

Interacción Semántica de Objetos en la Web de las Cosas

Miguel Ángel Niño Zambrano

Profesor Universidad del Cauca

Estudiante de Doctorado en Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca

manzamb@unicauca.edu.co

1 RESUMEN

El presente documento realiza una propuesta de investigación enmarcada en la búsqueda de la Interoperabilidad semántica en la Web de las cosas. El enfoque es encontrar un mecanismo de interacción entre los objetos inteligentes con el fin de proveer mejores servicios en la Web. Para lo anterior, es necesario desarrollar un marco de trabajo que integre estándares de la Internet de Objetos, infraestructuras middleware y técnicas de web semántica como el desarrollo y uso de ontologías con el fin de lograr dotar de inteligencia a los objetos de la Web de las Cosas.

2 INTRODUCCION

Actualmente gran parte de los objetos de nuestro mundo real, tienen una representación digital en la Web, generalmente están asociados a dispositivos hardware y software con capacidades para interpretar los cambios del entorno a través de sensores. 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 o “Internet of Things” – IoT. Los objetos conectados a la Web, permiten generar nuevos servicios, a esto se le ha denominado Web de Objetos “Web of Things” – WoT. Existen varios retos por resolver, entre ellos la escalabilidad y la conectividad [1].

Dado lo anterior, algunas investigaciones buscan conectar de manera transparente objetos a la IoT, para aprovechar al máximo su gran cantidad de datos. La idea no es solo en adquirir los datos específicos que ofrece cada objeto, sino en interpretarlos adecuadamente y crear servicios compartibles con objetos, aplicaciones y personas. Esto no es fácil, ya que para crear los servicios de WoT se debe tener en cuenta las capacidades y diversidad tecnológica de los objetos. Adicionalmente, la conectividad no solo está relacionada a como conectar los objetos, sino 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 denomina la web semántica de los Objetos o “Semantic Web of Things” – SWoT [2].

Pese a las propuestas realizadas, aún existen vacíos [3] para poder implementar 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 proveer mejores servicios a sus usuarios. Las soluciones iniciales, proponen un “*Social Web Objects*” [4] con modelos de interacción entre objetos y personas de redes sociales existentes [5-7] e interacción básica entre sensores y actuadores [8], sin embargo, se ha estudiado muy poco la posibilidad de modelar la interacción semántica entre objetos [9, 10] con el fin de ofrecer servicios más ajustados a las necesidades de los usuarios. De acuerdo a lo anterior, nuestra pregunta de investigación es: *¿Cuáles son los elementos, estructuras y mecanismos que permiten modelar la interacción semántica entre los objetos de la WoT?*

La interoperabilidad semántica se basa en modelos de interacción entre dos o más entidades, así para el presente proyecto se propone un *modelo de interacción semántica entre los objetos del 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 los objetos de la IoT, de manera que compartan dominios comunes de conocimiento e intercambien su información en la Web de los objetos, mejorando los servicios que pueden proveer. Los trabajos anteriores generalmente hacen la búsqueda y descubrimiento con: consultas a bases de datos centralizadas, búsqueda en archivos OWL, 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.

3 REVISION DE LITERATURA

Aún existen diferencias en cuales tecnologías son mejores para la interoperabilidad y como utilizarlas adecuadamente. En general, los autores apuntan a modelos que utilicen la arquitectura REST [5, 8, 11] y/o SOA [12, 13], además de protocolos ligeros para la telemetría. Cada opción tiene aún retos por resolver, por ejemplo la transparencia, para un usuario no técnico de la web está lejos de ser una realidad. El presente proyecto tendrá en cuenta las mejores prácticas en estos sentidos con el fin de incorporarlos al modelo conceptual. Inicialmente se plantea manejar la ubicación y acceso al dispositivo con REST y los servicios producidos por la interacción con SOA. Las soluciones se pueden agrupar en cuatro grupos de implementaciones de interoperabilidad en la IoT: Los **Middleware**, proponen la creación de middlewares [1, 3, 7, 14-20], y middlewares semánticos [21-23], que realizan

