Modelo Basado en Tecnologías Semánticas y Contenidos Multimodales para Sistemas Sensibles al Contexto

Cristian Andrés Narváez Alarcón

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Bogotá, Colombia
2019

Modelo Basado en Tecnologías Semánticas y Contenidos Multimodales para Sistemas Sensibles al Contexto

Cristian Andrés Narváez Alarcón

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación

Directora:
Ph.D. Marcela Iregui Guerrero

Co-directora:
M.Sc. Denisse Cangrejo Aljure

Línea de Investigación:
Sistemas Sensibles al Contexto, Semántica Computacional
Grupo de Investigación:
ANGeoSC

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación
Ciudad, Colombia
2019

Dedico esta tesis a las historias que viví mientras la desarrollé, a las personas que conocí y las cosas que enseñé.

Quiero agradecer la suerte, el tiempo, la concentración y la voluntad que sentí en el periodo de mi vida que dediqué al desarrollo de esta tesis. Lo anterior hace parte de los granos de arena aportados por mi familia, por la profesora Marcela, la profesora Denisse y la profesora Mari Carmen; por mis amigos, por mis estudiantes y por los miembros del grupo OEG de la UPM. También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Colombia por haberme dado la oportunidad de crecer en el ámbito intelectual y profesional.

Resumen

En la actualidad los seres humanos cuentan con dispositivos electrónicos que les permiten generar datos acerca de las actividades que realizan y el estado del entorno que los rodea. Por ejemplo, mediante un teléfono móvil, un usuario representa las situaciones que vive por medio de una fotografía capturada de forma instantánea y este almacena la ubicación en que se realizó la captura. Sin embargo, para las máquinas comprender el significado de las situaciones que vive un usuario es una tarea difícil, ya que requiere un amplio conocimiento de la realidad que este experimenta. La sensibilidad al contexto permite, por medio del uso de diferentes fuentes de información, caracterizar entidades de acuerdo a los datos de su entorno y generar nueva información con el objetivo de entregar servicios de valor de forma automática. La implementación clásica de un sistema de sensibilidad al contexto usa como fuente de información exclusiva los datos de sensor de los dispositivos que usan los usuarios. Este trabajo explora el uso de información semántica, obtenida por medio del análisis de contenidos digitales y datos de sensor, en los sistemas sensibles al contexto. Los contenidos digitales son relevantes porque su captura almacena información acerca de factores como los lugares en los que se encuentra el usuario, sus acompañantes, la actividad que realiza y las emociones que siente al realizarlas.

El aporte principal de este trabajo es la propuesta de un modelo de contexto llamada MCAS. Este modelo usa la representación del contexto por medio de ontologías, la adquisición de contexto desde diferentes fuentes y el razonamiento de contexto por medio del uso de reglas implementadas en el lenguaje SPARQL. También se propone una ontología de alto nivel llamada mContext, la cual representa entidades relevantes para la definición del contexto como lo son persona, actividad, lugar, contenido multimedia, dispositivos y sensores.

Se realiza una validación que busca verificar la viabilidad tecnológica y operacional de los componentes del modelo. Para ello, se implementa en el lenguaje Java, bases de datos de grafos y el lenguaje de consulta SPARQL; del modelo MCAS. Como datos de entrada se crean flujos de datos simulados, los cuales reflejan las actividades realizadas por cuatro usuarios con capacidades y necesidades variadas, y un grupo de reglas, que define las condiciones para la generación automática de actividades de alto nivel contextual. Los resultados permiten concluir que se puede generan un 100 % de las actividades representadas por los expertos en las reglas. Sin embargo, se comprueba una de las limitantes conocidas del razonamiento por medio de reglas en donde aquellas relaciones que no fueron creadas explícitamente por medio de reglas son ignoradas por el sistema haciendo necesario el desarrollo de estratégias de creación y eliminación de reglas en próximas etapas de la investigación.

Palabras clave: Sensibilidad al Contexto, Multimedia, Semántica Computacional, Razonamiento Semántico, Grafos de Conocimiento, Ontologías.

Abstract

Nowadays, human beings have electronic devices that allow them to generate data about their activities and environment. For example, using a cellphone, a user can know in real time the temperature of the place where he is located and also take a picture of a situación he is living. However, understanding the meaning of certain situación is still a difficult task for the machines that process the user's information. The Context Awareness allows, through the use of different sources of information, to characterize different entities from the environment's data.

The classic context awareness systems approach use sensor data as the main data resource. This work explores the use of semantic information available in digital content and sensor data. Digital contents are relevant because they have information about user's locations, companions, activities, and emotions he feels in a specific situation.

The main contribution of this work is the proposal of a context architecture called MCAS. This architecture takes into account the context modeling with ontologies, the context acquisition from different sources and the context reasoning through the use of rules implemented in the SPARQL language. Also, a high-level ontology called mContext is proposed, this ontology represents relevant entities for context definition such as person, activity, place, multimedia content, sensors, and devices.

To validate the proposed architecture the MCAS architecture is implemented through the use of the Java language, the graph databases, and the SPARQL query language. The main objective of this process is to verify the technological and operational feasibility of the architecture components, through the automatic identification and generation of activities carried out by four users with varied capacities and needs. Based on this evaluation, it was concluded that the implementation of the proposed components allows the development of context-aware systems that generate 100 % of the activities expected by the experts. It's important to notice that due to the rules reasoning limitations if an element is not considered on the rules generation, the expected high-level context activities will not be created. Additionally, the context data recording times on the graph database indicate that it is possible to develop near to real-time applications.

Keywords: Context Awareness, Multimedia, Computational Semantics, Semantic Reasoning, Knowledge Graphs, Ontologies

Contenido

Resumen vii

Lista de Figuras xi

Lista de Tablas xi

Lista de símbolos xiii

1. Introducción 1
1.1. Justificación . . . 3
1.2. Objetivos . . . 5
1.3. Metodología . . . 5
1.3.1. Metodología de investigación . . . 5
1.3.2. Metodología de desarrollo . . . 6

2. Estado del Arte 9
2.1. Contenidos Multimedia . . . 9
2.1.1. Algoritmos de procesamiento de contenidos multimedia . . . 10
2.2. Sensibilidad al Contexto . . . 12
2.2.1. Adquisición de Contexto . . . 13
2.2.2. Representación de Contexto - Ontologías . . . 13
2.2.3. Razonamiento de Contexto . . . 15
2.3. Técnicas de razonamiento en Ontologías . . . 17
2.3.1. Reglas SWRL . . . 17
2.3.2. Reglas SPARQL . . . 18

3. Modelo de Sensibilidad al Contexto 20
3.1. Modelo de Contexto MCAS . . . 21
3.2. Representación de Contexto . . . 22
3.2.1. Ontología del Contexto - mContext . . . 23
3.3. Captura de Contexto . . . 26
3.3.1. Pre-procesamiento de los datos . . . 28
3.4. Transformación de datos . . . 28

3.5. Razonamiento de Contexto 29
3.5.1. SWRL y Drools 29
3.5.2. SPARQL 31
3.5.3. Proceso 33
3.5.4. Implementación y comparación de los métodos 34
3.6. Servicio 34

4. Caso de estudio **36**
4.1. Áreas de Aplicación para el Caso de Estudio 36
4.2. Personas mayores y Alzheimer 40
4.3. Aplicaciones existentes para Alzheimer 41
4.4. Escenarios de estudio 43

5. Pruebas **45**
5.1. Descripción de la prueba 46
5.1.1. Recolección de información 46
5.1.2. Análisis de datos recolectados 47
5.1.3. Definición de los flujos de información y reglas 47
5.2. Resultados de pruebas de MCAS 49
5.2.1. Resultados 49
5.3. Análisis de resultados 51

6. Conclusiones **53**
6.1. Conclusiones 53
6.2. Resultados del trabajo de maestría 54
6.3. Contribuciones 56
6.4. Nuevos horizontes de investigación y trabajo futuro 57
6.4.1. Razonamiento híbrido 57
6.4.2. Otras áreas de investigación 58

A. Anexo: Flujo de entrada de información en el sistema **60**

B. Anexo: Definición del mapping RML **63**

C. Anexo: Flujo de transformación de json a RDF **74**

Bibliografía **76**

Lista de Figuras

2-1. Flujo de datos genérico para el reconocimiento de acciones [Weinland et al., 2010]. 11

3-1. Modelo de contexto MCAS. 21
3-2. Términos que relevantes de la ontología. 25
3-3. Jerarquía de las clases de la ontología. 26
3-4. Relaciones principales entre las clases de la ontología de contexto. 27
3-5. Características de los datos de la ontología. 28
3-6. Ontología de Reglas. 31
3-7. Flujo de reglas con SPARQL 33

4-1. Diagrama del Razonamiento del sistema. 37

5-1. Ejemplo de las actividades creadas en el sistema 50

6-1. Módulo de razonamiento del Modelo MCAS desde una perspectiva híbrida. . 58

C-1. Flujo para la transformación de datos a RDF por medio de RML 75

Lista de Tablas

2-1. Atributos y métodos para el reconocimiento de actividades en diferentes formatos. 12

3-1. Recursos ontológicos externos 25

4-1. Áreas de aplicación de los Sistemas Sensibles al Contexto 39

5-1. Actividades de alto nivel contextual 48
5-2. Sensores seleccionados para el reconocimiento de actividades 48
5-3. Tiempos de registro en la base de datos Virtuoso 50
5-4. Tiempos de creación automática de actividades de alto nivel contextual en la base de datos Virtuoso 51

Lista de símbolos

Abreviaturas

Abreviatura	Término
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciónes
$MCAS$	Multimedia Context Awareness System
$MContext$	Multimedia Context Ontology
OWL	Ontology Web Language
$SPARQL$	SPARQL Protocol and RDF Query Language
RDF	Resource Description Framework
$SWRL$	Semantic Web Rule Language
$W3C$	Worl Wide Web Consortium
ROI	Region of Interest
DOF	Dense optical Flow
FT	Fourier Transformation
FFT	Fast Fourier Transformation
POS tagger	Part Of Speeach
$TF - IDF$	Term Frequency - Inverse Term Frequency
CS	Características de Señal
DS	Desviación Estándar
PCA	Principal Component Analysis
GPS	Geo Positional System

1. Introducción

En la actualidad los dispositivos electrónicos hacen parte de la cotidianidad del ser humano y le dan la capacidad de acceder y generar información de manera simple y rápida. La continua interacción entre las dos entidades hacen posible el reconocimiento de actividades, por ejemplo los teléfonos inteligentes permiten obtener la localización de un individuo por medio de GPS, saber si este está en movimiento usando giroscopio e incluso si está corriendo o trotando por medio del análisis de datos. Los dispositivos también permiten a los usuarios generar contenidos que reflejan los momentos que han vivido durante el día, por ejemplo, notas de audio grabadas en una reunión, mensajes con notas importantes para el trabajo o fotografías de un viaje realizado en familia. Sin embargo, tradicionalmente los computadores no comprenden el significado de una situación para el ser humano ni cuales son las necesidades que este tiene al momento de vivirlas.

Una posible solución al problema de la comprensión y uso de las situaciones que viven los usuarios es el uso de sistemas sensibles al contexto. Los sistemas sensibles al contexto caracterizan a una entidad a partir de los datos de su entorno y le ofrecen a la misma servicios o información relevante. Por ejemplo, por medio de los datos de las actividades que realiza un usuario es posible analizar su rutina para automatizar actividades o reconocer acciones que están fuera de la normalidad. Una posible aplicación de la sensibilidad al contexto es la generación automática de una alerta cuando un anciano ha durado demasiado tiempo en el suelo y no se encuentra en el horario habitual para el desarrollo de ejercicios. Mientras que si el anciano se encuentra en el rango de tiempo que usa normalmente para ejercitarse, y está acompañado, se puede entender que este está realizando actividad física.

La motivación principal de este trabajo es lograr que los sistemas comprendan el contexto de los usuarios para brindar servicios que se adapten a sus necesidades, las propuestas encontradas en el estado del arte se basan en el procesamiento y análisis de los datos de sensor, algunas llegan a usar la información que se obtiene del procesamiento de vídeo y otras proponen el uso de audio para establecer la situación que vive un usuario. Sin embargo, pocas definen un modelo que aproveche la combinación de la información que se puede obtener de los sensores y los contenidos digitales. A partir de lo anterior se define la siguiente pregunta de investigación:

> *¿Cómo puede la información semántica, obtenida por medio del análisis de contenidos digitales y datos de sensor, ser usada en un sistema sensible al contexto?*

Para dar solución a la pregunta de investigación en este trabajo se propone un modelo de sensibilidad al contexto que consume la semántica existente en los contenidos multimedia y los datos de sensor para generar actividades de alto nivel contextual. Para ello, se siguen los lineamientos del ciclo de vida del contexto y se usan tecnologías semánticas como las ontologías, las bases de datos de grafos, el lenguaje SPARQL para consulta y generación de contenidos en la base de datos de grafos. Gracias al modelo es posible generar sistemas, basados en el conocimiento semántico, que se adaptan a diferentes dominios y que usan los contenidos que generan los usuarios y los sensores.

En cuanto a la evaluación del modelo, se le pide a un grupo de personas que registren las actividades que realizan durante un periodo de dos semanas. Luego, se genera una simulación de los datos de entrada del sistema, los cuales corresponden a las entidades actividad, persona, localización. Y finalmente, se realizan pruebas para medir la cantidad de elementos de alto nivel producidos y los tiempos que toma la creación automática de los mismos. Las pruebas sugieren que el sistema sensible al contexto desarrollado puede ser empleado en aplicaciones que funcionen en tiempo real y que demanden el uso de relaciones semánticas entre sus datos pues los tiempos de generación son cortos. Adicionalmente, la creación del 100 % de actividades esperadas sugiere que el modelado adecuado del dominio y de las reglas permiten producir elementos contextuales a partir del conocimiento de los expertos.

Entre los aportes más significativos de este trabajo se encuentra el uso de anotaciones que describen contenidos multimodales y datos de sensor como fuente de información para sistemas sensibles al contexto. También se resalta el uso de tecnologías semánticas en la totalidad de los elementos propuestos, comprobando la madurez suficiente para su aplicación en sistemas informáticos fuera de la academia. Finalmente, la posibilidad de generar flujos que usan la información del entorno de un usuario, como las personas con las que interactúa y el lugar en el que se encuentra; y las reglas específicas de un dominio, permite ajustar el modelo a temáticas variadas como la medicina, la industria e incluso el entretenimiento.

El resto del capítulo cuenta con la siguiente estructura: En la Sección 1.1 se habla de forma más detallada del problema que da origen a la pregunta de investigación planteada. Luego, en la Sección 1.2 se presentan los objetivos planteados. Y finalmente, 1.3 se presentan las metodologías de investigación y desarrollo usadas.

El resto del documento se organiza de la siguiente forma: en el Capítulo 2 se presentan brevemente temáticas como la definición de los contenidos multimedia y sus algoritmos de procesamiento, el ciclo de vida del contexto y las técnicas de razonamiento de ontologías. Luego, el Capítulo 3 se muestra a detalle la contribución de este trabajo, el Modelo de Contexto MCAS la cual se basa en el ciclo de vida del contexto y usa datos de sensor, contenidos multimedia y servicios externos de información para generar diferentes niveles de contexto. En la Sección 3.2.1 se presenta la ontología de contexto mContext la cual se basa en ontologías existentes e incluye los contenidos multimodales en la representación

del dominio. La Sección 3.5.2 define el método de razonamiento de contexto por medio de reglas representadas en SPARQL, con este método es posible consultar y generar datos directamente sobre la base de datos de grafos. En el Capítulo 4 se habla de las diferentes áreas en las que pueden ser implementados los sistemas sensibles al contexto y se selecciona el Alzheimer como área objetivo de las pruebas, adicionalmente, se definen algunos casos de uso en donde se ve la utilidad del modelo propuesto. Luego, en el Capítulo 5 se presentan las pruebas empleadas, las cuales tienen el propósito de medir los tiempos de ejecución de cada uno de los componentes del modelo y el porcentaje en que es capaz de generar actividades de alto nivel contextual para los usuarios. En las pruebas intervienen cuatro personas con características variadas a las cuales se les pide llevar un diario de su rutina diaria. Finalmente en el Capítulo 6 se dan las conclusiones y las diferentes áreas que pueden ser exploradas como trabajo futuro.

La implementación del modelo de contexto MCAS, y las ontologías mcontex y de reglas pueden ser encontradas en el repositorio de este proyecto [1]

1.1. Justificación

En la actualidad los seres humanos pueden interactuar con gran variedad de dispositivos y aplicaciones, y la cantidad de información digital distribuida por medio de internet ha incrementado notablemente [Stamou et al., 2006]. Lo anterior ha generado retos en las áreas de almacenamiento, anotación y recuperación de los archivos que se encuentran en repositorios y bases de datos. Adicionalmente, la información digital puede servir como medio para que los sistemas computacionales ofrezcan mejores servicios a los usuarios.

Autores como Abowd et al. [1999], Dey [2001], Alegre et al. [2016], Baldauf et al. [2007] han señalado la importancia de agregar datos de contexto a los servicios que usamos día a día los seres humanos. Dey [2001] define el contexto como *"cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una Entidad. Una entidad es una persona, lugar, u objeto considerada relevante para la interacción existente entre el usuario y una aplicación, esto incluye a la aplicación y al usuario."*. Entonces, un sistema sensible al contexto es aquel que modifica su comportamiento y funcionalidad dependiendo de información como localización, hora, clima, día de la semana e incluso los dispositivos con los cuales está interactuando un usuario [Dey, 2001, Perera et al., 2014].

Los sistemas sensibles al contexto son usados en áreas como la terapia ocupacional, la comunicación aumentativa y alternativa, los sistemas de monitoreo y seguimiento, los sistemas de recomendación, entre otros. Un análisis de algunos nichos de aplicación se puede encontrar en la sección 4.1. Uno de los aspectos relevantes entre las diferentes propuestas es que

[1] `https://github.com/cnarvaa/mcas`

siguen alguna parte del ciclo de vida de contexto propuesto por Perera et al. [2014], el cual se compone de la *(i)* adquisición de datos desde diferentes fuentes, *(ii)* representación del contexto, *(iii)* razonamiento del contexto y *(iv)* distribución del contexto. En su artículo, Perera señala la existencia de diferentes métodos para la ejecución de cada una de las etapas del ciclo de vida.

Una de las motivaciones principales de este trabajo fue identificada al analizar los tipos de dato que se manejan en el proceso de adquisición de contexto, los cuales normalmente son datos de sensor. Por ejemplo, autores como Kanai [2012], Bravo et al. [2017] se apoyan en el uso de sensores de movimiento, RFID y temperatura para convertir lugares como hogares de cuidado de adultos mayores o instituciones educativas en localizaciones sensibles al contexto. Navarro et al. [2016] usa el conocimiento de expertos, información de tiempo y el horario habitual del desarrollo de actividades de personas con demencia para recordarles realizar ejercicios y consumir medicinas. Finalmente, existen sistemas de recomendación, como el de Braunhofer et al. [2011], que emplean datos de localización y anotaciones creadas por usuarios para encontrar la música favorita de las personas en un punto de interés.

Como se puede apreciar en el párrafo anterior, varias propuestas tienen como única fuente de información datos de sensor o características de un entorno. Gracias al avance de la tecnología algunos autores empiezan a experimentar con diferentes fuentes de contexto, como los contenidos multimedia. Por ejemplo, en el área de la recomendación musical ha sido posible vincular anotaciones de bajo nivel, como la frecuencia de una canción, con las situaciones que llevan a un usuario a escuchar un tipo de género [Kaminskas and Ricci, 2012], y en sistemas de asistencia en ambientes de vida díaria se ha empleado el reconocimiento de objetos en vídeo que permitan identificar la rutina de un usuario ofreciendo servicios inteligentes a partir de su contexto [Villalonga et al., 2016, Meditskos et al., 2016].

El análisis del estado del arte indica que las situaciones que requieren un alto grado de personalización y conocimiento de los usuarios son candidatos para el uso de contenidos multimedia como fuentes de contexto. Por consiguiente, es necesario establecer un modelo de contexto que use contenidos multimedia como audio, texto, imagen y vídeo; como fuente de información, y que en combinación con los datos de sensor permitan identificar elementos de alto nivel contextual. Concretamente, en este trabajo se propone un *Modelo de sensibilidad al contexto, que incorpora el uso de los contenidos multimedia y tecnologías semánticas, como las ontologías y el lenguaje de consulta de grafos SPARQL, para representar e identificar el contexto de las diferentes entidades de un sistema.*

1.2. Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de esta tesis. El objetivo general es:

> *Diseñar un modelo de abstracción de contexto y representación semántica de contenidos multimodales relacionados, para su aplicación en sistemas sensibles al contexto.*

Para cumplir el objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las diversas aproximaciones para la extracción de contexto y representación semántica de contenidos digitales.
- Definir un caso de estudio particular e identificar la información de contexto relevante para el usuario y los contenidos asociados.
- Definir un método para la extracción del contexto a partir de contenidos multimodales.
- Proponer una estrategia metodológica para establecer relaciones semánticas entre la información contextual del usuario y el modelo de representación del conocimiento.
- Validar el modelo propuesto, mediante el caso de estudio seleccionado.

1.3. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se sigue una metodología de investigación y una metodología de desarrollo. Para la metodología de investigación se opta por el método clásico de ingeniería, el cual se deriva del método científico. Una descripción general de los resultados de cada etapa de esta metodología se puede observar en la Sección 1.3.1. Por otro lado, en la Sección 1.3.2 se habla de la metodología de desarrollo en espiral y de las características que tuvo cada iteración.

