno tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Clave	Descripción
metadata_query	Permite consultar los metadatos de un objeto. Inicia cuando el usuario acerca un tag NFC al dispositivo móvil y termina cuando se le presenta la información de metadatos al usuario. Todos los objetos inteligentes están suscrito al canal coordinador.
set_basic_state	Le permite al usuario activar o desactivar el servicio inteligente.
eca_gen	Son los procesos realizados para almacenar un ECA en los objetos inteligentes, en este caso tanto en el emisor como el receptor.
set_eca_state	Permite activar o desactivar un ECA, para lo cual inicia los procesos de publicación y suscripción a través del bróker MQTT.
eca_delete	Permite eliminar un ECA previamente construido

Tabla 19: Asignación de claves a los principales procesos del escenario

Cada uno de los grandes procesos tiene pequeños subprocesos que se resumen en el anexo 10. Esta primera evaluación se hizo con tiempos percibidos por el usuario.

Los cuales inicialmente fueron deficientes, con respecto a la Tabla 18. Los principales resultados se resumen en la siguiente tabla:

Caso de Uso	Tiempo de Respuesta (LI)	Realimentación
Creación ECA servicio inteligente. (set_eca_state)	11 segundos para realizar la activación. 6,58 segundos para la desactivación.	Se observó que es necesario presentarle al usuario la información del estado de la comunicación entre los objetos inteligentes, para los dos tipos de servicios ofrecidos por la solución, con una interfaz amigable al mismo. Del mismo modo se requiere la opción de visualizar el tiempo de cada comunicación, los agentes que intervienen en la misma.
Caso de uso ver objeto (metadata_query)	2 – 3 segundos de respuesta	Se observó que la información presentada no es amigable al usuario
Geo posicionamiento (eca_gen)	Tiempo variable de 10 a 30 segundos	Cuando el usuario iniciaba la consulta por palabras clave la respuesta del índice podía no ser tan precisa obligando al usuario a escribir más palabras clave o buscar en una lista de dispositivos retornados hasta encontrar el dispositivo correcto.
Creación ECA I (eca_gen)	Superior a 12 segundos	Creando un ECA que regula la temperatura en el mismo dispositivo. El tiempo es muy alto.
Activación de ECA (set_eca_state)	El tiempo de respuesta para activar el servicio es de 16,505 segundos y de 6,928 para desactivarlo	Se creó el ECA correspondiente a la regulación de luz en la entidad de interés. Sin embargo el tiempo de respuesta sigue siendo muy alto.
Caso de uso eliminar servicio (eca_delete)	tiempo aproximado de eliminación es de 5 segundos	La eliminación del servicio (ECA) fue exitosa pero con un tiempo muy alto.

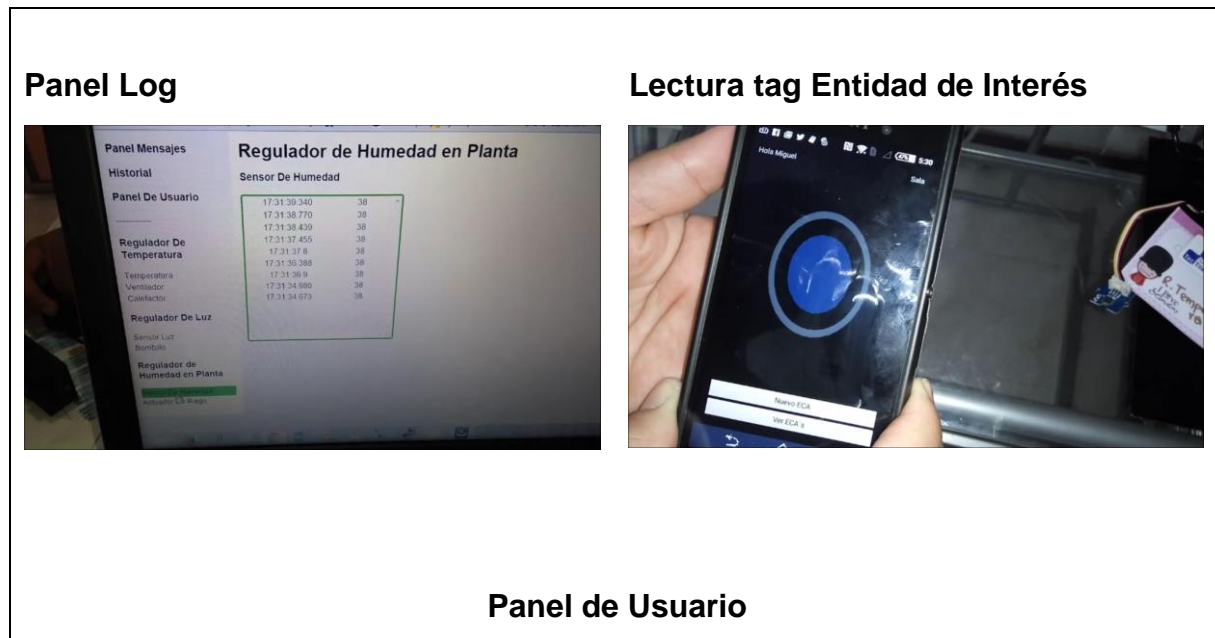
Creación de servicio de interacción (eca_gen)	El tiempo de respuesta es de 21.216 segundos para activarlos y 5,92 segundos para desactivarlo.	Creación de ECA entre dos dispositivos inteligentes diferentes, conectando sensores – actuadores de uno con actuadores de otro, por ello se llama servicio de interacción. Los tiempos muy altos. Además se obtuvieron tiempos más grandes cuando se realizaron más servicios por el orden de los 75 segundos.
Creación de un ECA usando un sensor como acción (eca_gen)	S No se midió tiempos.	Es preciso probar todas las opciones que se le presentan al usuario, el ECA se inicia con el evento como un sensor o actuador que pertenece a otro objeto inteligente y como acción se toma el sensor de temperatura, Clipio presenta una alerta de error y no permite la creación del ECA. Lo mismo ocurre cuando el evento es un sensor o actuador que pertenece al mismo objeto.
Prueba a Clipio I	No se midió tiempos.	Prueba exitosa, el sistema se congestionó cuando se crearon 37 ECAs diferentes y dejó de funcionar. Se realizó eliminación manual de todos los archivos xml tanto en Clipio como en el objeto inteligente y se reiniciaron los componentes del escenario.
Prueba a Clipio II	No se midió tiempos	Cuando se activa o desactiva un servicio, Clipio no almacena el estado actual del mismo. En la base de datos no queda almacenado el tiempo de respuesta de desactivación de los ECAs. Como tampoco el cambio de estado de la propiedad de interés, y el tiempo de respuesta del sistema para ejecutar el ECA correspondiente

Tabla 20: Resultados Primera Fase de Evaluación de Funcionalidad

5.4.3.2 Arreglos Realizados después de la primera fase de pruebas

Se realizaron los siguientes ajustes a la implementación (Ilustración 3):

1. Se revisaron los diferentes módulos de los objetos inteligentes y se implementaron ejecución a través de hilos para evitar los retrasos presentados por esperas infinitas de terminación de un solo proceso que hacía la revisión de toda la funcionalidad.
2. Se incorporó una etiqueta NFC para la entidad de interés y se almacenaron los datos de Geo-posicionamiento con el fin de aumentar la precisión de búsqueda de los dispositivos al usuario cuando crean los servicios.
3. Se creó un panel de usuario ("Panel User") con mensajes entendibles a nivel del mismo, es decir relacionando la entidad de interés y sus estados con el fin de aumentar la amigabilidad al mismo.
4. Por otro lado con el fin de almacenar los tiempos de cada uno de los procesos ejecutados en el escenario se decidió enviar mensajes a una aplicación Web denominada "Panel Log", la cual permite visualizar al usuario el comportamiento del mismo y almacenar en una base de datos los tiempos necesarios para realizar las tareas del escenario montado.
5. Se arreglaron los problemas de sincronización de Clipio con los ECAS y otras correcciones con el fin de mejorar sus tiempos de respuesta y por ende la latencia del sistema.



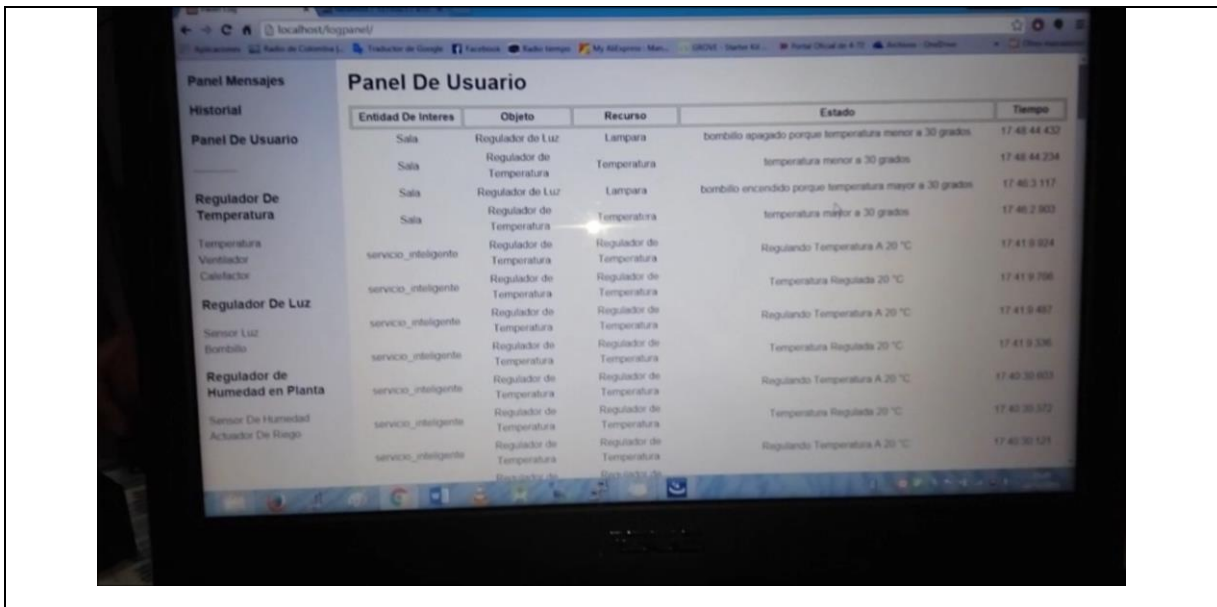


Ilustración 3: Imágenes de Mejoras al Escenario con Panel de Visualización y Tag de EI

5.4.3.3 Segunda Prueba de Funcionalidad

El objetivo de esta fase es revisar si los arreglos desarrollados han permitido mejorar la funcionalidad y a la vez empezar a crear una batería de pruebas de ECA de interacción semántica.