las abstracciones necesarias para conectar los diferentes tipos de objetos a la web, independientemente de su tecnología y capacidades, permitiendo a las aplicaciones de la web consumir los datos de los objetos. Los **Servidores IoT**, son mediadores de objetos como SensorMap y Xively Cloud Services¹, que han surgido como nuevos servicios web que pueden ser usados por diferentes tipos de usuarios para: conectar, compartir, interactuar e implementar aplicaciones con los datos de objetos, a diferencia de los middleware la mayoría solo obtiene los datos de los sensores y tienen un enfoque de una sola base de datos centralizada para manejar los mismos, generalmente no soportan a interacción en doble vía y servicios semánticos complejos. Las **Plataformas Industriales**, las empresas han trabajado en la incorporación de procesadores y sistemas de almacenamiento con conexión a internet, que son capaces de ejecutar sistemas operativos ligeros e implementar tecnologías como: DPWS² o DNLA³, ambas implementaciones de la tecnología UpnP⁴, para la gestión, descubrimiento y control multimedia. También ofrecen los APIs de desarrollo de manera abierta con el fin de generar aplicaciones para sus dispositivos. Finalmente, el **Cloud Computing**, se espera que permita jugar un papel importante en el desarrollo de la IoT ya que su diseño está más orientado a una visión de los sensores como proveedores de servicios al manejo del “*Big Data*”, un área de trabajo en la IoT que propone nuevos retos para manejar la gran cantidad de datos que se genera a partir de los sensores. Entre las principales plataformas existentes tenemos a SenaaS y Sensor-Cloud [24], la cual usa SensorML para describir los metadatos de los sensores físicos, empaquetando los mismos en una representación digital que los usuarios pueden combinar.

Para construir conocimiento alrededor de los objetos, se ha propuesto la creación de repositorios de conocimiento basados en ontologías [1, 2, 4, 5, 21, 25-29], implementando diferentes estrategias para almacenar y procesar el conocimiento proveniente de los sensores de la IoT. Las soluciones van desde la propuesta de modelos ontológicos como el Semantic Model Driven Architecture (SeMDA) [30], hasta el desarrollo de ontologías para el manejo de los eventos, de los dispositivos, de estimación y de contexto. Para este proyecto, se destaca el trabajo presentado por el grupo denominado “W3C Semantic Sensor Network Incubator group” [31] los cuales han creado una ontología llamada *SSN ontology sensors* (<http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn>), la cual permite describir las capacidades de los sensores, el proceso de medición y las observaciones resultantes en una red de sensores semánticos. Esta ontología se puede alinear con otras ontologías con el fin de realizar un trabajo conjunto en la semántica de los

¹ Este servicio antes se llamaba Cosm, y antes PachuBe.

² Device Profile for Web Services

³ Digital Living Network Alliance

⁴ Universal Plug and Play

objetos. Esta ontología ha reutilizado los demás estándares existentes en la representación de sensores, tales como SensorML y O&M del Open Geospatial Consortium's (OGC), y de servicios web como SensorWeb Enablement (SWE) standards [32]. El presente proyecto reutilizará y generará su propia propuesta de ontologías orientadas a la interacción semántica de objetos inteligentes de la WoT y buscará enriquecerse con las propuestas citadas.

Con la información semántica de los objetos y una capacidad de comunicarse con ellos, las últimas propuestas de servicios web exploran lo que se ha empezado a llamar el “*Social Web of Things*” [5, 33], como una estrategia para compartir información entre objetos y humanos acerca de los datos de los sensores, el contexto de operación y otros servicios de alto nivel. Sin embargo la mayoría de los trabajos hasta ahora están explorando como comentar los objetos a las redes sociales existentes [6, 8, 10, 34-41] y algunos ya empiezan a proponer arquitecturas [5]. Estos últimos temas son más complejos, ya que tienen que involucrar además del conocimiento, las capacidades de raciocinio en los objetos para permitirles tomar decisiones o comportamientos. El presente proyecto se sitúa en esta última capa de interacción social entre los objetos. Sin embargo, se orienta explícitamente a lograr comprender y definir un modelo conceptual que integre las tecnologías necesarias para implementar interacción entre objetos de la WoT, bajo la hipótesis de que ***cuando los objetos adopten un comportamiento colaborativo entre ellos, los servicios a los humanos pueden enriquecerse más fácilmente***. Esta hipótesis se inspira en los principios definidos por Jiafu, et al. [42] en el área de trabajo denominada maquina a máquina o “*machine to machine*” M2M, en el cual establece que una red de máquinas son más valiosas que una máquina aislada y cuando múltiples máquinas están interconectadas se pueden lograr aplicaciones más autónomas e inteligentes.