1.3.1. Metodología de investigación

En este capítulo se presenta la metodología de investigación empleada durante el desarrollo de la tesis. Particularmente, se selecciona el método clásico de ingeniería, derivado del método científico, el cual se caracteriza por el seguimiento sistemático de actividades y la capacidad que tienen este tipo de investigaciones para ser reproducibles. A continuación se presentan los apartados más importantes del método, las actividades y resultados obtenidos como producto de su aplicación:

Primero se realizó un proceso de observación, correspondiente al análisis del estado del arte con el objetivo de identificar las brechas de conocimiento existentes en el área de la sensibilidad al contexto, los contenidos multimedia, y las tecnologías semánticas necesarias, para la implementación de la propuesta. Con este propósito, se adelantó una búsqueda en la base de datos Scopus, dada la reconocida calidad de las revistas allí indexadas. La búsqueda permitió obtener documentos producidos en un rango de tiempo entre el año 2013 y 2018, relacionados con conceptos como la sensibilidad al contexto, los contenidos multimedia, y la semántica multimodal.

En la fase de planteamiento de preguntas de investigación y análisis de requerimientos, teniendo en cuenta las brechas de conocimiento identificadas, se identificó como foco de la investigación los sistemas sensibles al contexto y el uso de la semántica asociada a los contenidos digitales y datos de sensor. A partir de la definición de las entidades del sistema, se especifican los requerimientos relacionados con la información que se debe modelar, las tecnologías que se van a emplear y las posibles aplicaciones de la implementación de la propuesta.

A partir de la pregunta de investigación se propone un modelo basado en el ciclo de vida del contexto que transforma los contenidos semánticos, obtenidos a partir del análisis de contenidos digitales, al formato estipulado por medio de una ontología. Adicionalmente, se eligieron las tecnologías necesarias para la implementación de la propuesta, estas tecnologías deben permitir el uso de la semántica y el flujo constante de información proveniente de sensores, usuarios y contenidos, para el desarrollo de sistemas sensibles al contexto. Para probar el modelo, se hace una implementación, en el lenguaje Java, que usa tecnologías como el lenguaje de consulta SPARQL y las bases de datos de grafos.

Finalmente, se ejecuta una etapa de validación y conclusiones en la cual se le pide a algunos usuarios que registren las actividades que han desarrollado durante el día. En estas pruebas, el sistema debe demostrar su capacidad para generar actividades de forma automática, a partir de los datos generados por los sensores y los contenidos multimedia. Finalmente, se explora el estado del arte y los productos disponibles en el mercado para identificar las áreas de aplicación del modelo de sensibilidad al contexto propuesto.

1.3.2. Metodología de desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se optó por una metodología ágil, basada en la definición de un sistema y de sus componentes, los cuales fueron desarrollados en un modelo evolutivo e iterativo. En cada una de las iteraciones se definieron las siguientes características: *(i) las necesidades que suple el producto*, *(ii) las diferentes alternativas que existen para dar solución y el análisis del riesgo para cada una*, *(iii) el desarrollo y pruebas del software*, y *(iv) la planificación de la siguiente iteración.*

A continuación se presenta la información de las diferentes iteraciones realizadas para el desarrollo del proyecto

Iteración 1 - Generación de la ontología de contexto:

- **Objetivo:** Crear una ontología de contexto que tiene en cuenta los contenidos multimedia en su modelado.
- **Desarrollo:** Se sigue un método sencillo de creación de ontologías y se ponen cada uno de los componentes de la ontología en servidores web para su disposición pública.
- **Resultados:** Se genera una ontología de contexto y se pone a disposición del público en la web.

Iteración 2 - Exploración de las bases de datos de grafos

- **Objetivo:** Explorar las diferentes alternativas para el almacenamiento de los contenidos semánticos de la propuesta.
- **Desarrollo:** Se selecciona Virtuoso DB dado su amplio uso en la industria, el soporte del lenguaje de consulta SPARQL y las reglas escritas en el mismo.
- **Resultados:** Se monta una unidad de Vituoso DB, en donde se registra la información necesaria para el uso del sistema de sensibilidad al contexto.

Iteración 3 - Exploración del uso de reglas en ontologías

- **Objetivo:** Identificar diferentes alternativas para la implementación de reglas en ontologías.
- **Desarrollo:** Se consulta a expertos para identificar las opciones más usadas y acertadas.
- **Resultados:** Se acotan las posibilidades la representación de reglas con SWRL y SPARQL.

Iteración 4 - Exploración de las reglas SWRL

- **Objetivo:** Identificar los pros y contras de la implementación de reglas con SWRL.
- **Desarrollo:** Se realizan modificaciones a la ontología de contexto para soportar adecuadamente este tipo de reglas, se reflejan varios casos de estudio y se define la pertinencia de la opción.
- **Resultados:** Se descarta el uso de SWRL porque no permite generar contenidos de forma dinámica en la base de datos de grafos, y cuenta con un sistema de reglas cerrado que limita las posibilidades que el modelo de contexto tiene en cuenta.

Iteración 5 - Exploración de las reglas con SPARQL

- **Objetivo:** Identificar los pros y contras de la implementación de reglas con SPARQL.
- **Desarrollo:** Se realizan modificaciones a la ontología y se registra información en la base de datos de grafos, y se implementan reglas básicas para comprobar la funcionalidad de la opción.
- **Resultados:** Se seleccionan las reglas representadas en SPARQL dado que permiten generar contenidos de forma dinámica en la base de datos de grafos. Adicionalmente facilita las operaciones CRUD sobre la información y la interacción con sistemas externos.

Iteración 6 - Implementación de reglas

- **Objetivo:** Implementar y comprobar las reglas representadas en SPARQL
- **Desarrollo:** Se generan las diferentes funcionalidades para soportar la consulta, inserción, eliminación y actualización de los elementos semánticos en la base de datos de grafos. También se generan diferentes reglas a partir de información suministrada por usuarios, estas reglas tiene diferentes grados de complejidad y permiten crear actividades de alto nivel de contexto de forma automática a partir de diferentes elementos de bajo nivel contextual.
- **Resultados:** Se implementa una versión estable del modelo de contexto MCAS.

Iteración 7 - Ejecución de pruebas

- **Objetivo:** Demostrar la capacidad del modelo de sensibilidad al contexto propuesto.
- **Desarrollo:** A partir de los datos suministrados por algunos usuarios se miden los tiempos de ejecución de los elementos del modelo. Además, se obtiene el porcentaje de reconocimiento y creación de las actividades de alto nivel contextual realizadas por los usuarios.
- **Resultados:** Los diferentes componentes del modelo se ejecutan en tiempos cortos indicando que la propuesta puede ser usada en sistemas que necesiten tiempos cortos de respuesta. Adicionalmente, se obtiene un 100 % de cumplimiento en las actividades que se esperaba reconocer y registrar en el sistema.

2. Estado del Arte

Este capítulo presenta los fundamentos teóricos y una recopilación de trabajos en áreas como el modelado y razonamiento de contexto, el material permite comprender conceptos relacionados con la propuesta expuesta en este trabajo. La Sección 2.1 introduce la definición de los contenidos multimedia y la forma en la que adquieren significado para el ser humano gracias a la posibilidad de transmitir información. En la Sección 2.1.1 se presentan brevemente algunos algoritmos que permiten obtener información de actividades y objetos que fueron representados en un contenido multimedia, por ejemplo, identificar que se tiene una conversación por medio del análisis de audio o que una persona toma té por medio del análisis de imágenes.

Luego, la Sección 2.2 habla de la sensibilidad al contexto y su ciclo de vida. Específicamente, la Sección 2.2.1 introduce al lector los contenidos multimodales como fuentes de contexto, luego en la Sección 2.2.2 se presentan y definen las ontologías como método de modelado, complementando la información con las variables de contexto que han usado otras propuestas en el estado del arte. El último elemento de la sensibilidad al contexto trata el tema del razonamiento, Sección 2.2.3, en donde se muestra la necesidad de generar conocimiento de forma automática y se discuten las alternativas generadas por investigadores en el área.

Finalmente, se exponen dos métodos para el uso de reglas en ontologías. El primero es el lenguaje SWRL, el cual es una expansión del lenguaje OWL. Y el segundo es la representación de reglas en el lenguaje de consulta SPARQL, con el cual es posible modificar las entidades almacenadas en una base de datos de grafos. Una vista más detallada de los dos métodos se pueden encontrar en las secciones 2.3.1 y 2.3.2 respectivamente.

2.1. Contenidos Multimedia

En la actualidad los seres humanos interactúan con una gran variedad de dispositivos y aplicaciones; y la cantidad de información digital distribuida por medio de internet ha incrementado notablemente [Stamou et al., 2006]. Adicionalmente, la masificación de los celulares inteligentes ha cambiado la forma en la que los seres humanos generan información haciendo común el uso de combinaciones de datos multimedia [Bracamonte et al., 2017]. Multimedia se define como la combinación de diferentes medios digitales, codificados en archivos, con el

fin de explicar, representar o demostrar un concepto [Rowe and Jain, 2005], dentro de esta categoría se pueden encontrar las imágenes, el texto, los audio, las gráficas, los vídeos, entre otros.

En el año 2004 el Grupo de Interés Especial en Multimedia de ACM[1] definió como uno de los retos de investigación en multimedia hacer de la captura, almacenamiento, recuperación y *uso* de los contenidos un tema recurrente en los entornos computacionales [Rowe and Jain, 2005]. Precisamente la proliferación de los dispositivos móviles y del acceso a internet ha permitido que personas alrededor del mundo generen contenidos que varían en características como formato y contexto [Bracamonte et al., 2017], sistemas como Facebook proporcionan a los usuarios herramientas para generar contenidos que transmiten información de forma masiva. Los contenidos compartidos en esta plataforma pueden ser de tipo texto, imagen o vídeo, y pueden ser creados o compartidos por el usuario desde otras plataformas. Para Rowe and Jain [2005] la indexación de contenido, la anotación de datos y la obtención de la semántica asociada, son procesos fundamentales para facilitar la búsqueda y uso de los datos multimedia. Generalmente, se crean dos tipos de información para los datos multimedia: el contenido y los metadatos [Bracamonte et al., 2017]. Los metadatos incluyen las anotaciones que pueden ser de dos clases: las que describen los atributos del contenido (anotaciones de bajo nivel) y las que relacionan la semántica de los conceptos representados por esos contenidos (anotaciones de alto nivel). La variedad en los datos multimedia hace más compleja la búsqueda y comprensión de los contenidos por parte de las máquinas o agentes de software. En la siguiente sección se nombran algunas técnicas para la generación automática de anotaciones a partir del análisis de los formatos multimedia.

2.1.1. Algoritmos de procesamiento de contenidos multimedia

De acuerdo al tipo de contenido, es posible aplicar diferentes algoritmos para su procesamiento, por ejemplo, Weinland et al. [2010] presenta un flujo de información (Figura **2-1**) para el reconocimiento de actividades por medio de vídeo. Sin embargo, es posible usar este flujo en formatos como imágenes, vídeos, audio, texto y datos de sensor; en donde la entrada es el contenido a analizar y la salida serán anotaciones semánticas relacionadas con los elementos identificados durante el procesamiento.

A continuación se presentan los atributos y métodos usados para el análisis en cada formato:

- Imagen: Los atributos de las imágenes están dados por el reconocimiento de regiones de interés y los gradientes de imagen, estos atributos llevan al reconocimiento de entidades dentro de las imágenes. Para lograr lo anterior, suelen usarse métodos como Viola-Jones que facilita el reconocimiento de objetos y rostros, y métodos de segmentación como K-medios y Canny [Weinland et al., 2010, Zaitoun and Aqel, 2015].

[1] Association for Computing Machinery

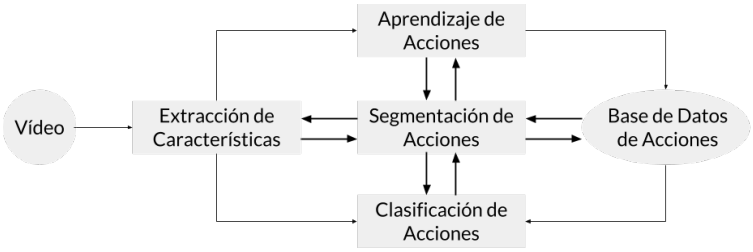

Figura 2-1.: Flujo de datos genérico para el reconocimiento de acciones [Weinland et al., 2010].

- Vídeo: El procesamiento de vídeo comparte algunas de las características del procesamiento de imágenes. Sin embargo, al agregarse una dimensión de temporalidad, los métodos y atributos de importancia cambian. Para el vídeo el movimiento y las siluetas son de gran importancia, estos atributos se pueden obtener a partir de la selección de puntos de interés dentro del objeto a seguir. Los métodos más usados para lograrlo son SIFT el cual permite crear descriptores para una imagen, Flujo Óptico Denso que hace el seguimiento al movimiento de cada píxel y el Histograma de Gradientes Orientados el cual funciona como descriptor de una imagen pero tiene información del cambio de orientación y magnitud [Weinland et al., 2010].

- Audio: De acuerdo a Kang et al. [2019], existen diferentes métodos que se concentran en la identificación de actividades de contexto de bajo nivel. por medio de atributos como la amplitud, los coeficientes de frecuencia, el espectrograma, y los coeficientes Cepstral. Para obtener esta información se usa la transformada rápida de Fourier, la transformación de Fourier de tiempo corto y la combinación de métodos de inteligencia artificial como las redes neuronales.

- Texto: El uso de texto para el reconocimiento de las actividades se centra en la identificación de verbos dentro de textos, que pueden ser comentarios de usuarios, blogs, libros, entre otros. Adicionalmente se busca la similitud entre palabras y la frecuencia de las mismas en un texto. Los métodos tienen relación con el procesamiento de lenguaje natural, como el etiquetado de la parte del discurso *(POS Tagger)* y TF-IDF [Motwani and Mooney, 2012, Yifan et al., 2016].

- Datos de sensor: En el caso de los datos de sensor se emplean métodos que disminuyen la cantidad necesaria de procesamiento. Los atributos que se buscan en las señales de sensores son los elementos más relevantes de una señal, lo cual disminuye el área de búsqueda de los algoritmos de aprendizaje, y ventanas que se realizan sobre la señal para obtener segmentaciones beneficiosas en el reconocimiento de las actividades. Para lograrlo, se usan métodos como la desviación estándar, si se lleva a cabo un análisis temporal, transformadas de Fourier para análisis de la frecuencia de las señales y análisis de componentes principales *(PCA)* para encontrar patrones entre los valores

de las señales Lara and Labrador [2013].

Tabla 2-1.: Atributos y métodos para el reconocimiento de actividades en diferentes formatos.

	Imagen	Vídeo	Audio	Texto	Sensor
Atributos	Bordes ROI Gradientes de Imagen	Movimiento Siluetas	Amplitud Frecuencia Espectro Cepstral	Verbos Similitud Frecuencia	CS Ventana de señal
Métodos	Viola-Jones Segmentation	SIFT DOF HOG	FT FFT	POS Tagger TF-IDF	DE FT PCA

La Tabla **2-1** resume los métodos anteriormente mencionados con las siguientes abreviaturas (en inglés): **ROI** - Regiones de interés, **DOF** - Flujo Óptico Denso, **HOG** - Histograma de Gradientes Orientados, **TF** - Transformada de Fourier, **FFT** - Transformada Corta de Fourier, **POS** Tagger - Etiquetado del discurso, **TF**-IDF - Frecuencia de Términos - Frecuencia Inversa de Documentos, **CS** - Características de la Señal, **DS** - Desviación Estándar, **PCA** - Análisis de Componentes Principales.

En todos los casos el proceso finaliza con el uso de técnicas de inteligencia artificial como **SVM** Máquinas de Soporte Vectorial los cuales ayudan a los sistemas a clasificar las actividades que desarrollan los usuarios. La técnica seleccionada dependerá del caso de estudio y de las tecnologías disponibles para la implementación de los procesos.

2.2. Sensibilidad al Contexto

El contexto ha sido definido por diferentes autores, pero la definición más importante y ampliamente aceptada ha sido la de Dey en 2001, que dice *"El contexto es cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una Entidad. Una entidad es una persona, lugar, u objeto considerada relevante para la interacción existente entre el usuario y una aplicación, esto incluye a la aplicación y al usuario."*. Entonces un sistema sensible al contexto es *"aquel que usa el contexto para proveer servicios e información relevante al usuario, en donde la relevancia depende de la actividad que desarrolla el usuario"* [Dey, 2001]. Perera et al. [2014] identifica en un estado del arte las siguientes etapas del ciclo de vida de contexto:

- Adquisición del contexto: Se obtienen los datos de contexto desde diferentes fuentes de información, normalmente datos de sensor.

- Representación del contexto: Selección de los datos de contexto relevantes para el sistema y elección de la forma de representación y organización de la información.
- Razonamiento del contexto: Generación de conocimiento a partir de la información de contexto disponible, obteniendo contexto de alto nivel.
- Distribución del contexto: Servicios ricos en contexto para las entidades del sistema.

2.2.1. Adquisición de Contexto

Las fuentes de datos de los Sistemas Sensibles al Contexto se dividen en tres *(i)* físicos - se obtienen directamente de los sensores, *(ii)* virtuales - provienen de servicios externos a la aplicación y *(iii)* lógicos - combinan los dos tipos de datos. Aunque en la actualidad se encuentran disponibles fuentes visuales, de audio y de movimiento; los desarrollos de sistemas sensibles al contexto se han concentrado en el uso de sensores de localización, aceleración y orientación; servicios de información climatológica y descripción de los lugares de interés. Precisamente, el uso de contenidos multimodales no se explora en muchos trabajos del estado del arte, en la sección 3.3 se presenta un módulo que tiene en cuenta datos de sensor pero también contenidos multimedia como fuente de contexto.

2.2.2. Representación de Contexto - Ontologías

Según Perera et al. [2014] existen diferentes métodos para representar el contexto. Entre los métodos de representación se encuentran ***(i)*** Basados en etiquetado, *(ii)* Basados en ontologías, y *(iii)* Basados en objetos. En este trabajo, se seleccionó el **modelado basado en ontologías** pues soporta el razonamiento semántico, maneja un lenguaje estándar y facilita el intercambio de información.

Una ontología es una forma de representación formal del conocimiento de un dominio, por lo tanto es una técnica de modelado de información muy versátil que organiza la información a partir de las relaciones existentes entre los individuos que la componen. Entre las ventajas de las ontologías se encuentra *(i)* Compartir una estructura definida entre sistemas o personas. *(ii)* Reutilizar el conocimiento conseguido en un dominio específico. *(iii)* Hacer explícitas las suposiciones. y *(iv)* Separar el conocimiento de un dominio de las estrategias operativas. En el área de la sensibilidad al contexto el apartado *(ii)* es importante pues permite hacer uso de información desde diferentes fuentes.

Las ontologías definen la información en tripletas compuestas por un sujeto (Persona) una propiedad (tiene) y un objeto (la pelota), adicionalmente presenta relaciones como la pertenencia de un concepto a un grupo específico o la posibilidad de representar entidades que

tienen el mismo significado semántico. La W3C con su estándar OWL [2] permite representar ontologías en sistemas computacionales, está basado en RDF y es el estándar más usado en el área, aunque muchos sistemas soportan únicamente el lenguaje RDF para el almacenamiento de ontologías perdiendo características propias de OWL.

En la sección 3.2.1 se presenta la ontología de contexto multimedia la cual es construida a partir del proceso propuesto por Noy et al. [2001] y que tiene en cuenta los atributos representados en diferentes trabajos del estado del arte. Por ejemplo, Iaz et al. [2014] presenta un estudio en donde identifica las ontologías de contexto más usadas y las califica, de menor a mayor puntuación, de acuerdo a factores como la calidad de la representación del entorno del usuario y la facilidad de empleo y reuso. En el estudio, resaltan ontologías de contexto como CONON (2004) [Wang et al., 2004] y CoBrA (2003) [Chen et al., 2003] las cuales obtienen el cuarto y sexto puesto respectivamente, y mIO! (2010) [Poveda Villalon et al., 2010] y PiVOn (2010) [Hervás et al., 2010] quienes se ubican en el noveno y décimo lugar. Un factor de gran importancia son las tecnologías y estándares disponibles al momento de producir las ontologías anteriormente mencionadas, por esta razón, es pertinente evaluar propuestas presentadas en años recientes.

Villalonga et al. [2016] propone una ontología de contexto que se centra en las actividades de un usuario y que divide el contexto en bajo (componentes mínimos del contexto) y alto nivel (combinación de varios contextos de bajo nivel), algunas de las clases que componen el contexto de bajo nivel son emoción, lugar y actividad; mientras que el alto nivel está compuesto por Actividades Físicas como Trabajar en la Oficina o Dormir. En este sistema los datos que ingresan son anotaciones realizadas a los datos de sensor y a contenidos multimodales, sin embargo no se hace una representación de los contenidos en la representación del contexto, las imágenes producto de los vídeos son tomados como salida de un sensor. La representación de contexto también ha sido trabajada en el ámbito de las casas inteligentes, Meng and Lu [2016] proponen una ontología de alto nivel que se centra en el contexto y que representa al usuario, los dispositivos, la red, el entorno, la localización, el tiempo y la historia. En el trabajo indican que los datos binarios hacen parte de una ontología de bajo nivel.

Bravo et al. [2017] propone una ontología que representa el contexto en una entidad educativa y que se divide en tres partes usuario, dispositivo (incluyendo sensores) y entorno. Y Cabrera et al. [2017] propone dividir la base de conocimiento en tres partes una ontología de alto nivel que representa las clases principales del contexto el tiempo, el perfil, el entorno, el rol, el estado, la localización, la actividad, los recursos y los agentes; una ontología de mediano nivel que permite usar recursos ontológicos externos como foaf o time ontology y una ontología de bajo nivel que es específica del dominio y extiende la información en el mediano nivel. En el área de e-health, Fissaa et al. [2017] presenta una ontología desarrollada en OWL-S que se centra en los servicios que puede entregar el sistema y que representa el contexto

[2] http://www.w3.org/TR/owl-overview

con las clases usuario, dispositivo, entorno e información médica. En la misma área se ha implementado una ontología basada en las 5Ws ¿quién?, ¿dónde?, ¿qué?, ¿cuándo?, ¿por qué? (who, where, what, when and why) que incluyen usuario, actividad, tiempo, dispositivo, servicio y localización; en este caso los contenidos de la ontología varían de acuerdo al dominio de la aplicación pero no se manejan dos capas Aguilar et al. [2017].