Para la fase de la evaluación del prototipo del escenario, se llevó a cabo en las instalaciones de la universidad del Cauca, en la oficina 422. La conexión a la red se realiza mediante el punto de acceso ubicado en esta oficina, el cual no está dedicada a la realización de las pruebas, las velocidades son de 9.76 Mbps para descarga y de 17,9 Mbps para la velocidad de carga; la red es compartida aproximadamente con 70 usuarios constantes.

Las interacciones planteadas se presentan en la siguiente tabla, para el funcionamiento del servicio que requiere más de una condición, es preciso realizar un ECA para cada condición.

Servicio	Evento	Condición	Acción	
			Actuador	Estado
1	Temperatura	T>50 °C	Riego	ON
	Riego	ON	Ventilador	ON

2	Luz	$L < 30$	Calefactor	ON
	Temperatura	$T < 50 \text{ }^\circ\text{C}$	Bombillo	ON
3	Humedad	$H > 60\%$	Ventilador	ON
	Ventilador	ON	Riego	ON
4	Servicio regulador de temperatura activo y se toma como condición a la temperatura	$T > 10$	Riego	ON
	Servicio regulador de temperatura activo y se toma como condición a la temperatura	$T < 10$	Riego	OFF
5	Servicio regulador de humedad activo y se toma como condición a la humedad	$h > 50$	Ventilador	ON
5.1	Servicio regulador de humedad activo y se toma como condición a la humedad	$h < 50$	Calefactor	ON
6	Temperatura	$t > 50 \text{ }^\circ\text{C}$	Riego	ON
6.1	Humedad	$H > 60\%$	Ventilador	ON
6.2	Riego	ON	Calefactor	ON

Tabla 21: Plan de Pruebas de la Segunda Fase de Pruebas del Escenario

Como resultado se observó que no existe variación de tiempos para la creación activación y desactivación de ECAs, así como también se observó que si un ECA tiene como evento un actuador, éste debe esperar que se cumpla la condición de cambio del actuador para pasar a realizar el siguiente ECA, en conclusión, el tiempo de respuesta no cambia, solo se percibe como mayor debido a que se requiere cumplir dos condiciones, para percibir el cambio.

Los demás elementos como la amigabilidad al usuario, la recuperación de los sensores específicos al usuario y la información de tiempos se mejoró, sin embargo es necesario revisar mejor el funcionamiento del sistema para mejorar los tiempos de respuesta. En el anexo 11 están los detalles de la prueba.

5.4.3.4 Arreglos Realizados después de la segunda fase de pruebas

Los arreglos fueron:

1. Revisión del modelo de hilos desarrollados con el fin de evitar los problemas de sincronización entre los mismos.
2. Mejora de los tiempos de lectura de los metadatos XML y de la ontología OOS para reducir los tiempos de respuesta.

5.4.3.5 Tercera Prueba de Funcionalidad

Para esta prueba se analizaron todas las posibles combinaciones para llevar a cabo la interacción entre objetos inteligentes en la web de las cosas con los recursos desarrollados (ver anexo 12).

Para la primera parte de la prueba se deja activo uno de los servicios inteligentes y se toma los actuadores de los otros dos para realizar las posibles combinaciones, tomando como evento tanto al sensor como el o los actuadores. La siguiente fase se crea interacciones en cascada, tomando cada uno de los sensores como evento y en los casos que correspondan los actuadores, pero con la condición de que sea un sensor el que cambia su estado.

Estas pruebas se llevaron a cabo en una red domiciliaria, externa a las instalaciones de la universidad del Cauca, con un ancho de banda de 5 Megas, una velocidad de bajada de 400 Kbps y una velocidad de subida de 1 M. como también se realizaron pruebas conectados a la red de la oficina 422, la cual es compartida y con las condiciones similares a la segunda prueba.

De las anteriores pruebas se observó:

1. Cuando el servicio inteligente se encuentra activo y se toma como evento el valor de la temperatura, no se refleja un comportamiento conflictivo con los servicios de interacción, tanto así que se puede desactivarlos y los servicios de interacción continúan funcionando correctamente. Cuando los actuadores asumen el rol de evento, como es de esperar, si se desactiva el servicio inteligente el servicio de interacción sigue funcionando, pero si los actuadores no sufren cambios externos, no se puede observar el cambio de los servicios de interacción. En este punto se descubrió que los actuadores sólo pueden ser activados o no únicamente desde Clipio, se recomienda mejorar este aspecto y permitir que Clipio pueda reconocer el estado de los actuadores, cuando se los activa desde el mundo físico.
2. Para cada interacción se repite el cambio en la propiedad de interés diez veces para observar bien el comportamiento, la respuesta del sistema es bastante homogénea.
3. Algunas interacciones utilizan los mismos objetos pero en diferentes direcciones de la interacción (ECAS inversos), al final del experimento se

- observó que el comportamiento era igual, se decidió no explorar estas opciones ya que la prueba total duraba entre 7 a 8 horas por una batería completa.
4. Como prueba se activó las interacciones en cascada paralelamente con los servicios inteligentes, a lo cual el sistema empezó a presentar conflictos en cuanto a qué condición deben cumplir, se observó inicialmente un comportamiento de encendido y apagado de forma asincrónica, después conserva el estado condicionado por el servicio inteligente. La decisión es que cuando se realicen servicios de Interacción se desactive el servicio básico inteligente para evitar comportamientos extraños.
 5. Cuando se deja activo sólo un servicio inteligente y los ECAs tratan de cambiar el estado de su/sus actuadores el comportamiento es similar, el sistema le da prioridad de acción al servicio inteligente.
 6. Cuando se activan ECAs que modifican el estado del mismo actuador de forma contradictoria, éste responde de forma intermitente a las condiciones contrarias, pero después se comporta de acuerdo al primer ECA activado, esto debido a que el sistema funciona con hilos paralelos.
 7. Los errores observados en el funcionamiento del sistema se deben principalmente a la congestión de la red, cuando se tiene una red dedicada, la pérdida de la comunicación fue nula, mientras que cuando la red es compartida, la tasa de pérdidas de comunicación fue considerable.
 8. Otra fuente de error fue el de carácter humano, cuando el usuario olvidaba desactivar ECAs y activaba nuevos ECAs que tomaban comportamiento conflictivo. Se observó que es preciso mejorar la interfaz de usuario para la activación y desactivación de los mismos.
 9. Las interacciones funcionan igual para los tres condicionales utilizados, pero se observó comportamiento conflictivo cuando se realizan las condiciones mayor y menor al mismo valor y la misma entidad de interés, el sistema no sabe cuál condición se debe cumplir primero.
 10. Cuando se realiza el proceso de eliminación o cambio de estado de un ECA, pero ocurre un error de comunicación entre Clipio y los objetos inteligentes, ya que éstos no alcanzan a eliminarlo o a cambiar su estado presentando conflictos que desencadenan acciones contradictorias. Como conclusión se requiere que cada vez que se inicia el sistema, Clipio debe realizar una consulta en los objetos inteligentes y actualizar su base de datos de estado de ECAs.
 11. También se observó que el sistema es aún inestable en ciertos momentos y que cuando ocurre un error no se le avisa al usuario para que realice las respectivas correcciones.
 12. Los tiempos de respuesta mejoraron considerablemente y por lo tanto se procedió a realizar la medición de los retardos (Latencias) con tiempos precisos y con un análisis adecuado el cual se presenta en el siguiente apartado.

5.4.3.6 Análisis de Latencia de los Experimentos Realizados al Escenario

Los pasos realizados para el análisis fueron:

1. Las mediciones de latencia se aplicaron a los grandes procesos que se realizan en el escenario (ver Tabla 19). Los tiempos corresponden a la latencia exacta desde que sale el mensaje de inicio hasta que llega la confirmación con el mensaje de finalización. Los tiempos percibidos pueden ser un poco mayores por demora en recomposición de los datos al usuario.
2. Se recogió una tabla de mediciones que guardaba todos los mensajes enviados entre los objetos del escenario y finalmente se realizó un proceso de análisis de tiempos de latencia por proceso.
3. Se realizaron pruebas por día, así se tomó un total de 7 pruebas, en los cuales se analizaron tiempos promedios.
4. No todas las pruebas se realizaron ejecutando los mismos ECAS, ya que cada prueba buscaba probar una funcionalidad determinada, sin embargo los tiempos promedio permiten resolver el problema de las diferencias en cantidad de registros recopilados.
5. Dado que en algunos momentos las mediciones individuales tenían unos tiempos en el extremo de la función normal promedio, se procedió a eliminar los extremos para evitar estas distorsiones.
6. Se almacenaron los tiempos eliminados por aparte con el fin de determinar qué es lo que sucedía en esos puntos.

Se presentan algunos de los resultados obtenidos, para ver los resultados totales refiérase al anexo 13. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

5.4.3.6.1 Análisis de la Prueba1

Se recopilaron un total de 7.824 mensajes de tiempo en cada uno de los subprocesos y procesos ejecutados en el escenario de interacción semántica. Los tiempos se midieron en segundos, pero con el fin de visualizar las gráficas adecuadamente se presentan en décimas de segundos (ds).

