



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPOTZALCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

INTERFAZ DE CONSULTA EN IDIOMA ESPAÑOL PARA
LA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN EN UN AMBIENTE
ACADÉMICO

Idónea Comunicación de Resultados

para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias de la Computación

PRESENTA:

Ing. Gabriela Alejandra García Robledo

DIRECTORES:

Dr. José Alejandro Reyes Ortiz

Dra. Beatriz Adriana González Beltrán



MAESTRÍA EN CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN

Ciudad de México, 2020

Resumen

En este trabajo se aborda un sistema de consulta en idioma español de México para la búsqueda de información de dominio académico, mediante un modelo de segmentación y construcción de recursos léxicos, así como un análisis y enriquecimiento de un sistema de ontologías modulares en un ambiente académico.

El sistema de consulta es implementado para recibir como entrada preguntas en idioma español del tipo ¿Dónde?, ¿Cuándo? y ¿Quién?, las cuales permiten identificar una tupla ontológica para la consulta al sistema de ontologías y que no utilizan un módulo de traducción como los trabajos reportados en la literatura. La metodología implementada permite la identificación de patrones estructurales para la búsqueda en *SQWRL* en el sistema de ontologías. Se realizó una evaluación en el reconocimiento de voz y en las respuestas recibidas por parte del modelo semántico, las preguntas son extraídas de expertos en el dominio académico.

Es una interfaz de consulta en idioma español dentro de un dominio académico con una precisión de 92%. Su evaluación es una aportación dentro de el procesamiento de lenguaje natural con lexicones especializados, patrones estructurales que permiten realizar la búsqueda dentro de un sistema de ontologías, con un enriquecimiento en sus propiedades, clases e individuos.

Índice general

Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
1. Introducción	1
1.1. Presentación	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Contribuciones	4
1.6. Estructura de la tesis	4
2. Marco teórico	5
2.1. Sistemas de pregunta - respuesta	5
2.2. Interfaz mediante voz del usuario (IVU)	7
2.3. Conversor de voz y texto	7
2.3.1. WEB Speech API	8
2.3.2. Watson IBM	8
2.3.3. API Google Cloud Speech-to-Text	8
2.4. Ontologías	8
2.4.1. Modelo ontológico para un ambiente académico	9
2.4.2. Lenguajes de consulta	10
2.4.2.1. <i>SPARQL</i>	10
2.4.2.2. <i>SWRL</i>	11
2.5. Procesamiento de lenguaje natural (PLN)	12
2.5.1. Normalización de textos	13
2.5.2. Analizador léxico	13
2.5.3. Palabras funcionales	14
2.5.4. NER	14
2.5.5. Lexicones	15
2.6. Extracción y recuperación de información	16

3. Estado del arte	19
3.1. Descripción de trabajos relacionados	19
3.2. Comparación de trabajos relacionados	24
4. Metodología de solución	27
4.1. Metodología implementada	27
4.2. Análisis y enriquecimiento de modelo semántico	28
4.2.1. Ontología <i>Espacio Físico</i>	29
4.2.2. Ontología <i>Tiempo</i>	31
4.2.3. Ontología <i>Persona</i>	32
4.2.4. Ontología <i>Evento</i>	34
4.2.5. Ontología <i>Red de Sensores</i>	36
4.2.6. Sistema <i>Ambiente Inteligente</i>	36
4.2.7. Análisis de relaciones del sistema de ontologías con preguntas	37
4.3. Clasificación de preguntas en lenguaje natural	39
4.3.1. Preguntas simples	39
4.3.2. Preguntas compuestas	39
4.4. Pre-procesamiento de la pregunta en lenguaje natural	40
4.4.1. Normalización de preguntas en español	40
4.4.2. Analizador léxico de palabras del dominio académico	40
4.5. Reconocedor de entidades nombradas basado en lexicones de un dominio académico	41
4.6. Extracción de información de la pregunta	43
4.7. Mapeo ontológico	44
4.8. Implementación de consultas en <i>SQWRL</i> a partir de patrones estructurales	44
4.9. Conversor de voz y texto en interfaz de consulta	47
5. Evaluación	51
5.1. Distribución de preguntas para la evaluación	51
5.2. Descripción de evaluación	51
5.3. Resultados de ejecución	52
5.3.1. Evaluación del reconocedor de voz	52
5.3.2. Evaluación global de interfaz de consulta	55
5.4. Análisis de evaluación	56
6. Conclusiones	59
A. Preguntas de evaluación	61
A.1. Preguntas de tipo persona	61
A.2. Preguntas de tipo evento	64
A.3. Preguntas de tipo espacio físico	65
A.4. Preguntas de tipo persona-evento	65
A.5. Preguntas de tipo espacio físico-evento	67
A.6. Preguntas de tipo persona-espacio físico	69

B. Artículos publicados	71
Bibliografía	91

Índice de figuras

2.1. Arquitectura básica de un sistema de pregunta-respuesta. Basada en [1]	6
2.2. Sistema de ontologías <i>Ambiente Inteligente</i> . [2]	10
2.3. Ejemplo de analizador léxico	14
2.4. Etapas de un NER	15
4.1. Arquitectura de solución.	27
4.2. Ejemplo de poblado de ontología <i>Espacio Físico</i> .	30
4.3. Ejemplo de poblado de ontología <i>Tiempo</i> .	32
4.4. Ejemplo de poblado de ontología <i>Persona</i> .	33
4.5. Ejemplo de poblado de ontología <i>Evento</i> .	35
4.6. Ejemplo de relación en <i>Ambiente Inteligente</i> .	37
4.7. Relaciones utilizadas del modelo <i>Ambiente Inteligente</i> .	38
4.8. Identificación de entidades.	41
4.9. Procedimiento de emparejamiento	43
4.10. Vista de interfaz de consulta	50
5.1. Gráfica de evaluación de reconocimiento de voz	55
5.2. Gráfica de valuación global de interfaz de consulta	56
5.3. Gráfica reconocimiento de voz en evaluación.	57

Índice de tablas

2.1. Ejemplo de regla Swrl.	12
2.2. Ejemplo de regla Swrl en el dominio académico.	12
3.1. Comparación de trabajos relacionados.	25
4.1. Enriquecimiento de clases en ontología <i>Espacio Físico</i>	29
4.2. Enriquecimiento de propiedad de objeto de ontología <i>Espacio Físico</i> . . .	29
4.3. Clases y propiedades utilizadas de ontología <i>Espacio Físico</i>	30
4.4. Elementos de ontología <i>Espacio Físico</i>	31
4.5. Clases y propiedades utilizadas de ontología <i>Tiempo</i>	31
4.6. Elementos de ontología <i>Tiempo</i>	32
4.7. Clases y propiedades utilizadas de ontología <i>Persona</i>	33
4.8. Elementos de ontología <i>Persona</i>	34
4.9. Clases y propiedades utilizadas de ontología <i>Evento</i>	34
4.10. Elementos de ontología <i>Evento</i>	35
4.11. Enriquecimiento de propiedades de objeto en <i>Ambiente Inteligente</i> . . .	36
4.12. Propiedades de objeto utilizadas en <i>Ambiente Inteligente</i>	36
4.13. Elementos de <i>Ambiente Inteligente</i>	37
4.14. Tipo de preguntas simples.	39
4.15. Tipo de preguntas compuestas.	40
4.16. Patrón estructural 1.	45
4.17. Relación de variables entre patrón estructural 1 y tupla ontológica. . . .	45
4.18. Patrón estructural 2.	45
4.19. Relación de variables entre patrón estructural 2 y tupla ontológica. . . .	46
4.20. Patrón estructural 3.	46
4.21. Relación de variables entre patrón estructural 3 y tupla ontológica. . . .	47
4.22. Fragmento de código de JavaScript.	48
4.23. Fragmento de código de servlet.	49
5.1. Distribución de preguntas realizadas.	51
5.2. Evaluación de reconocimiento de voz de tipo persona.	52
5.3. Evaluación de reconocimiento de voz de tipo espacio físico.	53
5.4. Evaluación de reconocimiento de voz de tipo evento.	53

ÍNDICE DE TABLAS

5.5. Evaluación de reconocimiento de voz de tipo persona-espacio físico. . . .	53
5.6. Evaluación de reconocimiento de voz de tipo persona-evento.	54
5.7. Evaluación de reconocimiento de voz de tipo evento-espacio físico. . . .	54
5.8. Valores de evaluación global	55

Capítulo 1

Introducción

1.1. Presentación

En la actualidad, la tecnología evoluciona de una manera muy rápida, hace que se cuente con diversos dispositivos electrónicos que permiten mantener una interacción en lenguaje natural. Las interfaces de consulta se han convertido en unas de las aplicaciones con mayor crecimiento en esta interacción, porque permiten la entrada de datos al realizar una petición verbal, sin necesidad de ingresar texto. Todo esto, se favorece con el uso de computadoras, relojes inteligentes, celulares, tabletas o bocinas inteligentes, porque cuentan con un micrófono y bocina, elementos que permiten interactuar con el usuario.

La mayoría de las interfaces de consulta que realizan un procesamiento de lenguaje natural, están desarrolladas en el idioma inglés y gran parte con ayuda de una base de datos, ignorando el uso de otros idiomas, entre ellos el idioma español, debido a la variación de estructuras del lenguaje. Incluso, existen diferencias entre los tipos de español para realizar este procesamiento, porque se debe considerar el vocabulario y la pronunciación de cada uno.

Una interfaz de consulta en español se puede realizar con la ayuda de un módulo que traduzca del idioma inglés al español; sin embargo, esto puede resultar en un tiempo computacional costoso o un aumento en la posibilidad de pérdida de información debido a la traducción de un idioma origen al inglés y viceversa.

Por lo tanto, en este proyecto se diseña e implementa una interfaz de consulta en idioma español de México para dispositivos que permiten la asistencia por voz, es decir, dispositivos que cuentan con un micrófono y una bocina, para la entrada y salida en formato de voz. Se utilizan técnicas de procesamiento de lenguaje natural con ayuda de recursos léxicos para ofrecer una respuesta puntual al usuario. Además, este proyecto analiza y enriquece un modelo semántico creado en [2] para un ambiente académico, y

es utilizado como modelo de representación de la información para facilitar la extracción de datos debido a la semántica que se puede desarrollar en la consulta en español.

La interfaz implementada es capaz de responder a las preguntas ¿Cuándo?, ¿Dónde? y ¿Quién? en el contexto de un dominio académico, donde se hace referencia al espacio donde participan administrativos, investigadores, alumnos y profesores que interactúan entre sí en actividades académicas.

1.2. Planteamiento del problema

Dentro de un ambiente académico es importante conocer la ubicación (dónde) y la fecha (cuándo) en que ocurren los eventos, dónde se encuentra cada instalación o conocer a miembros de la comunidad. Una interfaz de consulta aporta una búsqueda de información que contenga este tipo de actividades.

Una tarea importante para realizar una interfaz de consulta es el manejo de lenguaje natural, porque se debe pensar el como comunicar un dispositivo con una persona mediante el uso de su lengua natural, ya sea español, inglés, chino u otro idioma. En una búsqueda de información utilizando lenguaje natural es de relevancia el modo de representación de información, por ejemplo, las ontologías que son entendibles para un ser humano y procesadas por una computadora, debido a su capacidad de estructurar y manejar información basada en una valoración semántica de su contenido.

Por otro lado, la complejidad en el manejo de información en español es alta y en la literatura se considera que el idioma inglés es una mejor opción para dicha manipulación debido a su estructura; sin embargo, esto puede llevar más tiempo de procesamiento al realizar la traducción entre idiomas (español e inglés) del texto de entrada y de salida.

Según The Web Index [3] el 20% de los adultos utiliza la búsqueda de voz móvil al menos una vez al mes y la compañía de software Citrus Bits [4] informa que el 55% de los adolescentes utilizan la búsqueda por voz a diario, con base en esto podemos decir que la asistencia de voz implementada en una interfaz de consulta puede ayudar en la interacción entre el usuario y un dispositivo.

Por lo tanto, se requiere una interfaz de consulta que cuente con mecanismos para que la comunicación sea más amigable para el usuario, sea capaz de manejar la información en español y mejorar la capacidad de procesamiento ignorando la manera en que se puede presentar.

Los beneficios que se obtienen con una interfaz de consulta ayudan a una comunidad académica a conocer a sus miembros y en la facilidad con su movilidad dentro sus instalaciones, así como mejorar la perspectiva de la comunicación con dispositivos en

el idioma español.

1.3. Justificación

Una interfaz de consulta en idioma español tiene una escasez debido a que el idioma es complejo en su manipulación, para un usuario es más sencillo comunicarse con un dispositivo a través de la voz si lo hace en su idioma natal, en México únicamente el 5 % de la población habla el idioma inglés [5] lo cual es una desventaja al utilizar una interfaz de consulta que no se encuentre en español. Sin embargo, este idioma es uno de los más complicados en manipular debido a sus variaciones en la conjugación, el manejo de acentuaciones al hablar, entre otros rasgos fonéticos.

Un usuario que tiene como lengua natal el español puede sentir mayor comodidad al interactuar con una aplicación en su mismo idioma, aunque domine otro. En [6] o en [7] se puede observar que se realizó un procesamiento de lenguaje natural en inglés con una entrada en otro idioma.

Una interfaz de consulta en idioma español con asistencia de voz dentro de un dominio académico, apoya a un usuario que pertenece a la misma comunidad y busca una respuesta concreta acerca de los eventos académicos, las instalaciones, información de profesores, administrativos, entre otros.

Al utilizar el idioma español como origen, se descarta una traducción de la sentencia dentro del procesamiento, disminuyendo por tanto, la pérdida de información en la respuesta. Para esto se utilizan recursos léxicos en español sin necesidad de la traducción de la pregunta completa. Se realizan consultas *SQWRL* dentro de ontologías utilizadas como modelo de representación de la información, porque permiten definir la semántica de los datos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una interfaz de consulta en idioma español para la búsqueda de información en un ambiente académico basada en ontologías.

1.4.2. Objetivos específicos

- Aplicar técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural sobre la consulta para encontrar los elementos relevantes, tales como: personas, lugares y eventos.

- Diseñar e implementar un método para la extracción de información a partir de la ontología del ambiente académico.
- Implementar un módulo para transformar voz a texto y texto a voz en el idioma español.
- Integrar los módulos y métodos implementados en una interfaz de consulta en el idioma español.

1.5. Contribuciones

Las principales contribuciones de este proyecto son:

- Desarrollo de lexicones en idioma español que ayudan a realizar la extracción de entidades relevantes en una sentencia.
- Procesamiento de lenguaje natural en idioma español basado en recursos léxicos sin utilizar un módulo de traducción con otro idioma.
- Sistema de consultas *SQWRL* a un modelo semántico a partir de una estructura ontológica.
- Interfaz de consulta a través de voz en idioma español en un dominio académico.

1.6. Estructura de la tesis

El documento se organiza de la siguiente manera:

- El capítulo 2 presenta los fundamentos teóricos del proyecto y se describen las definiciones necesarias para su entendimiento, como, procesamiento de lenguaje natural, consultas *SQWRL*, ontología y Web Speech API.
- El capítulo 3 describe el estado del arte, los avances más sobresalientes dentro del área de investigación donde se desarrolla este proyecto, en particular, manejo de ontologías, fuente datos por voz, análisis de lenguaje natural y lenguajes de consulta en distintos idiomas.
- El capítulo 4 expone el desarrollo y la metodología de solución implementada. Se muestran los métodos utilizados y se explica la arquitectura propuesta.
- El capítulo 5 presenta la evaluación obtenida por un corpus de preguntas adquiridas por un cuerpo estudiantil. Además, se utiliza una métrica de evaluación para comprobar su funcionalidad dentro del dominio académico en idioma español.
- El capítulo 6 contiene las conclusiones generales del proyecto y se proponen trabajos a futuro.