Los trabajos de Villalonga et al. [2016] y Cabrera et al. [2017] presentan ontologías que pueden ser usadas en este trabajo, la ontología de 3 niveles de Villalonga cuenta con componentes que no son relevantes hasta el momento de decidir el dominio en el que se desempeñará el sistema sensible al contexto; en cuanto a la estrategia de dividir la ontología en contexto de alto y bajo nivel facilita la tarea de razonamiento pero es necesario incluir relaciones con componentes externos a las actividades como lo son los actores, lugares y dispositivos que intervienen en el entorno del usuario.

2.2.3. Razonamiento de Contexto

En un sistema sensible al contexto el análisis básico de los datos generados, como promedios o valores booleanos) permite producir el **Contexto de Bajo Nivel** el cual representa actividades simples y triviales, una capa de razonamiento dota al sistema con la capacidad de producir **Contexto de Alto Nivel** es decir información que revela más acerca de la actividad que realiza un usuario. De forma general, se puede interpretar que los datos de localización obtenidos por un sensor GPS permiten saber si un usuario se encuentra en un gimnasio, un pulsómetro identifica que el usuario está corriendo, y finalmente un proceso de razonamiento permite comprender que el usuario está desarrollando su rutina de ejercicio. Las técnicas de razonamiento son variadas y su uso depende de los datos disponibles y el contexto esperado, entre estas resaltan *(i)* aprendizaje supervisado y no supervisado, *(ii)* reglas, y *(iii)* basada en ontologías [Perera et al., 2014]. En esta área se seleccionan las reglas por su facilidad de definición, modificación, almacenamiento y la posibilidad de implementarlas en sistemas ontológicos. A continuación se presentan algunos trabajos relacionados con el razonamiento, el detalle teórico de las reglas usadas en este trabajo se presenta en la sección 2.3 y la propuesta en la sección 3.5.

El trabajo de Gu en el año 2004 mostraba un esfuerzo interesante por resolver problemáticas de los sistemas sensibles al contexto como la consistencia y el tiempo de razonamiento de las ontologías. En su propuesta, se presenta un modelo de tres capas (aplicación, razonamiento y adquisición de datos) y la ontología de contexto de alto nivel SOCAM que representa las entidades más importantes en los sistemas de contexto. El razonamiento de esta propuesta se da por medio de *Logic Reasoning* e *Inference Rules* [Gu et al., 2004].

Garcia-Sola et al. [2014] proponen un sistema de razonamiento distribuido que busca mejorar el desempeño de los razonadores ontológicos tomando pequeños fragmentos de la ontología

y combinando diferentes métodos de razonamiento como reglas y representación de acciones en árboles. Aunque la propuesta es clara las tecnologías no son especificadas e indica que el cálculo de tiempo para seleccionar los diferentes métodos de razonamiento no es muy certero.

Avenoğlu and Eren [2017] presentan un sistema sensible al contexto SOMNIUM que modela las actividades diarias del usuario como un flujo y utiliza reglas del tipo Drools [3]. La información de contexto se usa solo cuando es pertinente dentro del flujo, disminuyendo el tiempo del procesamiento, y recomendando acciones a los usuarios en tiempo real y de acuerdo a su rutina. El esquema de la propuesta principal se divide en un componente que ejecuta y administra las actividades del usuario, un componente que ejecuta las reglas y dos componentes que permiten especializar el sistema de acuerdo al dominio en el que se va a ejecutar.

Li et al. [2017a] exploran el concepto de los sistemas sensibles al contexto en los submarinos robóticos, específicamente presenta una arquitectura para el razonamiento en sistemas de contexto que utiliza el razonamiento basado en ontologías, en reglas y en redes bayesianas. En esta propuesta se usa una ontología general, una que contiene datos del dominio y otra que se concentra en las aplicaciones o servicios que se pueden desarrollar. Este trabajo es bastante completo en la definición de la estrategia de razonamiento pues por medio del uso de las redes bayesianas logra eliminar la incertidumbre en el sistema de contexto cuando no hay información suficiente.

Chang et al. [2017] presentan un modelo de contexto que tiene en cuenta datos de sensores variados con múltiples entidades como usuario, vehículo y carretera. Realiza la representación de contexto por medio de ontologías y el razonamiento lo hace de la misma forma, solo que divide este proceso en dos partes, uno que permite encontrar la situación y otro que toma la decisión en el sistema evitando sobrecargar el mismo, también presenta datos de los tiempos que se demora el sistema en dar respuesta. Sin embargo, este trabajo no tiene en cuenta el contenido multimedia aunque tener información de música, texto y otras cosas puede facilitar la toma de decisiones (por ejemplo el uso del móvil en el proceso de conducción), también puede ser muy útil ver los procesos de interacción como multimedia.

Raz [2017] propone un componente de contexto para el framework Mining Minds el cual combina el uso de razonamiento con ontologías y Machine Learning para obtener el contexto, su motivación es que usar solo el razonamiento es bastante demandante en el procesamiento.Adicionalmente, se presenta una ontología que divide el contexto de alto y bajo nivel y hace uso del lenguaje de consulta SPARQL.

Wei and Chan [2013] presentan un modelo para sistemas sensibles al contexto que adapta automáticamente las actividades que se presentan al usuario. Esta arquitectura usa onto-

[3] Administrador de reglas de negocio. Permite a un programa tomar acciones a partir del cumplimiento de ciertas condiciones. `http://drools.org`

logías y para el razonamiento Description Logic y First order logic reasoning. Para la toma de decisiones usa un proceso de filtrado en donde se eliminan primero las tareas menos importantes para el contexto y luego dependiendo de lo que sucede en el entorno se evalúan las opciones más óptimas. Esta propuesta no tiene en cuenta los formatos y realiza razonamiento solo con las reglas de las ontologías

2.3. Técnicas de razonamiento en Ontologías

Aunque las ontologías permiten representar formalmente el conocimiento en un dominio, es necesario incorporar métodos que faciliten la generación de nueva información a partir de los contenidos que han sido anteriormente modelados. Este proceso se puede realizar por medio de las reglas en ontologías.En esta sección se presentan dos alternativas para el uso de reglas en ontologías las reglas SWRL y las reglas SPARQL.

2.3.1. Reglas SWRL

SWRL nace como una recomendación a la W3C en el año 2004 [Horrocks et al., 2004], la peculiaridad de este tipo de reglas es que siguen el lenguaje OWL y por tanto pueden ser almacenadas fácilmente en las ontologías. Las reglas de este lenguaje se pueden leer de la siguiente forma:

Si se cumplen las especificaciones del antecedente, entonces el consecuente se cumple

Dentro de los antecedentes y los consecuentes se encuentran los átomos. Estos átomos se componen de una propiedad y los sujetos que podrían estar relacionados por ésta, toda la información debe estar almacenada en la ontología al momento de llevar a cabo el proceso de razonamiento. Uno de los ejemplos más populares de las reglas con SWRL es:

$$tienePadre\,(sujeto1, sujeto2) \wedge tieneHermano\,(sujeto2, sujeto3) \rightarrow tieneTio\,(sujeto1, sujeto3)$$

De esta forma si *sujeto1 = Andrea*, *sujeto2 = Ivan*, *sujeto3 = Freddy*; entonces se puede decir que ***Andrea tieneTio Freddy***. Posteriormente, la activación del razonador sobre la ontología evaluará el rango y dominio de las relaciones, entonces es posible expresar que todos los individuos que pertenecen al rango de la relación tieneTio pertenecen a la clase Tío, por lo tanto ***Freddy es Tío***.

Trabajos como los de Aguilar et al. [2017], Li et al. [2017b] usan SWRL como estrategia de razonamiento teniendo en cuenta que es soportado por varios razonadores y editores de ontologías. En la sección 3.5 se tratan las problemáticas asociadas al uso de SWRL para el razonamiento de las ontologías en sistemas sensibles al contexto.

2.3.2. Reglas SPARQL

Con la adopción de las tecnologías semánticas y el uso del lenguaje RDF fue necesario el desarrollo de lenguajes de consulta que fueran fácilmente escritos y comprendidos por los usuarios. SPARQL es un lenguaje que permite manipular los grafos escritos en RDF por medio de consultas que pueden ser complejas. Este lenguaje es muy completo pues permite seleccionar, contar elementos, y generar subconsultas que se ejecutan rápidamente Harris et al. [2016]. En el código 2.1 se puede ver un ejemplo simple de una consulta SPARQL.

Listing 2.1: Consulta básica con SPARQL

```
1 PREFIX prefijo:<http://direccion/>
2 SELECT ?nombre
3 WHERE {
4     ?persona prefijo:nombre ?nombre .
5 }
```

En el caso de SPARQL es importante definir los **prefijos**, los cuales direccionan a los elementos del grafo, y las **propiedades** existentes entre las **entidades** del grafo. Una consulta como la anterior arrojará como resultado un listado con los nombres de las personas que se encuentran registradas en el grafo. Siendo *?persona* todas las entidades que son sujeto de la propiedad nombre y *?nombre* el objeto de la misma relación.

El amplio uso de SPARQL mostró la necesidad de crear un lenguaje que permitiera razonar directamente sobre los grafos que se encuentran disponibles en la web semántica. Precisamente, SPIN es la notación de inferencia de SPARQL que permite crear reglas que formalicen y limiten el comportamiento de los elementos que componen una ontología [Knublauch et al., 2016]. Gracias a SPIN es posible generar contenidos en un grafo a partir del cumplimiento de diferentes condiciones en la consulta. Siguiendo el ejemplo presentado en la sección 2.3.1 una transformación adecuada se puede ver en el código 2.2.

Listing 2.2: Ejemplo Razonamiento con SPARQL

```
1 INSERT {
2     ?sujeto1 tieneTio ?sujeto3
3 }
4 WHERE {
5     ?sujeto1 tienePadre ?sujeto2.
6     ?sujeto2 tieneHermano ?sujeto3.
7 }
```

SPARQL realizará una consulta sobre el grafo y SPIN se encargará de generar los nuevos contenidos de forma automática.

Este trabajo usa las reglas de SPARQL para la generación automática de contenido, trabajos como [Ali et al., 2017, Meditskos et al., 2013, Sorici et al., 2015] han elegido esta opción dado que las reglas son almacenadas como tripletas RDF y pueden ser usadas de forma iterativa. En la sección 3.5 se presentan algunas de las motivaciones para el uso de las reglas SPARQL, sin embargo una de las razones más fuertes para orientar la implementación a SPARQL es la posibilidad de razonar sobre entidades que se crean dinámicamente.

3. Modelo de Sensibilidad al Contexto

En este capítulo se presentan las contribuciones realizadas a las áreas de Modelado, transformación y razonamiento de contexto, aunque se hace referencia a algunos flujos y modelos establecidos en el estado del arte los elementos que aquí se exponen son propios. Específicamente se presentan elementos que se ajustan al ciclo de vida de contexto como la creación de una ontología que tiene en cuenta los contenidos multimodales y las diferentes entidades que intervienen en las actividades de un usuario, el uso de RML para transformar información del entorno al formato semántico RDF, y el uso de SPARQL para la ejecución de reglas sobre bases de datos de grafos.

En la sección 3.1 se presenta el modelo de contexto MCAS. Este modelo se alinea con el ciclo de vida de contexto mencionado en la sección 2.2, enmarca la generalidad de los aportes de esta tesis, y permite observar el flujo de los datos desde las fuentes de datos hasta la generación de servicios para las entidades del sistema. La representación de contexto en este trabajo se realiza por medio de las ontologías, un análisis de las entidades relevantes y la creación de la ontología de contexto ***mContext*** se presenta en la sección 3.2, gracias al seguimiento del proceso se puede observar la jerarquía y las relaciones de las clases en esta forma de representación del dominio.

En la sección 3.3 se definen los orígenes de datos del modelo, estos son los sensores de una entidad, los contenidos multimedia que generan las entidades y los datos que pueden ser obtenidos de servicios web o sensores externos al sistema de sensibilidad al contexto. Adicionalmente, se definen etapas del pre-procesamiento como el análisis automático de contenidos para la extracción de actividades y entidades de contexto, filtrado de la información y finalmente la generación de anotaciones que serán convertidas posteriormente a estándares como RDF. La transformación de información desde formatos como JSON, CSV o XML a RDF se realiza por medio de RML una adaptación del lenguaje R2RML el cual fue previsto para convertir datos almacenados en bases de datos relacionados a estructuras semánticas, las motivaciones para la selección de RML se encuentran en la sección 3.4.

El razonamiento de contexto se presenta en la sección 3.5, en esta propuesta se seleccionan las reglas pues estas pueden ser empleadas directamente sobre la información almacenada en ontologías y bases de datos de grafos. Específicamente se muestran algunas alternativas disponibles para el uso de reglas y se explican las motivaciones por las cuales SPARQL es empleado para generar contenidos directamente sobre las bases de datos de grafos. Adicio-

nalmente, se introduce una ontología de alto nivel que modela la estructura de las reglas escritas en SPARQL, y las actividades que son necesarias para desarrollarlas. Con esto, es posible reducir la cantidad de validaciones y consultas que se realizan en la etapa de razonamiento. Finalmente en la sección 3.6 se presentan algunos ejemplos de servicios de contexto que pueden ser entregados luego de generar los información por medio del razonamiento.

La implementación del modelo de contexto MCAS, desarrollada en el lenguaje JAVA, puede ser encontrada en el repositorio de este proyecto [1]

3.1. Modelo de Contexto MCAS

El ciclo de vida de contexto presentado por Perera et al. [2014] es de gran importancia pues permite observar la transformación de la información en un sistema sensible al contexto desde que se obtiene en los sensores hasta que se entrega a los usuarios o entidades relevantes. El ***Modelo de Contexto MCAS*** representa la contribución de este trabajo al ciclo de vida, definiendo pasos y métodos que permiten obtener información contextual de fuentes como sensores y la información que se puede extraer gracias al análisis de contenidos multimedia. Dado al alcance de este proyecto los principales aportes se dan en las etapas de transformación de datos y razonamiento.

En la figura **3-1** se pueden observar los componentes del modelo y la relación entre los mismos, este modelo está compuesto por:

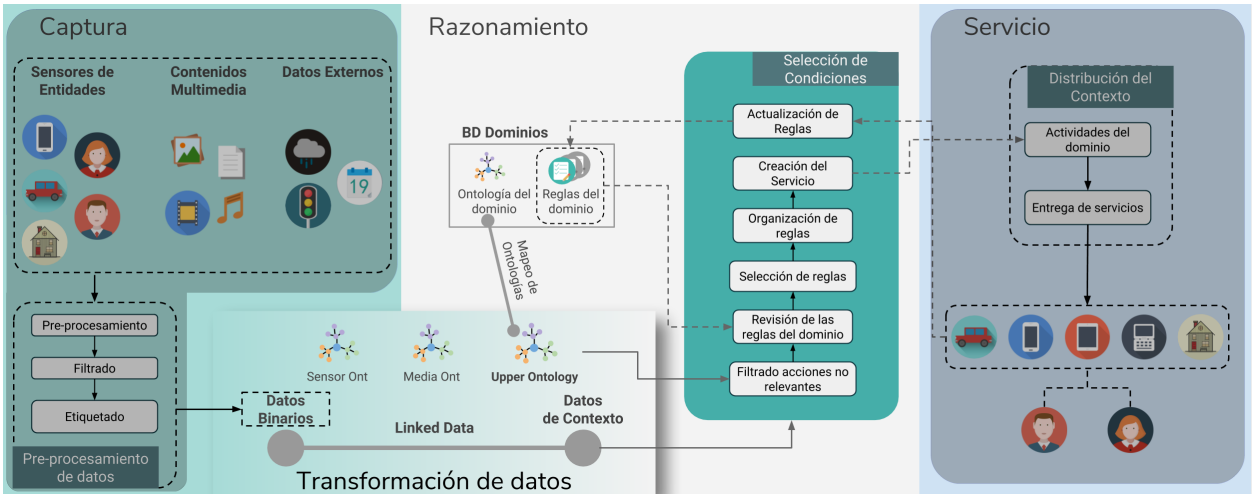

Figura 3-1.: Modelo de contexto MCAS.

- Captura de datos: Capa dedicada a la adquisición de los datos relevantes para el sistema de contexto. Tiene en cuenta las entidades que intervienen en la interacción, los

[1] `https://github.com/cnarvaa/mcas/tree/master/Apps/mcas/mcas`

contenidos multimedia y los datos obtenidos de fuentes externas. Adicionalmente se encarga de limpiar y organizar la información para su posterior transformación.

- Pre-procesamiento de datos: Pertenece al proceso de captura y se encarga de realizar el proceso necesario para la identificación de actividades, anotaciones, en los formatos que hacen parte de las fuentes de información.
- Transformación de datos: Transforma las anotaciones al formato RDF permitiendo la interoperabilidad con otros sistemas y facilitando el uso de redes semánticas para la descripción del contexto del usuario.
- Razonamiento: Analiza los datos capturados para encontrar el contexto que describe las situaciones de un usuario, cuenta con un conjunto de reglas relevantes según cada uno de los usuarios, asegurando la personalización en los servicios a proveer.
- Servicio: Presenta al usuario los servicios identificados en la etapa de razonamiento, tiene en cuenta los dispositivos de interacción y los gustos y necesidades del usuario. Este componente se verá afectado por las actividades que el usuario requiere haga el sistema.

3.2. Representación de Contexto

Dado que Iaz et al. [2014] indica que las ontologías son ampliamente usadas para representar el contexto y que existen trabajos que representan el conocimiento por medio de ontologías en diferentes áreas Cabrera et al. [2017], Ali et al. [2017], Stavropoulos et al. [2016], Yordanova et al. [2016], Karakostas et al. [2015], se decide representar el contexto mediante esta técnica. Específicamente, el uso de ontologías aporta a este trabajo los siguientes beneficios: *(i)* Definición explícita del contexto y los componentes necesarios para definir elementos contextuales de alto nivel. *(ii)* Uso de razonamiento ontológico para la generación automática de conocimiento. *(iii)* Uso de información proveniente de fuentes externas.*(iv)* Implementación de bases de datos basadas en grafos para la recuperación de información. Gracias a los trabajos en el estado del arte y el análisis realizado por Iaz et al. [2014] fue posible reconocer las clases más importantes para la representación de contexto, **el lugar, el tiempo y los usuarios**, pues estas hacen parte de la mayoría de los modelos analizados.

En algunos casos la representación del *usuario* se limita a definir un identificador del mismo, mientras en otros presenta información de su rol en la actividad y sus datos personales. La representación de los *dispositivos* depende más del dominio en el cual se aplicará el sistema por lo tanto no se da en todos los trabajos. Finalmente, variables como *las actividades y los servicios* se usan en propuestas que desean incluir en la representación la forma como el sistema reacciona al cambio del contexto, lo cual no es necesario en todos los casos.

En las propuestas, se puede apreciar una diferencia entre *lugar y entorno*. Un lugar tiene características como localización, tamaño y si es cerrado o abierto; mientras que el entorno guarda variables como la temperatura de un lugar o el número de personas que lo ocupan en un momento determinado. Dada esta diferenciación en algunos casos el entorno se modela como una subclase del lugar y en otros son dos clases totalmente diferentes. En cuanto a la composición de las ontologías estas son divididas en capas buscando facilitar su implementación en diferentes dominios. Aunque en algunas propuestas se indica el uso de solo una ontología, es claro que primero se deben plantear las clases que representan el contexto de forma general y luego se incorpora la nueva información, por lo tanto el uso de capas permite mejorar el proceso de incorporar nuevo conocimiento en la base de información.

Teniendo en cuenta que una sola ontología no debería representar la relación de la información de las entidades con múltiples dominios, y que una ontología específica no permite reutilizar correctamente los recursos modelados [Iaz et al., 2014]. En este trabajo se propone el uso de múltiples ontologías para representar las distintas capas de contexto en las que intervienen las entidades.

En relación al uso de multimedia Villalonga et al. [2016] indica que es posible usar combinaciones de contenidos multimedia para reconocer las actividades que realiza una entidad, lo cual indica la necesidad de incluir multimedia como una entidad de la ontología y no como un tipo de resultado de la lectura de un sensor.

3.2.1. Ontología del Contexto - mContext

La ontología de contexto está fuertemente basada en las ontologías analizadas por Iaz et al. [2014] y algunas ontologías que se encuentran en el estado del arte. Las clases y relaciones serán representadas mediante el lenguaje OWL2 del W3C en la herramienta Protégé [2] con lo cual se obtiene la ontología de alto nivel pues contiene la estructura general y las clases necesarias para obtener el contexto en diferentes sistemas. La ontología mContext y sus dependencias están disponibles en el *repositorio* del proyecto [3].

Existen muchas formas de modelar una ontología, Noy et al. [2001] presentan un proceso de 7 pasos que van desde la definición del dominio de la ontología hasta la identificación de las propiedades entre los elementos de la base de conocimiento, los pasos son *(i)* determinar el dominio y límite la ontología, *(iii)* enumerar los términos relevantes dentro de la ontología, *(ii)* considerar las ontologías que se pueden reutilizar, *(iv)* definir la jerarquía de clases, *(v)* definir las propiedades de las clases, *(vi)* definir las características de las propiedades identificadas, *(vii)* poblar la ontología con los individuos necesarios.

[2] Editor para la generación de ontologías mantenido en la actualidad por la Universidad Stanford https://protege.stanford.edu

[3] `https://github.com/cnarvaa/mcas/tree/master/ontologies`

Las posiciones de los pasos 2 y 3 han sido modificados de forma voluntaria pues creemos pertinente definir los términos relevantes antes de identificar fuentes de información externas que puedan ser empleadas. A continuación se presentan los resultados de cada una de las etapas para la creación de la ontología de alto nivel, es importante aclarar que la ontología de alto nivel está compuesta por la propuesta sin la importación de otros recursos ontológicos pues está importación puede ser modificada por las necesidades del sistema.