5.4.3.6.1.1 Medición de Latencia en Lectura de Metadatos

FECHA	GRUPO	PROMEDIO (ds)
21/11/2015 0:00	1	3,682
23/11/2015 0:00	2	4,2397
24/11/2015 0:00	3	6,0997
25/11/2015 0:00	4	4,435
26/11/2015 0:00	5	4,8821
27/11/2015 0:00	6	4,0096
28/11/2015 0:00	7	7,4913
TOTAL		4,7242

Tabla 22: Latencia Promedio de Lectura de Metadatos de los Objetos Inteligentes

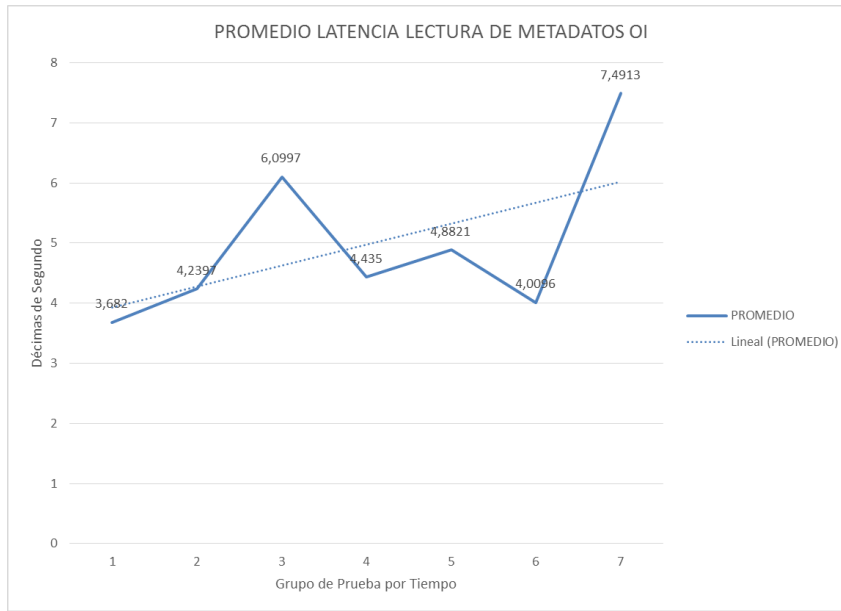


Figura 30: Tendencia de la Latencia Promedio en la Lectura de Metadatos del Objeto Inteligente

Los tiempos reportados presentan una latencia promedio de 4,72 décimas de segundo y teniendo como referencia una calidad excelente de acuerdo a la Tabla 18. Sin embargo, se puede notar un pico al final de las pruebas y una tendencia ascendente en el tiempo, sugiriendo esto que el sistema se degrada cada vez que soporta más interacciones. Esto puede deberse al algoritmo que organiza y lee los metadatos de los objetos inteligentes o a la redundancia establecida en el indicador de replicación retomados para mejorar la QoS.

5.4.3.6.1.2 Latencia Promedio Encendiendo el Servicio Inteligente

FECHA	Grupo de Prueba	PROMEDIO
21/11/2015 0:00	1	3,5877
23/11/2015 0:00	2	4,4095
24/11/2015 0:00	3	4,34
25/11/2015 0:00	4	3,874
26/11/2015 0:00	5	3,3498
27/11/2015 0:00	6	3,5152
28/11/2015 0:00	7	4,5695
TOTAL		3,7651

Tabla 23: Latencia Promedio de Encendido del Servicio Inteligente

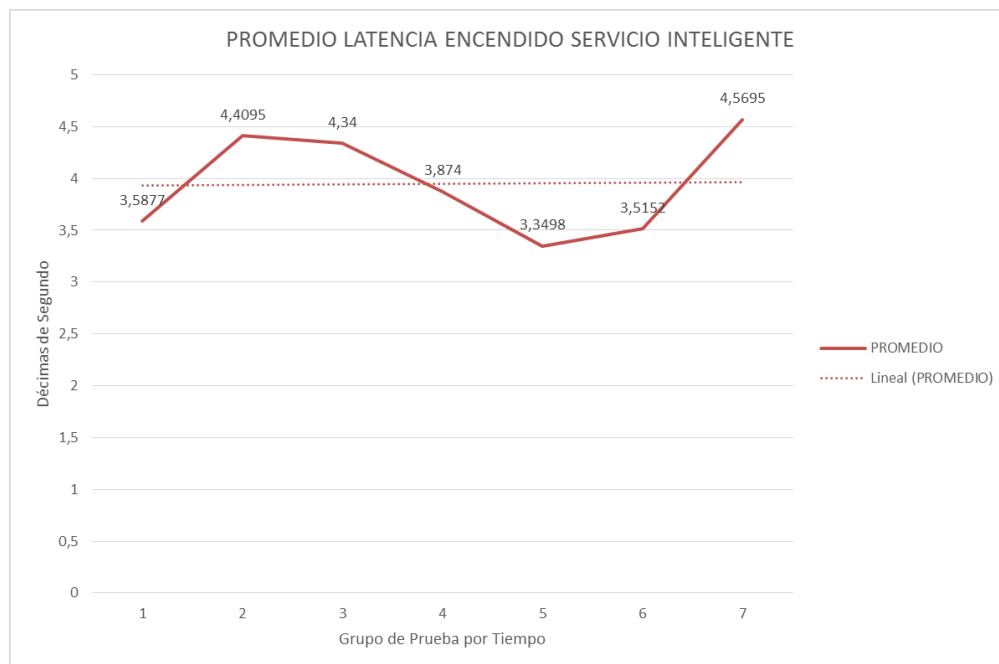


Tabla 24: Tendencia de la Latencia Promedio en el encendido del Servicio Inteligente

Los tiempos reportados presentan una latencia promedio de 3,7651 décimas de segundo y teniendo como referencia una calidad excelente de acuerdo a la Tabla 18. A diferencia de la anterior esta latencia se mantiene constante, indicando una tendencia estable y asegurando que el usuario siempre podrá en la mayoría de los casos percibir un comportamiento adecuado al activar el servicio inteligente.

5.4.3.6.1.3 Latencia Promedio Creación ECA

FECHA	Grupo de Prueba	PROMEDIO
21/11/2015 0:00	1	4,3353
23/11/2015 0:00	2	5,527
25/11/2015 0:00	3	5,3641
26/11/2015 0:00	4	9,4598
27/11/2015 0:00	5	7,2823
28/11/2015 0:00	6	8,7503
TOTAL		7,5401

Tabla 25: Latencia Promedio de Creación de ECA

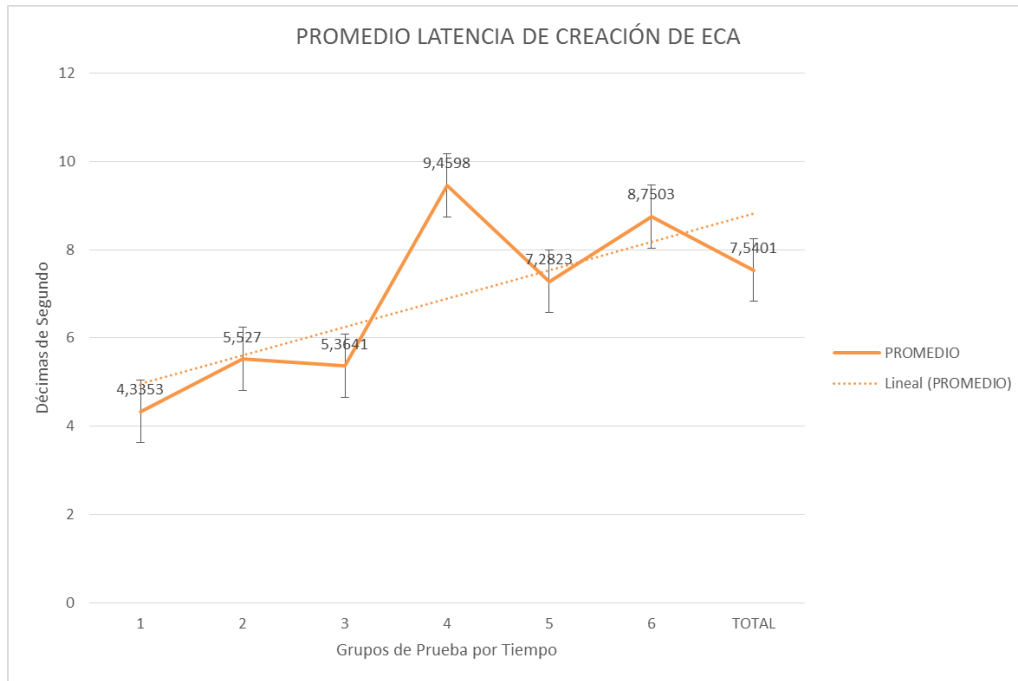


Figura 31: Tendencia de la Latencia Promedio en la Creación de ECAS

Los tiempos reportados presentan una latencia promedio de 7,54 décimas de segundo y teniendo como referencia una calidad excelente de acuerdo a la Tabla 18.

Se nota una clara tendencia a que el tiempo de latencia se incremente y esto se puede debe a que el algoritmo que crea los ECAS pierde mucho tiempo en reprocesos de escritura y lectura. Es necesario afinar más estos en un punto adecuado para mejorar la QoSI.