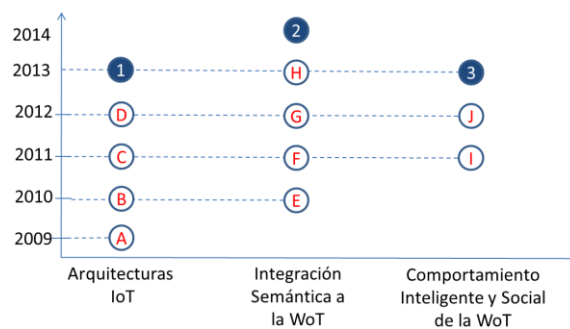


Figura 1: Mapa Evolutivo de la SWoT

Para una mejor apreciación de los retos en los cuales se enfocará la investigación, en la Figura 1 se presentan los trabajos relacionados por áreas y agrupados en años (Letras de A-J), especificando sus principales aportes y análisis crítico de sus resultados.

Los diferentes trabajos encontrados, han aportado a diferentes retos y en diferentes medidas, dejando aún brechas por definir o aportar, para esto se pudo identificar una evolución gradual del desarrollo de la SWoT. Así se hace una clasificación de los trabajos en tres grandes áreas de desarrollo, aunque algunos trabajos aportan en varias áreas, se clasificaron de acuerdo en dónde estaba el mayor aporte, así las áreas son:

1. **Desarrollo de arquitecturas de IoT** A([2, 25]), B([7, 11, 12, 43]), C([13, 44, 45]) y D([5, 9, 46, 47]): hay un consenso en la creación de capas bien definidas, en general son: la capa de objetos, capa de representación semántica, capa de servicios y capa de aplicaciones, utilizando diferentes estilos arquitectónicos como: SOA y RESTful, también tecnologías como: bases de conocimiento ubicuo, servicios Cloud y compresión de datos. En la capa de objetos se proponen protocolos ligeros de comunicación como: 6LOWpan y MQTT. Por otro lado, plantean el uso de ontologías de contextos, para aumentar la semántica de los objetos y los servicios Web como herramienta para la interoperabilidad. Con respecto a interfaces se habla de tecnologías web como: HTML5, AJAX y Mashups físicos, pero ya se está incursionando en la integración de la realidad aumentada como elemento importante de interacción. Finalmente, introducen el concepto de redes sociales de objetos para la interacción con los humanos.
2. **Integración Semántica en la WoT** E([6, 48-50]), F([1, 21, 26, 51]), G([27, 28]) y H([29, 34, 52]): la integración semántica en la IoT, es el área que más aportes tiene y desde diferentes enfoques. El punto de partida de todos los proyectos son las *anotaciones semánticas*[48] y un mecanismo adecuado para almacenarlos; las anotaciones son hechas con formatos de intercambio de conocimiento bien conocidos en la web como XML, RDF y OWL. El estudio del *contexto*[29] es uno de los principales temas que deben ser representados en los *modelos semánticos*, ya que se ha encontrado que los datos de los sensores cobran importancia cuando se relacionan a su entorno y a los objetivos de los usuarios. Se ha encontrado una tendencia a que se creen *gateways inteligentes*[11], como puntos intermedios en la red semántica, que son capaces de recopilar la información de los objetos con limitaciones de procesamiento y comunicación. Los *middleware*[1] se han convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de la web semántica de los objetos, ya que éstos permiten resolver los problemas de heterogeneidad profunda en los últimos bordes de la red, adicionalmente presentan una imagen digital del objetos a las aplicaciones y usuarios web con el fin de poder interactuar con los mismos. Se ha encontrado como consenso el uso de *ontologías adaptadas a las características de los sensores y la información del contexto*[28] como estructuras capaces de almacenar y permitir razonar sobre la información

semántica de la WoT. Finalmente, la búsqueda web se ha relacionado más con el descubrimiento de servicios de los dispositivos de la IoT que a proveer información semántica de los objetos.