(i) determinar el dominio y límite la ontología

En esta etapa se debe responder a las siguientes preguntas

- ¿Cuál es el dominio que cubrirá la ontología? - Esta ontología representará el dominio del contexto computacional y estará centrado en el usuario por lo tanto no se presentará información específica acerca de dispositivos y redes.
- ¿Para qué se va a usar la ontología? - La ontología permitirá conectar los componentes del dominio para facilitar las tareas de razonamiento y la adquisición de conocimiento.
- ¿A qué tipo de preguntas debería responder la ontología? - esta ontología debería poder responder a preguntas cómo ¿En cuáles lugares estuvo el usuario el día miércoles?, ¿El usuario tenía compañía cuando sucedió esta actividad?, ¿Por cuanto tiempo desarrolló el usuario la actividad?. Serán preguntas relacionadas con el contexto que se ha identificado para el usuario.
- ¿Quien usará y mantendrá la ontología? - La ontología será usada por sistemas que deban reflejar el contexto desde un ámbito centrado en los usuarios y que deseen contar con referencias a bases del conocimiento establecidas y soportadas. La ontología se pondrá a disposición de otros usuarios y estos podrán mantenerla de ser necesario.

(iii) enumerar los términos relevantes dentro de la ontología

Se realiza una lluvia de ideas teniendo en cuenta las acciones que desarrollan los usuarios de un sistema de contexto en diferentes casos de estudio luego algunas palabras son agrupadas y analizadas de acuerdo al conocimiento en el área. Las palabras resultantes se pueden observar en la figura **3-2**

(ii) considerar las ontologías que se pueden reutilizar

Luego de identificar los conceptos relevantes para la ontología se identifican los recursos usados en otras propuestas del estado del arte. Teniendo en cuenta que la búsqueda de ontologías en la actualidad no es tarea fácil dada la falta de actualización de las fuentes y los sistemas de búsqueda, se opta por el uso de fuentes encontradas en el sistema Linked Open Vocabularies [Vandenbussche et al., 2016] (LOV) [4] y propuestas por la W3C. A continuación

[4] `http://lov.okfn.org/dataset/lov`

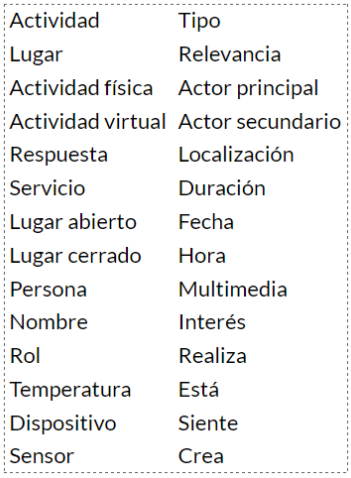

Figura 3-2.: Términos que relevantes de la ontología.

se presenta la tabla **3-1** en donde se encuentran las ontologías usadas para ampliar los significados de las clases de la ontología de contexto.

Tabla 3-1.: Recursos ontológicos externos

Ontología de Contexto	Ontología Externa	Ejemplo de Componentes
Persona	Foaf [5]	foaf:Agent, foaf:Person
Dispositivo y Sensor	SSN [6]	sosa:Sensor, sosa:Observation
Multimedia	OMR [7] M3 - adaptación	ma:MediaResource
Lugar	GeoNames [8]	geo:lat, geo:long, genames:nearby
Tiempo	Time Ontology [9]	time:dayOfWeek, time:TemporalEntity

Teniendo en cuenta que una ontología de alto nivel trata de representar los conceptos de forma general, desde este punto la ontología se considera una ontología de dominio ya que dependiendo de cada sistema los esquemas pueden variar.

(iv) definir la jerarquía de clases

Partiendo de los términos relevantes identificados en el paso (iii) de la metodología y siguiendo los indicios de las clases encontradas en el estado del arte se opta por representar

[5]http://xmlns.com/foaf/spec/
[6]https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/
[7]https://www.w3.org/ns/ma-ont
[8]http://www.geonames.org/ontology/documentation.html
[9]https://www.w3.org/TR/owl-time/

el contexto usando los siguientes conceptos ***Persona, Rol, Actividad, Lugar, Sensor, Dispositivo, Servicio, Tiempo y Multimedia***. Los términos que no se convierten en clases fueron analizados y seleccionados para convertirse en propiedades que describen o relacionan las entidades de la ontología. En la figura **3-3** se presenta la jerarquía de la ontología de alto nivel. Dado que la ontología del dominio depende del caso de estudio es necesario evaluar los conceptos que deben ser representados en las clases principales, en este caso se presentan las clases que en este trabajo se consideran necesarias para poder modelar un sistema sensible al contexto.

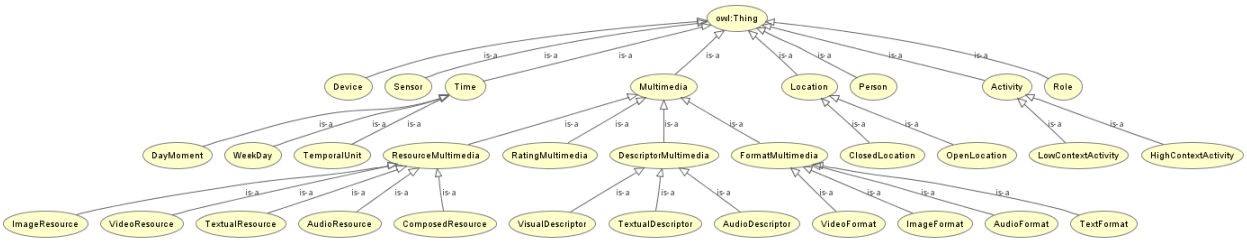

Figura 3-3.: Jerarquía de las clases de la ontología.

(v, vi) definir las propiedades de las clases y sus características

En esta etapa se identifican las propiedades de la ontología, se entienden propiedades como valores que describen entidades y relaciones existentes entre las entidades. En el diagrama **3-4** se puede ver la interacción entre las clases principales de la ontología por ejemplo un contenido multimedia describe una actividad y un dispositivo o una persona pueden crear contenidos multimedia. Estas relaciones fueron influenciadas por el análisis realizado por Iaz et al. [2014] y los trabajos encontrados en el estado del arte.

De otro lado en la figura **3-5** se presenta una pequeña parte de los valores que describen las clases y las características de estos valores. Por ejemplo la entidad persona tiene la propiedad nombre que es del tipo de dato Literal.

(vii) poblar la ontología con los individuos necesarios

Durante el desarrollo de las pruebas que se presentan en la sección 5 se realiza la población de la ontología teniendo en cuenta las actividades que desarrollan los usuarios y que son representadas en el modelo.

3.3. Captura de Contexto

En esta capa se obtienen los datos que serán analizados para encontrar el contexto de la entidad más importante de la propuesta, el usuario. Según Perera et al. [2014] un componente de adquisición debe tener en cuenta aspectos como la frecuencia de obtención y tipo de sensor,

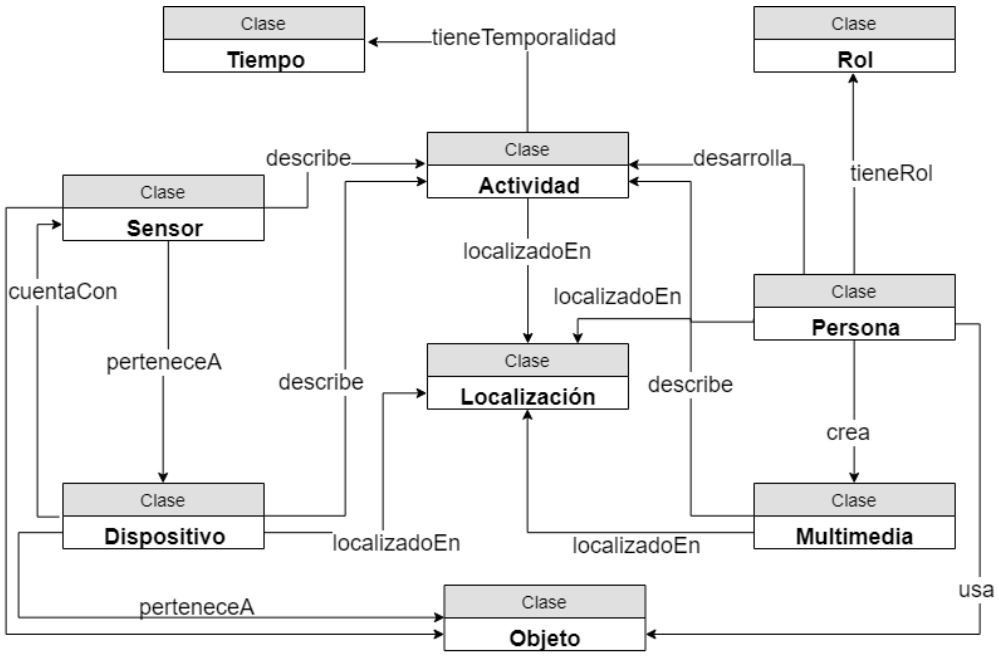

Figura 3-4.: Relaciones principales entre las clases de la ontología de contexto.

en este modelo *(i)* los datos de contexto se obtienen de forma periódica y *(ii)* las fuentes de contexto son variadas. En esta propuesta se definen 3 orígenes para los datos:

- **Sensores de Entidades**: Esta categoría sigue la definición de entidad de Dey [2001], esto es de gran importancia teniendo en cuenta que en la actualidad un auto, una casa, un teléfono o una persona pueden llevar sensores que generan información acerca de su condición y la de su entorno. Es posible entonces combinar información contextual de un vehículo y su conductor o de un anciano con su hogar.

- **Contenido Multimedia**: Representa el aporte de este trabajo y sigue los lineamientos presentados en las secciones 2.1 y 3.2.1. Parte de la hipótesis de que los contenidos que producen los usuarios en diferentes situaciones almacenan información contextual de utilidad para definir las situaciones de una persona en diferentes momentos. Información de contexto de naturaleza social como las personas con las que se compartió un momento, o dependiente de un campo de aplicación en específico como los cantos de algunas aves cuando se realizaba una exploración en campo permiten que una aplicación modifique su funcionamiento y facilite las actividades que este debe realizar.

- **Datos Externos**: Este grupo corresponde a la descripción de Sensores Lógicos presentados por Perera et al. [2014], con este grupo se asegura el uso de información proveniente de servicios web que puede modificar o complementar el contexto de un usuario. Un ejemplo es el registro del clima en el lugar de interés de un turista, o el listado de eventos sociales que se desarrollan un fin de semana (incluyendo costos y

Clase	Nombre	Tipo de dato
Persona	Apellido	Literal
	Nombre	Literal
	Edad	Numero
	NombreUsuario	Literal
Lugar	Localización	Literal
	Latitud	Número
	Longitud	Número
Actividad	TiempoInicio	Tiempo
	TiempoFin	Tiempo
	Duración	Tiempo

Clase	Nombre	Tipo de dato
Sensor	Localización	Literal
	Medición	Literal
	Identificador	Literal
Dispositivo	Identificador	Literal
	Tamaño	Entero
Rol	Nombre	Literal
	Permisos	Literal
Multimedia	Titulo	Literal
	Duración	Tiempo
	Dimensiones	Entero

Figura 3-5.: Características de los datos de la ontología.

horarios).

3.3.1. Pre-procesamiento de los datos

De acuerdo al ciclo de vida de los sistemas sensibles al contexto es necesario realizar procesos de filtrado de información, este proceso asegura la eliminación de datos fuera de orden, la unión de mediciones ocurridas en períodos iguales de tiempo, y también la identificación del contexto de bajo nivel por medio del reconocimiento de actividades de forma automática. El pre-procesamiento de los datos dependerá de las tecnologías del sistema a desarrollar, en este trabajo se propone el uso de cuatro capas con las siguientes características: *(i)* fuentes de contexto, *(ii)* tipos de dato producidos por las fuentes de contexto, *(iii)* algoritmos de procesamiento, y *(iv)* uso de estándares para el etiquetado de actividades reconocidas. Algunos de los algoritmos para el procesamiento de contenidos multimedia se pueden encontrar en la sección 2.1.1.

3.4. Transformación de datos

Teniendo en cuenta el uso de las tecnologías semánticas como medio para compartir datos de forma estandarizada esta propuesta facilita el uso de fuentes de información que no se relacionan directamente con el dominio de la aplicación, pero que pueden ser de utilidad para definir el contexto del usuario. El propósito principal de esta capa es transformar los datos binarios y metadatos, incluyendo anotaciones de bajo y alto nivel, a un formato estándar, como RDF, que facilite la interoperabilidad con otros sistemas que hacen uso de bases de conocimiento y la realización de consultas sobre estas. Al finalizar el proceso los datos estarán

representados en RDF por lo cual será posible aplicar estrategias de razonamiento ontológico que clasifiquen e identifiquen rápidamente el conjunto de reglas que se pueden operar.

El modelo principal de información para llevar a cabo esta transformación es la ontología mContext presentada en la sección 3.2.1 y los datos a transformar son los especificados en la sección 3.3. Los métodos para realizar esta actividad se basan en el estándar R2RML[10] el cual permite transformar informacion desde bases de datos al formato RDF, esto se hace encontrando la relación entre los campos de la base de datos, y las clases y propiedades que tiene una ontología.

La necesidad de transformar información que tienen formatos y orígenes diferentes a los de las bases de datos, como los resultados del llamado a un servicio en línea, han llevado al desarrollo de herramientas como RML [11] el cual permite usar los formatos JSON, CSV, entre otros; como origen y luego los transforma a RDF teniendo en cuenta los recursos ontológicos que el usuario haya desarrollado o que estén disponibles en la red [Dimou et al., 2014].

El proceso para la transformación de datos al formato RDF por medio de la herramienta RML se da de la siguiente manera: ***(i)*** se define un formato que será expresado en formato JSON y que deberá contener la información de cada una de las entidades reconocidas en el pre-procesamiento. ***(ii)*** se crea un modelo que permita mapear los atributos del objeto JSON a RDF esto se hace por medio de RML, ***(iii)*** se obtienen las anotaciones en formato XML/RDF o Turtle y se registra la información en la base de datos. Una demostración de la operación de RML se puede observar en el Anexo C y un ejemplo del mapping generado se puede ver en el anexo B.

3.5. Razonamiento de Contexto

Como se comentó en la sección 2.2 en este trabajo se plantea el uso de reglas para el razonamiento de contexto, este proceso permite que los sistemas sean capaces de generar nueva información a partir de los datos que crean los usuarios y los dispositivos. A continuación, se presentan los flujos propuestos para dos alternativas que permiten implementar el proceso de razonamiento y se explican las motivaciones para elegir SPARQL sobre la combinación de Drools y SWRL.

3.5.1. SWRL y Drools

Como se presentó en la sección 2.3.1 las ontologías cuentan con un lenguaje de reglas llamado SWRL el cual permite modificar las mismas teniendo en cuenta los comportamientos

[10]Recomendación W3C: http://www.w3.org/TR/r2rml/
[11] Una implementación basda en el lenguaje R2RML http://rml.io

observados durante el análisis del dominio. Aunque estas reglas son ampliamente usadas en la literatura, autores como Ordóñez et al. [2016], Van Hille et al. [2012] han señalado que darle exclusividad a estas reglas puede sobrecargar el sistema de razonamiento, disminuyendo el desempeño de los sistemas. Por esta razón se propone una combinación con Drools [12] un sistema de administración de reglas de tipo DL que usa procesos de razonamiento para identificar las condiciones que se han cumplido y la respuesta que debe desempeñar el sistema. La combinación de estas dos tecnologías permite evitar la sobrecarga de la ontología por medio del filtro de las posibilidades a evaluar y actuar directamente sobre el dominio del conocimiento. En adelante *(RT1)* se referirá a las reglas **SWRL**, estas actuarán sobre las clases y relaciones existentes en la ontología para definir el contexto del usuario; las reglas **Drools** serán referidas como *(RT2)* y permitirán modificar el comportamiento de los servicios dependiendo de los atributos encontrados en el contexto. Gracias a la división de las reglas se puede omitir el modelado de los servicios dentro de la ontología de contexto pues las reglas SWRL solo actúan en componentes existentes en los grafos de conocimiento.

El proceso de selección de condiciones está conformado por:

1. Filtrado de acciones no relevantes: a partir de la información resultante del razonamiento en la ontología se eliminan las reglas RT1 con lo que se disminuye la cantidad de opciones que deben ser verificadas.

2. Revisión de las reglas del dominio: se comprueban las RT1 restantes y se obtienen los atributos de contexto identificados, estos atributos de contexto normalmente representan actividades de alto nivel.

3. Creación de las nuevas entidades en la ontología.

4. Selección de reglas: a partir de los datos de contexto se evalúan RT2 obteniendo todos los posibles servicios de respuesta del sistema.

5. Organización de reglas: dado que se pueden obtener uno o más servicios, estos se organizan de acuerdo a las preferencias del usuario.

6. Creación del servicio: se envía el servicio a la distribución del contexto en donde se aplicarán las acciones a las entidades de contexto del sistema.

7. Actualización de reglas: después de que el usuario ha interactuado con el dispositivo se actualizan las reglas y los valores de preferencia de estas.

Se espera que cada uno de los dominios de la aplicación esté modelado en una ontología y cuente con su propio conjunto de reglas.

[12] www.drools.org

3.5.2. SPARQL

SPARQL, presentado en la sección 2.3.2, es el lenguaje de consulta de grafos de conocimiento más aceptado pues el uso de sus reglas permite la generación de contenidos directamente sobre las bases de datos de grafos. Para la implementación de este tipo de reglas se propone la creación de una ontología que permite modelar las reglas en un sistema y el flujo presentado en la figura **3-7**.

Ontología de Reglas

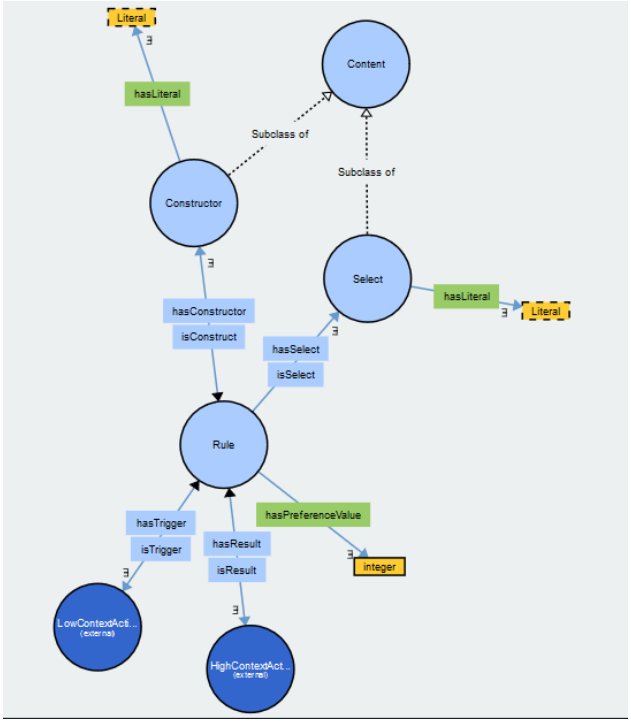

Figura 3-6.: Ontología de Reglas.

Una de las principales dificultades al momento de definir un sistema de reglas es definir cuales son pertinentes para los datos que entran al flujo de contexto, evitando procesamiento innecesario. Aunque las propuestas de Meditskos et al. [2013, 2016] son bastante claras en el uso de SPARQL para la ejecución de reglas y creación de individuos en una ontología, los siguientes puntos no son tratados: ***(i)*** manejo de un gran número de reglas en la base de datos de grafos, no es claro si se ejecutan todas las reglas o se lleva a cabo algún tipo de filtro. ***(ii)*** representación de las reglas en un grafo para la recuperación eficiente de acuerdo a diferentes elementos de la ontología del dominio, ***(iii)*** inclusión de elementos diferentes a actividades en las reglas, por ejemplo lugares o personas en el contexto.

Para solucionar las problemáticas anteriormente mencionadas se propone una ontología de reglas que relacionan elementos del contexto de bajo nivel con actividades de alto nivel. La forma general de la ontología puede verse en la figura **3-6** y se espera que opere junto a los elementos de la ontología de contexto de la sección 3.2.1. El proceso de la creación de la ontología es el mismo presentado en la sección 3.2.1. La ontología se encuentra disponible en el *repositorio* del proyecto [13]. A continuación, se define a detalle la segunda parte del proceso de la figura **3-7**.

Durante la experimentación fue posible identificar cuatro componentes de importancia para la ejecución de reglas con SPARQL *(i)* Elementos de contexto de bajo nivel que deben existir para desencadenar el contexto de alto nivel, *(ii)* Elementos de contexto de alto nivel que se dan por la existencia de los elementos de contexto de bajo nivel, *(iii)* Condiciones que se deben cumplir para que se de el contexto de alto nivel, *(iv)* Datos que serán incorporados en la base de datos de grafos. Adicionalmente, la representación de los cuatro componentes anteriormente mencionados permite realizar consultas no solo desde los componentes de bajo nivel contextual sino también desde los componentes de alto nivel, por ejemplo es posible obtener los elementos necesarios para desencadenar la regla *cena en familia*.

Listing 3.1: Consulta a la ontología de reglas con SPARQL para un día específico

```
1
2  select distinct ?o, ?c
3  from <http://purl.org/rules/activities#>
4  where{
5    {
6      select distinct ?s
7      from <http://localhost:8890/mcas/activity#>
8      where {
9        ?o a ?s.
10       <http://purl.org/m-context/ontologies/time#hasEndingTime>
             ?bt.
11       FILTER (?bt < "2017-06-06"^^xsd:dateTime)
12       }
13   }
14
15   ?o <http://purl.org/rules/activities#hasTrigger> ?s.
16   ?o <http://purl.org/rules/activities#hasConstructor> ?c.
17
18 }
19 order by ?s
```

[13] https://github.com/cnarvaa/mcas/tree/master/ontologies/rules/activities

Una consulta a la base de datos de grafos deberá tener la forma del código 3.1, el objetivo de cada consulta es obtener un conjunto de reglas compuesto por el constructor y el seleccionador. Posteriormente el sistema ejecutará cada una de las reglas identificadas y modificará los contenidos en la base de datos.