5.4.3.6.1.4 Latencia Promedio de Activación de ECA

FECHA	Grupo de Prueba	PROMEDIO
21/11/2015 0:00	1	4,0408
23/11/2015 0:00	2	5,2597
25/11/2015 0:00	3	4,5004
26/11/2015 0:00	4	4,7313
27/11/2015 0:00	5	4,6947
28/11/2015 0:00	6	9,4887
	TOTAL	4,8128

Tabla 26: Latencia Promedio de Activación de ECAS

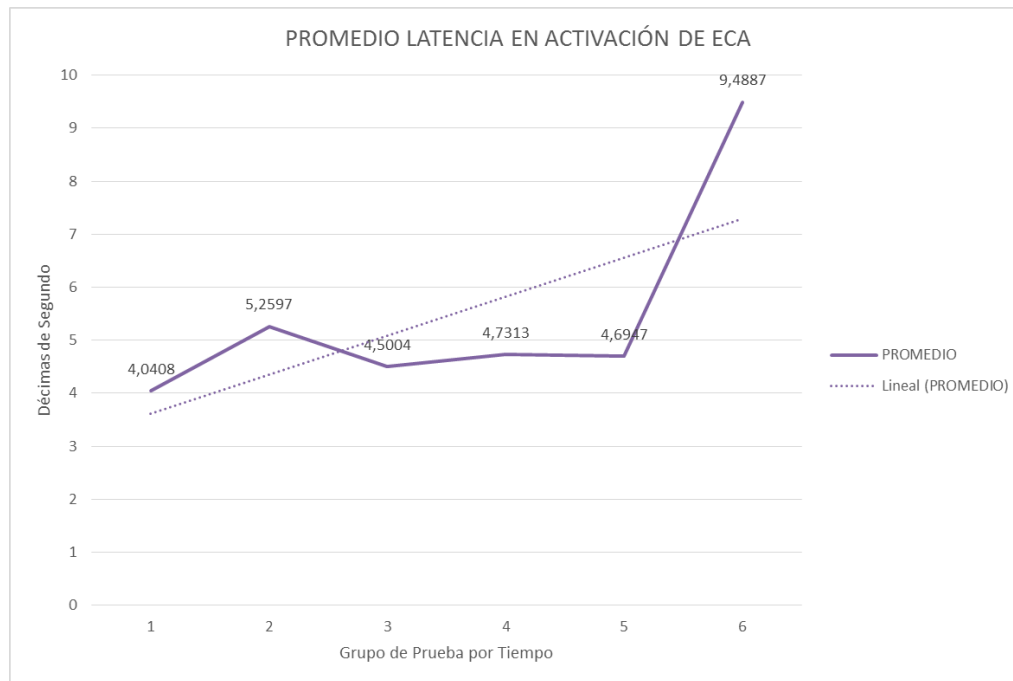


Figura 32: Tendencia en la Latencia Promedio en la Activación de ECAS

Los tiempos reportados presentan una latencia promedio de 4,812 décimas de segundo y teniendo como referencia una calidad excelente de acuerdo a la Tabla 18.

La tendencia en la latencia tiende a mantenerse durante todo el experimento, sin embargo la medición final presenta un salto extremo en los tiempos, lo cual puede analizarse como un error en la medición o una condición extrema que se llega a un punto crítico del sistema cuando se han activado un número específico de ECAS. Aunque en estas pruebas se ha llevado el sistema a sobrecargas en la vida real no se espera que maneje tantos ECAS activados al mismo tiempo por persona.

5.4.3.6.1.5 Latencia Promedio de Eliminación de ECA

FECHA	Grupo de Prueba	PROMEDIO
24/11/2015 0:00	1	2,547
25/11/2015 0:00	2	2,585
26/11/2015 0:00	3	2,8898
27/11/2015 0:00	4	3,602
28/11/2015 0:00	5	3,412
TOTAL		3,0172

Tabla 27: Latencia Promedio de Eliminación de ECA

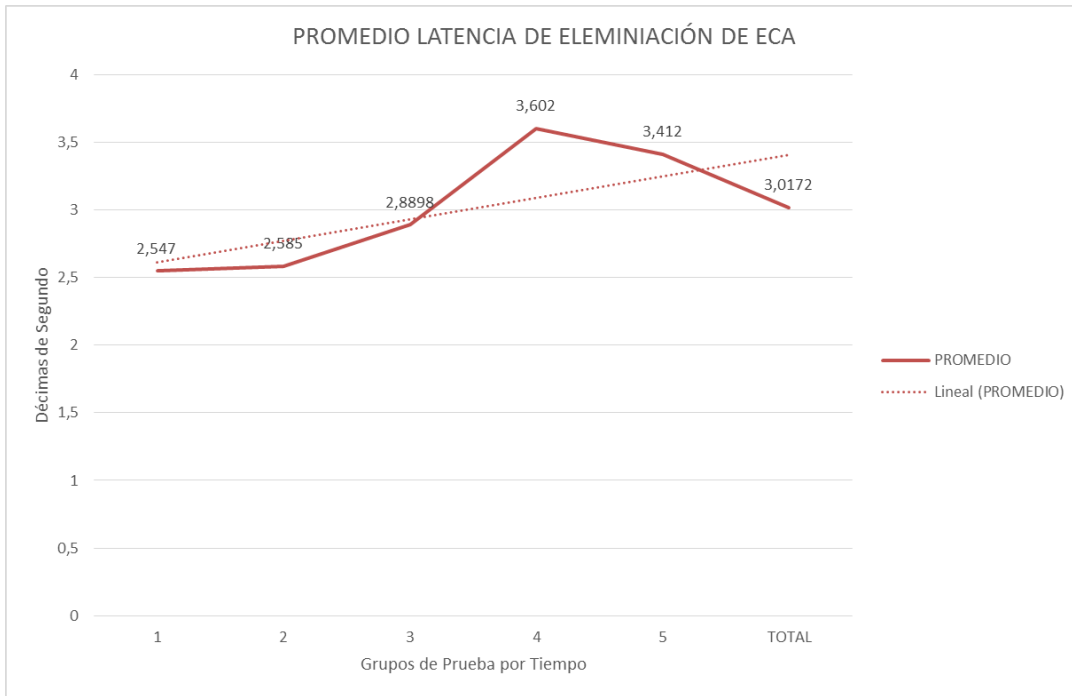


Figura 33: Tendencia de Latencia Promedio en Eliminación de ECAS

Los tiempos reportados presentan una latencia promedio de 3,0172 décimas de segundo y teniendo como referencia una calidad excelente de acuerdo a la Tabla 18.

La tendencia en la latencia tiende a mantenerse durante todo el experimento y con un promedio muy bueno, esto puede deberse a que la eliminación del ECA es un proceso menos costoso en lectura de metadatos. Sin embargo si se presenta una ligera tendencia a aumentar el tiempo en la medida que el sistema se sobrecarga.

5.4.3.6.1.6 Promedio Latencia Todos los Procesos

INDICADOR	PROMEDIO
eca_delete	3,0172
eca_gen	7,5401
metadata_query	4,7242
set_basic_state	3,7651
set_eca_state	4,8128
TOTAL	5,0535

Tabla 28: Comparación de Latencias por grandes procesos del Escenario de Interacción

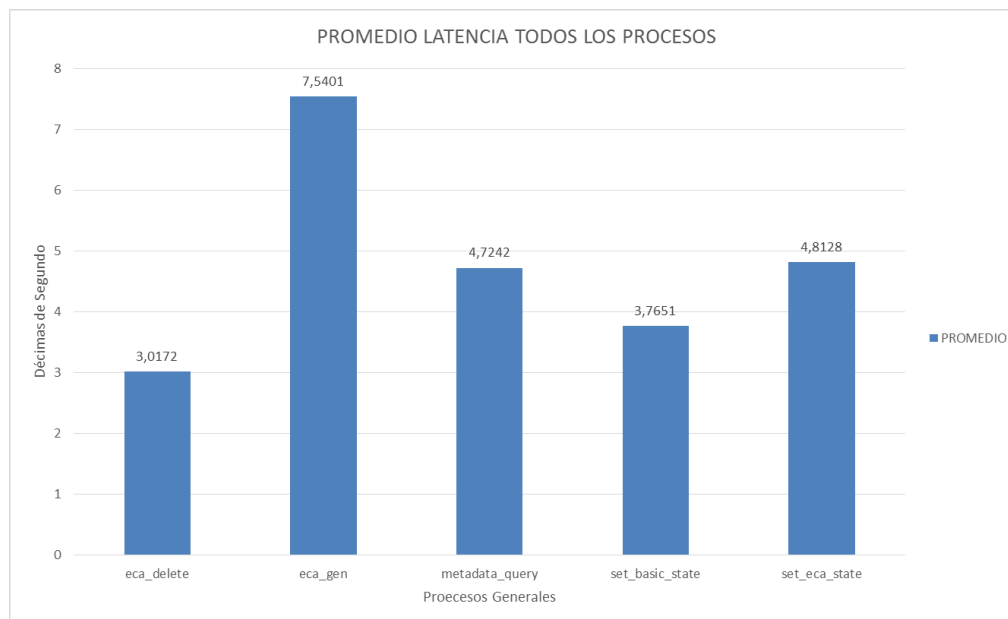


Figura 34: Comparación de Latencias Promedio del Escenario

Los tiempos reportados presentan una latencia promedio de 5,053 décimas de segundo y teniendo como referencia una calidad excelente de acuerdo a la Tabla 18.

La tendencia de la mayoría de los procesos es a un comportamiento de calidad del servicio entre excelente y bueno, sin embargo el proceso de creación de ECAS es el que presenta el peor tiempo de latencia en interacción, tal como se comento puede deberse al algoritmo de lectura y escritura de metadatos y a que el mismo debe ser replicado en todos los dispositivos.

5.4.3.6.2 Análisis de la Prueba6

En esta prueba se focalizó la atención en los datos enviados al panel del usuario, el cual reporta los cambios de estado y de procesamiento del escenario.