Marco teórico

A continuación, se presentan las bases teóricas que sustentan el proyecto.

2.1. Sistemas de pregunta - respuesta

Estos sistemas también se conocen como sistemas de Búsqueda de Respuestas (sistemas BR), o por su término de inglés *Question-Answering Systems* (QA systems), se pueden clasificar como un tipo de recuperación de información o interfaz de consulta en que se parte de una consulta en lenguaje natural y debe volver la respuesta y ya no un documento que la contenga, es decir, la respuesta se vuelve más específica.

En [1] se explican algunas de las necesidades que debe cumplir un sistema de pregunta-respuesta son:

- **Precisión.** Una respuesta incorrecta es peor que no responder. Un sistema de pregunta-respuesta debe evaluar la corrección de las respuestas proporcionadas, incluyendo métodos para detectar que la respuesta no está disponible en la colección de documentos, así como las contradicciones en las fuentes de información deben ser descubiertas.
- **Usabilidad.** El conocimiento de un sistema de pregunta-respuesta debe ser tratado a medida de las necesidades de un usuario. Un sistema de este tipo debe ser capaz de extraer respuestas sin importar el formato de origen y proporcionar una respuesta al usuario en formato que desee.
- **Compleitud.** Ante una pregunta de usuario se espera una respuesta completa. En ocasiones las preguntas son distribuidas a lo largo de un documento o entre múltiples documentos de una colección, debe existir una fusión coherente de la respuesta.
- **Relevancia.** La respuesta a una pregunta del usuario debe ser relevante en un contexto específico. La complejidad de la pregunta y la taxonomía de preguntas

2. MARCO TEÓRICO

relacionada no puede ser estudiada sin tener en cuenta la representación del contexto, que se convierte en el terreno común existente ente el usuario y el sistema de pregunta-respuesta.

“La arquitectura típica, de los sistemas actuales de pregunta-respuesta tiene en su núcleo más básico un sistema de Recuperación de Información. Las palabras de la pregunta se usan como términos de una consulta y de acuerdo a ella se recuperan los documentos más relevantes. La mayoría de los sistemas de pregunta-respuesta están basados en una arquitectura de tres componentes” [1]. La arquitectura básica de un sistema de Pregunta-Respuesta se observa en la Figura 2.1.



Figura 2.1: Arquitectura básica de un sistema de pregunta-respuesta. Basada en [1]

Las etapas de una arquitectura básica de un sistema de pregunta-respuesta se explican a continuación.

- **Análisis de la pregunta.** Se encarga de encontrar los términos relevantes como tipo de pregunta, el focus de la pregunta, entre otros.
- **Recuperación de información.** Se obtiene de los documentos relevantes los fragmentos importantes que contienen la respuesta a la pregunta del usuario.
- **Extracción de la respuesta.** Se obtiene una respuesta de la recuperación de información y se muestra al usuario en el formato deseado.

2.2. Interfaz mediante voz del usuario (IVU)

Juan Bernardo Morales [8] define que a la interacción humana con computadoras a través de una plataforma de voz se le conoce como Interfaz mediante Voz del Usuario (IVU) y los primeros sistemas datan de los años sesenta y setenta, donde el principal objetivo se centraba en el procesamiento del lenguaje natural por texto, dándose a conocer en esta época el desarrollo de los famosos bots de charla “chatbot”, tales como: ELIZA, el chatbot desarrollado por Joseph Weizenbaum en 1966 que representa el papel de un psicoanalista e imita sus respuestas típicas en una entrevista, o PARRY, implementado en 1972 por el psiquiatra Kenneth Colby que intenta simular la conversación con una persona que padece esquizofrenia paranoide. Estos bots también son considerados como un sistema de pregunta y respuesta.

Estos métodos dieron la pauta al desarrollo de diversas plataformas que en la actualidad reconocen e interpretan el lenguaje natural por medio de voz, con la finalidad de recibir comandos de voz con instrucciones y por medio de estos ejecutar diversas acciones.

Este tipo de interfaz ayuda al usuario a realizar una interacción con el dispositivo, puede usarse solo como un medio para los datos de entrada (preguntas) y para obtener un resultado (respuesta).

2.3. Conversor de voz y texto

El reconocedor de voz de un ser humano permite percibir sonidos con el sistema del oído como un receptor natural de sonidos. En un sentido computacional, Gonzalo Pajares [9] menciona que los sistemas de reconocimiento de voz, también conocidos como conversores de voz y texto, se fundamentan en el análisis de señales generadas o recibidas a través de los sistemas físicos de emisión o recepción con el fin de conseguir su interpretación.

Un conversor de voz es aquel que tiene la capacidad de transformar la voz identificada en texto, mientras que el conversor de texto realiza lo inverso, convirtiendo un texto en señales de voz.

Un conversor de voz a texto y viceversa ayuda a ingresar datos de entrada y devolver un resultado, puede ser una importante herramienta dentro de aplicaciones como una interfaz de consulta donde la entrada es una pregunta y el resultado una respuesta. Para realizar la conversión de texto y voz existen distintas herramientas que se explican a continuación.

2.3.1. WEB Speech API

En [10] se define como una API de JavaScript que permite a desarrolladores web incorporar reconocimiento de voz y síntesis, además de utilizar secuencias de comandos para generar salida de texto a voz y utilizar el reconocimiento de voz como entrada para formularios, dictado continuo y control. WEB Speech API fue publicada por Speech API Community Group y no es un estándar del W3C. Es independiente de la implementación de síntesis y reconocimiento de voz subyacente y puede admitir tanto el reconocimiento como la síntesis basados en el servidor como en el cliente. Está diseñada para habilitar la entrada de voz breve (de una sola vez) y la entrada continua de voz.

2.3.2. Watson IBM

El servicio de voz de IBM a texto [11] proporciona una interface de programación de aplicaciones (API) que se puede usar para agregar capacidades de transcripción de voz a las aplicaciones. Este servicio aprovecha la inteligencia de la máquina para transcribir la voz humana con precisión, combina información sobre la gramática y la estructura del lenguaje con el conocimiento de la composición de la señal de audio. Además, actualiza de manera retroactiva una transcripción a medida que se escuchan más palabras. Watson IBM proporciona varias interfaces que lo hacen adecuado para cualquier aplicación donde se tiene la voz como medio de entrada y la salida es una transcripción textual.

2.3.3. API Google Cloud Speech-to-Text

Google Cloud Speech-to-Text [12] permite convertir audio en texto mediante la aplicación de modelos de redes neuronales en una API que reconoce entre 120 idiomas y sus variantes para respaldar su base de usuarios global; también puede filtrar contenido inapropiado en los resultados de texto para todos los idiomas. Además, puede habilitar el comando y control de voz, transcribir audio de centros de llamadas y puede procesar la transmisión en tiempo real o el audio pregrabado, utilizando la tecnología de aprendizaje automático de Google. Por último, también puede devolver texto reconocido del audio almacenado en un archivo y es capaz de analizar audio según el tiempo de duración (forma corta y larga).

2.4. Ontologías

El concepto de “*ontología*”, etimológicamente significa el conocimiento del ser. Según Gruber [13], “una ontología es una descripción formal de los conceptos y de las relaciones entre ellos”. Conjuntamente, una ontología es la especificación de una conceptualización.

Con ello es posible establecer que una ontología o modelo del dominio, es la representación de la conceptualización explícita compartida de un dominio en particular de acuerdo con Duran [14]. Las ontologías se utilizan para representar conceptos de una manera formal, entendible para las personas y procesable por computadoras.

En [2] se explican los elementos que conforman a una ontología:

- **“Conceptos.** Son las ideas fundamentales que se pretenden formalizar. Los conceptos pueden ser clases de objeto, métodos, planes, estrategias, procesos de razonamiento, etc.
- **Clase.** Objeto que define una categoría. Describe conceptos en el dominio del discurso.
- **Jerarquía de clases.** compuesta por una colección de clases conectadas por relaciones “es un tipo de” (class hierarchy). Pueden ser del tipo Top-down (se crean las clases para definir los conceptos generales del dominio, y posteriormente se crean las especializaciones de esto) o bottom-up (se crean las clases más específicas, que serán las hojas de la jerarquía, y posteriormente las clases se agrupan en conceptos más generales).
- **Tipo.** Define el tipo de valor (como cadena de caracteres, numero, boolean, etc.).
- **Individuos.** Se utilizan para representar objetos de un concepto.
- **Relaciones.** Representan la interacción y enlace entre los conceptos del dominio. Suelen formar la taxonomía del dominio.
- **Propiedades de objeto.** Se utilizan para crear relaciones entre individuos o instancias.
- **Propiedades de dato.** Atributos que tiene un individuo.
- **Rango.** Son las clases que definen los posibles valores que puede tomar una propiedad.
- **Dominio.** Son conjunto de clases que tienen asociada la propiedad.
- **Axiomas.** Son teoremas que se declaran sobre relaciones que deben cumplir los elementos de la ontología.”

2.4.1. Modelo ontológico para un ambiente académico

Un ambiente académico es el espacio donde existe personal administrativo, investigadores, alumnos y profesores que interactúan entre sí en actividades académicas. En [2] se desarrolla un sistema de ontologías llamado *Ambiente Inteligente* en un lenguaje ontológico OWL para la detección de eventos utilizando reglas de inferencia y

aprendizaje inductivo. Este modelo cuenta con las siguientes ontologías: *Espacio Físico*, *Persona*, *Tiempo*, *Red de Sensores* y *Evento*, como se muestra en la Figura 2.2

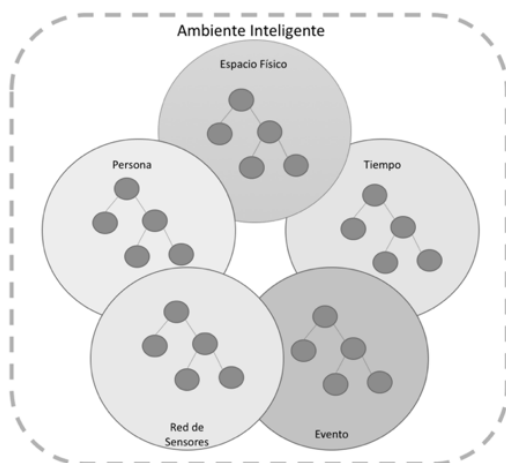


Figura 2.2: Sistema de ontologías *Ambiente Inteligente*. [2]

El modelo *Ambiente Inteligente* contiene la información necesaria para responder las preguntas ¿Quién?, ¿Dónde? y ¿Cuándo? de una interfaz de consulta, con las ontologías creadas *Persona*, *Evento*, *Tiempo* y *Espacio Físico*.

2.4.2. Lenguajes de consulta

Los lenguajes de consulta ayudan a obtener información dentro de una ontología, a continuación, se describen dos de los más utilizados dentro de la literatura de una interfaz de consulta.

2.4.2.1. *SPARQL*

SPARQL (Protocol and RDF Query Language) es un lenguaje de consulta y un protocolo para acceder a RDF diseñado por el Grupo de trabajo de acceso a datos RDF del W3C. Como lenguaje de consulta, *SPARQL* está “orientado a datos” porque solo consulta la información contenida en los modelos; no hay inferencia en el lenguaje de consulta en sí. *SPARQL* toma la descripción de lo que la aplicación quiere, en forma de consulta, y devuelve esa información, en forma de un conjunto de enlaces o un gráfico RDF [15].

Al igual que *SQL* se debe definir el lenguaje de consulta y el motor para el almacenamiento y recuperación de datos. Tiene implementaciones en diversos entornos de desarrollo, incorpora funciones para la recuperación de información RDF, y algunas

incluyen las tareas de creación, modificación y eliminación de datos.

Cesar Villatoro en [16] menciona que el lenguaje *SPARQL* posee tres componentes importantes:

- Las **URIs** sirven para especificar los identificadores de las URLs (Uniform Resource Locator). La descripción de este formato estándar está en la solicitud de comentarios (Request For Comments) RFC 2396.
- Las **literales** se describen como una cadena de caracteres encerradas entre comillas, lo que permiten definir valores.
- Las **variables** son globales, además deben de ser prefijadas por “?” o “\$” no formando parte del nombre de la variable

2.4.2.2. *SWRL*

El Lenguaje de Reglas de la Web Semántica (*SWRL* por sus siglas en inglés) de acuerdo con [17] es un formalismo para integrar reglas con ontologías en la Web Semántica y está basado en una combinación de dos lenguajes: el Lenguaje de Ontologías Web (OWL por sus siglas en inglés) y el Lenguaje de Marcas de Reglas (Rule Markup Language, RuleML).

SWRL extiende los axiomas OWL para incluir reglas que se leen “Si Antecedente entonces Consecuente”. En [17] se explica que la cabeza (consecuente) y el cuerpo (antecedente) de la regla son generalmente sentencias OWL. Lo anterior se refiere a que las reglas y las ontologías están combinadas en el mismo lenguaje lógico. Específicamente en el enfoque *SWRL*, las reglas son introducidas al adaptar la semántica existente por un lenguaje de reglas directamente en la capa de la ontología. Como resultado de lo anterior la interacción entre reglas y ontologías es lograda con una fuerte integración.

Las reglas *SWRL* tienen la estructura como se muestra en la ecuación 2.1

$$\text{Condición}_1 \wedge \text{Condición}_2 \wedge \dots \wedge \text{Condición}_N \rightarrow \text{Consecuente} \quad (2.1)$$

Donde Condición_1 , Condición_2 y Consecuente son átomos. Los átomos antecedentes son evaluados con una conjunción (y), el conjunto de átomos en el consecuente es evaluados como consecuencias separadas. Tanto el antecedente como el consecuente pueden ser átomos vacíos. En la ecuación 2.1 se puede observar que las condiciones son la cabeza de la regla y el consecuente el cuerpo, también puede interpretarse que si todos los átomos de condición son ciertos entonces todos los átomos del consecuente también.

Los átomos pueden ser descripciones OWL, un rango de datos, una variable, un individuo, una propiedad de objeto o de dato. Los átomos pueden contener la forma $A(x)$ o $B(x, y)$. Un ejemplo de la estructura de una regla *SWRL* se puede observar en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Ejemplo de regla Swrl.

$$\text{Persona}(?x) \wedge \text{Persona}(?y) \wedge \text{esHermano}(?x, ?y) \wedge \text{esPadre}(?x, ?z) \rightarrow \text{esTio}(?y, ?z)$$

Donde se puede entender que x, y, z son personas, x es hermano de y , además x es padre de z , por lo tanto y es tío de z . Utilizando la misma lógica se puede realizar un ejemplo en el dominio académico como en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Ejemplo de regla Swrl en el dominio académico.

$$\text{Persona}(?p1) \wedge \text{tieneNombre}(?p1, \text{"RodrigoPérez"}) \wedge \text{tieneMatricula}(?p1, ?m) \rightarrow \text{esAlumno}(?p1)$$

Donde la variable $p1$ es una persona, esa misma persona tiene nombre “Rodrigo Pérez” y además tiene una matrícula llamada m . Entonces esa persona es un alumno.

SQWRL es un lenguaje que utiliza un antecedente de la regla *SWRL* como especificación de patrón y reemplaza la regla consecuente por operadores de selección como “*sqwrl: select*”. En una interfaz de consulta las reglas *SQWRL* se utilizan para realizar las consultas a ontologías y son implementadas en la mayoría de los casos en el lenguaje Java.

2.5. Procesamiento de lenguaje natural (PLN)

El procesamiento de lenguaje natural combina diversas tecnologías de la ciencia computacional con la lingüística para poder lograr una mejor comprensión y procesamiento desde una computadora expresado en lenguaje humano.