3.5.3. Proceso

El flujo de razonamiento por medio de las reglas SPARQL se compone de cuatro etapas, figura **3-7**:

1. Obtención de actividades desarrolladas en un rango de tiempo, pueden ser las actividades de un día o de una hora determinada.
2. Búsqueda en la ontología de reglas de las instancias que se activan por medio de la propiedad isTrigger, el propósito y componentes de la ontología se presentó anteriormente.
3. Extracción de los comandos construct y select desde la ontología de reglas.
4. Creación de las instancias y propiedades por medio de la ejecución de las reglas SPARQL.

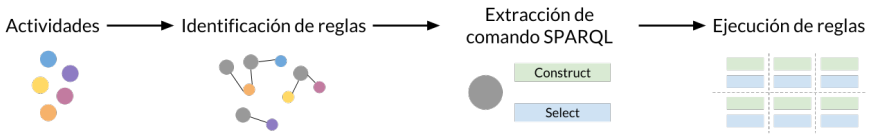

Figura 3-7.: Flujo de reglas con SPARQL

Listing 3.2: Consulta a la ontología de reglas con SPARQL

```
1  prefix : <http://purl.org/rules/activities#>
2  prefix alzheimer: <http://purl.org/m-context/ontologies/domains
       /alzheimer#>
3
4  insert data
5  {
6      graph <http://purl.org/rules/activities#>
7    {
8      <http://purl.org/rules/activities#rule/00006> a :Rule;
9      :hasTrigger alzheimer#Eat;
10     :hasTrigger alzheimer#Sit;
11     :hasResult <alzheimer:HavingAMeal>;
```

```
12      :hasPreferenceValue 5;
13      :hasConstructor "Constructor test";
14      :hasSelect "Select test".
15    }
16  }
```

3.5.4. Implementación y comparación de los métodos

Mediante la implementación de las pruebas presentadas en el capítulo 5 fue posible observar las características de las reglas implementadas por medio de SWRL y por medio de SPARQL. Aunque el uso de SWRL es constante en el estado del arte, durante el desarrollo de la propuesta se encontraron los siguientes inconvenientes:

- fue necesario dividir el proceso de generación de individuos en dos etapas la primera, como con SPARQL, permite encontrar las reglas pertinentes para la información que se busca y la segunda permite encontrar los elementos que se vinculan con los activadores. Sin embargo, al contrario de SPARQL cada parte del proceso implica la reactivación del motor de reglas resultando en tiempos largos de ejecución para cada regla.
- los tiempos de ejecución son demasiado largos para una aplicación en tiempo real.
- con esta opción solo es posible modificar los componentes ***existentes*** en la ontología, la creación de nuevas instancias no hace parte de sus funcionalidades.
- es necesaria la implementación de métodos que se encuentran disponibles en SPARQL.
- SWRL no modifica la información directamente en la base de datos aumentando el número de transacciones necesarias para reflejar cambios en la base de datos que almacena la información semántica.

Por tanto SPARQL es la opción final pues permite ejecutar las dos partes del proceso de reglas de forma rápida, generando los cambios automáticamente en la base de datos de grafos y permitiendo combinar múltiples fuentes de datos en una sola consulta.

3.6. Servicio

La capa de servicio es la más variable de todas y se encarga de la etapa de distribución del contexto [Perera et al., 2014], dependiendo del dominio de la aplicación puede tener diferentes componentes. En este modelo se proponen dos componentes: el de actividades del dominio, en el que se definen las estrategias que debe seguir cada sistema para entregar los servicios. Y el de entrega de servicios en dónde las modificaciones son enviadas a los dispositivos pertinentes.

Finalmente, los usuarios por medio de la interacción con los dispositivos experimentan el servicio de contexto.

Por ejemplo, en un sistema de asistencia al adulto mayor se ha establecido una regla en la cual la temperatura del ambiente debe estar en el rango entre 10 y 15 grados centígrados. Adicionalmente, el usuario ha especificado que cuando esté realizando actividad física la temperatura debe ser inferior a los 10 grados.

Un sensor de temperatura hace una medición de esta variable en el ambiente leyendo 10 grados centígrados. La regla de temperatura es evaluada, por lo cual se desencadena una actividad de alto nivel contextual que da la orden al termostato de subir la temperatura. Unas horas mas tarde el procesamiento del vídeo, capturado por una cámara, reconoce algunos movimientos del usuario y etiqueta la actividad como hacer ejercicio. Ya que la regla establece que si se está haciendo ejercicio la temperatura debe bajar, se envía un evento al termostato para realizar el cambio.

4. Caso de estudio

Como se comenta en la sección 2.2 los sistemas sensibles al contexto ofrecen soluciones variadas a los problemas que enfrentan los usuarios en sus rutinas diarias, por esto es necesario identificar los campos de acción más importantes. Inicialmente se realiza una búsqueda sistemática en el estado del arte en donde se definen las diferentes áreas e identifican factores como el uso de contenidos multimedia y tipos de datos de contexto. Finalmente, se selecciona un caso de estudio que permitirá validar la propuesta de esta tesis el modelo de Contexto MCAS. En la búsqueda sistemática fueron incluidos términos como la Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA), terapia ocupacional, turismo, música, tráfico y educación con los Sistemas Sensibles al Contexto. Temáticas como biología/control de plagas, nutrición y noticias fueron descartadas dado que se encuentran pocos trabajos en el estado del arte o los trabajos se orientan demasiado a la temática de los Sistemas de Recomendación Sensibles al Contexto. El análisis permitió seleccionar el problema de los adultos mayores con Alzheimer como el caso de estudio, en la sección 4.1 se presenta detalladamente el proceso desarrollado.

En la sección 4.2 se muestran las características de las personas con Alzheimer, los diferentes niveles de la enfermedad y las necesidades más importantes de esta población. Luego, en la sección 4.3 se presentan los desarrollos comerciales y los trabajos de investigación relacionados con los sistemas de cuidado para personas con Alzheimer. Finalmente, en la sección 4.4 se proponen tres casos de estudio para validar el modelo de contexto presentado en la sección 3.

4.1. Áreas de Aplicación para el Caso de Estudio

Para la identificación del área de aplicación se realiza una búsqueda de los artículos indexados en Scopus, la tabla **4-1** presenta un resumen de los componentes encontrados en esta exploración y a continuación se presentan brevemente las características de cada área.

Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA) Los Sistemas CAA buscan formas alternativas de comunicación al lenguaje oral y escrito por medio del uso de tablas de comunicación que pueden ser digitales o análogas. La mayoría de las propuestas en esta área buscan que el usuario pueda generar frases de acuerdo al contexto que están viviendo en el

Figura 4-1.: Diagrama del Razonamiento del sistema.

momento, logrando que el usuario vea solo contenidos pertinentes y que el tiempo de producción de frases disminuya. Dado que este tipo de sistemas presentan imágenes y textos, ver figura **4-1** estos son los contenidos multimedia que normalmente se emplean, mientras que datos provenientes de sensores como la localización, información del sistema como fecha y hora, e información del usuario como sus preferencias; son las variables contextuales de preferencia. Resalta en esta área que al parecer no se presenta una forma de representación de conocimiento compleja, en muchos de los trabajos se realizan vínculos por medio de bases de datos de forma jerárquica por esta razón las fuentes de información son propias.

Terapia Ocupacional En el área de terapia ocupacional se encuentran proyectos que tienen como objetivo hacer seguimiento de las actividades que desarrollan pacientes con enfermedades físicas o mentales, con este seguimiento es posible saber si un paciente ha tomado sus medicamentos, si ha desarrollado las actividades físicas recomendadas, o si se encuentra en situación de peligro. Las interfaces gráficas de estos sistemas están compuestas por imágenes, textos y vídeos que le indican al usuario las acciones que debe realizar, los usuarios normalmente no generan contenidos pero los datos que se obtienen de sensores y la información del usuario (progreso de la enfermedad etc.) son fuente principal de información para la toma de decisiones. En las propuestas encontradas no se utilizan formas de anotación de información ni se usan métodos de representación del conocimiento.

Turismo Los sistemas sensibles al contexto en el área de turismo se caracterizan por reconocer y recomendar lugares de interés para el usuario de acuerdo a sus gustos, clima, acompañantes y distancia. Muchos de estos sistemas buscan hacer una recomendación con altos niveles de personalización en donde las variables de contexto pueden ser agregadas o ignoradas por voluntad del usuario. Este tipo de aplicaciones son ricas en contenidos multimedia ya que se apoyan en imágenes, textos y vídeos para presentar la información a los usuarios, los usuarios también pueden generar y compartir contenidos en comunidad creando

una base de contenidos y opiniones sólidas. En esta área los datos de sensor como la localización son de vital importancia pues a partir de esta se calculan las opciones más relevantes para cada uno de los usuarios. Adicionalmente se hacen relevantes datos de redes sociales u opiniones realizadas por los usuarios de una comunidad. Es común ver en estos trabajos el uso de bases de datos que almacenan la información de los lugares de interés, pero no hay estructuras de anotación ni modelos de representación del conocimiento.

Música Los artículos que trabajan el contexto en esta área indican que el entorno y las situaciones que experimenta un usuario al escuchar música son de gran importancia pues dependiendo de estas el género y temática de las canciones puede variar. La mayoría de sistemas hacen uso del texto y el audio para presentar información a los usuarios, algunas usan el vídeo como medio de distribución. Sin embargo, son los datos de sensor la fuente principal de contexto pues variables como el clima y la hora son relevantes para identificar apropiadamente las piezas que se presentarán al usuario. Algunos de los sistemas han optado por analizar mensajes y contenidos de las redes sociales para reconocer el estado anímico de los usuarios e identificar el gusto a partir de los amigos más cercanos del mismo. En estos sistemas también predomina el almacenamiento en bases de datos y no se presentan formas explícitas de anotación semántica ni representación del conocimiento.

Teniendo en cuenta la información encontrada en el análisis del estado del arte se orienta el caso de estudio al área de Terapia Ocupacional, específicamente al área del desarrollo de sistemas para personas con Alzheimer quienes requieren de un seguimiento constante pero también reclaman por su privacidad e independencia. La creación de sistemas de apoyo para personas con Alzheimer permite explorar diferentes perspectivas de los sistemas de sensibilidad al contexto y validar el modelo propuesto en este trabajo. El tema de los sistemas sensibles al contexto en el área de Alzheimer son tratados en las siguientes secciones.

Tabla 4-1.: Áreas de aplicación de los Sistemas Sensibles al Contexto

Áreas	**Factores**					
	Aporte	Experiencia	Contenidos Multimedia	Datos de Contexto	Formas de anotación y representación del conocimiento	Disponibilidad de datos
CAA	Asistencia en la creación de frases de acuerdo al contexto del usuario.	Alta	Imagen Texto	Localización Fecha y hora Acompañante Dispositivo Gustos del usuario	No especificada	Datos propios Wikipedia
Terapia ocupacional	Monitoreo constante a distancia de las actividades del paciente	Media	Imagen	Localización Fecha y hora Datos del paciente Ritmo cardíaco Señales eléctricas	No especificada	Datos propios No especificada
Turismo	Presentación de lugares de interés para el usuario de acuerdo variables como distancia o temática.	Baja	Imagen Texto Vídeo	Localización Fecha y hora Acompañante Tráfico Clima Gustos del usuario	No especificada	Datos propios
Música	Selección de piezas musicales de acuerdo a los gustos del usuario y la actividad que realiza.	Baja	Texto Audio Vídeo	Localización Fecha y hora Clima Estado de ánimo	No especificada	Datos propios Redes sociales No especificada

4.2. Personas mayores y Alzheimer

En Colombia se considera Adulto Mayor a la persona que alcanza los 60 años de edad, en el año 2013 esta población representó el 10 % del total de la población del país (4.962.491) y se estima que en el 2020 hayan 49 adultos mayores por cada 100 menores de 15 años. Esta cifra indica la necesidad de desarrollar sistemas que faciliten vivir las complicaciones que representa la transición a la vejez [de Salud y Protección Social, 2013]. Los adultos mayores experimentan cambios físicos y mentales que cambian sus rutinas y los hacen dependientes de familiares y cuidadores, la demencia es un síndrome mental que afecta la memoria, la programación de actividades y los movimientos de la persona según el grado y tipo de afectación [Fargo and Bleiler, 2014].

El tipo de demencia más común es el Alzheimer, sus etapas finales se caracterizan por la pérdida de habilidades como caminar o tragar, por lo cual se le considera una enfermedad fatal. Algunos factores que llevan al desarrollo de la enfermedad son *(i)* edad mayor a 65 años, *(ii)* familiares en primer grado con la enfermedad, *(iii)* afectaciones cardiovasculares, *(iv)* falta de actividades sociales y cognitivas, y *(v)* las heridas en el cerebro. En la actualidad el Alzheimer no tiene cura por lo tanto los tratamientos se concentran en disminuir el progreso de la enfermedad [Fargo and Bleiler, 2014].

Monteagudo [2014] identifica diferentes áreas de acción de las TIC en la enfermedad, dentro de estas áreas sobresalen ***(i) el tratamiento*** el cual busca prevenir, detener o revertir la enfermedad por medio de la estimulación cognitiva, la actividad física, de la voz y el lenguaje, y el procesamiento de las señales producidas por sensores; Y ***(ii) la mejora de calidad de vida de los pacientes y cuidadores*** en donde gran cantidad de trabajos se concentran en la mejora de la comunicación social de los pacientes, recientemente se ha empezado a trabajar en el desarrollo de estrategias que le den independencia a estas personas en la realización de actividades del diario vivir.

Como se menciona en la sección 4.4 este proyecto tiene en cuenta en sus escenarios a personas con un **nivel leve de Alzheimer**, según la *Fundación de Azheimer de America*[1] este nivel se caracteriza por *(i)* Perdida de memoria, *(ii)* confusión en tiempo y espacio, *(iii)* dificultad al desarrollar tareas sencillas como cepillarse los dientes, *(iv)* problemas para encontrar palabras y *(v)* cambios de ánimo y personalidad. A continuación se presenta un análisis de los sistemas disponibles para personas con Alzheimer desde las perspectiva de las aplicaciones comerciales y de los sistemas Sensibles al Contexto.

[1] https://alzfdn.org/caregiving-resources/about-alzheimers-disease-and-dementia

4.3. Aplicaciones existentes para Alzheimer

Aplicaciones Comerciales

En la web es posible encontrar bastante información acerca de lo que necesitan los pacientes con Alzheimer para tener una buena calidad de vida y disminuir el progreso de la enfermedad. Por ejemplo Carezone[2] permite hacer un listado de las medicinas que debe tomar un paciente, hacer un horario para la toma de los medicamentos e incluir a los contactos más importantes en casos de emergencia. Symple Symptom Tracker [3] permite a los usuarios registrar su ánimo en diferentes aspectos como ansiedad, dolor y sueño; adicionalmente funciona como un diario que registra las horas de sueño, ritmos cardíacos entre otros. De otro lado Elevate [4] es una aplicación para ejercitar el cerebro a partir de diferentes juegos entre los que se encuentra la escritura, comprensión de lectura, habilidades matemáticas, entre otros. Finalmente en el mercado se pueden encontrar aplicaciones que usan tecnologías GPS para mantener al cuidador informado de la ubicación de las personas con Alzheimer e incluso definir zonas de peligro en cuyo caso el dispositivo dará alertas a las personas registradas como el caso de Tweri [5]

Sistemas Sensibles al Contexto y Alzheimer

En bases de datos como Scopus son pocos los trabajos que relacionan directamente los SSC y el Alzheimer sin embargo se pueden encontrar aportes interesantes. Por ejemplo, Taub et al. [2011] proponen un sistema que monitorea a la persona y envía alertas cuando esta se encuentra en un lugar peligroso, adicionalmente es posible saber la ubicación de la persona dentro de un edificio y enviar alertas si se ingresa o se ha estado en un lugar por mucho tiempo.

Kanai [2012] crea un hogar grupal sensible al ambiente para adultos mayores con demencia por medio del uso de sensores de movimiento, RFID, entre otros. El sistema emplea redes bayesianas que reconocen si ha ocurrido o va a ocurrir un accidente dentro del hogar, gracias a esto los cuidadores pueden actuar rápidamente modificando el entorno de las personas con la enfermedad. En años más recientes Zolfaghari et al. [2016] propuso el uso de casas inteligentes y la inteligencia del ambiente para percibir las variables de los usuarios y el entorno. Las señales que son producidas por los sensores son analizadas y por medio del uso de ontologías se identifica la actividad que se está desarrollado.

[2] www.carezone.com
[3] www.sympleapp.com
[4] www.elevateapp.com
[5] www.tweri.com

Navarro et al. [2012, 2016] presenta un Sistema de Memoria de Ambiente que aumenta la información de personas, lugares y cosas para ayudar a los adultos mayores con Alzheimer. El sistema usa ontologías para modelar la información del paciente y cambia su comportamiento de acuerdo a eventos relacionados con la enfermedad, también muestra información relevante al usuario por medio de una pantalla táctil y permite al cuidador modificar la información del sistema por medio de un celular inteligente.

Griol and Callejas [2016] presentan un sistema de agentes de conversación multimodal sensible al contexto para aplicaciones Android que se adaptan a las necesidades del usuario, el principal objetivo de esta propuesta es preservar las habilidades cognitivas y mejorar las relaciones con el entorno de las personas con Alzheimer. Cabe resaltar que los agentes de conversación multimodal se refieren al uso de diferentes modos de interacción para comunicar información a los dispositivos, estos modos pueden ser táctil, voz, reconocimiento de imágenes, o una combinación de ellas.

Un trabajo reciente elaborado por Pulido Herrera [2017] presenta una recopilación de trabajos que se centran en usar tecnologías de localización para ayudar a las personas mayores cuando estas se extravían, en el área de los SSC se puede concluir que las propuestas buscan combinar la información de la localización del usuario con la del ambiente que está recorriendo (clima, seguridad, etc) y también buscan aplicar estrategias de inteligencia artificial para aprender la rutina de las personas con Alzheimer e identificar si estas se encuentran en peligro.

Aunque algunos trabajos buscan facilitar las actividades que realizan los cuidadores de personas con Alzheimer, por medio de la obtención del contexto a partir de la localización y algunos sensores en entornos inteligentes, y otras propuestas buscan detener el proceso de pérdida de la memoria de los pacientes, existe una brecha en el uso de los sistemas sensibles al contexto para el desarrollo de aplicaciones que aumenten la calidad de vida y la independencia de los usuarios con este tipo de demencia. Teniendo en cuenta que en la actualidad el ser humano se encuentra inmerso en la tecnología es posible combinar los contenidos multimodales que crea una persona y sus dispositivos diariamente con los datos de sensor que se generan de forma automática y continua. Ya que los trabajos que se encuentran en el estado del arte exploran el uso de sensores para identificar el contexto de un usuario y modificar las acciones de los dispositivos, la aplicación de los escenarios de estudio que se presentan en el siguiente capítulo permiten observar un sistema de sensibilidad al contexto multimodal aporta en el proceso de identificación de las actividades que realiza diariamente una persona con Alzheimer.

4.4. Escenarios de estudio

Para la selección y desarrollo de los escenarios de estudio se tiene en cuenta el trabajo de Monteagudo [2014], el propone dos escenarios en donde se aplican las tecnologías de la información de acuerdo al nivel de Alzheimer que tiene una persona. El primer caso refleja el mundo de los pacientes con Alzheimer leve, donde sobresale la necesidad de educar a las personas a envejecer con su enfermedad y a generar herramientas que les permita una vida independiente de forma segura y social por lo tanto es pertinente para el desarrollo de esta tesis. A continuación se presentan dos escenarios que exploran aspectos vividos por las personas con Alzheimer, cada una de las opciones expone las variables contextuales, los contenidos, los sensores y dispositivos que ayudarían a identificar las actividades realizadas por los usuarios; y la resolución que se daría al problema por medio de la aplicación del modelo de contexto MCAS:

Escenario 1: Ivan tiene diabetes y el poco cuidado que le ha dado a su enfermedad ha desencadenado un nivel leve de Alzheimer que pasa progresiva y rápidamente a un nivel intermedio. Al salir de su casa Ivan le dice a su hija que irá a dar un paseo por la ciudad ella le pregunta a dónde quiere ir pero Ivan no le responde, desde hace algunas semanas le molesta que le pregunten a dónde va pues siente que lo controlan por esta razón también deja el teléfono celular en su casa. Después de caminar un par de kilómetros Ivan tropieza con un objeto en la calle y cae al suelo, al reaccionar se da cuenta que no sabe dónde se encuentra ni qué actividad estaba realizando, las personas que caminaban por la calle lo socorren pero no saben que pueden hacer para ayudar a Ivan.

- **variables contextuales:** Día y hora, localización, actividad.
- **Multimedia:** Ninguna.
- **Sensores:** GPS, acelerómetro y giroscopio.
- **Dispositivos:** Teléfono inteligente, pulsera inteligente.
- **MCAS:** En este escenario posible apoyarse de los sistemas sensibles al contexto a partir de los datos de sensor. Primero, los datos de los acelerómetro de la pulsera y el teléfono inteligente permiten reconocer movimientos bruscos, en especial el de una caida, el sistema sensible al contexto recibe la actividad de caída y automáticamente desencadena una alerta que da aviso a los cuidadores y familiares registrados en el aplicativo. Dado que el sistema cuenta con la información de la localización del usuario esta es incluida en la alerta, facilitando la búsqueda y asistencia del paciente.