En esencia se contabilizan la cantidad de mensajes enviados entre sí con el fin de calcular los objetos que más interactúan entre sí y con el usuario. Lo cual va a depender evidentemente de los ECAS creados. El análisis se presenta a continuación:

5.4.3.6.2.1 Análisis de cantidad de mensajes por Recurso Inteligente

ESTADO	Recuento
calefactor encendido	35
calefactor apagado porque humedad menor a 50	8
luz mayor 50	9

ventilador apagado	33
bombillo apagado	39
calefactor apagado	21
ventilador y	9
riego apagado	7
Regulando Temperatura A 10 °C	58
luz menor 50	15
Prendiendo Bombillo	5
bombillo encendido	41
ventilador encendido	27
temperatura menor a 50	26
temperatura mayor a 50	14
Apagando Bombillo	9

Tabla 29: Número de mensajes enviados por Recurso Inteligente

En la Tabla 29 se puede observar que el objeto inteligente que más mensajes envió fue el regulador de temperatura. Esto se debe a que se hicieron más ECAS que dependían de las acciones de este dispositivo. Por otra parte el que menos mensajes envió fue el dispositivo de riego de la planta, apoyado en el hecho que solo tenía un ECA relacionado.

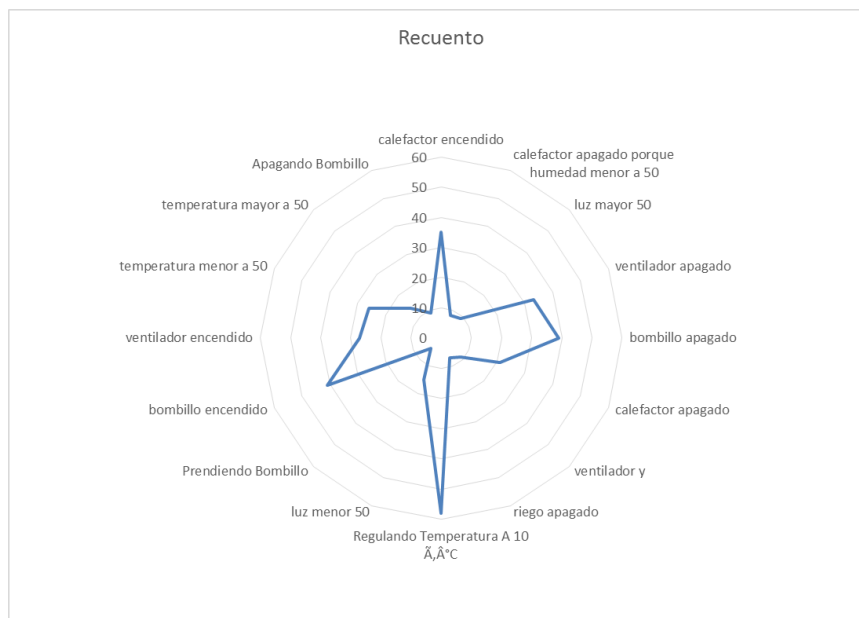


Figura 35: Diagrama Radial de mensajes enviados por RIoT

En la Figura 35 se hace más evidente que los RIoT que más mensajes envían son el regulador de temperatura, el bombillo y el calefactor, esto quiere decir que entre ellos existen más relaciones de interacción semántica (ECAS). Cuando el regulador de luz va a un extremo el bombillo va a otro, mostrando la dependencia lograda entre ambos dispositivos.

5.4.3.6.2 Análisis de mensajes de estados de las Entidades de Interés

ENTIDAD_INTERES	Recuento
Sala	284
servicio_inteligente	72

Tabla 30: Cantidad de mensajes enviados por la Entidad de Interés

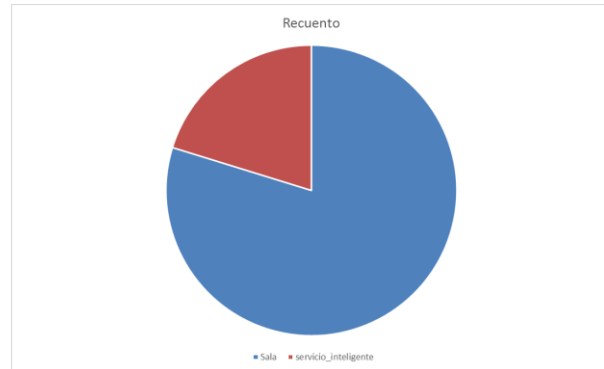


Figura 36: Porcentaje de mensajes por Entidad de Interés

En la tabla y figura se puede observar como la sala envía mensajes acerca de su estado al panel de usuario y el servicio_inteligente que es en sí mismo una entidad de interés también establece un porcentaje mucho menor de mensajes, los cuales generalmente son de regulación o cambio d estado de sus sensores.

Para el experimento la principal entidad de interés es la sala, sin embargo si se incluyen más entidades en la interacción estas deberían aparecer cambiando sus estados debido a los ECAs creados.

5.4.3.6.2.3 Llamados al Objeto Inteligente

OBJETO	Recuento
Regulador de Luz	118
Regulador de Temperatura	238

Tabla 31: Cantidad de Mensajes enviados por los Objetos Inteligentes

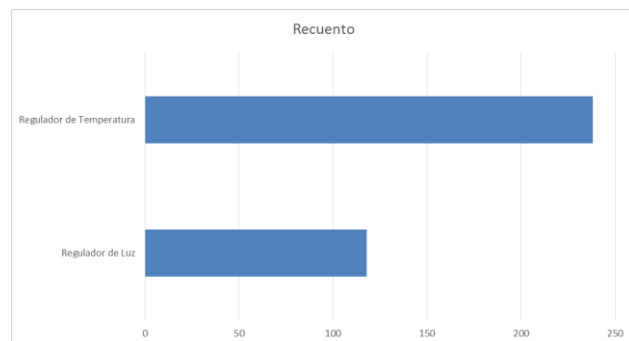


Figura 37: Comparación de Mensajes enviados por Objeto Inteligente

En la tabla y figura superior se puede apreciar que el regulador de temperatura realizó más mensajes que el regulador de luz, estableciendo así que el primero tiene más peso en la interacción del escenario desplegado y por ende se convierte en un nodo crítico para el funcionamiento del sistema.

5.4.3.6.2.4 Llamados a los recursos Inteligentes

RECURSO	Recuento
Regulador de Luz	14
Ventilador	69
Sensor De Luz	24
Calefactor	71
Temperatura	40
Bombillo	80
Regulador de Temperatura	58

Tabla 32: Mensajes Enviados por los Recursos Inteligentes

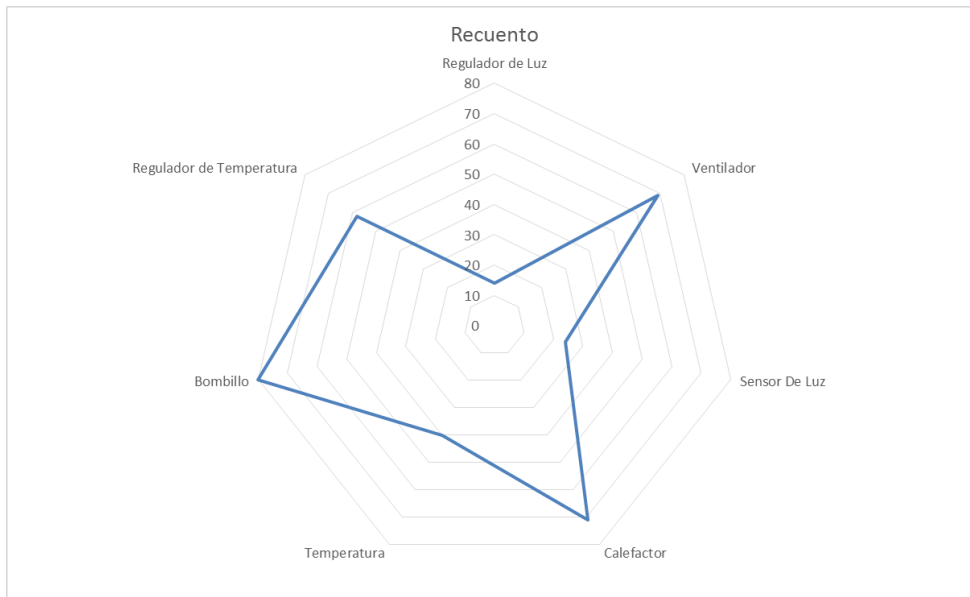


Figura 38: Diagrama Radial de Mensajes de los Recursos Inteligentes

Con respecto a la tabla y figura anterior, se puede ver como hay una relación de mensajes enviados por los RIoT en la cual el bombillo como actuador es el que más cambios de estado tiene junto con el ventilador. Sin embargo los sensores como el calefactor y el regulador de temperatura siguen en la lista de mensajes enviados. En una relación uno a uno deberían existir un número igual de mensajes del sensor al

actuador, pero aquí existe una diferencia que está dada por las interacciones complejas que genera el escenario construido. Todas las demás pruebas pueden ser consultadas en el CD adjunto.

5.4.4 Conclusiones de la Construcción de Escenarios de Interacción en la WoT

Después de analizar los diferentes resultados se puede concluir lo siguiente

1. Es posible crear escenarios de interacción semántica entre objetos inteligentes de la WoT con el modelo propuesto en esta tesis, es decir, basado en mecanismos de indexación semántica de sensores como servicio y un modelo semántico basado en gestión de ontologías y diferentes implementaciones de mecanismos de interacción entre objetos como mensajería MQTT y nodo coordinador.
2. Los resultados preliminares permiten establecer que la prueba de concepto puede ser reutilizada para construir una plataforma más robusta y eficiente para crear escenarios de interacción semántica en la WoT.
3. Las decisiones de diseño han permitido optimizar los tiempos de respuesta del sistema y configurar una calidad del servicio de interacción excelente.
4. El escenario está limitado a las relaciones semánticas que establezca el usuario y a partir de la lógica de las mismas se puede tener un comportamiento complejo que automatice procesos de manera inteligente o si están mal definidas un caos en la ejecución de sus tareas, por tanto es importante que el usuario este consciente de los efectos de las relaciones que defina.
5. Las herramientas desarrolladas y el montaje del escenario requiere la intervención experta, lo cual lo hace poco accesible a las personas en general, pero se espera poder mejorar este aspecto con futuras implementaciones ya que la plataforma se ha dejado lo más genérica posible.
6. Por ahora el escenario no utiliza las ontologías para generar razonamientos complejos o tomar decisiones autónomas, las usa para identificar contexto, relaciones y metadatos en la fase de descubrimiento y creación del objeto inteligente, pero se espera en una próxima versión del proyecto incluir esta característica para que la intervención del usuario sea cada vez menos presente y sus relaciones con los objetos más intuitiva.

Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones

Este capítulo describe inicialmente las principales conclusiones del trabajo realizado a las que se llegó durante su desarrollo, posteriormente presenta las recomendaciones, y finalmente propone los trabajos futuros.

6.1 Conclusiones

- Es posible crear **escenarios de interacción semántica** entre objetos inteligentes de la WoT con el modelo propuesto en esta tesis, con el fin de tener **acceso ubicuo a la información y servicios** de los objetos de la WoT.
- Los **resultados preliminares** permiten establecer que la prueba de concepto puede ser reutilizada para construir una plataforma más robusta y eficiente para crear escenarios de interacción semántica en la WoT, ya que los objetos presentaban **características colaborativas** entre sí.
- Se pudo verificar que al adoptar los objetos un **comportamiento colaborativo**, los **servicios** a los usuarios son más **personalizados** a sus necesidades particulares.

6.2 Resumen de Productos del Proyecto

- Se ha propuesto un **modelo de interacción semántica para la WoT**, tomando como enfoque de solución, la creación de índices semánticos como un servicio–SlaaS, dando la posibilidad de descubrir, buscar e interactuar los objetos inteligentes en un contexto particular. La posibilidad de reutilizar los datos de los sensores en diferentes contextos abre un campo amplio de aplicaciones para la WoT, sin embargo se debe sopesar adecuadamente las funcionalidades a utilizar para las aplicaciones en tiempo real.
- Se ha creado un **estado del arte en la IoT**, que identifica las tecnologías, aportes y brechas existentes en la interoperabilidad semántica de objetos. Se aportaron análisis en las tecnologías *middleware* de la IoT, arquitecturas IoT, web semántica de las cosas y modelamiento inteligente de objetos de la IoT que pueden ser reutilizados en otros estudios. El avance en el área es tan dinámico y veloz de tal forma que se debe actualizar éstos conceptos cada seis meses como mínimo.

-
- Se realizó la propuesta de una vista **arquitectura de interacción semántica de la WoT** (guiada por un modelo semántico). Esta arquitectura propone varias vistas semánticas que se complementan con la infraestructura existente de middleware y APIs de desarrollo, para generar un marco de despliegue y conocimiento alrededor de escenarios de interacción semántica en la WoT. El seguimiento de la arquitectura y de sus vistas poder ser laborioso, pero asegura que se aborden la mayoría de las necesidades para crear este tipo de escenarios.
 - El modelo de interacción semántica entre objetos inteligentes de la WoT, establece **mecanismos para gestionar la información** de metadatos y datos de los objetos inteligentes de la WoT soportado en ontologías de dominio y estándares internacionales para su correcto apropiamiento generalizado. El uso de estándares para complementar los modelos permitieron avanzar más rápido en las soluciones y aseguran el uso posterior de las mismas por la comunidad investigativa.
 - Se propuso una **Ontología llamada Objeto Semántico**, la cual se puede alinear con ontologías de dominio con el fin de gestionar la información de los objetos de acuerdo con un contexto particular y enfocada a la gestión de la información de la interacción con otros objetos semánticos. Al construir estas ontologías es importante seguir unos principios de diseño que aseguren que puedan ser fácilmente apropiadas por otros estudios y que se generalice lo más posible para asegurar su personalización.
 - Se propuso un **Método de indexación semántica en la IoT**, guiado por un modelo semántico conceptual bien definido y formalizado en el estándar de SPEM 2.0, el cual puede ser seguido por un grupo de desarrollo de software, haciéndolo reutilizable, ampliable y entendible para su posterior apropiación en otros estudios. El método permite crear índices semánticos que incorporan un contexto particular, que está dado por la ontología de dominio específico que se utiliza para la indexación.
 - Se propuso un **conjunto de servicios web semánticos** que exponen la funcionalidad del índice semántico con tareas de recuperación de la información (lenguaje natural y soporte a varios idiomas), tareas de geolocalización, servicios de pasarela de middleware de sensores y servicios particulares del caso de estudio particular, ofreciendo una interfaz uniforme de acceso general a los servicios sin importar el contexto de indexación y permitiendo su reutilización por diferentes aplicaciones de la Web. La interfaz genérica creada fue crucial al momento de generar nuevos contexto o indexaciones con nuevas ontologías.
 - Se implementó una **prueba de concepto en un escenario de interacción semántica para la WoT**, tomando como caso de estudio la casa inteligente. El escenario se implementó con dispositivos físicos reales en los cuales se desplegó la arquitectura y se incorporaron todos los elementos definidos en el modelo de

interacción propuesto. Los resultados preliminares permiten afianzar las propuestas hechas como viables para generar escenarios de interacción en la WoT. Sin embargo es necesario realizar más implementaciones para mejorar las herramientas y los conceptos aplicados. Una de las limitaciones fue la falta de recursos suficientes para crea un escenario más complejo.

- Para **evaluar la funcionalidad de las herramientas** desarrolladas se implementó una aplicación al estilo de **buscador web semántico pero en la IoT**, con el fin de realizar la evaluación de los índices construidos con los indicadores que permiten medir la relevancia de la información encontrada, en específico con medidas de Precisión at k, MAP y Kappa. Los resultados sugieren que el proceso de recuperación es sustancial y adecuado. Aunque la primera implementación fue en el área de la contaminación ambiental, es posible utilizarlo para indexar los sensores en otras áreas de conocimiento, tal como se hizo creando un **índice semántico domótico** para el escenario de prueba, que fue la casa inteligente. Finalmente, se construyó otro caso de estudio mediante una **aplicación móvil** en otro tipo de plataforma para la monitorización de la calidad del aire y con el mismo índice semántico medioambiental.
- Para **evaluar el escenario** de interacción semántica se propuso un conjunto de **indicadores preliminares para evaluar la interacción semántica en la WoT**. El indicador de latencia de interacción – LI y el indicador de calidad del servicio de interacción – QoSI. Estos indicadores se fundamentan en las propuestas de calidad del servicio enfocadas explícitamente en retardos y latencias. Permiten establecer un funcionamiento adecuado a la percepción de disponibilidad de los servicios creados en tiempo real y de la posible aceptación por parte del usuario. Estos indicadores aparecen por la poca literatura al respecto de la evaluación de la interacción semántica en la WoT, sin embargo es necesario definir unos indicadores que midan otros aspectos de la misma.
- El diseño de los experimentos con el escenario y el análisis realizado sugieren que **el modelo implementado es viable** para la construcción de este tipo de escenarios en los cuales se crean relaciones semánticas entre sensores y dispositivos diferentes de la WoT. Tanto el experimento como las herramientas se convierten en elementos importantes para crear desarrollos completos y soluciones mejor elaboradas en la interacción inteligente entre las cosas de la WoT.
- Otros productos adicionales que son importantes destacar son: la creación de una ontología en contaminación medioambiental, la propuesta de un método de indexación semántica en la web que se adaptó a la WoT, la propuesta de un modelo de expansión de consultas adaptada a esta solución, la propuesta de un enfoque de desarrollo de entornos de interacción semánticos en la WoT y la propuesta de un enfoque para el desarrollo y alineación de ontologías para la WoT.

6.3 Recomendaciones

- La implementación de los escenarios de interacción en la WoT es compleja y confluyen varias tecnologías tanto hardware con software, se recomienda iniciar este tipo de proyectos con un grupo interdisciplinario en las mismas disciplinas para potenciar y acelerar el trabajo de construcción, evitando curvas de aprendizaje costosas.
- La indexación semántica tiene pros y contras (ver 4.1.6) que se deben sopesar adecuadamente antes de iniciar una solución que implique este concepto.
- Es necesario contar con la infraestructura y material necesario para poder implementar soluciones más rápidas.
- El servidor middleware sobre el cual se consultan los datos y metadatos debe seleccionarse con cuidado, ya que las versiones gratuitas tienen restricciones y en cualquier momento finalizan los servicios o dan una baja calidad de los mismos.

6.4 Trabajo Futuro

- Con respecto del Modelo de Interacción Semántica:
 - Se puede ajustar las ontologías creadas con el fin de realizar operaciones de razonamiento autónomo de los objetos inteligentes.
 - Incluir construcción automática de ontologías de perfil de usuario y de contexto, para evitar al máximo la intervención del usuario en la puesta en marcha del escenario.
- Con respecto a las herramientas desarrolladas:
 - Desarrollar una interfaz en realidad aumentada para interacción del usuario con el escenario de interacción semántica y los objetos inteligentes de una forma más natural.
 - Desarrollar la segunda versión de la indexación semántica para la IoT para crear índices semánticos distribuidos en diferentes servidores en la web y con la actualización automática y en tiempo real de los cambios en los metadatos de los sensores existentes o de los nuevos mediante *crawlers*.
 - Crear una segunda versión del buscador para que gestione las ontologías como contextos y sea más genérico dependiendo del mismo.
 - Mejorar la interfaz gráfica de Clipio con el fin de añadirle funcionalidades deseables para los usuarios como gráficas, tendencias y avisos en sus redes sociales existentes.
 - Crear una red social de objetos “CloudThings” con el fin de que se pueda mostrar las interacciones que tienen los objetos en la misma y generar nuevas formas de información en la web. En este momento se está creando un prototipo del mismo en una materia de pregrado.
- Con respecto a las evaluaciones de los escenarios de interacción semántica:
 - Ampliar el experimento con varios objetos inteligentes y varias entidades de interés con el fin de poder medir la sobrecarga del sistema.