Cualquier sistema de procesamiento de lenguaje natural puede ser dividido en tres partes: gramática, diccionario y el sistema de programación que es la unión de todas [18]. La división entre gramática y diccionario es mejor conocida como “léxico”.

Augusto Cortez [19] en su artículo “Procesamiento de lenguaje natural” menciona que una de las tareas fundamentales de la Inteligencia Artificial (IA) es la manipulación de lenguajes naturales usando herramientas de computación, en esta, los lenguajes de programación juegan un papel importante, porque forman el enlace necesario entre

los lenguajes naturales y su manipulación por una máquina. Él explica que el PLN consiste en la utilización de un lenguaje natural para comunicarnos con la computadora, debiendo ésta entender las oraciones que le son proporcionadas, además que el uso de estos lenguajes naturales facilita el desarrollo de programas que realicen tareas relacionadas con el lenguaje o bien, desarrollar modelos que ayuden a comprender los mecanismos humanos relacionados con el lenguaje. El uso del lenguaje natural (LN) en la comunicación hombre-máquina es una ventaja, en la medida en que el locutor no tiene que esforzarse para aprender el medio de comunicación a diferencia de otros medios de interacción como lo son los lenguajes de comando o las interfaces gráficas.

2.5.1. Normalización de textos

Dentro del pre-procesamiento en lenguaje natural de una interfaz de consulta se encuentra la etapa de normalización o limpieza de textos, esta fase se encarga de la eliminación de caracteres especiales, la transformación de mayúsculas a minúsculas y el control de abreviaturas o acrónimos. Dentro de los caracteres especiales se encuentran los acentos, las comas, los puntos, los signos de interrogación o exclamación, paréntesis, comillas, entre otros.

Se debe tener un control de palabras especiales donde se encuentran las abreviaturas o los acrónimos dentro de un texto en lenguaje natural; por ejemplo, en el idioma español de México en un ambiente de salud existen diversas maneras de referirse a un doctor debido a modismos dentro del lenguaje, se puede decir, “doc” o se puede escribir formalmente “Dr.”, sin embargo, sabemos que se refiere a la palabra “doctor”, otro ejemplo puede ser en un ambiente académico, se puede decir “profe”, “prof”, “profa”, “maestro”, o se puede escribir “Prof.”, pero sabemos que todas se refieren a la palabra “profesor”. Se recomienda hacer un control de las palabras con apoyo de un experto en el dominio.

Es importante el control de estas palabras o la eliminación de los caracteres especiales que coloquialmente se pueden manejar en un idioma para el procesamiento de lenguaje natural en una interfaz de consulta, pues pueden influir directamente en obtener una respuesta exitosa.

2.5.2. Analizador léxico

También conocidos como *tokenizadores* o *segmentadores de palabras*, se utilizan para encontrar y separar cada elemento que conforman una sentencia, se utiliza antes del procesamiento de un texto y segmentan un conjunto de caracteres que se llaman *tokens*. Para este proyecto se considera un contexto académico, la tokenización de un ejemplo se muestra en la Figura 2.3. donde el delimitador para tokenizar la sentencia es un espacio en blanco.

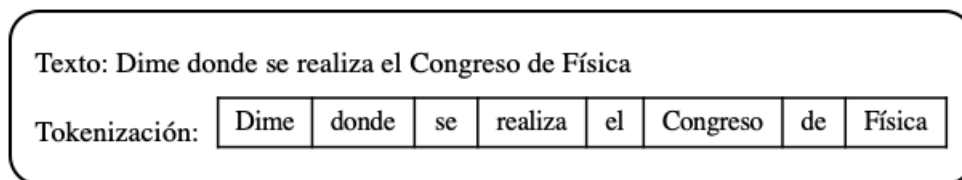


Figura 2.3: Ejemplo de analizador léxico

El analizador léxico dentro de una interfaz de consulta puede identificar entidades, descartar las palabras funcionales o palabras vacías.

2.5.3. Palabras funcionales

También conocidas como *palabras vacías* o *stop words*, son palabras que no cuentan con un significado relevante. Estas palabras son las que aportan menor información, como artículos, preposiciones, conjunciones, entre otras. Las *listas de paro* o *stoplists* son las que se crean a partir de las palabras funcionales.

Las palabras funcionales son automáticamente extraídas de un corpus genérico como aquellas con la más alta frecuencia y posteriormente son validadas por expertos humanos. De igual manera, se pueden agregar algunas palabras que desean eliminar en procesamiento de lenguaje natural. El objetivo de emplear *stoplists* en procesamiento de lenguaje natural es reducir la cantidad de datos a analizar. De igual manera disminuye el espacio de memoria o en disco empleado por las herramientas que analizan lenguaje natural [20].

La eliminación de palabras funcionales en una interfaz de consulta puede apoyar en seleccionar únicamente las palabras que tienen información relevante para responder las consultas de un usuario.

2.5.4. NER

La tarea de extraer y distinguir diferentes tipos de entidades en documentos de texto se conoce normalmente como Reconocimiento de Entidades Nombradas (Named Entity Recognition, NER) [21].

Un NER ubica y clasifica categorías predefinidas como personas, organizaciones, lugares, expresiones de tiempo, cantidades, entre otros. En [22] se describen las 3 etapas que consta un NER:

- **Primera etapa.** Se preparan los datos de entrenamiento, en donde inicialmente se tiene un corpus identificado como un “*Archivo plano*”, al cual se le aplica un

método de “*tokenización*” y posteriormente se realiza el “*etiquetado*” del corpus de acuerdo con los requerimientos de cada NER.

- **Segunda etapa.** Esta etapa corresponde a la etapa de entrenamiento del NER, en donde se utiliza parte del corpus generado en la primera etapa (Training) y como resultado se obtiene un modelo de NER entrenado.
- **Tercera etapa.** Se evalúa el modelo obtenido en la etapa dos y se observa su desempeño, verificando la precisión de las entidades semánticas identificadas.

Estas etapas se muestran gráficamente en la Figura 2.4.

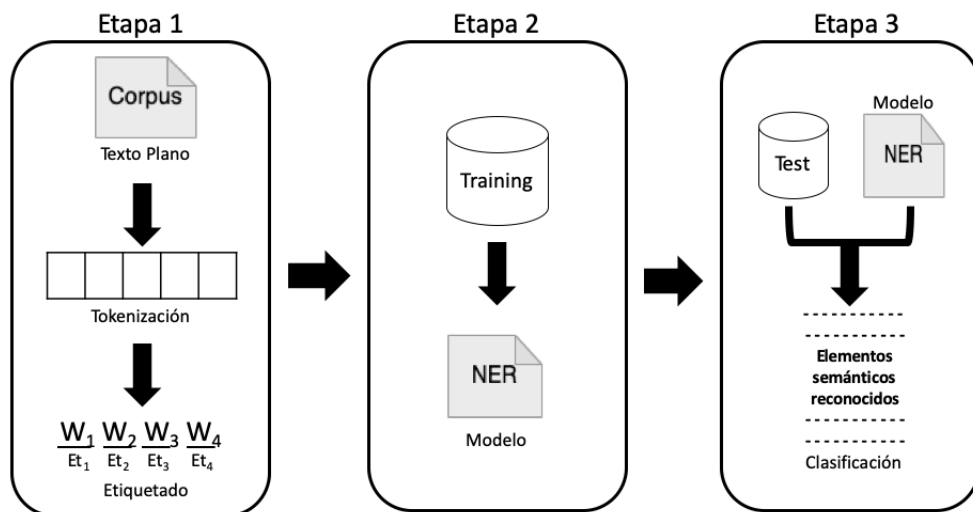


Figura 2.4: Etapas de un NER

En una interfaz de consulta un NER puede aportar la identificación de entidades dentro de un dominio, por ejemplo, en un dominio académico puede identificar lugares como un laboratorio de cómputo, auditorios, áreas comunes, salones de clases, entre otros.

2.5.5. Lexicones

Un lexicón es un recurso lingüístico que se conforma de un conjunto de palabras y lexemas de un mismo idioma, no es un diccionario pues no define el contenido semántico, sin embargo, si define las categorías y variables léxicas y en ocasiones la literatura lo nombra un tipo de diccionario. En una interfaz de consulta puede usarse como un recurso del PLN para identificación de entidades y una herramienta limitada a la investigación dentro de un dominio.

2.6. Extracción y recuperación de información

La extracción y recuperación de información comparten características, sin embargo, las diferencias entre ellas son muy importantes, la extracción devuelve datos de manera automática sin hacer un análisis de un documento fuente, en cambio la recuperación busca la información basándose en una consulta de los documentos fuente.

En [23] la recuperación de información se considera como las técnicas empleadas para almacenar y buscar grandes cantidades de datos y ponerlos a disposición de los usuarios, en [24] se define como una disciplina que involucra la localización de una determinada información dentro de un almacén de información.

Podemos definir a la recuperación de información como un procedimiento de identificación de información relevante para realizar la búsqueda a partir de un conjunto de datos. Nuestro conjunto de datos en este caso se desarrolla en un sistema de ontologías.

La extracción de información se ocupa de estructurar la información contenida en textos que son relevantes para el estudio de un dominio (o escenario) en particular, llamado dominio de extracción. En otras palabras, el objetivo de un sistema de extracción de información es encontrar y enlazar la información relevante mientras ignora la extraña e irrelevante. Cabe destacar que algunos autores consideran a la extracción de información como una etapa posterior de la recuperación de información [25].

Sin embargo, Alberto Téllez [26] explica que la principal diferencia entre la extracción y la recuperación de información radica en que la primera proporciona la información que exclusivamente interesa, mientras que la segunda proporciona los textos en los que aparece dicha información.

Téllez define una arquitectura general para construir sistemas de extracción de información como “una cascada de módulos que en cada paso agregan estructura al documento, y algunas veces, filtran información relevante por medio de aplicar reglas”.

La combinación de módulos que componen la arquitectura que menciona Téllez permiten en un mayor o menor grado alguna de las siguientes cuatro funciones:

1. El pre-procesamiento de los documentos, que es un proceso que puede ser logrado por aplicar una variedad de módulos, por ejemplo:
 - La división en zonas textuales, que consiste en segmentar un texto en zonas.
 - La segmentación del texto, que transforma las zonas en segmentos apropiados.
 - El filtrado de texto, encargado de seleccionar los segmentos relevantes y de eliminar la información irrelevante.

- La tokenización, que se ocupa de obtener las unidades léxicas (tokens).
 - El analizador léxico, se ocupa principalmente del análisis morfológico de los tokens, así como del reconocimiento y clasificación de entidades.
 - La desambiguación de información, tiene como objetivo tratar con palabras que desempeñan diferentes categorías sintácticas y palabras polisémicas que en función del contexto pueden tener un sentido u otro.
 - La obtención del lema y truncado, se refiere a conocer las reglas de formación de las palabras permiten proporcionar el lema o raíz de una palabra.
2. El análisis sintáctico e interpretación semántica, tratan de identificar la forma en que las palabras se combinan para formar constituyentes a nivel sintáctico superior y posteriormente, generar bien una forma lógica o una plantilla parcial desde las sentencias analizadas de forma sintáctica.
 3. El análisis del discurso, se ocupa de resolver aspectos semánticos como son: la elipsis (omitir en la oración una o más palabras) y la anáfora (asumir el significado de una parte del discurso ya emitida). Para esto, los sistemas de extracción de información generalmente proceden de dos formas:
 - Representar la información extraída como plantillas llenadas parcialmente y posteriormente usar algún procedimiento de fusión.
 - Representar la información extraída como formas lógicas para usar procedimientos tradicionales de interpretación semántica.
 4. La generación de plantillas de salida, donde el propósito es enlazar las piezas de información extraídas con el formato de salida deseado. Sin embargo, en esta fase puede requerirse algún tipo de inferencia, la cual es provocada por restricciones dependientes del dominio para la estructura de salida.

La mayor parte de las funciones que describe Téllez, pueden ser utilizadas en una interfaz de consulta. Al pre procesar una pregunta y realizar un procesamiento de lenguaje natural bien estructurado, incluyendo el análisis sintáctico y semántico, y al procesar la respuesta utilizando plantillas específicas de un dominio para obtener un formato de salida, es decir, la respuesta.

Capítulo 3

Estado del arte

A continuación, se presenta la revisión del estado del arte de los temas desarrollados para este proyecto. Se describen los trabajos analizados e implementados con la ejecución de procesamiento de lenguaje natural a través de una interfaz de consulta con apoyo de asistencia de voz.

3.1. Descripción de trabajos relacionados

Sosunova, I., Zaslavsky, A., Anagnostopoulos, T., Medvedev, A., Khoruzhnikov, S. and Grudin, V. [27] **Ontology-based voice annotation of data streams in vehicles.** Realizan un sistema que tiene como finalidad el advertir a los conductores acerca de situaciones críticas que pueden encontrar en su camino, está implementado con cámaras delanteras y traseras en su vehículo y el conductor del vehículo interactúa con el sistema utilizando únicamente su voz. Se proponen como situaciones críticas un accidente, un semáforo descompuesto, una congestión de tráfico, una inestabilidad dentro del camino, entre otras. El conductor observa una situación crítica y enseguida activa el sistema con voz y describe la situación. A continuación, el sistema realiza el registro y reconoce la voz del conductor, busca las palabras clave en el registro y transfiere la información al centro de control. Los conductores son capaces de realizar anotaciones de las situaciones en las vialidades o de recibir alertas, permitiendo una interacción entre todos los conductores que utilicen el sistema. Este trabajo utiliza ontologías que permiten la estructura de anotaciones por tipo de accidente con ayuda de las palabras clave y manejando indicadores (verde, amarillo y rojo) para saber la prioridad con la que debe ser atendida. Utiliza un reconocimiento de voz Pocket-Sphinx, el procesamiento de las palabras clave por ahora son solo en el idioma inglés, ontologías en OWL, el desarrollo de la plataforma es desarrollada en java y el servidor de base de datos es MySQL.

Kopsa, J., Míkovec, Z. and Slavík, P. [28] **Ontology driven voice-based interaction in mobile environment.** En este trabajo desarrollan un sistema que apoya

3. ESTADO DEL ARTE

a empleados que laboran dentro de bodegas realizando pruebas de ciertos materiales químicos usando las manos y la vista, está implementado en dispositivos para que con ayuda del reconocimiento de voz puedan hacer registros de las pruebas realizadas sin apartar su atención de la muestra que están tomando. El sistema utiliza VoiceXML para el reconocimiento de voz y su análisis, utiliza ontologías en OWL y está implementado en un dispositivo que está conectado al sistema con clientes Voiceover-IP. El empleado realiza una tarea y la registra mediante voz, posteriormente el dispositivo registra en la ontología lo elaborado, el sistema contesta si fue realizado satisfactoriamente y utiliza la ubicación del empleado para que el sistema reconozca qué tipo de artículos puede utilizar el trabajador en base al conocimiento de las ontologías.

Paraiso, E. C. and Barthès, J. P. A. [29] **An intelligent speech interface for personal assistants in R&D projects.** Realizan un sistema que utiliza un asistente personal capaz de realizar una o más tareas a la vez para apoyar a un usuario. Entre las tareas que puede manejar se encuentran el buscar un documento o editarlo, manipular correos electrónicos, llevar una agenda de actividades, entre otras. El sistema está elaborado en una arquitectura de sistema multiagente en una plataforma OMAS y su reconocimiento de voz es el que se asigna por omisión de un PA (Asistente Personal) y MAS (Sistema Multi Agente) ejecutados en un ambiente de Windows, además de Voice Tools que permite grabar y escuchar sin software adicional y las ontologías son manejadas en archivos XML. El usuario puede solicitar varias tareas a la vez y el sistema multiagente es capaz de ejecutarlas con ayuda de varios agentes que se encargan de una tarea en específico.