Escenario 2: Es de noche y Luís se encuentra hablando con su hija en su casa, ella le pregunta por las actividades que realizó en el día y las que realizó el día anterior pues no pudo ir a visitarlo. Luís se da cuenta que tiene recuerdos vagos de lo que hizo, sabe que los dos días tuvo todas las comidas y que en las tardes tomó la siesta pero no sabe exactamente

en dónde estuvo ni con quién. Mariana, la hija de luís, le recomienda que lleve un registro de lo que hace en una libreta y que tome con su celular vídeos y fotos para que sea más fácil recordar las actividades realizadas. Al otro día Luís compra una libreta y empieza a registrar las actividades que desarrolla en el día, ahora puede decirle fácilmente a sus familiares que hizo en días pasados, aunque escribe que estuvo en un centro comercial pero no recuerda con exactitud en cual.

- **variables contextuales:** Día y hora, localización, acompañantes, actividad.
- **Multimedia:** Imágenes, vídeos, audio.
- **Sensores:** GPS.
- **Dispositivos:** Teléfono inteligente.
- **MCAS:** Luís ha decidido apoyarse en una nueva tecnología que su hija encontró en su teléfono inteligente, esta tecnología tiene permisos para acceder a los contenidos multimedia que él genera durante el día reconociendo de forma automática las actividades que realizó durante el día. Ya que los contenidos multimedia que se generan con dispositivos inteligentes pueden contener información acerca de la localización en la que fueron generados el diario digital asigna automáticamente las diferentes ubicaciones en las que estuvo luís.

  Luís fue al parque en la mañana y se tomó una foto con sus compañeras de ejercicio, el sistema reconoce algunos rostros en los registros del sistema y asigna automáticamente los acompañantes que tuvo luís en esta actividad. Ahora es posible que Luís busque las actividades que ha realizado con su amiga Rosa, o las que ha realizado en determinado lugar.

5. Pruebas

De acuerdo a los planteamientos expuestos en el capítulo 4 los sistemas sensibles al contexto son relevantes en áreas donde interviene el seguimiento continuo de pacientes, pues la identificación de las actividades que realiza una persona permite monitorear en tiempo real su estado y alertar a los expertos acerca de sus comportamientos. La finalidad de las pruebas que aquí se presentan es demostrar que a partir de la entrada de elementos de bajo nivel contextual, los cuales se pueden obtener del procesamiento de contenidos multimedia, datos de sensor y fuentes externas; y su combinación con reglas del dominio definidas con anterioridad es posible encontrar actividades de alto nivel contextual y por tanto entregar servicios sensibles al contexto.

Dado el alcance de este proyecto, la validación se realiza sobre los componentes de transformación de datos y razonamiento del modelo MCAS. Los elementos de bajo nivel contextual, que constituyen los datos de entrada al sistema, **son simulados** dado el costo de los dispositivos y el trabajo necesario para la implementación de estrategias que soporten el procesamiento y almacenamiento de los flujos de información desde sensores reales, exploración que no hace parte de las motivaciones de este trabajo.

En esta sección se presentará una prueba empírica que evaluará el comportamiento del sistema a partir de la medición de los tiempos de los elementos que lo componen y del porcentaje en el que es capaz de generar actividades de alto contexto para los usuarios. No es sencillo comparar la propuesta con modelos presentados en otros trabajos pues estos cuentan con tecnologías, reglas y dominios de aplicación variados. Para la validación, se llevó a cabo una prueba en la cual participaron 4 personas, con edades y rutinas variadas, a quienes se le solicitó diligenciar un diario de actividades durante dos semanas. Para esta pruebas se ha desarrollado, en el lenguaje JAVA, una implementación del modelo de contexto presentado en la sección 3.1 que usa una base de datos de grafos alojada en Open Link Virtuoso, genera contenidos semánticos por medio del lenguaje SPARQL, y transforma datos al formato semántico RDF con RML. Las pruebas son ejecutadas en un computador con 16 GB de RAM y 4 CPU que cuenta con la versión 8.0 de java, Virtuoso 1.3.2-7.2.5, Apache Jena 3.7.0, y RML 1.2.0.

La documentación de la prueba se ha dividido en tres etapas ***(Sección. 5.1) Descripción de la prueba*** en dónde se analizan los datos suministrados por los usuarios y se genera una simulación de los flujos de información del sistema para la prueba, ***(Sección. 5.2) Resul-***

tados de las pruebas del modelo MCAS cuyo propósito es mostrar el comportamiento del modelo de contexto en términos de los elementos generados y los tiempos de ejecución de las diferentes etapas, y finalmente el ***(Sección. 5.3) Análisis de los resultados*** presenta observaciones acerca de los resultados obtenidos, tiempos y la complejidad de la generación de la información.

5.1. Descripción de la prueba

Para la preparación de los datos de la prueba se lleva a cabo la recolección de información y se definen las características de los participantes, sección 5.1.1. Luego, sección 5.1.2, se analizan los datos con el propósito de seleccionar actividades que permitan validar el uso de las reglas para la generación automática de elementos contextuales de alto nivel. Finalmente se generan, manualmente, los datos fuente como sensores, persona, lugares y contenidos que permitirían obtener la información en un entorno real, esto se puede encontrar en la sección 5.1.3.

5.1.1. Recolección de información

Para la recolección de información se pide la participación de 4 personas con diferentes edades y rutinas, localizadas en la ciudad de Bogotá, y que no cuentan con un método de registro para las acciones que desarrollan durante el día; para que anoten en un diario por dos semanas las actividades que realizan diariamente. Las características de las personas que conforman el grupo son: 2 adultos mayores, 66 y 64 años, una tiene una vida activa en la cual participa en cursos de manualidades y actividad física mientras que la otra tiene una vida hogareña aunque algunos días sale a jugar billar. La tercera persona tiene 48 años de edad, es ama de casa, no sale mucho y el día lo ocupa desarrollando tareas de limpieza en el hogar. Finalmente la cuarta persona es un joven de 20 años, es estudiante universitario, y su rutina es bastante variada pues desarrolla actividades tanto en casa como en la universidad. Como se presentó en el capítulo 4 la implementación de los sistemas sensibles al contexto en áreas como el Alzheimer permiten hacer el seguimiento que necesitan los pacientes preservando su independencia. De acuerdo al trabajo de Dumas [2002] la participación de cuatro individuos en los sistemas permite identificar los requerimientos funcionales y de usabilidad más importantes de un sistema. Se debe aclarar que esta prueba no busca hacer una validación exhaustiva de las tecnologías o el caso de estudio, sino validar la pertinencia del modelo propuesto y las tecnologías empleadas en este trabajo.

Teniendo en cuenta los escenarios propuestos en la sección 4.4, se selecciona el diario de actividades para evaluar el funcionamiento del sistema desde las siguientes perspectivas: *(i)* la participación de adultos mayores proporciona información relacionada con la realidad que

vive una persona con la enfermedad en etapas tempranas, mientras que la variabilidad de las rutinas entre los dos individuos muestra la versatilidad que debe enfrentar la propuesta para cumplir con los requerimientos de los usuarios; *(ii)* la persona de 48 años muestra costumbres más dinámicas que el adulto que sale poco aún estando en el hogar la mayoría de su tiempo, con esto es posible validar la probabilidad de descubrir eventos en un mismo entorno a partir de reglas establecidas de modo general; y finalmente la perspectiva *(iii)* en donde una persona joven revela las características que debe tener el sistema para adaptarse a rutinas activas en la que intervienen múltiples personas y lugares. A cada participante de la prueba se le entrega una libreta con un protocolo definido para el desarrollo de la actividad, los participantes deben registrar sus actividades diariamente de la forma más detallada posible. Cada 3 días se tiene una comunicación con los participantes para asegurar si existe alguna duda del proceso y para recordarles realizar el ejercicio.

5.1.2. Análisis de datos recolectados

Para el análisis de los datos se seleccionan actividades propuestas por Meditskos et al. [2016, 2013] junto a otras que se observan constantemente en los diarios creados por los cuatro participantes, estas actividades son desarrolladas en su mayoría dentro del hogar y son tareas simples como ver televisión y cenar. También se identifican las condiciones que deben existir para que las acciones puedan ser desarrolladas como una localización específica, un conjunto conformado por actividades mínimas o la participación de múltiples personas en el desarrollo de la situación. En la tabla **5-1** se pueden encontrar algunos elementos seleccionados junto a los atributos que permiten desencadenar la creación de los nuevos elementos en la base de datos.

Estas actividades, y sus generadores, fueron seleccionadas porque son un común entre los diarios de los participantes, además de contar con factores que permiten evaluar el comportamiento del flujo de contexto propuesto en este trabajo.

5.1.3. Definición de los flujos de información y reglas

Para crear los datos fuente de las pruebas se observan los generadores de las actividades de alto nivel contextual y se seleccionan algunos sensores que permitirían obtener la información en un entorno real. En esta etapa se tiene en cuenta que una cámara puede generar contenidos multimedia como imágenes o vídeos. En el trabajo futuro se plantea la exploración de los métodos para el reconocimiento de actividades de bajo nivel contextual. En la tabla **5-2** se presenta el elemento, su tipo (plataforma o sensor) y su localización.

Luego, se genera el flujo de datos inicial a partir de las actividades registradas por los 4 participantes en los diarios. Este flujo corresponde a los resultados del análisis de contenidos

Tabla 5-1.: Actividades de alto nivel contextual

Resultados	**disparadores**		
Actividad	**Actividad**	**Lugar**	**Personas**
Comer	Sentarse Comer	Casa Restaurante	
Ver televisión	Sentarse Tv encendido	Casa	
Dormir	Acostarse Pulso bajo	Casa	
Conversar	Hablar Llamada		>2
Nocturia	Levantarse Baño		
Baño	Inodoro abierto	Casa	

multimedia y datos de sensor ejecutados en la etapa final de adquisición de información presentado en la sección 3.3. Un ejemplo de este flujo se puede observar en el anexo A. Adicionalmente, en el anexo B se encuentra el mapeo que permite convertir los datos desde el formato JSON al formato RDF por medio del lenguaje RML. Para el desarrollo de este mapeo fue necesaria la comprensión de la estructura y atributos que componen la ontología de contexto. Finalmente se generan las reglas que debe evaluar el sistema para generar actividades de alto nivel contextual, estas reglas se basan en los hallazgos de la etapa de la sección 5.1.2 *Análisis de datos recolectados*.

Tabla 5-2.: Sensores seleccionados para el reconocimiento de actividades

Nombre	**Tipo**	**Localización**
Celular	Plataforma	
Cámara	Sensor	Celular
Micrófono	Sensor	Celular
GPS	Sensor	Celular
Sensor de luz	Sensor	Celular
Cámara	Sensor	Casa
Micrófono	Sensor	Casa
Sensor de poder	Sensor	Casa
Sensor de presión	Sensor	Casa
Sensor de contacto	Sensor	Casa
Sensor de temperatura	Sensor	Cocina
Pulsómetro	Sensor	Persona

5.2. Resultados de pruebas de MCAS

En la prueba se ejecuta el sistema de contexto que tiene como entrada las actividades reconocidas después del análisis de contenidos y las reglas del dominio generadas, primero se mostrarán los resultados en referencia a la producción de actividades y luego a los tiempos. Los datos que ingresan al sistema son:

- Paquete de reglas con 10 elementos,
- Paquete de datos iniciales compuesto de 5 localizaciones, 3 personas, 12 sensores y 8 contenidos multimedia;
- Dos flujos de origen y las relaciones entre los diferentes actividades:
  - (A) 15 flujos con 20 actividades, el paquete de reglas fue creado teniendo en cuenta estos elementos,
  - (B) 5 flujos con 10 actividades, no hay reglas que tengan en cuenta estos elementos.
- Mapeo RML

Los contenidos generados cuentan con ***(i) actividades únicas*** el contexto se genera a partir de la realización de una sola actividad (hablar produce tener una conversación) ***(ii) actividades anidadas*** sucede cuando una actividad se lleva a cabo en el periodo de tiempo de otra (comer se lleva a cabo en el rango de tiempo de estar sentado). ***(iii) localización específica*** las acciones se pueden desarrollar en diferentes lugares (comer en un restaurante o el comedor) ***(iv) múltiples fuentes de información*** los flujos de información provienen de los sensores y los contenidos multimedia, permiten obtener datos de actividad, localización y participantes.

Los activadores se enviaron en momentos y flujos distintos, es decir, las condiciones para generar la actividad *Tener Conversación* no se registran al mismo tiempo por lo cual las reglas solo actuarán en el momento que se sincronizan todos los parámetros.

5.2.1. Resultados

Para el flujo de origen **A**, grupo sobre el cual fueron estructuradas las reglas, fueron generadas 16 actividades de alto nivel contextual correspondientes al 100 % de las actividades esperadas. De otro lado, para el flujo de origen **B**, el cual no tiene reglas asociadas, se generaron 0 actividades de las 5 esperadas lo cual corresponde a un 0 % de efectividad. En una segunda iteración de estas pruebas, se modifican las reglas incluyendo nuevos desencadenadores de acuerdo al flujo **B**. Con lo anterior, se genera un 100 % de las actividades de alto nivel contextual esperadas.

En la figura **5-1** se puede observar un ejemplo de la estructura de cuatro contenidos generados de forma automática. La primera actividad de izquierda a derecha *Viendo Tv* tiene los activadores *sentado* y *Tv encendida* para que la actividad ocurra la Tv debe estar encendida después de que la persona se sentara, es decir que la actividad debe suceder dentro del rango de tiempo de la otra; la segunda actividad *Conversación* cuenta con un solo elemento disparador *Hablar* pero este debe contar con al menos dos participantes, *Descansar* tiene solo el registro de *Pulso bajo* y es el único elemento que la desencadena, finalmente *Dormir* cuenta con tres activadores dos actividades *Acostado* y *Pulso bajo*, que pueden pasar al mismo tiempo sin tener ninguna la prioridad en el tiempo de inicio, y un lugar *habitación* en el que la persona debe estar localizada cuando se realiza la acción.

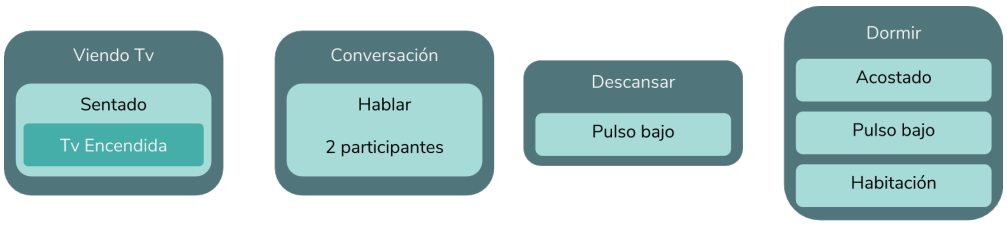

Figura 5-1.: Ejemplo de las actividades creadas en el sistema

En cuanto a los tiempos de registro de información en el sistema se hacen cuatro pruebas en donde aleatoriamente se envían 1, 700, 7000 y más de 60000 registros; esto se hace para las reglas y flujos de entrada. Se debe señalar que en el caso de las reglas, el tiempo de procesamiento incluye la creación de las plantillas de cada regla y el almacenamiento en un solo grafo; y en el caso de los flujos, incluye la transformación del formato JSON al formato RDF y el almacenamiento de los datos en múltiples grafos. Los tiempos se pueden apreciar en la tabla **5-3**.

Tabla 5-3.: Tiempos de registro en la base de datos Virtuoso

Número de ítems a registrar	**Procesamiento de reglas (s)**	**Procesamiento de flujo de datos (s)**
1	0.02	0.35
700	4	5.4
7000	33	45
>60000	498	511

Por otra parte, se realizan pruebas de tiempo sobre el proceso de creación automática de nuevos elementos de alto nivel contextual a partir de las actividades y las reglas que se encuentran en la base de datos de grafos. Para esto, se aplican cinco combinaciones en las cuales se aumenta el número de actividades y el número de reglas, los resultados de los tiempos se pueden observar en la tabla **5-4**.

Es importante denotar que en las pruebas no se tiene en cuenta el tiempo que puede tardar un componente en analizar los contenidos multimedia para generar las anotaciones, datos de sensor y fuentes externas de datos; se recuerda que esos procesos están fuera del alcance del proyecto.

Tabla 5-4.: Tiempos de creación automática de actividades de alto nivel contextual en la base de datos Virtuoso

Número de actividades	**Número de reglas**	**Tiempo de procesamiento (s)**
1	10	0.6
20	10	1
20	1000	2.7
800	10	8
800	1000	185

5.3. Análisis de resultados

Como se señaló en la sección anterior la implementación del flujo de datos **A** permite obtener el 100 % de las actividades esperadas. Este resultado se dio gracias a *(i)* la comprensión de las reglas del dominio, *(ii)* la representación de la información en la ontología de contexto y por tanto la definición correcta de las relaciones entre las entidades de la base de datos, y finalmente *(iii)* el uso acertado de las reglas de SPARQL para la generación automática de contenidos.

En cuanto al flujo de datos **B** se obtiene un 0 % de las actividades esperadas. Mientras que en una segunda iteración de las pruebas, en dónde se modifican las reglas incluyendo nuevos desencadenadores y resultados, se obtiene un 100 %. Este comportamiento sigue lo indicado por Perera et al. [2014] quien dice que una de las desventajas del método es que todos los elementos deben definirse explícitamente al momento de crear las reglas. Dado lo anterior, si el sistema evalúa elementos que inexistentes en una regla se obtendrán errores o simplemente los desenlaces de la misma serán omitidos.

Es importante decir que en la implementación de MCAS se supone que todas las reglas han sido incluidas por parte de los expertos. Por lo tanto, obtener el 0 % de efectividad en elementos que no han sido representados es correcto en esta etapa de implementación del modelo. Sin embargo, teniendo en cuenta la naturaleza del modelo MCAS es importante darle la capacidad de mitigar las desventajas del razonamiento por medio de reglas, ya que estas afectan la creación y eliminación automática de reglas y por tanto la calidad del contexto

distribuido. El uso de diferentes formas de razonamiento de contexto es recomendado por Perera et al. [2014] y se explora un poco en la sección 6.4.1 de las conclusiones.

Al evaluar las tablas referentes al tiempo que tardan los procesos en ser ejecutados se observa que el registro de contenidos en la base de datos toma poco tiempo, se puede ver que entre más elementos se quieran registrar más tiempo tomará toda la operación. Sin embargo, el tiempo para registrar un solo elemento sigue constante (menor a 0.5 segundos) lo que permite entender que este tipo de base de datos no tiene problemas de memoria o retrasos en las operaciones de lectura/escritura si hay demasiados elementos ya registrados. También, dado que el tiempo de registro de flujos es corto es posible plantear el uso del modelo de contexto para el desarrollo de aplicaciones que requieran tiempos de respuesta cortos.

En cuanto a la generación automática de contenidos se puede observar que el número de actividades a evaluar en el periodo de tiempo es de suma importancia para la rápida respuesta del sistema, es entonces necesario definir filtros por horarios, localización, entre otros; que disminuyan la cifra de activadores a comprobar contra las reglas. La iteración número tres en donde se evaluaron 20 actividades contra 1000 reglas indican que el proceso de filtrado para reglas definido en la sección 3.5.3 funciona, pues limita el número de reglas que evalúa el sistema para un conjunto de datos.

Se debe tener en cuenta que la existencia de múltiples versiones de una misma regla aumenta la cantidad de actividades producidas. Por ejemplo, si existen cuatro reglas con los mismos activadores y las mismas plantillas se generarán cuatro actividades de alto nivel contextual. Es entonces necesario el desarrollo de métodos que identifiquen si una regla ha sido generada con anterioridad en el sistema para evitar duplicados.

Finalmente, el desarrollo lógico del sistema busca evitar que los autores de reglas deban crear consultas en SPARQL, y aunque el objetivo se logra es necesario que los expertos estén familiarizados con los lineamientos para crearlas. Es posible que la producción de una herramienta visual disminuye errores constantes como la omisión de la importación de algunos grafos o errores de escritura al generar el flujo de datos de forma manual, error que debería ser solventado al recibir los flujos de información desde los sistemas de reconocimiento. Finalmente la identificación y escritura de reglas no es una tarea compleja una vez el autor reconoce sus patrones.

6. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas del proceso de investigación de este trabajo de maestría. En la sección 6.1 se exponen los aportes más importantes del trabajo, en la sección 6.2 se presenta la relación entre los objetivos planteados, las actividades desarrolladas y los resultados obtenidos, y finalmente en la sección 6.4 se indican las áreas que pueden ser tratadas en trabajos futuros para complementar el modelo de contexto MCAS.

6.1. Conclusiones

En esta investigación se define un modelo de contexto que hace uso de anotaciones de bajo nivel que se pueden encontrar en contenidos multimedia y datos de sensor. El modelo sigue la estructura del ciclo de vida del contexto y fue implementada por medio de tecnologías semánticas como las ontologías y el lenguaje de consulta SPARQL.

En la búsqueda de aproximaciones para la extracción de contexto y representación semántica de contenidos digitales, fueron identificados el ciclo de vida de contexto y las ontologías. El primero, plantea lineamientos básicos en la generación de conocimiento a partir de datos del entorno de una entidad, y las segundas permiten modelar el conocimiento de un dominio en un lenguaje estándar que se puede compartir con facilidad. Producto de este proceso se propone la ontología de contexto multimedia ***mcontext*** la cual tiene en cuenta entidades como: actividad, persona, lugar, sensor y contenido multimedia. Con esta ontología es posible relacionar la información de las actividades que realiza una persona con las fuentes de información que permiten identificarlas.

El ciclo de vida del contexto sirve como base para definir el modelo de contexto ***MCAS***, en este modelo se establece un proceso que va desde la adquisición de la información hasta la generación de nuevos elementos de alto nivel contextual. Específicamente, se hacen contribuciones a las etapas de captura de datos, en dónde se reciben los datos de distintas fuentes y son procesados para obtener anotaciones semánticas, la transformación de información, cuyo propósito es distribuir los datos en un formato semántico, y el razonamiento, proceso que genera información de contexto por medio de reglas del dominio.