- Implementar otros escenarios en los cuales se puede aplicar el concepto de Indexación Semántica como Servicio.
- Desarrollar un mecanismo que facilite la puesta en marcha del escenario a los usuarios no expertos, mediante el desarrollo de interfaces automáticas que aprovechen los objetos inteligentes existentes actualmente para aprovechar su potencial de uso en otros servicios más complejos.
- Definir e implementar un conjunto de indicadores que evalúe otros aspectos de la interacción semántica.
- Crear un *testbed* en interacción semántica de tal forma que permita realizar medición comparativa con otras soluciones y así tener una herramienta para mejorar algoritmos y modelos.

Capítulo 7 Bibliografía

- [1] ITU, "ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things [R]," *Geneva: International Telecommunication Union (ITU)*, 2005.
- [2] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, pp. 2787-2805, 2010.
- [3] T. Teixeira, S. Hachem, V. Issarny, and N. Georgantas, "Service oriented middleware for the internet of things: A perspective," in *Towards a Service-Based Internet 4th European Conference, ServiceWave 2011*, Poznan, Poland., 2011.
- [4] J. Gantz, C. Chute, A. Manfrediz, S. Minton, D. Reinsel, W. Schlichting, *et al.*, *El universo digital, diverso y en expansión acelerada. Un pronóstico actualizado del crecimiento de la información en el mundo hasta 2011*, 2008.
- [5] S. S. Mathew, Y. Atif, Q. Z. Sheng, and Z. Maamar, "Web of things: Description, discovery and integration," *Internet of Things (iThings/CPSCoM), 2011 International Conference on and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, pp. 9-15, 19-22 Oct. 2011 2011.
- [6] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos, "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013.
- [7] F. Scioscia and M. Ruta, "Building a Semantic Web of Things: issues and perspectives in information compression," *Semantic Computing, 2009. ICSC'09. IEEE International Conference*, 2009.
- [8] M. Chaqfeh and N. Mohamed, "Challenges in middleware solutions for the internet of things," in *International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS 2012)*,, 2012.
- [9] G. Biamino, "A Semantic Model for Socially Aware Objects," *Advances in Internet of Things*, 2012.
- [10] C. Zhang, C. Cheng, and Y. Ji, "Architecture design for social web of things," presented at the Proceedings of the 1st International Workshop on Context Discovery and Data Mining, Beijing, China, 2012.
- [11] D. Guinard, M. Fischer, and V. Trifa, "Sharing using social networks in a composable Web of Things," in *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference on*, 2010, pp. 702-707.
- [12] L. Roalter, M. Kranz, and A. Möller, "A middleware for intelligent environments and the internet of things," *Ubiquitous Intelligence and Computing*, p. 14, 2010.
- [13] A. Pintus, D. Carboni, and A. Piras, "Paraimpu: a platform for a social web of things," presented at the Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web, Lyon, France, 2012.
- [14] L. Yao, "A Propagation Model for Integrating Web of Things and Social Networks," presented at the Service-Oriented Computing - ICSOC 2011 Workshops, 2012.
- [15] S. Heesuk, H. Seungwook, and L. Dongman, "Contextual Information Provision on Augmented Reality with IoT-Based Semantic Communication," in *Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR), 2012 International Symposium on*, 2012, pp. 46-49.
- [16] C. Associati, "The Evolution of Internet of Things," *Focus – Internet of Things*, Febrero 2011.
- [17] H. C., "Un modelo de investigación documental," 2000.

- [18] S. C., "Modelo integral para el profesional en Ingeniería," 2008.
- [19] V. Stirbu, "Towards a restful plug and play experience in the web of things," *The IEEE International Conference on Semantic ...*, 2008.
- [20] S. Duquennoy, G. Grimaud, and J.-J. Vandewalle, "The Web of Things: Interconnecting Devices with High Usability and Performance," in *Embedded Software and Systems, 2009. ICES '09. International Conference on*, 2009, pp. 323 - 330.
- [21] N. Gershenfeld, R. Krikorian, and D. Cohen, "The Internet of Things," *Scientific American*, vol. 291, pp. 76-81, 2004.
- [22] D. Kiritsis, "Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things," *Computer-Aided Design*, vol. 43, pp. 479-501, 2011.
- [23] F. Razzak, "The role of semantic web technologies in smart environments," porto.polito.it, 2013.
- [24] J. Cooper and A. James, "Challenges for Database Management in the Internet of Things," *IETE Technical Review*, vol. 26, pp. 320-329, 2009.
- [25] D. Mansilla, M. Barbas, and M. Merayo, "Infraestructuras Inteligentes en el Internet del Futuro," in *1st Encuentro de Investigadores en Infraestructuras Inteligentes (EI3'11)*, Guadalajara, España, 2011.
- [26] S. Hachem, T. Teixeira, and V. Issarny, "Ontologies for the Internet of Things," *Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium*, 2011.
- [27] S. B. Suárez. (2004, 10/11/2012). *Biblioteca Semántica de WEBQUEST*. Available: <http://www.infor.uva.es/~sblanco/Tesis/Tesis.html>
- [28] D. M. Sánchez, J. M. Cavero, and E. M. Martínez, "The road toward ontologies," in *Ontologies*. vol. 14, R. Sharman, R. Kishore, and R. Ramesh, Eds., ed: Springer US, 2006, pp. 3-20.
- [29] K. Raghava-Rao, T. Ravi-Kumar, and M. Nagabhushnam-Rao, "Architecture for Automatic Semantic Annotation to Discover Knowledge from Heterogeneous Sensor Data," *caesjournals.org*, 2011.
- [30] R. Gacitua, P. Sawyer, and P. Rayson, "A flexible framework to experiment with ontology learning techniques," *Knowledge-Based Systems*, vol. 21, pp. 192-199, 2008.
- [31] L. Fernandez, "procedimiento semi-automático para transformar la Web en Web Semántica," p. 258, 2009.
- [32] J. Cardoso, *Semantic Web services: theory, tools and applications*: portal.acm.org, 2007.
- [33] T. Bray, J. Paoli, C. M. Sperberg-McQueen, E. Maler, F. Yergeau, and J. Cowan, "Extensible markup language (XML) 1.1 1.1 (Second Edition)," *W3C Recommendation*, 2006.
- [34] T. Erl, *Service-oriented architecture: concepts, technology, and design*: portal.acm.org, 2005.
- [35] A. Chourmouziadis and G. Pavlou, "Efficient Information Retrieval in Network Management Using Web Services," *Lecture notes in computer science*, 2006.
- [36] G. Broll, E. Rukzio, and M. Paolucci, "PerCi: Pervasive service interaction with the internet of things," *IEEE Internet Computing*, 2009.
- [37] M. Ruta, T. D. Noia, E. D. Sciascio, F. Scioscia, and E. Tinelli, "A ubiquitous knowledge-based system to enable RFID object discovery in smart environments," in *Proceedings of the 2nd International Workshop on RFID Technology - Concepts, Applications, Challenges*, pp. 87 - 100, 2010.
- [38] D. Guinard, V. Trifa, and E. Wilde, "A resource oriented architecture for the web of things," *Internet of Things (IOT), 2010*, 2010.
- [39] D. Guinard, V. Trifa, S. Karnouskos, P. Spiess, and D. Savio, "Interacting with the SOA-Based Internet of Things: Discovery, Query, Selection, and On-Demand Provisioning of Web Services," *IEEE Transactions on Services Computing*, pp. 223-235, 2010.

-
- [40] E. Kosmatos and N. Tselikas, *Integrating RFIDs and Smart Objects into a Unified Internet of Things Architecture*: scirp.org, 2011.
- [41] D. Guinard, C. Floerkemeier, and S. Sarma, "Cloud computing, rest and mashups to simplify rfid application development and deployment," *Proceedings of the 2nd International Workshop on the Web of Things (WoT 2011)*, 2011.
- [42] J. Hernández-Muñoz, J. Vercher, and L. Muñoz, "Smart Cities at the Forefront of the Future Internet," *The Future Internet*, 2011.
- [43] M. Vega-Barbas, D. Casado-Mansilla, M. A. Valero, D. Lopez-de-Ipina, J. Bravo, and F. Florez, "Smart Spaces and Smart Objects Interoperability Architecture (S3OiA)," in *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2012 Sixth International Conference on*, 2012, pp. 725-730.
- [44] M. Vega-Barbas, D. Casado-Mansilla, and J. R. Velasco, "S3OiA: Propuesta de Arquitectura para la Interoperabilidad en la Internet de las Cosas," in *X Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL 2011*, Santander, España, 2011.
- [45] C. Perera, A. Zaslavsky, C. H. Liu, M. Compton, P. Christen, and D. Georgakopoulos, *Sensor search techniques for sensing as a service architecture for the internet of things*: ieeexplore.ieee.org, 2013.
- [46] P. Desai, A. Sheth, and P. Anantharam. (2014, 16/11/2014). Semantic Gateway as a Service architecture for IoT Interoperability. *arXiv.org*, 16.
- [47] K. Römer, B. Ostermaier, F. Mattern, M. Fahrmaier, and W. Kellerer, "Real-Time Search for Real-World Entities: A Survey," 2010.
- [48] B. Ostermaier, K. Römer, F. Mattern, M. Fahrmaier, and W. Kellerer, "A real-time search engine for the web of things," 2010.
- [49] S. Zhhexuan, A. A. Cárdenas, and R. Masuoka, "Semantic middleware for the Internet of Things," in *Internet of Things (IOT), 2010*, 2010, pp. 1-8.
- [50] L. A. Amaral, F. P. Hessel, E. A. Bezerra, J. C. Corrêa, O. B. Longhi, and T. F. O. Dias, "eCloudRFID – A mobile software framework architecture for pervasive RFID-based applications," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, pp. 972-979, 2011.
- [51] P. Kostelník, M. Sarnovský, and K. Furdík, "The Semantic Middleware for Networked Embedded Systems Applied in the Internet of Things and Services Domain," *Scalable Computing: Practice and Experience*, vol. 12, 2011.
- [52] K. Kotis and A. Katasonov, "Semantic Interoperability on the Web of Things: The Semantic Smart Gateway Framework," in *Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), 2012 Sixth International Conference on*, 2012, pp. 630-635.
- [53] W. Wang, S. De, R. Toenjes, E. Reetz, and K. Moessner, "A Comprehensive Ontology for Knowledge Representation in the Internet of Things," in *IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom-2012)*, 2012, pp. 1793-1798.
- [54] C. C. Aggarwal and T. Abdelzaher, "Social Sensing," in *Managing and Mining Sensor Data*, ed: Springer, 2014, pp. 237-297.
- [55] P. E. Estrada-Martinez and J. A. Garcia-Macias, "Semantic interactions in the Internet of Things," *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.*, vol. 13, pp. 167-175, 2013.
- [56] O. G. Standard, "Open Data Format (O-DF), an Open Group Internet of Things (IoT) Standard," Berkshire, United Kingdom. 2014.
- [57] O. G. Standard, "Open Messaging Interface (O-MI), an Open Group Internet of Things (IoT) Standard," Berkshire, United Kingdom. 2014.