Rawassizadeh, R., Dobbins, C., Nourizadeh, M., Ghamchili, Z. and Pazzani, M. [30] **A natural language query interface for searching personal information on smartwatches.** Elaboran un sistema de asistente personal que permite a un usuario llevar el control de las actividades en su vida diaria, las cuales pueden ser consultas de su salud, de sueño, estado de ánimo, actividad física, administración financiera y agenda personal. El procesamiento de lenguaje natural lo realiza mediante arboles de parseo, sus evaluaciones fueron llevados a cabo en un Moto 360 smartwatch y un Sony Xperia Z5, utiliza un módulo Low Power Bluetooth para la transferencia de datos, maneja bases de datos con SQL y el reconocimiento de voz es abordado con la Google Speech API. El sistema recibe una sentencia del usuario a través de la voz, indica si fue entendido satisfactoriamente y en seguida realiza la consulta a la base de datos, finalmente regresa la respuesta de la misma manera que la solicitud.

Yan, H. and Selker, T. [31] **Context-aware office assistant.** Se implementa un asistente personal de puerta en el que se permite ayudar a un usuario el manipular el ingreso a su oficina, las funciones principales del asistente personal es el manejar las citas del dueño de la oficina y permitir el acceso a las personas actuando como un intermediario entre el visitante y el dueño de la oficina. El sistema se realizó con Microsoft Agent para que los visitantes tengan una interacción amigable con la interfaz, la

aplicación fue elaborada con Visual Basic para manipular la agenda y contactos desde Microsoft Outlook, Via Voice de IBM para el reconocimiento de voz y posteriormente text to speech de Microsoft, también sensores para la entrada de la oficina y las consultas fueron realizadas en una base de datos. En la entrada de la oficina se encuentran los sensores que identifican a un visitante aproximarse, en ese momento es cuando el asistente personal inicia y comienza a interactuar con el visitante mientras que el dueño de la oficina es notificado en su computadora de quien se encuentra afuera, el sistema es capaz de agendar una cita, cambiar una cita o hacer pasar al visitante.

Tsiao, J. C. S., Chao, D. Y. and Tong, P. P. [32] **Natural-Language Voice-Activated Personal Assistant.** Es una patente donde elaboran un asistente personal portátil capaz de manipular los contactos, actividades y agenda de citas de un usuario únicamente usando el reconocimiento de voz. El sistema implementa un identificador de voz del usuario para restringir el acceso a los datos personales del mismo. Las consultas son realizadas en una base de datos y el reconocimiento de voz utiliza Via Voice de IBM.

Portet, F., Vacher, M., Golanski, C., Roux, C. and Meillon, B. [33] **Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects.** Se realiza un sistema que convierte un espacio común en un espacio inteligente para el servicio de personas de la tercera edad, con el fin de ayudarlos a controlar los aparatos electrónicos y diferentes servicios usando únicamente la voz sin necesidad de conocimientos previos de cómo funciona cada aparato, en este mismo sistema se incluye la seguridad de las personas. Algunas de las actividades que puede realizar son encender una cafetera, cerrar unas persianas, poner la alarma a la casa, encender la luz, pedir auxilio, etc.

Karthik, N., Ashwini, M. and Anitha, K. [34] **Voice Enabled Ontology Based Search Engine on Semantic Web For Blind.** Proponen realizar un motor de búsqueda manipulado con voz para personas ciegas. Su plataforma recibe la búsqueda por voz de la persona y se convierte a texto, después se realiza la consulta a las ontologías junto con la extracción de las palabras clave y así poder ejecutar la búsqueda en internet, por último, el sistema arroja las URL de dicha búsqueda y después son convertidas a voz para que se pueda responder a la persona que lo solicito. La interfaz de usuario se planea desarrollar en eclipse IDE, el manejo de ontologías será con el software protégé, el buscador en internet se ejecuta con Google Web APIs. Esta plataforma busca ayudar en la interacción humano-computadora en personas con esta discapacidad. Dicha propuesta no obtuvo resultados en el momento de la publicación debido a que aún no se realizaba.

Huang, C. C., Liu, A. and Zhou, P. C. [6] **Using Ontology Reasoning in Building a Simple and Effective Dialog System for a Smart Home System.** Desarrollan de un sistema para la manipulación de ciertos aparatos y aplicaciones dentro de un hogar lo que hoy se conoce como Smart Home, usando la voz y manipulación de

ontologías ellos buscan como resultado el ejecutar ciertas tareas dentro de dicho ambiente. El usuario mediante voz realiza un requerimiento, el sistema de dialogo envía la operación pertinente al sistema del Smart Home después de realizar una búsqueda en el sistema de ontologías, posteriormente se devuelve la información al sistema de dialogo y este mismo regresa un reporte al usuario. Entre las tareas que ofrece este sistema están el control de la televisión, del aire acondicionado, información del status de un dispositivo, entre otras. Para el desarrollo del sistema se utilizó Google Talk API para el reconocimiento de voz, las herramientas que ofrecen el Clasificador de Stanford y el parseo chino de la Academia Sinica para su implementación, y las peticiones del usuario por voz fueron a través de un Smartphone con un sistema Android.

Bukhari, A. C. and Kim, Y. G. [35] **Ontology-assisted automatic precise information extractor for visually impaired inhabitants.** Desarrollan un sistema de motor de búsqueda que ayuda a las personas con discapacidad visual el acercarse a un sistema informático de la misma manera que lo realizamos los demás, utilizando únicamente su voz. La persona con discapacidad visual le habla al dispositivo con frases cortas acerca de lo que quiere investigar en internet, el sistema convierte en texto su frase y posteriormente hace la consulta a las ontologías que ayudan a la búsqueda en internet, el sistema despliega los resultados de las URL. El sistema es ejecutado en un Smartphone con Pocket CMU SPHINX-2 para el reconocimiento de voz y la conversión de voz a texto, la información es enviada a un servidor SMS In-Bound Panel, el mensaje de texto está diseñado principalmente con AJAX, el prototipo de herramienta para la extracción de información está desarrollado en JAVA (JSP), para la manipulación de ontologías escritas en OWL 2 es el software Protégé y utilizan GATE API para el desarrollo del motor de búsqueda. El ambiente de experimentación a donde se envió la información convertida en texto fue con un CPU con Intel Core 2 Quad con 2 GB RAM y Windows XP, el servidor web fue en Tomcat y CDMA.

Bianchi, D. and Poggi, A. [7] **Ontology based automatic speech recognition and generation for human-agent interaction.** Se describe el desarrollo de un sistema que soporta el reconocimiento automático de voz y una relación entre usuarios y una aplicación basada en agentes sobre la base de ontologías. El sistema dio resultados en pruebas con una aplicación de banco donde solo se permitía crear una cuenta, nuevo cliente o consultar una cuenta existente. El sistema de nombre SpeechManager es basado en JADE, utiliza Java Speech API y Via Voice de IBM para el reconocimiento de voz y las ontologías se encontraban en archivos XML.

Damljanovic, D., Agatonovic, M. and Cunningham, H. [36] **Natural Language Interfaces to Ontologies: Combining Syntactic Analysis and Ontology-based Lookup through the User Interaction.** Describen a FREYA, una interfaz de lenguaje natural que utiliza búsquedas en *SPARQL* en ontologías, ejecuta preguntas en lenguaje natural y genera una respuesta en forma de un grafo. La interfaz utiliza el conocimiento la ontología para la identificación de términos que definen como “OC”.

Ofrece la opción de elegir al usuario entre varias opciones en caso de ambigüedad en la pregunta, para después el sistema sea entrenado. Genera tripletas con los “OC” para realizar la búsqueda en la ontología, primero encuentra el tipo de respuesta donde se realiza un análisis sintáctico y localización de un focus que definen a la pregunta y lo que se busca.

Bernstein, A., Kaufmann, E., Kaiser, C. and Kiefer, C. [37] **Ginseng: A guided input natural language search engine for querying ontologies.** Presentan una interfaz de lenguaje natural llamada Ginseng en un idioma similar al inglés, es decir, que utiliza reglas gramaticales estáticas que proporcionan las estructuras y frases básicas del idioma. Tiene acceso a cualquier conocimiento *OWL*. Ginseng apoya al usuario a realizar consultas y no utiliza un vocabulario específico, sino el definido por las ontologías, el usuario debe seguirlo por lo que tiene grandes ventajas, no necesita interpretar las consultas, pero tiene un límite en las consultas que se pueden realizar por el usuario. Utiliza una gramática multinivel, un parser incremental y una capa de consulta a la ontología a través de *SPARQL*. Las consultas del usuario deben tener una gramática en específico basada en el conocimiento de la ontología actual.

Tablan, V., Damljanovic, D. and Bontcheva, K. [38] **A Natural Language Query Interface to Structured Information.** QuestIO System es una interfaz de lenguaje natural sin un vocabulario predefinido, es decir, que se basa en el conocimiento de la ontología, utilizando un diccionario capaz de identificar clases, propiedades, instancias y valores. QuestIO realiza como primera parte un análisis lingüístico por medio de un tokenizador y etiquetado, después ejecuta el diccionario ontológico que crea anotaciones acerca de la identificación de las partes importantes de la ontología, posteriormente se inicia una transformación de la consulta para generar una consulta formal en el lenguaje de consulta *SeRQL* y por último muestra los resultados.

Lopez, V., Pasin, M. and Motta, E. [39] **Aqualog: An ontology-portable question answering system for the semantic web.** Es un Sistema de pregunta-respuesta, como entrada es una consulta en lenguaje natural y una ontología, y como respuesta es extraída del marcado semántico de la ontología compatible. Proponen una arquitectura en cascada, donde la consulta es traducida a un conjunto de tripletas compatibles con la ontología. El modelo de tripletas que utilizan es de la forma “sujeto, predicado, verbo”. Utiliza un componente lingüístico que convierte la consulta de lenguaje natural a una consulta en tripletas. Requiere de los recursos de GATE que es una herramienta de Java utilizada para un gran número de tareas de procesamiento de lenguaje natural, GATE apoya en información sobre oraciones, tokens, sustantivos y verbos. Con la información recibida por dicha herramienta el sistema identifica términos, relaciones, indicadores de preguntas como lo son “que/quien/cuando” patrones o tipos de preguntas.

Solís, A., Florencia, R., Acosta and J., López, F. [40] **Interfaz de lenguaje natural para deducción de información almacenada en ontologías.** Es una interfaz

que recibe consultas a través de voz y utiliza JSP para técnicas de procesamiento de lenguaje natural, utiliza *SPARQL* como lenguaje de consulta en ontologías. Esta desarrollada para el idioma inglés. Su arquitectura está dividida en dos módulos principales. El primero es un módulo generador de conocimiento (MGC) que se encarga de generar el conocimiento y el segundo es un módulo de la interfaz (MI) que requiere ese conocimiento para responder las consultas del usuario. Como proceso general, el usuario realiza una consulta a través de voz la cual es convertida a texto que es enviada a un controlador de procesamiento, el procesador obtiene tokens, etiquetas gramaticales y lemas del texto utilizando Freeling que es una suite de herramientas para el procesamiento de lenguaje natural en inglés y español. La información obtenida es enviada a un módulo de conocimiento capaz de generar consultas en *SPARQL* y ejecutarlas en la ontología, por último, la respuesta es mostrada al usuario.

3.2. Comparación de trabajos relacionados

En la tabla 3.1 se muestra una comparación entre los artículos descritos y este proyecto. La tabla describe los criterios presentados en cada trabajo: a) el ambiente donde fue desarrollado para observar las diferencias según el dominio; b) el tipo de entrada de datos ya sea formato de voz o texto para analizar su funcionamiento; c) el manejo de ontologías como manera de representación de información para saber el beneficio de su uso en una interfaz de consulta; d) el idioma utilizado para el procesamiento de lenguaje natural; e) el tipo de lenguaje de consulta utilizado y el tipo de análisis de consulta para observar si existen beneficios en la manipulación de sentencias completas o palabras clave.

Tabla 3.1: Comparación de trabajos relacionados.

Autores	Tipo de ambiente inteligente	Fuente de datos	Manejo de ontologías	Idioma	Lenguaje de consulta	Análisis de lenguaje natural	Evaluación
Sosnova, I., Zaslavsky, A., Anagnostopoulos, T., Medvedev, A., Khoruzhnikov, S. and Grudin, V. [27]	Vehicular	Voz - Celular	Si	Inglés	MySQL	Palabras clave	Sin información
Kopsa, J., Mkovec, Z. and Slavik, P. [28]	Industrial	Voz - VoIP Client	Si	Inglés	Sin información	Sentencia y contexto	90 % precisión
Paraiso, E. C. and Barthès, J. P. A. [29]	Empresa y académico	Voz - PC	Si	Inglés	Lexicon de WordNet	Sentencia	4 usuarios (3 veces)
Rawassizadeh, R., Dobbins, C., Nourizadeh, M., Ghamehli, Z. and Pazzani, M. [30]	Empresa	Voz - Smartwatch	No	Inglés	No aplica	Palabras clave	716 consultas y 131 participantes
Yau, H. and Selker, T. [31]	Académico	Voz - PC	No	Inglés	No aplica	Sentencia	2 escenarios
Tsiao, J. C. S., Chao, D. Y. and Tong, P. P. [32]	Empresa	Voz - Celular y PDA	No	Inglés	No aplica	Sentencia	Sin información
Portet, F., Vacher, M., Golański, C., Roux, C. and Meillon, B. [33]	Hogar	Voz - Micrófonos ambientales	No	Francés e Inglés	No aplica	Sentencias y contexto	18 participantes (45 min)
Karthik, ¹ N., Ashwini, M. and Anitha, K. [34]	General	Voz - PC	Si	Inglés	OntoSearch-API Google	Sentencia	Sin información
Huang, C. C., Liu, A. and Zhou, P. C. [6]	Hogar	Voz - Celular	Si	Chino e Inglés	Sin información	Palabras clave	3 escenarios
Bukhari, A. C. and Kim, Y. G. [35]	General	Voz - Celular	Si	Inglés	Sin información	Sentencias	3 tipos de consulta
Bianchi, D. and Poggi, A. [7]	General	Voz - PC	Si	Italiano e Inglés	Sin información	Sentencias y contexto	3 escenarios
Damijanovic, D., Agatonovic, M. and Cunningham, H. [36]	General	Texto - PC	Si	Inglés	SPARQL	Sentencia	250 preguntas
Bernstein, A., Kaufmann, E., Kaiser, C. and Kiefer, C. [37]	General	Texto - PC	Si	Inglés	SPARQL	Selección de palabras	92.8 % precisión
Tablan, V., Damijanovic, D. and Bontcheva, K. [38]	General	Texto - PC	Si	Inglés	SetQL	Sentencias y palabras clave	36 preguntas publicadas
Lopez, V., Pasin, M. and Motta, E. [39]	General	Texto - PC	Si	Inglés	SPARQL	Sentencias y palabras clave	76 preguntas
Solis, A., Florencia, R., Acosta, J. and López, F. [40]	General	Voz - Celular	Si	Inglés	SPARQL	Sentencias y palabras clave	Sin información
Este proyecto	Académico	Voz - PC y Dispositivos móviles	Si	Español	SQWTL	Palabras clave	258 preguntas

Metodología de solución

En este capítulo se presenta el trabajo detallado para alcanzar los objetivos del proyecto.