3. **Comportamiento Inteligente y social en la WoT** I([37]) y J([4, 8, 10, 53]): Se puede considerar la punta de iceberg a la cual se encontraría la mayor aplicación de la IoT en la Web. Los conceptos de redes sociales de objetos aún son más conceptuales que implementados, se enfocan principalmente a interacción con usuarios y sus redes sociales actuales. Muy pocos estudios abordan las características que debe tener la interacción entre objetos en una red social de objetos que se colaboran. Para desarrollar comportamientos sociales, debemos 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 desarrollo del comportamiento inteligente de los objetos y el avance de la nanotecnología y abaratamiento de sus costos, lo cual es una tendencia actual.

A continuación se presenta el análisis de los trabajos más relacionados a la propuesta:

Zhang, et al. [5] centran su atención en la *información del contexto* como elemento fundamental para lograr crear una red social de objetos. Definen su arquitectura teniendo en cuenta que los usuarios están interesados inicialmente en la entidades (cosas, lugares, personas) y posteriormente por las cualidades o estados de esas cosas (vacío, libre, sentado, caminando, etc.) y no en sensores individuales y sus datos de salida.

Römer, et al. [48], Ostermaier, et al. [49], son los primeros que presentan incorporación de técnicas de Recuperación de la Información - RI en la IoT. Presenta un motor de búsqueda de información de 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 y en tiempo real*. Los conceptos y problemas encontrados para la creación del motor de búsqueda sirven de precedentes para este estudio en el sentido de capturar la información semántica de los objetos la cual será comunicada a otros objetos. 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.

Teixeira, et al. [1], 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) que 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, un enfoque que el presente proyecto pretende abordar como estrategia de enriquecimiento semántico de los objetos que van a interactuar. Las ideas de una *ontología de estimación y de un proceso de descubrimiento* pueden ser adicionadas a la idea original del presente proyecto, como elementos valiosos para incorporar. Lamentablemente, no se presentan casos de estudio o implementaciones y por ello no se puede evaluar la viabilidad de la propuesta.

Wei, et al. [28], Presentan 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 la presente propuesta, adicionalmente algunos de los módulos presentan conceptos interesantes que nos permiten abstraer algunas 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. Sin embargo la ontología no presenta aspectos relativos a la interacción semántica entre objetos, por lo cual no se modela este conocimiento, algo que el presente proyecto tiene como objetivo.

Perera, et al. [29], hacen 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 implementan características de contexto. 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 de la presente propuesta.

Pintus, et al. [8], [37], proponen 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 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.

Biamino [4], plantea un entorno en el cual interactúan los objetos y las personas, para lo cual establece en 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. Aún falta mucho por definir y resolver, ya que establece los propósitos y características generales de las ontologías usadas y no las presenta para su correcto análisis, además la evaluación es realizada teniendo en cuenta sólo la interacción entre las ontologías desarrolladas y las personas en una red social existente, con el propósito de evaluar la capacidad de detección de contextos de la misma ontología, es decir, no hay interacción entre objetos y personas, mucho menos entre los mismos objetos. Por otro lado, comenta que las preferencias del usuario que son adquiridas a través de las API de la red social, pero en el experimento lo hacen a través de un formulario dirigido que llenan los participantes, estos participantes fueron seleccionados por los evaluadores y no en un modelo aleatorio, afectando esto la validez de los resultados.

Las brechas existentes que se pudieron identificar son:

- En el desarrollo de la SWoT, se han identificado tecnologías de comunicación apropiadas hacia los objetos y otras hacia las personas, pero aún no existe un consenso en cual privilegiar o si hacer un híbrido de las dos, es necesario evaluar apropiadamente las soluciones para establecer cuales son mejores y en qué condiciones.
- 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.
- Las propuestas arquitectónicas en la interacción de objetos son escasas y exploratorias, dejando la posibilidad de proponer modelos formales para este tipo de interacción.
- 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, sin embargo 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.
- Se ha incrementado la necesidad de crear modelos formales semánticos, con el fin de encontrar una forma adecuada de aprovechar la información y el conocimiento inferido de los objetos. Los

modelos son diversos y aún no hay un consenso en que modelo aporta información más relevante. Existen varias propuestas, pero muy pocas en resolver en tema particular de interacción semántica entre objetos.