Para establecer conexiones entre la información contextual del usuario, la cual se identifica

al procesar contenidos digitales, datos de sensor, entre otros; y la representación del conocimiento de un dominio se emplea el lenguaje RML. Este lenguaje permite transformar datos en formatos de distribución como JSON al formato RDF el cual es estándar en las tecnologías semánticas. Gracias a esta transformación se pueden representar la información semántica en ontologías, vinculándola al contexto del usuario y facilitando el descubrimiento de elementos de alto nivel contextual.

Para el proceso de evaluación de reglas se propuso una ontología cuyo objetivo es filtrar el número de elementos a evaluar dependiendo de las actividades de bajo nivel contextual entrantes. Gracias a lo anterior, es posible que atributos como las preferencias de un usuario, o algunas actividades alternativas, desencadenen el procesamiento de reglas específicas.

Finalmente, uno de los mayores aportes de este trabajo de maestría es la implementación del modelo de contexto por medio de tecnologías semánticas como las ontologías, las bases de datos de grafos, y las reglas escritas en el lenguaje de consulta SPARQL. Con esta implementación fue posible validar la existencia de tecnologías para la creación de sistemas sensibles al contexto, la viabilidad para implementarlas en aplicaciones orientadas a usuarios finales y la posibilidad de enriquecer los sistemas sensibles al contexto por medio de la semántica contenida en los contenidos multimodales.

El proceso de evaluación, cuyos datos de entrada fueron simulados a partir de las actividades registradas en los diarios de los 4 participantes, comprueba la limitante del razonamiento de contexto basado en reglas, en donde el uso de elementos que no se previeron en el antecedente o el consecuente hace que la actividad de alto nivel contextual no se produzca. Es necesario el uso de estrategias como el razonamiento basado en lógica probabilística o el aprendizaje de máquina de tipo supervisado, con las cuales el sistema podría encontrar nuevas reglas de forma dinámica a partir de las rutinas que siguen los usuarios constantemente.

Una de las limitantes que se presentaron en el momento del desarrollo fue la escasa información disponible sobre técnicas y herramientas para la implementación del sistema. Es claro que si se quiere llegar a la masificación de este tipo de iniciativas, es necesario generar estrategias para el entendimiento del área y sus aplicaciones en la cotidianidad del ser humano. También, se evidenció una alta complejidad en la obtención y almacenamiento de los datos de sensor y contenidos multimodales, así como la implementación de las técnicas que permitieran obtener elementos de bajo nivel contextual, pues esta tarea es extensa y se escapa del alcance del proyecto.

6.2. Resultados del trabajo de maestría

En esta sección se presentan las actividades realizadas y los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos específicos planteados en el trabajo:

1. ***Identificar las diversas aproximaciones para la extracción de contexto y representación semántica de contenidos digitales.***

   - **Actividades**: Se analizan las técnicas disponibles para el razonamiento y representación de contexto, se identifican las implicaciones teóricas y técnicas de la implementación de las ontologías, y se diseña e implementa una ontología de contexto que tiene en cuenta el contenido multimedia como fuente de información.

   - **Resultados**: Se seleccionan las ontologías como método para el modelado y razonamiento del contexto y se crea una ontología de alto nivel llamada MContext. La cual, representa el contexto a partir de contenidos multimedia, datos de sensor, localización, tiempo, entre otros. La ontología propuesta se encuentra en la sección 3.2.1

2. ***Definir un caso de estudio particular e identificar la información de contexto relevante para el usuario y los contenidos asociados.***

   - **Actividades**: Se realiza una búsqueda sistemática en el estado del arte para identificar los diferentes campos de acción de los sistemas de sensibilidad al contexto, se definen algunos casos de uso que permiten validar la propuesta y finalmente se definen las variables de contexto que representan las situaciones experimentadas por los usuarios.

   - **Resultados**: Se encuentra que los sistemas de sensibilidad al contexto son usados en áreas como el turismo, el entretenimiento y la medicina; como caso de estudio se selecciona el cuidado de personas con Alzheimer las cuales requieren seguimiento constante de sus familiares y cuidadores. El análisis para la selección se puede encontrar en la sección 4.1. Las variables de contexto seleccionadas y modeladas en la ontología MContext son: la persona, el lugar, la actividad, el tiempo, y el rol de los usuarios identificados.

3. ***Definir un método para la extracción del contexto a partir de contenidos multimodales.***

   - **Actividades**: Se definen las tareas que debe ejecutar cada etapa del modelo de contexto, se analizan en el estado del arte las alternativas existentes para transformar anotaciones y metadatos al formato semántico, y se define un método de razonamiento para la generación automática de información de alto nivel contextual.

   - **Resultados**: Se define el modelo de contexto MCAS con tres fuentes de información: contenidos multimedia, datos de sensor, y fuentes externas. Este modelo, transforma las anotaciones y metadatos al formato RDF por medio del estándar R2RML y usa las reglas en ontologías como técnica para el razonamiento contex-

tual. Los detalles del modelo se pueden ver en la sección 3.1.

4. ***Proponer una estrategia metodológica para establecer relaciones semánticas entre la información contextual del usuario y el modelo de representación del conocimiento.***

   - **Actividades**: Se realiza una búsqueda de los métodos que permiten transformar anotaciones y metadatos a los formatos semánticos, se realizan pruebas del funcionamiento del lenguaje R2RML, y se genera un mapeo entre las actividades que se pueden identificar en las fuentes de datos y las entidades representadas en la ontología de contexto

   - **Resultados**: Se obtienen archivos de mapeo con la estructura necesaria para transformar los contenidos a la estructura representada en la ontología de contexto multimedia MContext. Este proceso se puede observar en la sección 3.4 y un ejemplo del mapeo se puede ver en el anexo B.

5. ***Validar el modelo propuesto, mediante el caso de estudio seleccionado.***

   - **Actividades**: Se hace una implementación del modelo de contexto MCAS y se realizan pruebas sobre la misma a partir de datos simulados que se crear teniendo en cuenta las actividades registradas manualmente en diarios de rutina por 4 sujetos de estudio.

   - **Resultados**: Se crea un programa implementado en el lenguaje JAVA que usa la base de datos de grafos VIRTUOSO y genera contenidos de forma automática por medio de reglas representadas en el lenguaje SPARQL. Las pruebas permiten comprobar el funcionamiento del modelo MCAS y validan la utilidad de as tecnologías semánticas para generar sistemas de sensibilidad al contexto. En el capítulo 5 se encuentra el análisis y la información de las pruebas.

6.3. Contribuciones

A partir del desarrollo de este trabajo de maestría se presenta como resultado una ponencia titulada ***Lineamientos de un Sistema de Recomendación Sensible al Contexto Multimodal*** en el congreso Cibersociedad-2017 el cual se llevó a cabo en la ciudad de Varadero Cuba. Adicionalmente, se realizó una pasantía de investigación con el grupo Ontology Engineering Group de la Universidad Politécnica de Madrid en dónde se enlazaron redes de estudio y se generaron ideas para la culminación de este trabajo.

6.4. Nuevos horizontes de investigación y trabajo futuro

6.4.1. Razonamiento híbrido

Los resultados de las pruebas presentadas en el capítulo 5 evidenciaron que el uso de elementos no considerados en el proceso de creación de reglas no permite que se generen las actividades de alto nivel contextual esperadas. Este comportamiento, es parte de las desventajas del razonamiento de contexto por medio de reglas presentadas por Perera et al. [2014] pues estas son creadas explícitamente por expertos, haciendo necesaria la inclusión de nuevas estrategias que permitan crear, modificar y eliminar automáticamente las validaciones generadas originalmente.

Una posible solución a esta problemática es el uso de estrategias de razonamiento híbridas, en donde las ventajas de un método logran suplir las deficiencias presentes en otro [Perera et al., 2014]. En esta área trabajos como el propuesto por Li et al. [2017b] combinan la lógica probabilística con el razonamiento ontológico, logrando crear y eliminar reglas cuando se encuentra algún error o cuando los elementos de contexto generados no cumplen con un nivel de satisfacción especificado. Beamon and Kumar [2010] proponen el uso de módulos que adaptan el método de razonamiento a emplear dependiendo del contexto que se quiere obtener, por ejemplo identificar una localización por medio de redes bayesianas o proximidad a partir de la lógica difusa. De otro lado, Machado et al. [2018] propone la combinación del razonamiento por medio de reglas, basado en ontologías y aprendizaje supervisado en una arquitectura que enriquece los datos de contexto en un pre-procesamiento y que puede distribuir todos los métodos de acuerdo a la necesidad del dominio. Finalmente Riboni and Bettini [2011] propone el uso de aprendizaje estadístico supervisado en combinación con el razonamiento ontológico, en este trabajo el aprendizaje estadístico sirve como filtro para la selección de las actividades que no son relevantes para el contexto de un usuario.

Teniendo en cuenta lo anterior, una próxima versión del modelo de contexto MCAS podría incorporar múltiples formas de razonamiento en forma de módulos que pueden ser activados de acuerdo a variables como el tiempo de procesamiento, el tipo de información que entra al sistema y el resultado del procesamiento de las reglas existentes. La nueva estrategia de razonamiento híbrido, presentada en la figura **6-1**, pre-procesa los datos de contexto con el propósito permitir la posterior selección del método de razonamiento. El pre-procesamiento, podría tener en cuenta el tipo de sensor que obtuvo la información del entorno de la entidad, el tiempo de procesamiento esperado, los gustos de los usuarios y el tipo de contexto que se quiere encontrar.

En la actualidad MCAS funciona con el método de reglas para el razonamiento. Un segundo método podría ser el de la lógica probabilística, pues este funciona bien con el reconocimiento de actividades [Perera et al., 2014], y más adelante, dependiendo del dominio, es posible

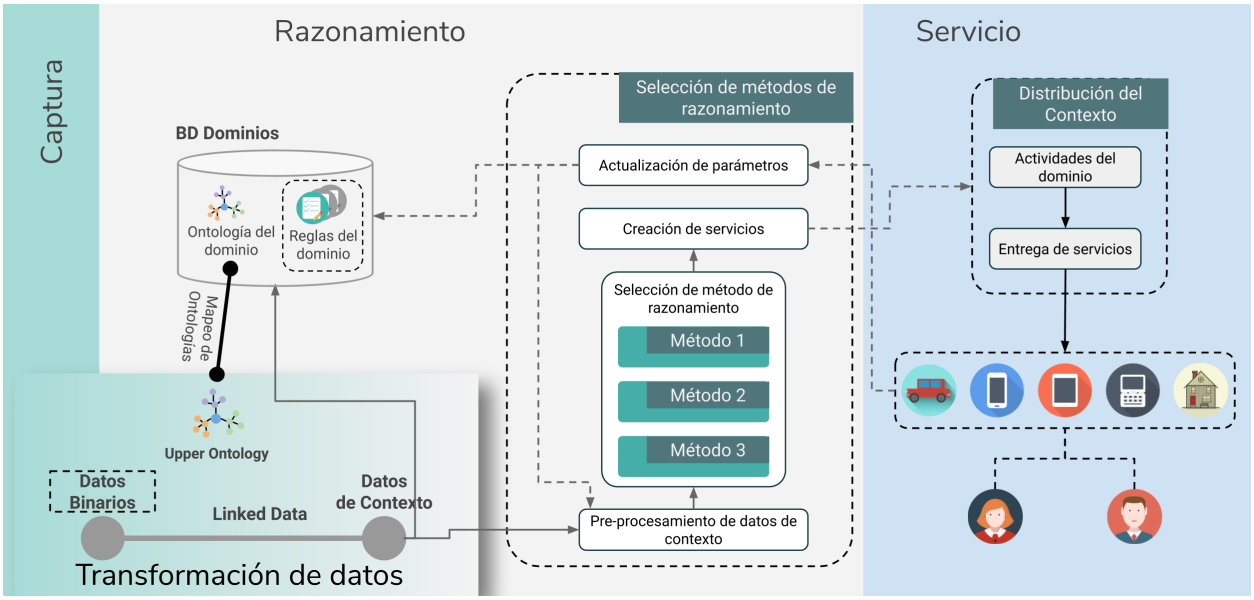

Figura 6-1.: Módulo de razonamiento del Modelo MCAS desde una perspectiva híbrida.

incorporar nuevos métodos que permitan solventar el problema de actualización, eliminación y creación del razonamiento por medio de reglas. Beamon and Kumar [2010] presenta un análisis de las diferentes fuentes y tipos de dato de contexto y cuales métodos son los más indicados para razonar sobre ellos.

Finalmente, una etapa de actualización de parámetros permitirá al sistema evolucionar dependiendo de la respuesta de los usuarios a los servicios distribuidos. La actualización de parámetros dependerá de cada uno de los métodos de razonamiento utilizados, por ejemplo en el caso de las reglas es posible cambiar la puntuación de los elementos valorados por un usuario, o su creación o eliminación automática si otro método de razonamiento ha reconocido una actividad de alto nivel contextual en múltiples ocasiones.

6.4.2. Otras áreas de investigación

A partir del proceso de desarrollo de este trabajo de maestría fueron identificadas algunas áreas de investigación que deben ser estudiadas y que permitirían complementar los aportes realizados. Estas áreas son:

1. Anotación semántica de contenidos digitales, en esta propuesta se considera la existencia de métodos que pueden identificar acciones, personas y objetos en diferentes contenidos, cobra gran importancia el desarrollo de un componente que cumpla el objetivo de generar etiquetas y anotaciones semánticas de forma automática.

2. Generación automática de reglas, aunque la participación de los expertos al momen-

to de crear reglas es de gran importancia una herramienta de asistencia automática permitiría disminuir errores y encontrar patrones ocultos en los datos.

3. Herramientas gráficas para la generación de reglas de contexto. Adicional a la generación automática de reglas, la creación de un sistema con asistencia gráfica podría facilitar el descubrimiento de patrones que generen propuestas de valor para los usuarios. Ayudando también, a identificar fuentes de información y dependencias entre los elementos de bajo nivel contextual y los de alto nivel.

Finalmente como trabajo futuro se propone brindar soporte a la implementación realizada pues esta tuvo el propósito de comprobar la viabilidad del modelo de sensibilidad al contexto. Dentro de este soporte se incluye el análisis de las tecnologías y métodos con el fin de escalar el funcionamiento de MCAS y ponerlo a disposición de usuarios finales.

A. Anexo: Flujo de entrada de información en el sistema

Listing A.1: Ejemplo de flujo de datos entrantes

```
1
2  {
3      "Activity": [
4        {
5          "Id": "localhost:8890/mcas/activity#act/t00001",
6          "Type": "purl.org/m-context/ontologies/domains/
               alzheimer#Sit",
7          "Time": {
8            "Beginning": "2017-06-06T13:00:00Z",
9            "Ending": "2017-06-06T13:30:00Z"
10         },
11         "Person": [
12           {
13             "Id": "localhost:8890/mcas/person#per/0001"
14           },
15           {
16             "Id": "localhost:8890/mcas/person#per/0002"
17           }
18         ],
19         "Descriptor":[
20           {"Id": "localhost:8890/mcas/sensor#obs/00001"}
21         ]
22       },
23       {
24         "Id": "localhost:8890/mcas/activity#act/t00002",
25         "Type": "purl.org/m-context/ontologies/domains/
               alzheimer#Eat",
26         "Time": {
27           "Beginning": "2017-06-06T13:01:00Z",
```

```
28            "Ending": "2017-06-06T13:25:00Z"
29          },
30          "Person": [
31            {
32              "Id": "localhost:8890/mcas/person#per/0001"
33            }
34          ],
35          "Descriptor":[
36            {"Id": "localhost:8890/mcas/sensor#obs/00002"},
37            {"Id": "localhost:8890/mcas/multimedia#mul/00001"}
38          ]
39        }
40      ],
41      "Ssn": [
42        {
43          "Observation": [
44            {
45              "Id": "localhost:8890/mcas/sensor#obs/00001",
46              "Sensor": "localhost:8890/mcas/sensor#sen/pressure/
                  00001",
47              "Value": "1",
48              "Time": "2017-06-06T13:00:00Z",
49              "RecEntities": [
50                {
51                  "Activity": "localhost:8890/mcas/activity#act/t
                      00001"
52                }
53              ]
54            }
55          ]
56        },
57        {
58          "Observation": [
59            {
60              "Id": "localhost:8890/mcas/sensor#obs/00002",
61              "Sensor": "localhost:8890/mcas/sensor#sen/camera/00
                  001",
62              "Value": "10",
63              "Time": "2017-06-06T13:02:00Z",
64              "RecEntities": [
```

```
                {
                  "Activity": "localhost:8890/mcas/activity#act/t
                     00002"
                }
              ]
            }
          ]
        }
    ],
    "Multimedia": [
        {
          "Id": "localhost:8890/mcas/multimedia#mul/00001",
          "Format": "AVI",
          "Type": "www.semanticweb.org/ontologies/multimedia#
             VideoFormat",
          "Descriptor": {},
          "RecEntities": [
            {
              "Activity": "localhost:8890/mcas/activity#act/t00
                 002",
              "Person": "localhost:8890/mcas/person#per/0001"
            }
          ],
          "CreationTime": "2017-06-06T13:02:00Z"
        }
      ]
}
```

B. Anexo: Definición del mapping RML

Listing B.1: Definición de archivo mapping para RML

```
@prefix rr: <http://www.w3.org/ns/r2rml#>.
@prefix  rml: <http://semweb.mmlab.be/ns/rml#> .
@prefix crml:       <http://semweb.mmlab.be/ns/crml#> .
@prefix ql: <http://semweb.mmlab.be/ns/ql#> .
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
@base <http://example.com> .

## --------------- DEPENDENCIES ----------- ###

### ----- MCONTEXT ----- ###
@prefix mcontext: <http://purl.org/m-context/ontologies/
   mContext#>.
#@prefix alzheimer: <http://purl.org/m-context/ontologies/
   alzheimer#>.


### ------ SENSOR -------- ###
@prefix sosa: <http://www.w3.org/ns/sosa/>.

### ------ LOCATION -------- ###
@prefix wgs84_pos: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#>.
#@prefix schema: <http://schema.org/>.
@prefix gn: <http://www.geonames.org/ontology#>.
@prefix location: <http://purl.org/m-context/ontologies/
   location#> .

### ------ MULTIMEDIA -------- ###
@prefix multimedia: <http://purl.org/m-context/ontologies/
   multimedia#> .
@prefix ma: <http://www.w3.org/ns/ma-ont#>.

```

```
### ----- ACTIVITY ----- ###
@prefix activity: <http://purl.org/m-context/ontologies/
   activity#>.

### ----- TIME ----- ###
@prefix time: <http://purl.org/m-context/ontologies/time#>.

### ------ PERSON ------ ###
@prefix foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>.


## ----------------------------------------###


## --------------- MAPPINGS --------------- ##


### ----- ACTIVITY ----- ###

<#ActivityMapping>
    rml:logicalSource [
        rml:source "<*input_json_file*>";
        rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
        rml:iterator "$.Activity[*]"
    ];

    rr:subjectMap [
        rr:template "http://{Id}";
    ];

    rr:predicateObjectMap [
        rr:predicate rdf:type;
        rr:objectMap
        [
            rr:template "http://{Type}";
        ]
    ];

    ## ----- BASIC ATRIBUTES ----- ##