4.1. Metodología implementada

Para lograr el objetivo principal se implementa la arquitectura de solución que se muestra en la Figura 4.1

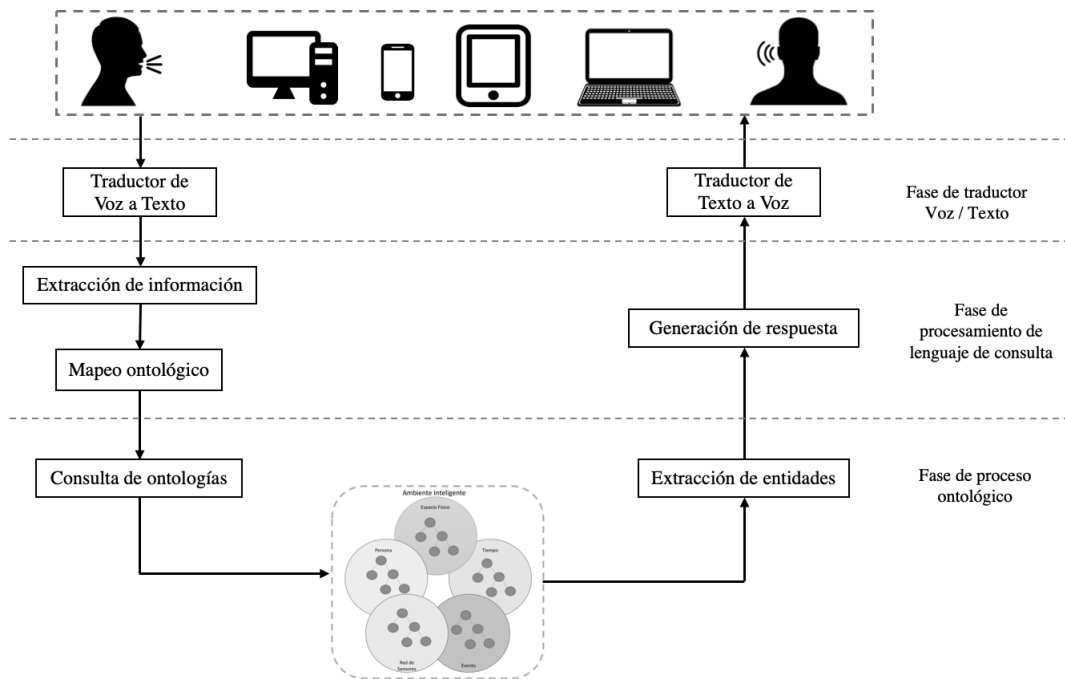


Figura 4.1: Arquitectura de solución.

Como se muestra en la Figura 4.1 la metodología de solución propuesta se conforma de tres fases que se explican a continuación.

Fase de traductor voz/texto. En esta fase se realiza la traducción de la sentencia (pregunta) que el usuario emitió al dispositivo ejecutada por medio de voz, la cual es convertida en texto y enviada a la fase de procesamiento de lenguaje de consulta. Por otro lado, esta fase, también se encarga de convertir el texto obtenido (respuesta) de la fase de procesamiento de lenguaje de consulta a voz con la finalidad de dar solución a la pregunta del usuario. Esta fase de traductor voz/texto es la encargada de una interacción de manera natural con el usuario.

Fase de procesamiento de lenguaje de consulta. Esta fase está dividida en tres módulos. Como primer módulo se realiza una extracción de información desde el texto recibido de la fase de traductor voz/texto, que identifica el tipo de cada palabra dentro del texto, las cuales pueden ser de tipo persona, espacio físico o evento a través de recursos léxicos. Dentro de esta fase se determina el tipo de pregunta y las palabras significativas de la pregunta, es decir, aquellas que ayudan a determinar la respuesta que requiere el usuario. Como segundo módulo de esta fase se encuentra el mapeo ontológico, que tiene la finalidad de proporcionar el modelo ontológico que contiene la respuesta, el sujeto por el que se pregunta y datos importantes dentro del texto. El tercer módulo recibe la respuesta de la fase de proceso ontológico, la incrusta en una plantilla predefinida y la envía a la fase de traductor de voz/texto.

Fase de proceso ontológico. Esta fase está dividida en dos módulos. El primer módulo es llamado “Consulta a ontologías” donde a través del resultado de la fase de procesamiento de lenguaje de consulta se realiza una consulta en *SQWRL* al modelo ontológico llamado *Ambiente Inteligente* [2] a partir de patrones estructurales, la respuesta del sistema de ontologías se realiza en el segundo módulo a través de una extracción de entidades que contienen la respuesta a la pregunta original y es enviada a la fase de procesamiento de lenguaje de consulta para la generación de texto natural.

A continuación, se describen de manera detallada las etapas de la solución de este proyecto.

4.2. Análisis y enriquecimiento de modelo semántico

El sistema ontológico *Ambiente Inteligente* [2] se utiliza para la consulta de información. El modelo semántico se observa en la Figura 2.2 de la sección 2.4.1. de este trabajo, recordemos que está conformado por 5 ontologías *Espacio Físico*, *Tiempo*, *Evento*, *Persona* y *Red de Sensores*. El sistema de ontologías es enriquecido en sus clases, propiedades de dato y objeto, así como también es poblado con individuos para fines de este proyecto. Existen propiedades con las que contaba cada ontología en un

principio y no todas se consideran, pues la información que proporcionan no es relevante para el tipo de preguntas que se responden en este proyecto, sin embargo, siguen persistentes en el sistema y no son removidas.

El enriquecimiento realizado en cada ontología y al sistema en general se explica a continuación.

4.2.1. Ontología *Espacio Físico*

Hace referencia al modelo que detalla los espacios donde ocurren actividades académicas, instalaciones que cuentan con los recursos necesarios para realizar un funcionamiento correcto dentro de un dominio académico. Para este proyecto se enriquece la ontología *Espacio Físico* para que sea capaz de contestar ciertas preguntas, por ejemplo, ¿Dónde se encuentra el edificio W? o ¿Cuál es el cubículo del profesor Alejandro Reyes Ortiz?

En la Tabla 4.1 se muestra el cambio en las clases de la ontología *Espacio Físico* y en la Tabla 4.2 se observa la propiedad de objeto que se adiciono a dicha ontología.

Tabla 4.1: Enriquecimiento de clases en ontología *Espacio Físico*

Nombre de clase	Descripción
CommonArea	Incluye los lugares de área común donde la comunidad universitaria se reúne, se realizan actividades especiales como actividades deportivas, de difusión, alimentos, etc.

Tabla 4.2: Enriquecimiento de propiedad de objeto de ontología *Espacio Físico*.

Nombre de propiedad de objeto	Clase dominio	Clase rango
containsPhysicalSpace	PhysicalSpace	IndoorSpace

Las clases y propiedades que se utilizan en este proyecto de la ontología *Espacio Físico* se muestran en la Tabla 4.3

4. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

Tabla 4.3: Clases y propiedades utilizadas de ontología *Espacio Físico*.

Clases	Propiedad de objeto	Propiedad de datos
IndoorSpace	*isBesideOf	*hasLevel
-ClassRoom	*isLocatedInto	*hasNamePhysicalSpace
-Cubicle	*containsPhysicalSpace	
-CommonArea		
-Building		
-ComputerLab		
-AdministrativeOffice		
-BathRoom		
-Auditorium		
OutdoorSpace		
-Corridor		
-GreenArea		
-Parking		
-PublicArea		

También, se realiza un poblado de 96 individuos, un ejemplo se observa gráficamente en la Figura 4.2.

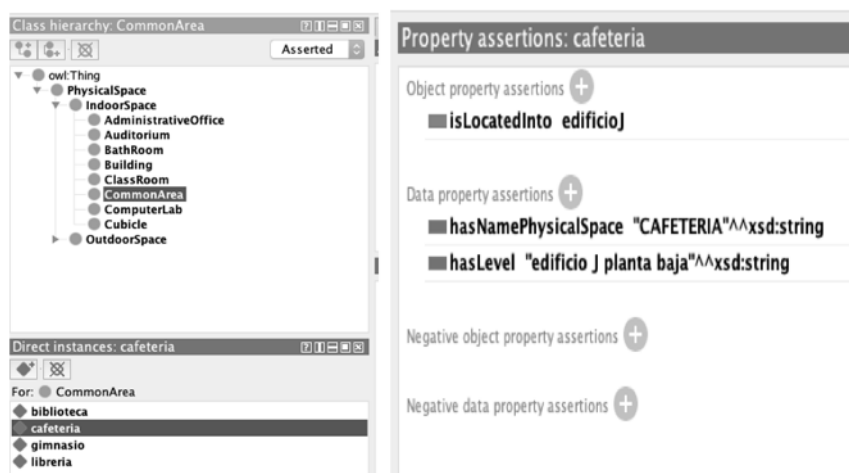


Figura 4.2: Ejemplo de poblado de ontología *Espacio Físico*.

La ontología *Espacio Físico* utiliza los elementos que se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Elementos de ontología *Espacio Físico*.

Clases	15
Propiedades de objeto	3
Propiedades de dato	13
Individuos	96

4.2.2. Ontología *Tiempo*

La ontología *Tiempo* es de propósito general y describe cuando suceden los eventos realizados en un dominio académico. Las clases y propiedades que son utilizadas para este proyecto se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Clases y propiedades utilizadas de ontología *Tiempo*.

Clases	Propiedad de datos
TemporalEntity	*hasDay
-Instant	*hasHour
	*hasMinute
	*hasMonth

En esta ontología, no se realiza ninguna modificación en sus clases y propiedades. Su enriquecimiento se puede visualizar en la ontología de *Evento* debido a su función dentro del sistema de ontologías, se añadieron 20 individuos y en la Figura 4.3 se observa un ejemplo de este poblado.

4. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

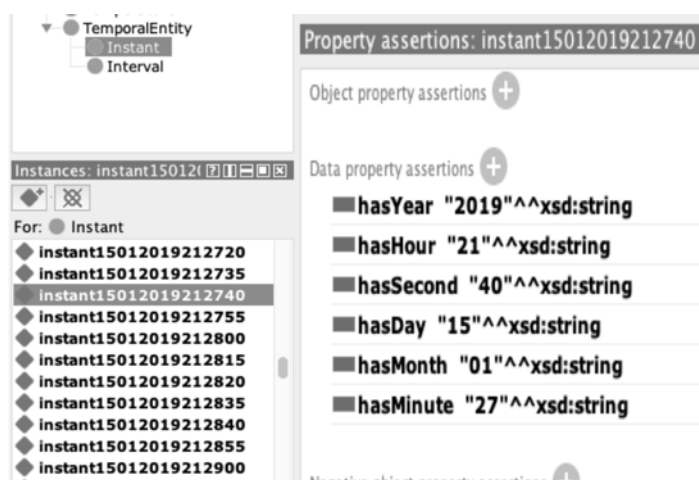


Figura 4.3: Ejemplo de poblado de ontología *Tiempo*.

La ontología *Tiempo* utilizada en este proyecto cuenta con los valores de la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Elementos de ontología *Tiempo*.

Clases	3
Propiedades de objeto	2
Propiedades de dato	6
Individuos	20

4.2.3. Ontología *Persona*

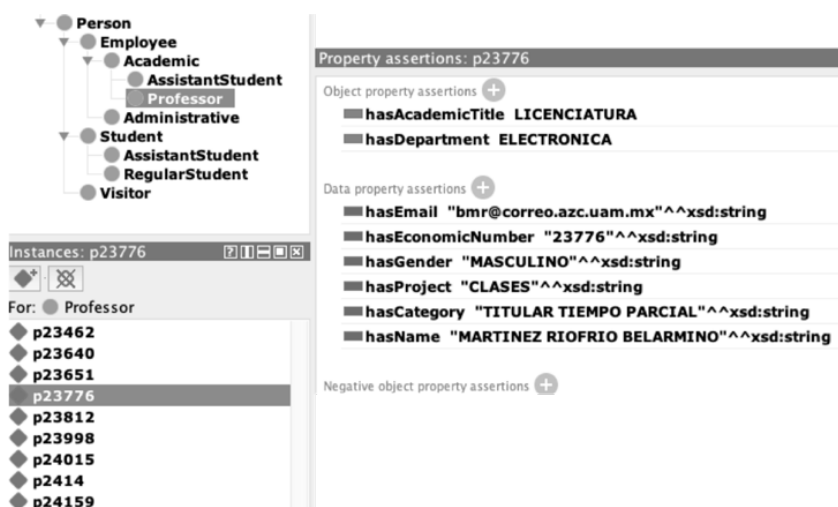
Se representa a los actores que participan en las actividades dentro de un ambiente académico como administrativos, investigadores, alumnos y profesores.

Las clases y propiedades de la ontología *Persona* no se modifican, las utilizadas para este proyecto se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Clases y propiedades utilizadas de ontología *Persona*.

Clases	Propiedad de objeto	Propiedad de datos
Employee	*hasAcademicTitle	*hasCategory
-Academic		*hasEconomicNumber
>AssistantStudent		*hasEmail
>Professor		*hasName
-Administrative		*hasStudentID
Student		
-AssistantStudent		
-RegularStudent		

La ontología *Persona* es enriquecida con 559 individuos para que se puedan hacer preguntas del tipo ¿Quién es Torres Rodríguez Miguel? o Dime la matrícula de Josué Padilla Cuevas, un ejemplo del poblado de esta ontología se observa en la Figura 4.4.

Figura 4.4: Ejemplo de poblado de ontología *Persona*.

Los elementos de la ontología *Persona* utilizados en este proyecto se observan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Elementos de ontología *Persona*.

Clases	11
Propiedades de objeto	3
Propiedades de dato	10
Individuos	559

4.2.4. Ontología *Evento*

El modelo *Evento* representa las actividades que son realizadas en un ambiente académico, como coloquios, clases, seminarios, conferencias, entre otros. La ontología *Evento* es una pieza muy importante en la unión de todas las ontologías del sistema. Las propiedades de esta ontología no se modifican. Las propiedades y clases utilizadas se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Clases y propiedades utilizadas de ontología *Evento*.

Clases	Propiedad de objeto	Propiedad de datos
AcademicAdvising	*eventIsPartOf	*hasEventName
AcademicCourse		*hasDescription
-DiplomaCourse		
-PostgraduateCourse		
-ProfessorsCourse		
-UndergraduateCourse		
DifussionEvent		
-Colloquium		
-Congress		
-Demo		
-DiscussionPanel		
-Presentation		
-Seminar		
-Workshop		

La ontología *Evento* es enriquecida con 200 individuos para que se puedan hacer preguntas del tipo Dime de que trata el Congreso de Física Cuántica o ¿Cuándo es el Seminario de Inteligencia Artificial?, un ejemplo del poblado de esta ontología se observa en la Figura 4.5.