- El modelamiento del contexto y de la conciencia es un campo que tienen aún mucho por proponer. Se tienen identificados elementos de contexto, pero hasta ahora se está estudiando cómo implementarlo adecuadamente.
- 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.
- En cuando a las redes sociales y los objetos, aún no se logra una forma transparente y efectiva que permita compartir los objetos e interactuar con ellos. Aun es necesaria la programación de relaciones y movimiento de código fuente a dispositivos por parte del usuario.
- Los pocos modelos de comportamiento social e inteligente presentados, trabajan ontologías y modelos matemáticos los cuales son prometedores, pero es necesario analizar y evaluar bien sus aportes con el fin de obtener el mejor provecho de dichas visiones.
- El razonamiento y la inteligencia de los objetos aun esta 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.
- La “*Wisdom Web of Things*” - W2T, 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.

4 DISCUSION DE LA PROPUESTA

A partir del estudio del estado del arte, en síntesis se busca obtener el mejor provecho de la IoT para crear servicios a las personas y facilitar procesos de automatización, control, comunicación e información. El presente proyecto se enfoca en vislumbrar una forma de interactuar los mismos objetos, como punto de partida para servicios más complejos. Los retos particulares son:

- Es necesario categorizar los objetos de acuerdo a sus capacidades con el fin de definir cuáles de ellos pueden interactuar y en que niveles.

- Es necesario definir las plataformas middleware más adecuadas al modelo de interacción propuesto, de tal forma que permitan una implementación correcta del modelo.
- Hay que definir un método de indexación semántica en la WoT, de tal forma que se convierta en una fuente de información importante para la búsqueda, descubrimiento y la interacción entre los objetos.
- 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.
- 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?, ¿cuál es el modelo matemático adecuado para representar las interacciones? y ¿cómo definir una aproximación a un comportamiento inteligente?.
- En cuanto a cómo exponer los servicios del modelo se piensa en una plataforma web que exponga inicialmente servicios de información semántica de los objetos y en ella se debe construir las funcionalidades que permitan registrar objetos y las personas o aplicaciones que podrán consumir dichos servicios.

Los aportes son en conocimiento nuevo y herramientas para uso en la WoT. Se presentan teniendo en cuenta las áreas de trabajo definidas en el apartado anterior:

- **En el área de arquitecturas de IoT:** Los posibles aportes de 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. Así se aporta a la fusión de datos que pueden ser utilizados en servicios de información a las personas.
- **En el área de Incorporación Semántica del IoT:** La propuesta de un modelo conceptual (basado en ontologías y estándares) que proveerá diferentes niveles de abstracción de los objetos, los cuales dependerán de los niveles de interrelación (a definir) que se produzcan entre los mismos. La solución plantea un enfoque de indexación semántica con el fin de realizar los procesos de búsqueda y descubrimiento entre los objetos, la cual ha sido muy poco abordada en los estudios del área.
- **En el área de Comportamiento Inteligente y Social del IoT:** La posibilidad de proveer un modelo e infraestructura software de interacción semántica entre objetos, puede servir 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.

5 METODOLOGIA

Ya que la hipótesis de solución es un modelo conceptual, se ha seleccionado una metodología que permite definirlo de manera formal, así para el desarrollo de este proyecto se tendrán en cuenta tres etapas principales: conceptualización, construcción y análisis - realimentación. En cada etapa se ejecutan una serie de actividades, cada una con productos definidos y metodologías apropiadas, las cuales sugieren fases y tareas (ver Figura 2). A medida que se avanza en las etapas, se realimenta el modelo.