```

```
67      rr:predicateObjectMap [
68          rr:predicate time:hasBeginningTime;
69          rr:objectMap
70          [
71              rml:reference "Time.Beginning";
72              rr:datatype xsd:dateTime
73          ]
74      ],[
75          rr:predicate time:hasEndingTime;
76          rr:objectMap
77          [
78              rml:reference "Time.Ending";
79              rr:datatype xsd:dateTime
80          ]
81      ];
82
83      ## ----- EXTERNAL ATRIBUTES ----- ##
84
85      rr:predicateObjectMap [
86          rr:predicate mcontext:hasActor;
87          rr:objectMap
88          [
89              rr:template "http://{Person[*].Id}";
90          ]
91      ],[
92          rr:predicate mcontext:isDescribedBy;
93          rr:objectMap
94          [
95              rr:template "http://{Descriptor[*].Id}";
96          ]
97      ].
98
99  ## ------ SSN ------ ###
100 <#DeviceMapping>
101         rml:logicalSource [
102                 rml:source "<*input_json_file*>";
103             rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
104             rml:iterator "$.Ssn[*].Device[*]"
105     ];
106
```

```
107     #define la uri en el sistema
108     rr:subjectMap [
109         rr:template "http://{Id}";
110         rr:class sosa:Platform
111     ];
112 
113         ## ----- EXTERNAL ATRIBUTES ----- ##
114 
115         rr:predicateObjectMap [
116         rr:predicate sosa:hosts;
117         rr:objectMap
118         [
119             rr:template "http://{Sensor[*]}";
120         ]
121     ];
122         rr:predicateObjectMap [
123         rr:predicate gn:locatedIn;
124         rr:objectMap
125         [
126 
127             rr:template "http://{Location}";
128         ]
129     ].
130 
131 <#SensorMapping>
132         rml:logicalSource [
133                 rml:source "<*input_json_file*>";
134             rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
135             rml:iterator "$.Ssn[*].Sensor[*]"
136     ];
137 
138     #define la uri en el sistema
139     rr:subjectMap [
140         rr:template "http://{Id}";
141         rr:class sosa:Sensor
142     ];
143 
144     ## ----- BASIC ATRIBUTES ----- ##
145 
146     rr:predicateObjectMap [
```

```
147         rr:predicate sosa:observes;
148         rr:objectMap
149         [
150             rr:template "http://{Observe}";
151         ]
152     ];
153 
154         ## ----- EXTERNAL ATRIBUTES ----- ##
155 
156         rr:predicateObjectMap [
157         rr:predicate gn:locatedIn;
158         rr:objectMap
159         [
160 
161             rr:template "http://{Location}";
162         ]
163     ].
164 
165 <#ObservationMapping>
166 
167     rml:logicalSource [
168                 rml:source "<*input_json_file*>";
169             rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
170             rml:iterator "$.Ssn[*].Observation[*]"
171     ];
172 
173     #define la uri en el sistema
174     rr:subjectMap [
175         rr:template "http://{Id}";
176         rr:class sosa:Observation
177     ];
178 
179     rr:predicateObjectMap [
180         rr:predicate sosa:madeBySensor;
181         rr:objectMap
182         [
183                 rr:template "http://{Sensor}"
184         ]
185     ];
186 
```

```
187     rr:predicateObjectMap [
188         rr:predicate sosa:hasSimpleResult;
189         rr:objectMap
190         [
191                 rml:reference "Value";
192                 rr:datatype xsd:decimal
193         ]
194     ];
195 
196     rr:predicateObjectMap [
197         rr:predicate sosa:resultTime;
198         rr:objectMap
199         [
200                 rml:reference "Time";
201                 rr:datatype xsd:dateTime
202         ]
203     ];
204 
205     rr:predicateObjectMap [
206             rr:predicate mcontext:describe;
207         rr:objectMap
208         [
209                 rr:template "http://{RecEntities[*].Activity}";
210         ]
211     ];
212 
213     rr:predicateObjectMap [
214         rr:predicate gn:locatedIn;
215         rr:objectMap
216         [
217 
218             rr:template "http://{Location}";
219         ]
220     ].
221 
222 
223 
224 ### ----- MULTIMEDIA ----- ###
225 
226 <#MultimediaMapping>
```

```
227         rml:logicalSource [
228                 rml:source "<*input_json_file*>";
229             rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
230             rml:iterator "$.Multimedia[*]"
231     ];
232
233     #define la uri en el sistema
234     rr:subjectMap [
235         rr:template "http://{Id}";
236     ];
237
238      ## ----- BASIC ATRIB ----- ##
239
240     rr:predicateObjectMap [
241         rr:predicate rdf:type;
242         rr:objectMap
243         [
244                 rr:template "http://{Type}";
245         ]
246     ];
247
248     rr:predicateObjectMap [
249         rr:predicate ma:hasFormat;
250         rr:objectMap
251         [
252                 rr:template "http://{Format}";
253
254                         #rr:parentTriplesMap <#SensorMapping>;
255                 ]
256         ],[
257         rr:predicate multimedia:creationDate;
258         rr:objectMap
259         [
260                 rml:reference "CreationTime";
261                 rr:datatype xsd:dateTime
262         ]
263     ],[
264         rr:predicate ma:hasMultimediaDescriptor;
265         rr:objectMap
266         [
```

```
                rr:parentTriplesMap <#DescriptorMapping>;
        ]
    ];

    ## ----- EXTERNAL ATRIB ----- ##

    rr:predicateObjectMap [
            rr:predicate mcontext:describe;
        rr:objectMap
        [
                rr:template "http://{RecEntities[*].Activity}";
        ]
    ],[
        rr:predicate gn:locatedIn;
        rr:objectMap
        [
                rr:template "http://{Location}";
                ]
        ].


<#DescriptorMapping>
        rml:logicalSource [
                rml:source "<*input_json_file*>";
            rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
            rml:iterator "$.Multimedia[*].Descriptor"
        ];

        rr:subjectMap [
          rr:template "http://{Id}"
        ];

        rr:predicateObjectMap [
                rr:predicate multimedia:descriptionText;
                rr:objectMap
                [
                        rml:reference "Content";
                        rr:datatype xsd:string;
                ]
        ].
```

```
307
308
309
310
311 ### ----- LOCATION ----- ###
312 <#LocationMapping>
313         rml:logicalSource [
314                 rml:source "<*input_json_file*>";
315             rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
316             rml:iterator "$.Location[*]"
317     ];
318
319     #define la uri en el sistema
320     rr:subjectMap [
321         rr:template "http://{Id}";
322     ];
323
324     rr:predicateObjectMap [
325         rr:predicate rdf:type;
326         rr:objectMap
327         [
328                 rr:template "http://{Type}";
329         ]
330     ];
331
332         rr:predicateObjectMap
333                 [
334                 rr:predicate wgs84_pos:lat;
335                 rr:objectMap
336         [
337                 rml:reference "Coordinates.latitude"
338         ]
339         ], [
340         rr:predicate wgs84_pos:long;
341         rr:objectMap
342         [
343         rml:reference "Coordinates.longitude"
344         ]
345         ].
346
```

```
### ------ PERSON ------ ###

<#PersonMapping>
        rml:logicalSource [
                rml:source "<*input_json_file*>";
            rml:referenceFormulation ql:JSONPath;
            rml:iterator "$.Person[*]"
    ];

    #define la uri en el sistema
    rr:subjectMap [
        rr:template "http://{Id}";
        rr:class foaf:Person
    ];


    ## ----- BASIC ATRIBUTES ----- ##

    rr:predicateObjectMap [
        rr:predicate foaf:firstname;
        rr:objectMap
        [
                rml:reference "Name"
        ]
    ];

    rr:predicateObjectMap [
        rr:predicate foaf:lastname;
        rr:objectMap
        [
                rml:reference "Last-name"
        ]
    ];

    ## ----- EXTERNAL ATRIBUTES ----- ##

    rr:predicateObjectMap [
        rr:predicate mcontext:hasRol;
        rr:objectMap
        [
```

```
387                     rr:template "http://{Role.Value}" ;
388             ]
389     ].
```

C. Anexo: Flujo de transformación de json a RDF

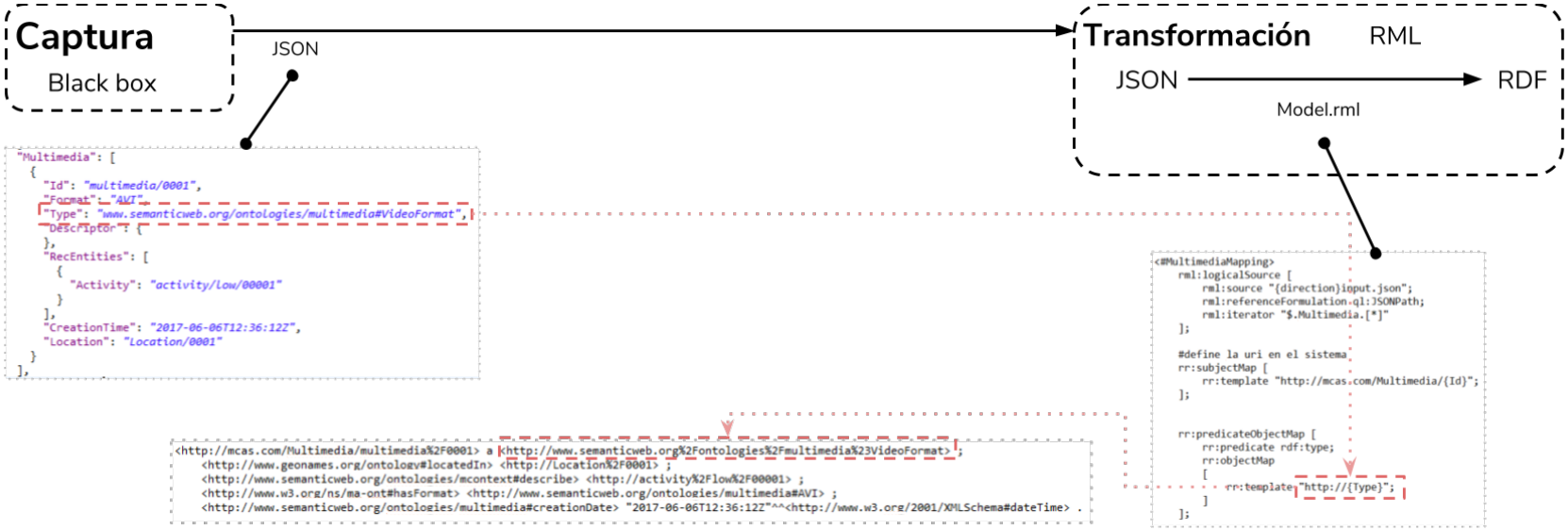

Figura C-1.: Flujo para la transformación de datos a RDF por medio de RML

Bibliografía

An Ontology-based Hybrid Approach for Accurate Context Reasoning. 2017.

G. D. Abowd, A. K. Dey, P. J. Brown, N. Davies, M. Smith, and P. Steggles. Towards a better understanding of context and context-awareness. In *International symposium on handheld and ubiquitous computing*, pages 304–307. Springer, 1999.

J. Aguilar, M. Jerez, and T. Rodríguez. CAMeOnto: Context awareness meta ontology modeling. *Applied Computing and Informatics*, 2017. ISSN 22108327. doi: 10.1016/j.aci.2017.08.001.

U. Alegre, J. C. Augusto, and T. Clark. Engineering context-aware systems and applications: A survey. *Journal of Systems and Software*, 117:55–83, 2016.

S. Ali, S. Khusro, I. Ullah, A. Khan, and I. Khan. SmartOntoSensor: Ontology for Semantic Interpretation of Smartphone Sensors Data for Context-Aware Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 2017. ISSN 16877268. doi: 10.1155/2017/8790198.

B. Avenoğlu and P. E. Eren. A context-aware and workflow-based framework for pervasive environments. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2017. ISSN 1868-5137. doi: 10.1007/s12652-017-0633-y.

M. Baldauf, S. Dustdar, and F. Rosenberg. A survey on context-aware systems. *International Journal of ad Hoc and ubiquitous Computing*, 2(4):263–277, 2007.

B. Beamon and M. Kumar. Hycore: Towards a generalized hierarchical hybrid context reasoning engine. In *2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, pages 30–36. IEEE, 2010.

T. Bracamonte, B. Bustos, B. Poblete, and T. Schreck. Extracting semantic knowledge from web context for multimedia ir: a taxonomy, survey and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, pages 1–37, 2017.

M. Braunhofer, M. Kaminskas, and F. Ricci. Recommending music for places of interest in a mobile travel guide. In *Proceedings of the fifth ACM conference on Recommender systems*, pages 253–256. ACM, 2011.

M. Bravo, J. A. Reyes-Ortiz, L. Sánchez-Martínez, and R. A. Alcántara-Ramírez. Hybrid

Architecture to Support Context-Aware Systems. *Multi-agent Systems*, 3, 2017. doi: 10.5772/intechopen.69519.

O. Cabrera, X. Franch, and J. Marco. 3LConOnt: a three-level ontology for context modelling in context-aware computing. *Software and Systems Modeling*, pages 1–34, 2017. ISSN 16191374. doi: 10.1007/s10270-017-0611-z.

J. Chang, W. Yao, and X. Li. The design of a context-aware service system in intelligent transportation system. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(10), 2017. doi: 10.1177/1550147717738165.

H. Chen, T. Finin, and A. Joshi. An ontology for context-aware pervasive computing environments. *The knowledge engineering review*, 18(3):197–207, 2003.

M. de Salud y Protección Social. Envejecimiento demográfico. colombia 1951-2020 dinámica demográfica y estructuras poblacionales, jun 2013.

A. Dey. Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5(1):4–7, 2001. ISSN 1617-4909. doi: doi:10.1007/s007790170019.

A. Dimou, M. V. Sande, P. Colpaert, R. Verborgh, E. Mannens, and R. Van De Walle. RML: A generic language for integrated RDF mappings of heterogeneous data. *CEUR Workshop Proceedings*, 1184, 2014. ISSN 16130073.

J. S. Dumas. User-based evaluations. In *The human-computer interaction handbook*, pages 1093–1117. L. Erlbaum Associates Inc., 2002.

K. Fargo and L. Bleiler. Alzheimer's Association Report: 2014 Alzheimers disease facts and figures. *Alzheimer's and Dementia*, 10(2):e47–e92, 2014. ISSN 15525279. doi: 10.1016/j.jalz.2014.02.001.

T. Fissaa, H. Guermah, M. El, H. Hafiddi, and M. Nassar. On the use of AI Planning in the Composition of Context-Aware Services. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 14(6):15–24, 2017.

A. Garcia-Sola, T. Garcia-Valverde, and J. A. Botia. Reasoning with Modular Ontologies for Context-Aware Applications Alberto. *Journal of Research and Practice in Information Technology*, 46(4):235 – 261, 2014.

D. Griol and Z. Callejas. Mobile Conversational Agents for Context-Aware Care Applications. *Cognitive Computation*, 8(2):336–356, 2016. ISSN 18669964. doi: 10.1007/s12559-015-9352-x.

T. Gu, H. Keng Pung, and D. Qing Zhang. A service-oriented middleware for building context-aware services. 2004. doi: 10.1016/j.jnca.2004.06.002.

S. Harris, A. Seaborne, and E. Prudhommeaux. Sparql query language for rdf. *The World Wide Web Consortium*, 19, 2016.

R. Hervás, J. Bravo, and J. Fontecha. A context model based on ontological languages: a proposal for information visualization. *J. UCS*, 16(12):1539–1555, 2010.

I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosof, M. Dean, et al. Swrl: A semantic web rule language combining owl and ruleml. *W3C Member submission*, 21:79, 2004.

N. Iaz, R. Iguez, M. P. C. Ellar, and J. Lilius. A Survey on Ontologies for Human Behavior Recognition. *ACM Comput. Surv. Article*, 46(33), 2014. doi: 10.1145/2523819.

M. Kaminskas and F. Ricci. Contextual music information retrieval and recommendation: State of the art and challenges. *Computer Science Review*, 6(2-3):89–119, 2012.

H. Kanai. Introduction on a support system for awareness in an aware-environment enhanced group home: AwareRium. *Proceedings - 2012 7th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems, KICSS 2012*, pages 165–168, 2012. ISSN 978-0-7695-4861-6. doi: 10.1109/KICSS.2012.14.

J. Kang, J. Kim, K. Kim, and M. Sohn. Complex Activity Recognition Using Polyphonic Sound Event Detection. pages 675–684. 2019. doi: 10.1007/978-3-319-93554-6_66.

A. Karakostas, I. Lazarou, G. Meditskos, T. G. Stavropoulos, I. Kompatsiaris, and M. Tsolaki. Sensor-based in-home monitoring of people with dementia using remote web technologies. In *Proceedings of 2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning, IMCL 2015*, pages 353–357. IEEE, nov 2015. ISBN 9781467382434. doi: 10.1109/IMCTL.2015.7359618.

H. Knublauch, J. Hendler, and K. Idehen. Spin-overview and motivation (2011). *Last accessed on*, 16, 2016.

O. D. Lara and M. A. Labrador. A Survey on Human Activity Recognition using Wearable Sensors. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(3):1192–1209, 2013. ISSN 1553-877X. doi: 10.1109/SURV.2012.110112.00192.

X. Li, J.-F. Martínez, and G. Rubio. Towards a Hybrid Approach to Context Reasoning for Underwater Robots. *Applied Sciences*, 7(2):183, 2017a. ISSN 2076-3417. doi: 10.3390/app7020183.

X. Li, J.-F. Martínez, and G. Rubio. Towards a hybrid approach to context reasoning for underwater robots. *Applied Sciences*, 7(2):183, 2017b.

R. Machado, F. Rosa, R. Almeida, T. Primo, M. Pilla, A. Pernas, and A. Yamin. A hybrid architecture to enrich context awareness through data correlation. In *Proceedings of the*

33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '18, pages 1451–1453, New York, NY, USA, 2018. ACM. ISBN 978-1-4503-5191-1. doi: 10.1145/3167132.3167405. URL `http://doi.acm.org/10.1145/3167132.3167405`.

G. Meditskos, S. Dasiopoulou, V. Efstathiou, and I. Kompatsiaris. SP-ACT: A hybrid framework for complex activity recognition combining OWL and SPARQL rules. *2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops 2013*, (March):25–30, 2013. doi: 10.1109/PerComW.2013.6529451.

G. Meditskos, S. Dasiopoulou, and I. Kompatsiaris. MetaQ: A knowledge-driven framework for context-aware activity recognition combining SPARQL and OWL 2 activity patterns. *Pervasive and Mobile Computing*, 25:104–124, 2016. ISSN 15741192. doi: 10.1016/j.pmcj.2015.01.007.

Z. Meng and J. Lu. A Rule-based Service Customization Strategy for Smart Home Context-Aware Automation. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15(3):558–571, 2016. ISSN 15361233. doi: 10.1109/TMC.2015.2424427.

J. Monteagudo. Capacidades y oportunidades de innovación en tic para alzheimer. unidad de investigación en telemedicina, instituto de salud carlos iii. madrid, spain, 2012, 2014.

T. Motwani and R. Mooney. Improving Video Activity Recognition using Object Recognition and Text Mining. *Ecai*, pages 600–605, 2012. doi: 10.3233/978-1-61499-098-7-600.

R. F. Navarro, M. D. Rodríguez, and J. Favela. Intervention Tailoring in AAL Systems for Elders with Dementia Using Ontologies. *LNCS*, 7657:338–345, 2012.

R. F. Navarro, M. D. Rodríguez, and J. Favela. Use and Adoption of an Assisted Cognition System to Support Therapies for People with Dementia. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2016(1):1–11, 2016. ISSN 17486718. doi: 10.1155/2016/1075191.

N. F. Noy, D. L. McGuinness, et al. Ontology development 101: A guide to creating your first ontology, 2001.

A. Ordóñez, L. Eraso, H. Ordóñez, and L. Merchan. Comparing Drools and Ontology Reasoning Approaches for Automated Monitoring in Telecommunication Processes. *Procedia Computer Science*, 95:353–360, 2016. ISSN 1877-0509. doi: 10.1016/j.procs.2016.09.345.

C. Perera, S. Member, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos. Context Aware Computing for The Internet of Things : A Survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(1):414–454, 2014.

M. Poveda Villalon, M. C. Suárez-Figueroa, R. García-Castro, and A. Gómez-Pérez. A context ontology for mobile environments. 2010.

E. Pulido Herrera. Location-based technologies for supporting elderly pedestrian in "getting

lost" events. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(4):315–323, 2017. ISSN 17483115. doi: 10.1080/17483107.2016.1181799.

D. Riboni and C. Bettini. Cosar: hybrid reasoning for context-aware activity recognition. *Personal and Ubiquitous Computing*, 15(3):271–289, Mar 2011. ISSN 1617-4917. doi: 10.1007/s00779-010-0331-7. URL `https://doi.org/10.1007/s00779-010-0331-7`.

L. A. Rowe and R. Jain. Acm sigmm retreat report on future directions in multimedia research. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 1(1):3–13, 2005.

A. Sorici, G. Picard, O. Boissier, A. Zimmermann, and A. Florea. Consert: Applying semantic web technologies to context modeling in ambient intelligence. *Computers & Electrical Engineering*, 44:280–306, 2015.

G. Stamou, J. van Ossenbruggen, J. Z. Pan, G. Schreiber, and J. R. Smith. Multimedia annotations on the semantic web. *Ieee Multimedia*, 13(1):86–90, 2006.

T. G. Stavropoulos, G. Meditskos, T. Tsompanidis, S. Andreadis, and I. Kompatsiaris. Dem@Home: Ambient Monitoring and Clinical Support for People Living with Dementia. In *International Semantic Web Conference*, pages 26–29, 2016. ISBN 9783319476018. doi: 10.1007/978-3-319-47602-5_6.

D. M. Taub, S. B. Leeb, E. C. Lupton, R. T. Hinman, J. Zeisel, and S. Blackler. The Escort System: A Safety Monitor for People Living with Alzheimer's Disease. *IEEE Pervasive Computing*, 10:68—-77, 2011.

P. Van Hille, J. Jacques, J. Taillard, A. Rosier, D. Delerue, A. Burgun, and O. Dameron. Comparing Drools and ontology reasoning approaches for telecardiology decision support. In *Studies in Health Technology and Informatics*, volume 180, pages 300–304, 2012. ISBN 9781614991007. doi: 10.3233/978-1-61499-101-4-300.

P.-Y. Vandenbussche, G. Atemezing, M. Poveda-Villalón, and B. Vatant. Linked open vocabularies (lov): A gateway to reusable semantic vocabularies on the web. *Semantic Web*, 8:437–452, 2016.

C. Villalonga, O. Banos, W. A. Khan, T. Ali, M. A. Razzaq, S. Lee, H. Pomares, and I. Rojas. High-level context inference for human behavior identification. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9455:164–175, 2016. ISSN 16113349. doi: 10.1007/978-3-319-26410-3_16.

X. H. Wang, D. Q. Zhang, T. Gu, and H. K. Pung. Ontology based context modeling and reasoning using owl. In *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on*, pages 18–22. Ieee, 2004.

E. J. Y. Wei and A. T. S. Chan. CAMPUS: A middleware for automated context-aware

adaptation decision making at run time. *Pervasive and Mobile Computing*, 9:35–56, 2013. doi: 10.1016/j.pmcj.2011.10.002.

D. Weinland, R. Ronfard, and E. Boyer. A Survey of Vision-Based Methods for Action Representation , Segmentation and Recognition A Survey of Vision-Based Methods for Action Representation , Segmentation and Recognition. 54, 2010.

Y. Yifan, D. Junping, F. Dan, and J. Lee. Design and implementation of tourism activity recognition and discovery system. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2016-September:781–786, 2016. doi: 10.1109/WCICA.2016.7578321.

K. Yordanova, S. Bader, C. Heine, S. Teipel, and T. Kirste. Towards a Situation Model for Assessing Challenging Behaviour of People with Dementia. In *iWOAR '16 Proceedings of the 3rd International Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction*, 2016. ISBN 9781450342452. doi: 10.1145/2948963.2948970.

N. M. Zaitoun and M. J. Aqel. Survey on image segmentation techniques. *Procedia Computer Science*, 65:797–806, 2015.

S. Zolfaghari, R. Zall, and M. R. Keyvanpour. SOnAr: Smart Ontology activity recognition framework to fulfill semantic web in smart homes. *2016 2nd International Conference on Web Research, ICWR 2016*, pages 139–144, 2016. ISSN 15301605. doi: 10.1109/ICWR.2016.7498458.