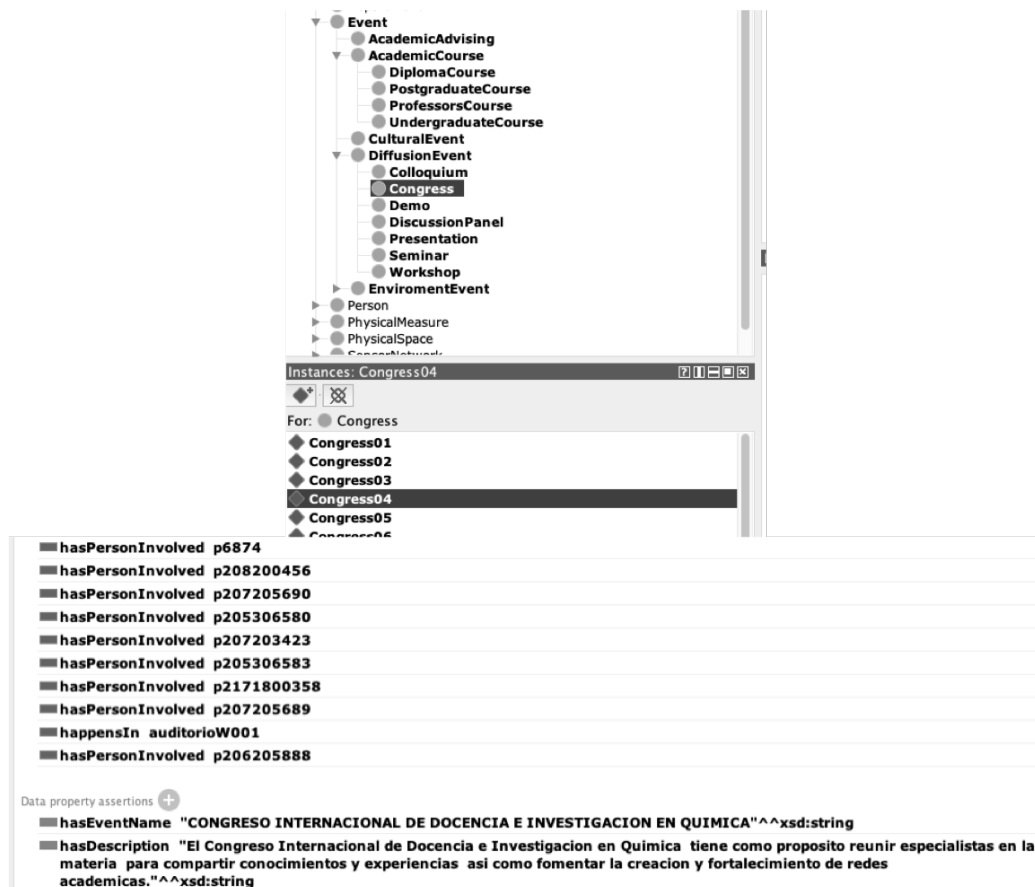


Figura 4.5: Ejemplo de poblado de ontología *Evento*.

La ontología *Evento* utilizada en este proyecto cuenta con los valores de la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Elementos de ontología *Evento*.

Clases	28
Propiedades de objeto	1
Propiedades de dato	2
Individuos	200

4.2.5. Ontología *Red de Sensores*

En la ontología *Red de Sensores* se listan y describen los dispositivos encargados de detectar los datos ambientales y de presencia ocurridos en un ambiente académico, estos son: sensores de humedad y luminosidad, dispositivos RFID, entre otros. El modelo semántico es utilizado para este proyecto pues la información que contiene no ayuda a responder ninguna de las preguntas que se realizan, pero forma parte y es de suma importancia dentro del sistema de ontologías *Ambiente Inteligente* y a pesar de no ser consultada no es removida.

4.2.6. Sistema *Ambiente Inteligente*

El enriquecimiento del sistema de ontologías *Ambiente Inteligente* consta de dos propiedades de objeto que se describen en la Tabla 4.11

Tabla 4.11: Enriquecimiento de propiedades de objeto en *Ambiente Inteligente*.

Nombre de propiedad de objeto	Clase dominio	Clase rango
hasEventProgrammed	PhysicalSpace	Event
isTemporalEntityOf	TemporalEntity	Event

Las propiedades de dato utilizadas en el sistema *Ambiente Inteligente* con su dominio y rango para la relación entre ontologías se muestran en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Propiedades de objeto utilizadas en *Ambiente Inteligente*.

Propiedad de objeto	Dominio	Rango
isAssignedTo	Person	PhysicalSpace
hasPersonAssigned	PhysicalSpace	Person
participatesIn	Person	Event
hasPersonInvolved	Event	Person
hasTemporalEntity	Event	TemporalEntity
happensIn	Event	PhysicalSpace
isTemporalEntityOf	TemporalEntity	Event
hasEventProgrammed	PhysicalSpace	Event

En la Figura 4.6 se observa un ejemplo de una relación entre las ontologías *Persona*

y *Espacio Físico* dentro del sistema *Ambiente Inteligente*.

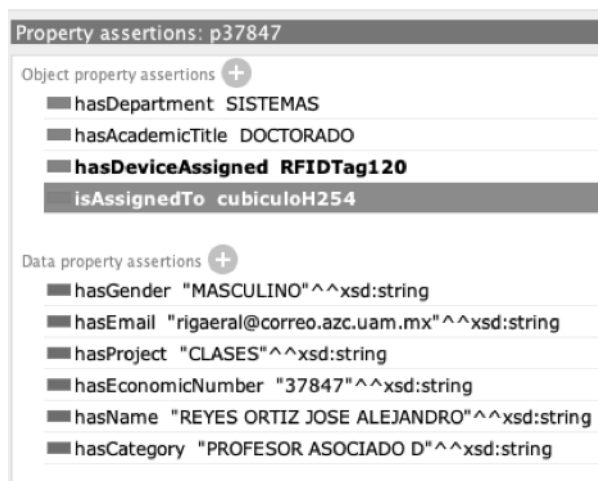


Figura 4.6: Ejemplo de relación en *Ambiente Inteligente*.

Los elementos del sistema de ontologías *Ambiente Inteligente* utilizados en este proyecto se observan en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Elementos de *Ambiente Inteligente*.

Clases	91
Propiedades de objeto	36
Propiedades de dato	51
Individuos	1099

4.2.7. Análisis de relaciones del sistema de ontologías con preguntas

Las preguntas que se realizan al sistema de consulta son de tipo ¿Quién?, ¿Dónde? y ¿Cuándo?, para contestarlas se tienen distintas relaciones en el modelo semántico que van a ser utilizadas como en la Tabla 4.12, mismas que se muestran gráficamente en la Figura 4.7.

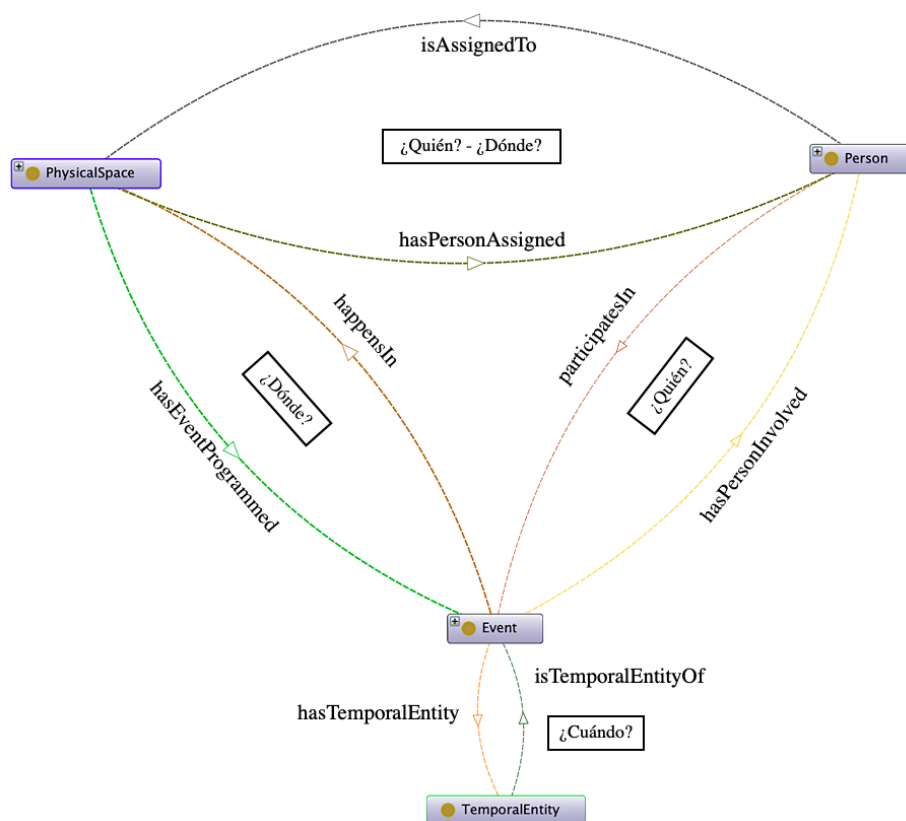


Figura 4.7: Relaciones utilizadas del modelo *Ambiente Inteligente*.

Entre la ontología *Espacio Físico* y *Persona* existe una relación de tipo objeto nombrada *isAssignedTo* y otra *hasPersonInvolved*, estas relaciones contestan las preguntas de tipo ¿Quién? y ¿Dónde?, por ejemplo, ¿Dónde se encuentra el cubículo del profesor Leonardo Sánchez Martínez? y permite saber que “Una persona es asignada a un espacio físico” y “Un espacio físico este asignado a una persona”.

La ontología *Persona* tiene dos propiedades de objeto con la ontología *Evento* nombradas *participatesIn* y *hasPersonInvolved*, estas relaciones contestan la pregunta ¿Quién?, por ejemplo, ¿Quiénes participan en el Seminario de Física?, y permite saber que “Una persona participa en un evento” y “Un evento tiene personas involucradas”.

En el caso de las ontologías *Espacio Físico* y *Evento* cuentan con dos relaciones de objeto que son *happensIn* y *hasEventProgrammed* que contestan el ¿Dónde?, por ejemplo, ¿Dónde se realiza el Congreso de Sistemas Computacionales?, y permite saber que “Un espacio físico tienen un evento programado” y “Un evento sucede en un espacio físico”.

Por último, la ontología *Evento* y *Tiempo* tienen dos relaciones llamadas *hasTemporalEntity* y *isTemporalEntityOf* que colaboran a contestar la pregunta ¿Cuándo?, por ejemplo, ¿Cuándo se realiza el Congreso de Inteligencia Artificial?, y permite saber que “Un evento sucede en un tiempo determinado” y “Un tiempo determinado este asignado a un evento”.

Este trabajo, define las relaciones a utilizar para aportar un beneficio en las consultas *SQWRL* explicadas en la sección 4.8 de este trabajo.

4.3. Clasificación de preguntas en lenguaje natural

La interfaz de consulta desarrollada en este trabajo responde las preguntas ¿Quién?, ¿Dónde? y ¿Cuándo?. A partir de ellas se clasifican en simples y compuestas, las cuales nos ayudan a saber si se cuenta con la información relevante para realizar una consulta. Dicha clasificación se describe a continuación.

4.3.1. Preguntas simples

Las preguntas simples, son aquellas que involucran los datos de una sola ontología y se muestran en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14: Tipo de preguntas simples.

Tipo de pregunta	Ejemplo de tipo de pregunta
Persona	¿Cuál es la categoría del profesor Leonardo Sánchez? ¿Quién es Claudia Bravo Contreras?
Espacio Físico	¿Cuál es el nivel del auditorio W001? ¿Dónde se encuentra el edificio E?
Evento	Dime la fecha del congreso de Calculo Diferencial ¿De qué trata el Congreso de Física?

4.3.2. Preguntas compuestas

Las preguntas compuestas son aquellas que involucran a mas de una ontología, es decir, la combinación entre las preguntas simples. Las preguntas compuestas se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15: Tipo de preguntas compuestas.

Tipo de pregunta	Ejemplo de tipo de pregunta
Espacio Físico - Persona	¿Cuál es el cubículo del profesor Alejandro Reyes Ortiz? ¿Dónde está ubicada la oficina de la doctora Beatriz González Beltrán?
Evento - Persona	¿Quién impartirá el Seminario de Física Cuántica? ¿Quiénes participan en la presentación de Procesamiento de Lenguaje Natural?
Espacio Físico - Evento	¿Dónde se realiza la conferencia de sistemas computacionales? Dime la ubicación del Congreso de Matemáticas Aplicadas

4.4. Pre-procesamiento de la pregunta en lenguaje natural

La pregunta de entrada se realiza en lenguaje natural en un formato de voz y es convertida a texto. Dicha pregunta se pre-procesa antes de determinar la consulta que desea realizar el usuario, para esto se necesita una normalización o limpieza de la pregunta y un analizador léxico. Estas actividades del pre-procesamiento de lenguaje natural se explican a continuación.

4.4.1. Normalización de preguntas en español

La normalización o limpieza de la pregunta en lenguaje natural ingresada al sistema es capaz de reconocer caracteres especiales que pueden influir en la identificación de lo que desea consultar el usuario. En la interfaz de consulta se determinan caracteres especiales, los acentos, las comas, los signos de interrogación y de admiración que llegue a identificar el reconocedor de voz. Las mayúsculas también son modificadas a minúsculas para mejorar el manejo de la información en el procesamiento de lenguaje natural.

4.4.2. Analizador léxico de palabras del dominio académico

Una parte importante del pre-procesamiento es la identificación de palabras especiales, estas palabras son aquellas que una persona puede nombrar por costumbre o por facilidad en el habla, pero se refieren a la misma palabra, por ejemplo, el conjunto de palabras “profesor”, “profe”, “maestro” y “doctor” se refieren a un misma persona en el dominio académico que es “profesor”. También, el conjunto “cubículo”, “cubo” y “oficina” se refieren a un mismo lugar que es “cubículo”, estas palabras especiales son identificadas en el texto y son estandarizadas a partir de un lexicón de palabras especiales. Esto permite mayor amabilidad con el usuario al permitir preguntar de una

manera natural.

El pre-procesamiento se realiza con la finalidad de obtener un texto lo más limpio posible para más adelante poder deducir la respuesta que requiere el usuario.

4.5. Reconocedor de entidades nombradas basado en lexicones de un dominio académico

El reconocedor de entidades nombradas determina la clasificación de las palabras que tienen un significado importante dentro de la pregunta. Esta identificación de entidades se muestra en la Figura 4.8.

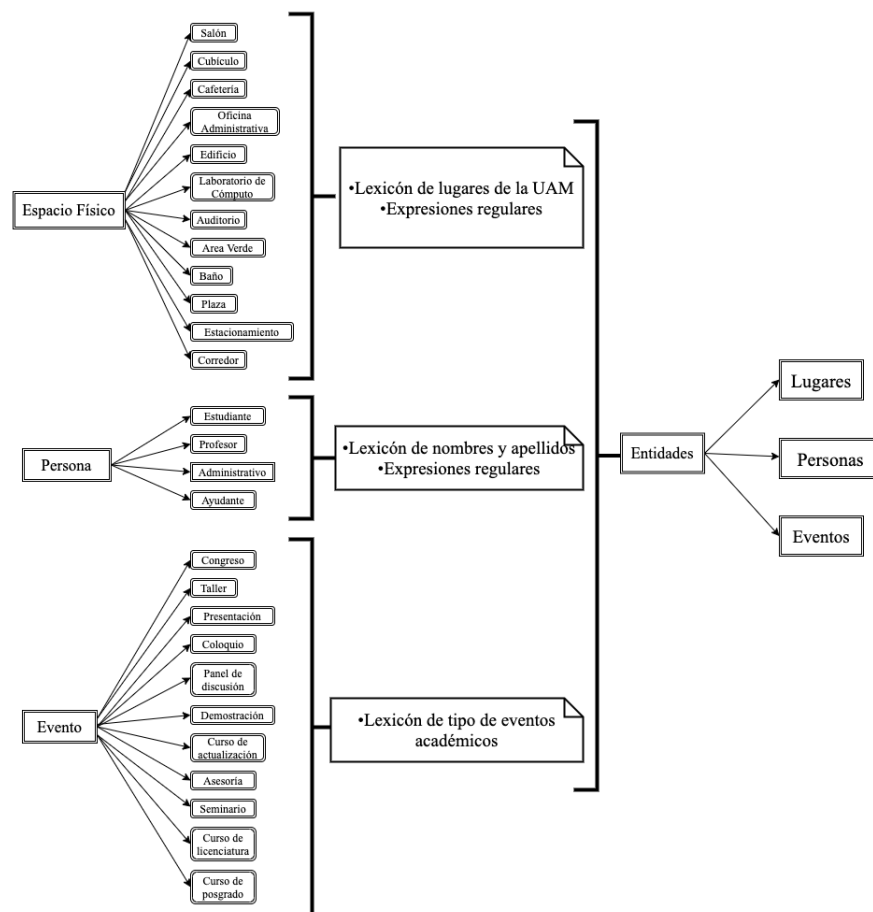


Figura 4.8: Identificación de entidades.

4. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

Como se observa en la Figura 4.8, existen tres tipos de preguntas simples: persona, espacio físico y evento, no se consideran las preguntas compuestas para este análisis porque son la combinación de las preguntas simples. Cada tipo de pregunta tiene entidades dentro de un ambiente académico, a partir de estas entidades se realiza la construcción de lexicones para cada tipo de pregunta.

En el caso de espacio físico, se desarrolla un lexicón de lugares de la UAM Azcapotzalco, debido a que es el lugar en el que se evalúan los resultados. Este lexicón es de los lugares que tienen un nombre específico dentro de las instalaciones; por ejemplo, el laboratorio de computo BABBAGE o el auditorio Incalli Ixcahuicopa. También se manejan expresiones regulares utilizando el patrón de los salones que maneja la institución, donde una letra identifica al edificio donde se encuentra, seguido de un número que indica el nivel, y dos dígitos que ayudan a saber el aula a la que se refiere; por ejemplo, el salón E201, dentro de la institución se reconocería como un salón en el edificio E, segundo piso y número 1, como la entrada es en formato de voz también se consideran expresiones regulares para el caso en que el reconocedor identifique los lugares separados por un espacio como “E 201” en lugar de “E201”.

Para el tipo persona se construye un lexicón con 800 nombres y apellidos de personas, para identificar los nombres propios dentro de la pregunta. La identificación de entidades dentro de una pregunta también considera el preguntar ofreciendo el número económico de empleado o matrícula de alumno, por ejemplo “Dime el nombre del alumno con matrícula 2181800075”, la identificación de entidades también utiliza expresiones regulares para identificar si los números se refieren a un número económico o a una matrícula. Pero, también se maneja el caso en que el reconocedor de voz hace una división entre los dígitos mencionados por el usuario, por ejemplo, si el reconocedor de voz identifica un “Dime el nombre del alumno con matrícula 218 1800 0075”, el reconocedor de entidades es capaz de eliminar esos espacios en blanco para poder saber que se habla de una matrícula.

Para las preguntas de tipo evento este trabajo construye un lexicón de acontecimientos académicos, como congreso, seminario, taller, asesoría, entre otros. Este lexicón lo conforman palabras clave que ayudan a saber si dentro de la pregunta se hace referencia a un evento.

La construcción de estos lexicones y expresiones regulares permite determinar tipos de entidades que son personas, lugares o eventos. Una vez obtenida una pregunta estandarizada e identificados los tipos de entidades, se realiza un emparejamiento entre esta y cada uno de los lexicones para determinar el tipo de pregunta a partir de las entidades.

Como se observa en la Figura 4.9 se desarrolla un analizador léxico de la pregunta limpia, después se realiza un emparejamiento entre la pregunta pre-procesada y cada léxico construido, haciendo que existan palabras funcionales, es decir, que no aportan

información relevante para obtener una extracción satisfactoria, así como también existen palabras que identifican el tipo de entidad dentro de la pregunta, mismas que son insertadas a un arreglo de recuperación que contiene las palabras que se encontraron relevantes y el tipo de pregunta identificada a partir de las entidades.

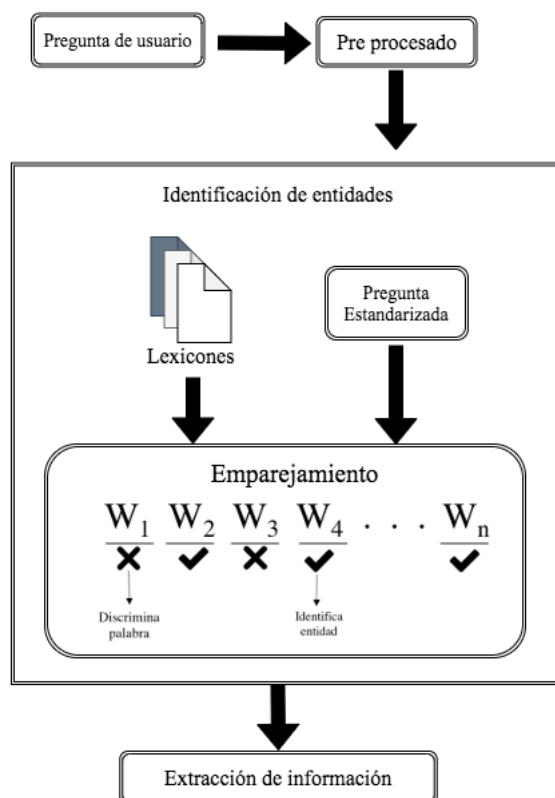


Figura 4.9: Procedimiento de emparejamiento

4.6. Extracción de información de la pregunta

La extracción de información consta del tipo de pregunta identificada y del conjunto de entidades relevantes dentro de la pregunta, aquellas que contienen la información necesaria para responder al usuario. Este conjunto de información es guardado en un arreglo y tiene la estructura como se muestra en la ecuación 4.1.

$$[TP, S, TS, CS, I^*] \quad (4.1)$$

Un grupo de miembros del cuerpo estudiantil de la UAM Azcapotzalco, apoyaron con las formas diferentes de preguntar a una interfaz de consulta por voz, por ejemplo, la

dinámica es: “Preguntar por la ubicación del auditorio W001”, un ejemplo de respuesta de la comunidad es: “¿Dónde esta el auditorio W001?”. Con esta investigación, se obtiene un corpus de 300 preguntas y arroja la misma estructura general de la ecuación 4.1 donde TP es el tipo de pregunta, S el sujeto del que se habla en la pregunta, TS el tipo de sujeto, por ejemplo, el nombre de una persona, la matrícula, el nombre del lugar, entre otros. CS se refiere a la clase del sujeto como, profesor, edificio, auditorio, estudiante, entre otros. Por último, I es un dato que tiene una ocurrencia de 0 o más, es decir, la información extra que puede existir o no dentro del texto, debido a las múltiples maneras de preguntar en el idioma español y en ocasiones se puede obtener más información que ayuda a encontrar una respuesta.

4.7. Mapeo ontológico

A partir de la estructura definida en la sección 4.6, se realizó un mapeo ontológico donde se obtuvo una tupla ontológica que cumple con todos los datos necesarios para poder consultar a un sistema de ontologías, su estructura se puede observar en la ecuación 4.2.

$$[O, S, P, TP, C, P_2, TP_2] \quad (4.2)$$

Donde O es la ontología u ontologías a las que debe consultarse, S es el sujeto que contiene la pregunta, P es la propiedad del sujeto, por ejemplo, si el nombre propio es de una persona deberá decir *hasName* o si habla del nombre de un auditorio dirá *hasNamePhysicalSpace*, estas propiedades se pueden recordar para el tipo de preguntas de la Tabla 4.14 y 4.15. En el caso de TP se refiere al tipo de propiedad *DataProperty* u *ObjectProperty* según sea el caso. C es la clase del sujeto dentro de la ontología que consulta y que contiene la información para responder, por ejemplo, Professor, Building, entre otros. P_2 es la propiedad que se desea saber, por ejemplo, si queremos saber la matrícula de un alumno este dato contendrá *hasStudentID*. TP_2 se refiere al tipo de P_2 y puede ser *DataProperty* u *ObjectProperty*.

4.8. Implementación de consultas en *SQWRL* a partir de patrones estructurales

SQWRL permite hacer consultas a una ontología a partir de conocimiento ya existente, debido a que únicamente se necesita saber información sin modificar las instancias, se realizaron 3 patrones estructurales a partir de la tupla ontológica obtenida en la ecuación 4.2. los cuales se desarrollan a continuación.

Para las preguntas de tipo espacio físico y persona se obtuvo el patrón como se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16: Patrón estructural 1.

$$ON : CL(?var_1) \wedge ON : DP(?var_1, "VS") \wedge ON : DPS(?var_1, ?res) \rightarrow sqwrl : select(?res)$$

Donde *ON* es el nombre de la ontología, *CL* es la clase en la ontología, *DP* es la *DataProperty* de valor de sujeto, *VS* es el valor de la *DataProperty* y *DPS* es la *DataProperty* de la respuesta. La relación entre las variables de la Tabla 4.16 y la ecuación 4.2 pueden observarse en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17: Relación de variables entre patrón estructural 1 y tupla ontológica.

Variable de patrón estructural 1	Variable en mapeo ontológico
<i>ON</i>	<i>O</i>
<i>CL</i>	<i>C</i>
<i>DP</i>	<i>P</i>
<i>VS</i>	<i>S</i>
<i>DPS</i>	<i>P₂</i>

En el caso de *?var₁* es una variable dentro de la consulta y *?res* es la variable que contiene la respuesta final.

Para la pregunta de tipo evento fue necesario hacer un análisis en las posibles preguntas, para este tipo de pregunta en particular únicamente se puede contestar su descripción o el tiempo en que es realizado por la información que brinda el sistema de ontologías, recordando nuestro modelo semántico existe una ontología *Evento* y una ontología *Tiempo* de propósito general que ayuda a saber los datos que se refieren a cuando ocurren los eventos académicos, se puede decir que las dos ontologías trabajan juntas. Por esta razón si se pregunta por la descripción del evento es utilizado el patrón de la Tabla 4.16, pero si se pregunta por el tiempo del evento, por ejemplo, ¿Cuándo es el Seminario de Física?, es necesario agregar otras especificaciones como se muestra en el patrón estructural de la Tabla 4.18.

Tabla 4.18: Patrón estructural 2.

$$ON_1 : Event(?var_1) \wedge ON_2 : I(?var_2) \wedge ON_1 : DP(?var_1, "VS") \wedge ON_1 : DPS(?var_1, ?var_2) \wedge ON_2 : PT_1(?var_2, ?res_1) \wedge ON_2 : PT_2(?var_2, ?res_2) \rightarrow sqwrl : select(?res_1) \wedge sqwrl : select(?res_2)$$

Donde *ON₁* es el nombre de la ontología detectada en la tupla ontológica, *ON₂* se

4. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

refiere al nombre de la ontología *Tiempo (time)*, *I* es la clase que contiene la información del tiempo del evento (*Instant*), *PT₁* es la propiedad del tiempo que se refiere al día del evento (*hasDay*), *PT₂* es la propiedad del tiempo que se refiere al mes del evento (*hasMonth*), *DP* es la *DataProperty* de valor de sujeto, *VS* es el valor de la *DataProperty* y *DPS* es la *DataProperty* de la respuesta que se busca. La relación entre las variables del patrón de la Tabla 4.18 y la tupla ontológica de la ecuación 4.2 pueden observarse en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19: Relación de variables entre patrón estructural 2 y tupla ontológica.

Variable de patrón estructural 2	Variable en mapeo ontológico
<i>ON</i>	<i>O</i>
<i>DP</i>	<i>P</i>
<i>VS</i>	<i>S</i>
<i>DPS</i>	<i>P₂</i>

En el caso de *?var₁* y *?var₂* son variables dentro de la consulta. *?res₁* y *?res₂* son variables que contienen la respuesta final ya que se pregunta por el tiempo, se debe arrojar una fecha conformada por día y mes.

Para las preguntas de tipo espacio físico-evento, espacio físico-persona y evento-persona se obtuvo el patrón como se muestra en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20: Patrón estructural 3.

$$\begin{aligned}
 &PR_1 : ON_1(?var_1) \wedge PR_1 : DP(?var_1, "VS") \wedge PRG : DPS(?var_1, ?var_2) \wedge PR_2 : ON_2(?var_2) \\
 &\wedge PR_2 : DPS(?var_2, ?res) \rightarrow sqwrl : select(?res)
 \end{aligned}$$

Donde *PR₁* es el prefijo de ontología 1, *PR₂* es el prefijo de ontología 2, los prefijos son importantes en este tipo de consultas se manejan dos ontologías y en *SQWRL* ayuda a saber la ubicación de cada valor a preguntar dentro del sistema de ontologías, en este proyecto los prefijos se nombraron igual que su misma ontología para mayor facilidad. *ON₁* es el nombre de la ontología 1 y *ON₂* el nombre de ontología 2. *DP* es la *DataProperty* de valor de sujeto, *VS* el valor de la *DataProperty* y *DPS* es la *DataProperty* de la respuesta. La relación entre las variables del patrón estructural de la Tabla 4.20 y la tupla ontológica de la ecuación 4.2 pueden observarse en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21: Relación de variables entre patrón estructural 3 y tupla ontológica.

Variable de patrón estructural 3	Variable en mapeo ontológico
PR_1	O
DP	P
PR_2	O
VS	S
ON_1	O
DPS	P_2
ON_2	O

PRG es el prefijo de sistema de ontologías (*intelligentenviroment*) es una parte de la consulta que habla de la unión existente entre las dos ontologías dentro del sistema. En el caso de $?var_1$ y $?var_2$ son variables dentro de la consulta, y $?res$ es la variable que contiene la respuesta final.

Con estos 3 patrones se realizaron consultas *SQWRL* desarrolladas en Java a partir de la tupla ontológica resultante de la ecuación 4.2. La respuesta a las consultas fue colocada en plantillas que cuentan con lo necesario para cada tipo de respuesta.

4.9. Conversor de voz y texto en interfaz de consulta

El usuario introduce la pregunta a la interfaz de consulta en formato de voz y de la misma manera la interfaz le responde al usuario. Para lograr esto se utilizó la Web Speech API en Java, que permitió incorporar reconocimiento de voz en la interfaz de consulta.

Se utiliza la tecnología de JSP (JavaServer Pages) para la conexión entre la interfaz de consulta gráfica y el procesamiento de lenguaje natural desarrollado. Se implementa un JavaScript para que el reconocedor de voz transforme la voz del usuario a texto y viceversa, en la Tabla 4.22 se muestra un fragmento del código encargado de esto. Se realiza un reconocedor de voz al hacer clic en un botón y termina al identificar una pausa larga en la voz.

Tabla 4.22: Fragmento de código de JavaScript.

```
function testSpeech() {  
    testBtn.disabled = true;  
    testBtn.textContent = 'Consultando';  
    testBtn.icon='img/microfono.png';  
    diagnosticPara.style.background = 'rgba(0,0,0,0.2)';  
    diagnosticPara.textContent = '...escuchando';  
    var recognition = new SpeechRecognition();  
    var speechRecognitionList = new SpeechGrammarList();  
    recognition.grammars = speechRecognitionList;  
    recognition.lang = 'es-MX';  
    recognition.interimResults = false;  
    recognition.maxAlternatives = 1;  
  
    recognition.start();  
  
    recognition.onresult = function (event) {  
        var speechResult = event.results[0][0].transcript.  
toLowerCase();  
        diagnosticPara.textContent = 'Consulta recibida: ' +  
speechResult + '.';  
        diagnosticPara.style.background = 'lime';  
        $.ajax({  
            data: {  
                pregunta: speechResult  
            },  
            type: 'GET', _url: 'OntologiaServlet'  
        })  
    }  
}
```

Cuando se realiza el reconocimiento de voz se llama un servlet llamado “OntologiaServlet” como se observa en la Tabla 4.23. El servlet es el encargado de llamar a todas las clases encargadas del procesamiento de lenguaje natural y la búsqueda en las ontologías, si no recibe respuesta lo indica al usuario a través de un mensaje y de encontrar una respuesta lo envía al JavaScript encargado también de transformarlo a voz.