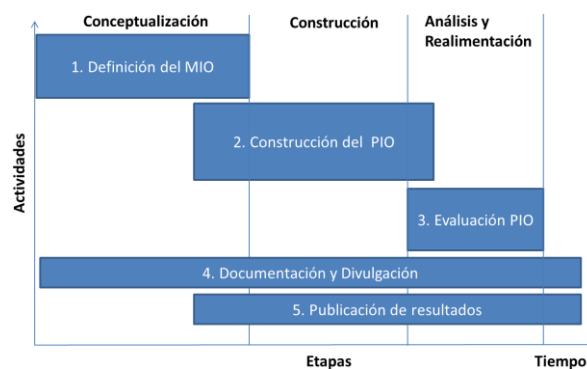


Figura 2. Etapas de la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto

5.1 Actividad 1: Definición del Modelo de Interoperabilidad de Objetos - MIO

Con respecto al MIO, el producto visible corresponderá a un modelo conceptual para el cual se seleccionó la siguiente metodología, definida en tres fases:

- **Fase 1: Determinar el ámbito del MIO:** Para esto se deben seguir las siguientes tareas:
 - **Creación de un Estado del Arte en interoperabilidad semántica en la WoT:** El subproducto es un marco de referencia en el área escogida y como metodología de apoyo se seguirá en esta actividad el modelo de investigación documental.
 - **Definición de un Diseño de alto nivel (arquitectura de la solución):** A partir del documento de investigación generado en la actividad anterior, se establecen los elementos, relaciones y pasos, para abstraer la vista arquitectónica que debe proveer el modelo, esto se hace con un modelo conceptual.

- **Fase 2: Definir formalmente el MIO:** Para la vista arquitectónica se selecciona un modelo orientado a servicios como Service-Oriented Modeling Framework – SMOF⁵. Para el modelo ontológico se utilizará la metodología METHONTOLOGY [54] la cual permite crear las ontologías y reutilizar las estandarizadas. De estas metodologías se elegirán las vistas más adecuadas con el fin de aplicar las abstracciones necesarias para poder eliminar la complejidad del problema y obtener los elementos estáticos (estructuras, reglas, restricciones, objetos) y los elementos dinámicos (funciones o tareas, interacciones).
- **Fase 3: Diseño de la prueba preliminar del modelo:** En este punto se elige el caso de estudio de acuerdo a las tecnologías seleccionadas en la arquitectura, elementos y dispositivos necesarios para construirlo. Se hace el diseño experimental adecuado al caso particular y mediado por una herramienta software. También se definen indicadores o reutilizan los existentes con el fin de aportar a la relevancia del modelo. Los resultados deben arrojar evidencia de que tan buena ha sido la herramienta que se implementó y si se debe modificar o afinar la herramienta y/o el modelo con respecto a los objetivos propuestos.

5.2 Actividad 2: Construcción de la Plataforma Web de Interoperabilidad de Objetos - PIO

En la construcción del prototipo se propone usar la metodología UP Ágil (Agile Unified Process) como la más adecuada para seguir el proceso de desarrollo software, la cual, se adapta a las necesidades específicas del proyecto.

5.3 Actividad 3: Evaluación de la Plataforma y Modelo de Interoperabilidad de Objetos.

Para esta etapa se evalúan dos productos: La plataforma web y los aportes al MIO. Para la plataforma se utilizarán los modelos de pruebas de software que se desarrollaron en la etapa anterior. Para establecer la relevancia del sistema construido, se tomará como base los indicadores existentes en la RI tradicional (Curva de precisión-recuerdo, Mean Average Precisión (MAP), Precisión en K resultados ordenados). Las fases definidas en esta etapa son: **Fase de definición los Indicadores:** En esta fase se seleccionan y adaptan los indicadores para poder evaluar el sistema desarrollado y los resultados esperados con respecto a la precisión y relevancia de la información. **Fase de implementación de Indicadores:** En esta fase se realizará la integración y programación de los indicadores al sistema construido con el fin de medir su validez con respecto de los objetivos del proyecto y **Fase de Análisis**

⁵ <http://www.modelingconcepts.com/pages/download.htm>

y realimentación al modelo: En esta etapa se presentan los resultados y se decide si debe hacerse una modificación al modelo y al sistema construido para mejorar sus resultados.

5.4 Actividad 4 y 5: Documentación y Divulgación.

Se lleva a cabo la documentación paralelamente al desarrollo de las actividades anteriores que consiste en publicaciones en conferencias y revistas, jornadas de socialización, portal web del proyecto y monografía.