- [58] A. Pintus, D. Carboni, and A. Piras, "The anatomy of a large scale social web for internet enabled objects," presented at the Proceedings of the Second International Workshop on Web of Things, San Francisco, California, 2011.
- [59] B. Guo, D. Zhang, Z. Yu, Y. Liang, Z. Wang, and X. Zhou, "From the internet of things to embedded intelligence," *World Wide Web*, pp. 1-22, 2012/09/16 2012.
- [60] W. Wang, D. Suprama, G. Cassar, and K. Moessner, "Knowledge Representation in the Internet of Things: Semantic Modelling and its Applications," *Automatika – Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, vol. 54, pp. 388-400, 2013.
- [61] A. Utama, C. Sarkar, V. Prasad, and A. Rahim, "A unified semantic knowledge base for IoT," in *Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on*, ed, 2014, pp. 575-580.
- [62] M. Botts, G. Percivall, C. Reed, and J. Davidson, "OGC® sensor web enablement: Overview and high level architecture," *GeoSensor networks*, 2008.
- [63] X. Li, G. Xu, and L. Li, "RFID based smart home architecture for improving lives," in *2008 2nd International Conference on Anti-counterfeiting, Security and Identification*, 2008.
- [64] H. Park, I. Lee, T. Hwang, and N. Kim, "Architecture of home gateway for device collaboration in extended home space," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, 2008.
- [65] M. Zorzi, A. Gluhak, S. Lange, and A. Bassi, "From today's INTRANet of things to a future INTERNet of things: a wireless- and mobility-related view," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 17, pp. 44-51, 2010.
- [66] C. IoT-A. (2011, 13/05/2013). Internet of Things Architecture. Available: <http://www.iot-a.eu/public>
- [67] A. Gluhak, M. Hauswirth, S. Krco, N. Stojanovic, M. Bauer, R. Nielsen, *et al.*, "An architectural blueprint for a real-world internet," *The Future Internet*, 2011.
- [68] J. Wan, D. Li, C. Zou, and K. Zhou, "M2M Communications for Smart City: An Event-Based Architecture," in *Computer and Information Technology (CIT), 2012 IEEE 12th International Conference on*, 2012, pp. 895-900.
- [69] G. Fortino, A. Guerrieri, and W. Russo, "Agent-oriented smart objects development," in *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2012 IEEE 16th International Conference on*, 2012, pp. 907-912.
- [70] M. C. Domingo, "An overview of the Internet of Things for people with disabilities," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, pp. 584-596, 2012.
- [71] X. M. Zhang and J. Li, "Research on Interoperability of Internet of Things' Gateway Oriented to Telehealth and Telemedicine," *Energy Procedia*, vol. 13, pp. 8276-8284, 2011.
- [72] A. Zaslavsky, C. Perera, and D. Georgakopoulos, "Sensing as a service and big data," in *International Conference on Advances in Cloud Computing (ACC)*, Bangalore - India, 2012, pp. 21-29.
- [73] M. Compton, P. Barnaghi, L. Bermudez, R. García-Castro, O. Corchod, S. Coxe, *et al.*, "The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group," *Web Semantics: Science*, 2012.
- [74] D. Guinard, I. Ion, and S. Mayer, "In Search of an Internet of Things Service Architecture: REST or WS-*? A Developers' Perspective," *Proceedings of Mobiquitous 2011 (8th International ICST Conference on Mobile and Ubiquitous Systems)*, p. 11, 2011.
- [75] M. A. Niño-Zambrano, "Modelo de especificación de conocimiento para Educación en línea a través de estilos de aprendizaje, Sistemas Tutoriales Inteligentes y planificación estratégica en educación," *Meastria Investigación*, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2003.

-
- [76] G. Abowd, A. Dey, P. Brown, N. Davies, M. Smith, and P. Steggles, "Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness," in *Handheld and Ubiquitous Computing*. vol. 1707, H.-W. Gellersen, Ed., ed: Springer Berlin Heidelberg, 1999, pp. 304-307.
- [77] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the internet of things," presented at the Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, Helsinki, Finland, 2012.
- [78] P. Fernández-Cardador, S. Iglesias-Pradas, and A. Hernández-García, "Comportamiento colaborativo: Medida y caracterización a través de la utilización de blogs en entorno empresarial.," *6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.*, 2012.
- [79] A. G. Gurrola. (2008, 27/09/2011). *Unidad I. Términos básicos para la gestión de la información*. Available: <http://www.fv.uan.edu.mx/mod/resource/view.php?id=968>
- [80] E. Ramos, H. Núñez, and R. Casañas, "Esquema para evaluar ontologías únicas para un dominio de conocimiento," *Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 2009.
- [81] M. A. Niño-Zambrano, J. A. Niño-Zambrano, G. A. Ramírez-Gonzalez, and L. C. Gómez-Flórez, "Método de Indexación Semántica en Internet de las Cosas," presented at the Workshop on Semantic Web and Linked Open Data - Mexican International Conference on Computer Science, Morelia, Michoacán, México, 2013.
- [82] N. Noy and D. McGuinness, *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*: liris.cnrs.fr, 2001.
- [83] O. Corcho, M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, and A. López-Cima, "Building legal ontologies with METHONTOLOGY and WebODE," *Law and the semantic Web*, 2005.
- [84] R. D. Alvarado, "Title," unpublished].
- [85] J. Contreras and J. Martínez-Comeche, *Ontologías: ontologías y recuperación de información*: eprints.rclis.org, 2007.
- [86] M. Kavouras and M. Kokla, *Ontology-based fusion of geographic databases*: ntua.gr, 2000.
- [87] M. Kavouras, *A unified ontological framework for semantic integration*, 2005.
- [88] P. Barnaghi and M. Presser, "Publishing linked sensor data," in *CEUR Workshop Proceedings: Proceedings of the 3rd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN), , in conjunction with the 9th International Semantic Web Conference (ISWC 2010)*, 2010.
- [89] M. S. Barón and K. S. Valencia, "An approach to semantic indexing and information retrieval," *Revista Facultad de ...*, 2009.
- [90] L. Lefort. (2005). *Ontology for Meteorological sensors*. Available: <http://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/meteo/aws>
- [91] H. Mendiburu, *Automatización Medioambiental*. Lima, Perú: INDECOPI, 2003.
- [92] M. A. Niño-Zambrano, I. D. López, C. A. Andrade, C. A. Cobos, and R. F. Gesa, "Modelo Semántico de Expansión de Consultas para la Búsqueda Web (MSEC)," *UIS Ingenierías*, vol. 11, p. 10, 14/05/2013 2012.
- [93] C. D. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze, "An introduction to information retrieval," *dspace.cusat.ac.in*.
- [94] J. Landis and G. Koch, "The measurement of observer agreement for categorical data," *biometrics*, 1977.
- [95] D. Bonino and F. Corno, "DogOnt - Ontology Modeling for Intelligent Domestic Environments," in *The Semantic Web - ISWC 2008*. vol. 5318, A. Sheth, S. Staab, M. Dean, M. Paolucci, D. Maynard, T. Finin, et al., Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 790-803.

- [96] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, pp. 1645-1660, 2013.
- [97] G. Vithya and B. Vinayagasundaram, "QOS by Priority Routing in Internet of Things," *Research Journal of Applied Sciences*, vol. 8, pp. 2154-2160, 2014.
- [98] C. Fok, C. Julien, G. Roman, and C. Lu, "Challenges of satisfying multiple stakeholders: quality of service in the internet of things," ... *of the 2nd Workshop on Software ...*, 2011.
- [99] M.-A. Nef, L. Perlepes, S. Karagiorgou, G. I. Stamoulis, and P. K. Kikiras, "Enabling qos in the internet of things," in *Proceedings of the Fifth International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service (CTRQ 2012), Chamonix/Mont Blanc, France, 2012*, pp. 33-38.
- [100] T. Karagiannis, E. Athanasopoulos, C. Gkantsidis, and P. Key, *Homemaestro: Order from chaos in home networks*: research.microsoft.com, 2008.
- [101] D. Barata, G. Louzada, A. Carreiro, and A. Damasceno, *System of acquisition, transmission, storage and visualization of Pulse Oximeter and ECG data using Android and MQTT*: Elsevier, 2013.