6 CONCLUSIONES

Existe una oportunidad para hacer una propuesta en la interoperabilidad semántica de los objetos en el Web de las Cosas, desde el enfoque de modelar la interacción entre los mismos objetos con características inteligentes y a partir de allí generar servicios más complejos y útiles a sus usuarios.

La propuesta de un modelo conceptual de interoperabilidad semántica para la interacción de los objetos de la WoT, tiene que resolver los problemas de escalabilidad y heterogeneidad, ya que éstos son los que no permiten que las infraestructuras físicas y protocolos de comunicación existentes puedan comunicarse de manera transparente. La solución debe incorporar infraestructura de middleware y la incorporación de estándares de interoperabilidad en la WoT.

La capacidad para que los objetos de la WoT interactúen transparentemente implica la incorporación de técnicas semánticas como el uso de ontologías y el desarrollo de modelos de razonamiento adecuado de las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] M. Chaqfeh and N. Mohamed, "Challenges in middleware solutions for the internet of things," *International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS 2012)*,, 2012.
- [4] G. Biamino, "A Semantic Model for Socially Aware Objects," *Advances in Internet of Things*, 2012.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] L. Roalter, M. Kranz, and A. Möller, "A middleware for intelligent environments and the internet of things," *Ubiquitous Intelligence and Computing*, p. 14, 2010.

- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] L. Yao, "A Propagation Model for Integrating Web of Things and Social Networks," in *Service-Oriented Computing - ICSOC 2011 Workshops*. vol. 7221, G. Pallis, M. Jmaiel, A. Charfi, S. Graupner, Y. Karabulut, S. Guinea, F. Rosenberg, Q. Sheng, C. Pautasso, and S. Mokhtar, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 233-238.
- [11] D. Guinard, V. Trifa, and E. Wilde, "A resource oriented architecture for the web of things," *Internet of Things (IOT), 2010*, 2010.
- [12] 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.
- [13] E. Kosmatos and N. Tselikas, *Integrating RFIDs and Smart Objects into a Unified Internet of Things Architecture*: scirp.org, 2011.
- [14] J. Al-Jaroodi and N. Mohamed, "Service-oriented middleware: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, pp. 211-220, 2012.
- [15] S. Bandyopadhyay, M. Sengupta, S. Maiti, and S. Dutta, "Role of middleware for internet of things: A study," *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES)*, vol. 2, p. 12, 2011.
- [16] M. Taisch, A. Colombo, S. Karnouskos, and A. Cannata, *SOCRADES roadmap, the future of SOA-based factory automation*: Politecnico di Milano, 2010.
- [17] N. Kefalakis, N. Leontiadis, J. Soldatos, and D. Donsez, "Middleware Building Blocks for Architecting RFID Systems," *Mobile Lightweight*, 2009.
- [18] W. Masri and Z. Mammari, "Middleware for wireless sensor networks: A comparative analysis," *International Conference on Network and Parallel Computing - Workshops*, 2007.
- [19] M. Molla and S. Ahamed, "A survey of middleware for sensor network and challenges," *Parallel Processing Workshops.*, 2006.
- [20] B. Lheureux, R. Schulte, Y. Natis, D. McCoy, B. Gassman, J. Sinur, J. Thompson, M. Pezzini, F. Kenney, T. Friedman, M. Gilbert, and G. Phifer. (2004, Recuperado el Abril 6 de 2013). *Who's Who in Middleware, 1Q04*. Available: <http://www-01.ibm.com/software/info/websphere/partners4/articles/gartner/garwho.html>
- [21] 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.
- [22] V. Terziyan and O. Kaykova, "Ubiroad: Semantic middleware for context-aware smart road environments," *ICIW '10 Proceedings of the 2010 Fifth International Conference on Internet and Web Applications and Services*, 2010.
- [23] P. Kostelnik, M. Sarnovsky, J. Hreno, M. Ahlsen, P. Rosengren, P. Kool, and M. Axling, "Semantic devices for ambient environment middleware," *Proceedings of EURO TrustAmi 2008, Internet of Things and Services*, 2008.
- [24] M. Yuriyama and T. Kushida, "Sensor-Cloud Infrastructure - Physical Sensor Management with Virtualized Sensors on Cloud Computing," in *13th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS), 2010* 2010, pp. 1-8.
- [25] G. Broll, E. Rukzio, and M. Paolucci, "Perci: Pervasive service interaction with the internet of things," *IEEE Internet Computing*, 2009.
- [26] S. Hachem, T. Teixeira, and V. Issarny, "Ontologies for the Internet of Things," *Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium*, 2011.
- [27] 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.
- [28] W. Wei, 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.
- [29] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos, "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013.
- [30] M. Eisenhauer, P. Rosengren, and P. Antolin, "HYDRA: A Development Platform for Integrating Wireless Devices and Sensors into Ambient Intelligence Systems," in *The Internet of Things*, D. Giusto, A. Iera, G. Morabito, and L. Atzori, Eds., ed: Springer New York, 2010, pp. 367-373.

- [31] M. Compton, P. Barnaghi, L. Bermudez, R. García-Castro, O. Corchod, S. Coxe, J. Graybeal, M. Hauswirth, C. Hensong, A. Herzogh, V. Huang, K. Janowicz, K. W. D. Kelsey, D. L. Phuoc, L. Leforta, M. Leggier, H. Neuhaus, A. Nikolov, K. Pagem, A. Passant, and K. Amit Sheth, "The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group," *Web Semantics: Science*, 2012.
- [32] M. Botts, G. Percivall, C. Reed, and J. Davidson, "OGC® sensor web enablement: Overview and high level architecture," *GeoSensor networks*, 2008.
- [33] C. Aggarwal, N. Ashish, and A. Sheth, "The Internet of Things: A Survey from the Data-Centric Perspective," in *Managing and Mining Sensor Data*, ed, 2013.
- [34] C. Aggarwal and T. Abdelzaher, "Social Sensing," in *Managing and Mining Sensor Data*, ed, 2013.
- [35] F. Michahelles and P. Probst, "Object circles: modeling physical objects as social relationships," presented at the Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, Ulm, Germany, 2012.
- [36] J. Jia, X. Qiu, and C. Cheng, "Access Control Method for Web of Things Based on Role and SNS," in *Computer and Information Technology (CIT), 2012 IEEE 12th International Conference on*, 2012, pp. 316-321.
- [37] 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.
- [38] X. Li, R. Lu, X. Liang, X. Shen, J. Chen, and X. Lin, "Smart community: an internet of things application," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, pp. 68-75, 2011.
- [39] A. Kamilaris, D. Papadiomidous, and A. Pitsillides, "Lessons Learned from Online Social Networking of Physical Things," in *Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 128-135.
- [40] M. Blackstock, R. Lea, and A. Friday, "Uniting online social networks with places and things," presented at the Proceedings of the Second International Workshop on Web of Things, San Francisco, California, 2011.
- [41] A. Kamilaris and A. Pitsillides, "Social networking of the Smart Home," in *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium on*, 2010, pp. 2632-2637.
- [42] W. Jiafu, L. Di, Z. Caifeng, and Z. Keliang, "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.
- [43] 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," *n Proceedings of the 2nd International Workshop on RFID Technology - Concepts, Applications, Challenges*, pp. 87 - 100, 2010.
- [44] 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.
- [45] J. Hernández-Muñoz, J. Vercher, and L. Muñoz, "Smart Cities at the Forefront of the Future Internet," *The Future Internet*, 2011.
- [46] 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.
- [47] M. Barbas, D. Mansilla, and J. 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.
- [48] K. Römer, B. Ostermaier, F. Mattern, M. Fahrmaier, and W. Kellerer, "Real-Time Search for Real-World Entities: A Survey," 2010.
- [49] B. Ostermaier, K. Römer, F. Mattern, M. Fahrmaier, and W. Kellerer, "A real-time search engine for the web of things," 2010.
- [50] S. Zhexuan, A. A. Cárdenas, and R. Masuoka, "Semantic middleware for the Internet of Things," in *Internet of Things (IOT), 2010*, 2010, pp. 1-8.
- [51] 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.
- [52] F. Razzak, "The role of semantic web technologies in smart environments," porto.polito.it, 2013.
- [53] 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.
- [54] 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.