Tabla 4.23: Fragmento de código de servlet.

```
protected void processRequest(HttpServletRequest request ,
                             HttpServletResponse response)
    throws ServletException , IOException , SWRLParseException ,
        SQWRLEException {
    Controlador c=new Controlador ();
    response.setContentType(“text/html;charset=UTF-8”);
    try (PrintWriter out = response.getWriter()) {
    String pregunta = request.getParameter(“pregunta”).trim();
    System.out.println(“Recibo: ” + pregunta);
    response.setContentType(“text/plain;charset=UTF-8”);
    String respuesta = c.proceso(pregunta);
    System.out.println(“Respuesta de servlet :”+respuesta);

    if(respuesta.equals(“”)){
        out.print(“Por el momento no puedo responder”);
        }else{
            out.print(“La respuesta es: ” +respuesta);
        }
    }
    }
}
```

La parte gráfica de la interfaz de consulta se diseña pensando en la facilidad para el usuario, al abrir la interfaz de consulta el usuario puede observar una ventana que consta de un botón de color verde como se muestra en la Figura 4.10. El usuario

4. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

al oprimir el botón de “Iniciar consulta” puede comenzar a preguntar por medio de voz, en la interfaz se puede observar una leyenda “...escuchando” que indica que ya se puede comenzar a hablar y el botón cambia a “En curso”. Como parte final la voz amigable del sistema menciona la respuesta en idioma español que obtiene del sistema de ontologías y muestra en la parte inferior la consulta que realizo, para que el usuario tenga mayor confianza de saber que se reconoció en la interfaz de consulta.

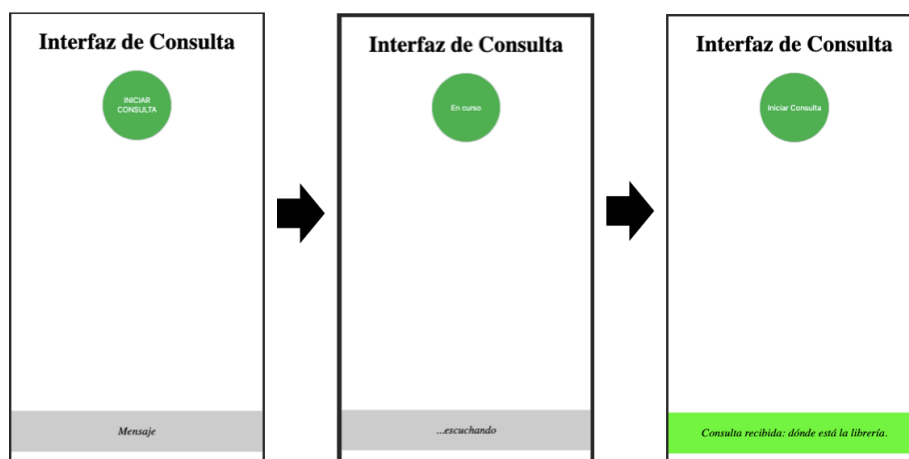


Figura 4.10: Vista de interfaz de consulta

Evaluación

5.1. Distribución de preguntas para la evaluación

La interfaz de consulta se evalúa a partir de los individuos existentes en el sistema de ontologías *Ambiente Inteligente*. Este proyecto, consta con 855 individuos que cuentan con la información adecuada para responder cada tipo de pregunta, 91 clases, 10736 axiomas, 36 propiedades de objeto y 51 propiedades de dato. Se realizan 258 preguntas para la evaluación. La distribución de cada tipo de pregunta se observa en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Distribución de preguntas realizadas.

Tipo de pregunta	Individuos	Preguntas realizadas
Persona	559	111
Espacio Físico	96	19
Evento	200	40
Persona - Espacio Físico	42	8
Espacio Físico - Evento	200	40
Evento - Persona	200	40
Total	855	258

5.2. Descripción de evaluación

Las 258 preguntas son obtenidas de una consulta a la comunidad universitaria de la UAM Azcapotzalco en idioma español de México, para considerar las distintas maneras en las que se puede preguntar. El corpus de cada tipo de pregunta es formado de

5. EVALUACIÓN

manera manual. Las preguntas se realizaron en formato de voz a un servidor web. Se considera el ruido normal de un ambiente académico y la dicción al preguntar se basa en una persona del cuerpo estudiantil.

El sistema de consulta ha sido evaluado en dos aspectos: funcionalidad y precisión. El sistema de consulta desarrollado puede ser utilizado en dispositivos móviles con diversos sistemas operativos como Android o iOS, mostrando un funcionamiento adecuado. Por su parte, la evaluación de la precisión del sistema de consulta para cada pregunta es realizada de manera manual y llevada a cabo por expertos y usuarios del dominio académico. Los resultados de esta evaluación se obtiene con la métrica, bien conocida en la Extracción de Información, mostrada en la ecuación 5.1.

$$P = \frac{\text{resultadosrelevantes}}{\text{totaldeconsultas}} \quad (5.1)$$

5.3. Resultados de ejecución

5.3.1. Evaluación del reconocedor de voz

El reconocedor de voz puede contar con un margen de error debido a distintas situaciones, por ejemplo, el ruido del ambiente, la dicción de la persona al hablar o el desconocimiento de las palabras mencionadas. Se considera una parte de la evaluación si el reconocedor de voz identifico la pregunta completa o existe la usencia de alguna palabra dentro de la misma, por ejemplo, si el usuario desea preguntar “¿Dónde se encuentra la oficina del doctor José Alejandro Reyes Ortiz” y el reconocedor solo identifica “se encuentra oficina de doctor José Alejandro Reyes Ortiz”.

La Tabla 5.2 muestra la evaluación de reconocimiento de voz para las preguntas de tipo persona. Para este tipo de pregunta existen 79 preguntas que fueron reconocidas completamente y 32 preguntas no fueron así, de las 111 preguntas que se realizaron para este tipo. De las 32 preguntas no reconocidas completamente se obtuvieron 27 respuestas de manera satisfactoria y de las 79 preguntas reconocidas completamente se obtuvieron 74 respuestas exitosas.

Tabla 5.2: Evaluación de reconocimiento de voz de tipo persona.

Reconocimiento de voz de la pregunta	Preguntas reconocidas	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Completo	79	74	5
Incompleto	32	27	5

El tipo de pregunta espacio físico cuenta con 19 preguntas a realizar, en la Tabla 5.3 se observa que 14 preguntas fueron reconocidas completamente y 5 preguntas no fueron así. De las 14 preguntas reconocidas completamente se obtuvieron 13 respuestas satisfactorias y de las 5 preguntas reconocidas de manera incompleta todas se contestaron con éxito.

Tabla 5.3: Evaluación de reconocimiento de voz de tipo espacio físico.

Reconocimiento de voz de la pregunta	Preguntas reconocidas	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Completo	14	13	1
Incompleto	5	5	0

En la Tabla 5.4 se muestra la evaluación de reconocimiento de voz del tipo evento. Para este tipo de pregunta existen 35 preguntas que fueron identificadas completamente y 5 preguntas no fueron así de las 40 preguntas que se realizaron para este tipo. De las 5 preguntas reconocidas de manera incompleta se obtuvieron todas de manera satisfactoria y de las 35 preguntas identificadas completamente se obtuvieron 31 respuestas exitosas.

Tabla 5.4: Evaluación de reconocimiento de voz de tipo evento.

Reconocimiento de voz de la pregunta	Preguntas reconocidas	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Completo	35	31	4
Incompleto	5	5	0

Para la pregunta compuesta de tipo persona-espacio físico se realizan 8 preguntas de las cuales 5 son reconocidas completamente y 3 de manera incompleta. Todas las preguntas se contestan de manera exitosa. En la Tabla 5.5 se detalla la información de la evaluación para este tipo de pregunta.

Tabla 5.5: Evaluación de reconocimiento de voz de tipo persona-espacio físico.

Reconocimiento de voz de la pregunta	Preguntas reconocidas	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Completo	5	5	0
Incompleto	3	3	0

5. EVALUACIÓN

En el tipo de pregunta persona-evento se realizan 40 preguntas de las cuales 34 son identificadas completamente y 6 de manera incompleta. De las 34 se obtienen todas correctas y en el caso de las 6 incompletas se obtienen 4 con éxito. Los resultados para este tipo de pregunta se detallan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6: Evaluación de reconocimiento de voz de tipo persona-evento.

Reconocimiento de voz de la pregunta	Preguntas reconocidas	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Completo	34	34	0
Incompleto	6	4	2

La Tabla 5.7 muestra la evaluación de reconocimiento de voz para el tipo de pregunta evento-espaciofísico. Para este tipo de pregunta existen 36 reconocidas completamente y 4 incompletas de las 40 preguntas que se realizaron para este tipo. De las 4 preguntas no identificadas de manera completa se obtienen 3 respuestas de manera satisfactoria y de las 36 preguntas reconocidas completamente se obtuvieron 34 respuestas exitosas.

Tabla 5.7: Evaluación de reconocimiento de voz de tipo evento-espacio físico.

Reconocimiento de voz de la pregunta	Preguntas reconocidas	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Completo	36	34	2
Incompleto	4	3	1

En la gráfica de la Figura 5.2 se observa las cifras finales en la evaluación del reconocedor de voz. Se obtienen 191 preguntas de manera completa y 47 preguntas de manera incompleta, ambas con una respuesta correcta. En el caso de las preguntas con una respuesta incorrecta son 12 preguntas reconocidas de manera completa y 8 de manera incompleta.

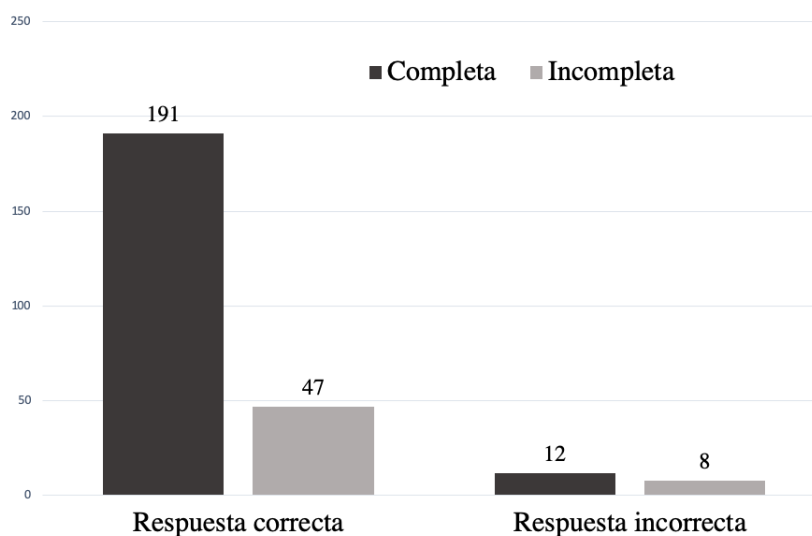


Figura 5.1: Gráfica de evaluación de reconocimiento de voz

5.3.2. Evaluación global de interfaz de consulta

Cada tipo de pregunta fue contestada y evaluada de manera manual basándose en la información de cada ontología. En la Tabla 5.8 se detallan las respuestas de cada tipo de pregunta ya sea correcta o incorrecta de las 258 preguntas que conforman el corpus.

Tabla 5.8: Valores de evaluación global

Tipo de pregunta	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Persona	101	10
Espacio Físico	18	1
Evento	36	4
Persona - Espacio Físico	8	0
Espacio Físico - Evento	38	2
Evento - Persona	37	3
Total	238	20

En la gráfica de la Figura 5.2 se puede observar los resultados finales de la evaluación de la interfaz de consulta donde se obtiene el 92 % de respuestas correctas y 8 % de respuestas incorrectas.



Figura 5.2: Gráfica de valoración global de interfaz de consulta

Con base en los resultados obtenidos, se calcula la precisión de la interfaz de consulta como se muestra en la ecuación 5.1 donde se obtiene un **92%** de precisión en la evaluación. El corpus evaluado se puede observar en el Apéndice A.

5.4. Análisis de evaluación

Contemplando el 92% de la precisión en la evaluación de la interfaz de consulta, se definen resultados prometedores dentro de las técnicas de procesamiento de lenguaje natural. Como se muestra en la gráfica de la Figura 5.3, el reconocimiento de voz dentro de la evaluación de las preguntas contiene un número mayor de respuestas correctas, es decir, la interfaz de consulta es capaz de responder a pesar de que el reconocimiento de voz no sea completo debido a las herramientas de procesamiento de lenguaje natural que se utilizan.

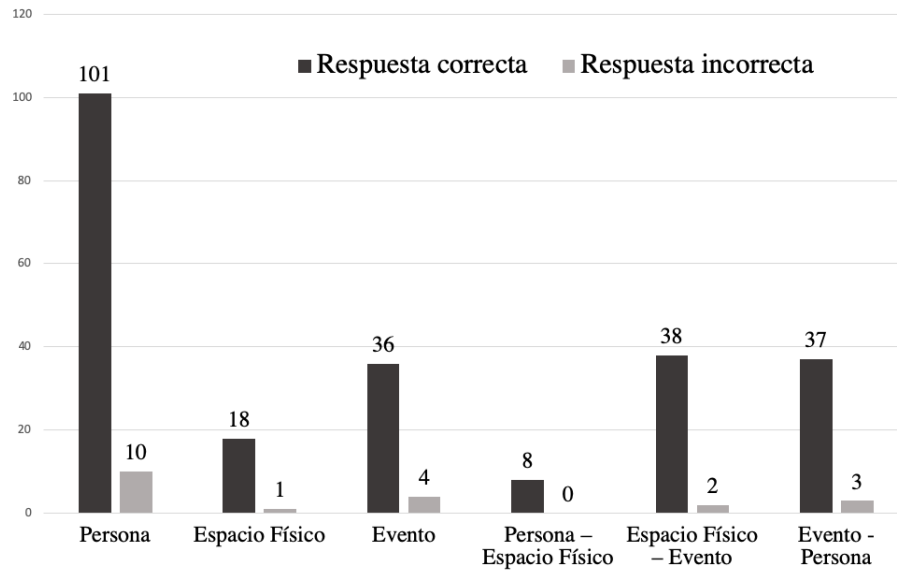


Figura 5.3: Gráfica reconocimiento de voz en evaluación.

Existen distintos factores para recibir una respuesta incorrecta en las preguntas en español, algunas de ellas se deben al ruido del ambiente percibido en el momento en que se realizó la pregunta, la dicción de la persona para pronunciar las palabras, las palabras en otro idioma distinto del español de México dentro de la pregunta o el no reconocimiento de letras que cuentan con la misma pronunciación de ciertas palabras como lo es la “c” y la “s” o la “b” y “v”.

Capítulo 6

Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el desarrollo de una interfaz de consulta en idioma español dentro de un ambiente académico, implementando técnicas de procesamiento de lenguaje natural y un sistema de ontologías como modelo de representación de la información. La pregunta y respuesta son brindadas en formato de voz a través de una interfaz gráfica adaptable a distintos dispositivos móviles.

Las preguntas contestadas por la interfaz de consulta son del tipo ¿Quién?, ¿Dónde? y ¿Cuándo? dentro de un dominio académico para lo que se enriqueció el sistema de ontologías con nuevas clases, propiedades de objeto, propiedades de dato y se pobló con mas individuos. Con apoyo de reglas *SQWRL* se logró consultar al modelo semántico, basándose en patrones estructurales deducidos a partir de una tupla ontológica general.

En esta tesis se llevó a cabo un proceso de evaluación dividió en dos etapas, la primera consta de evaluar el reconocimiento de voz, es decir, si el dispositivo reconoce toda la pregunta y si el procesamiento de lenguaje natural propuesto aún así es efectivo, la segunda consta de evaluar las respuestas correctas recibidas por la ontología. En ambos casos los resultados fueron muy comprometedores y abren la posibilidad a nuevos desarrollos. La evaluación final obtuvo un 92 % en precisión.

Así mismo, las principales contribuciones de este documento son (a) el enriquecimiento de un sistema de ontologías en el dominio académico; (b) la construcción de una tupla ontológica a partir de técnicas de procesamiento de lenguaje natural en español; (c) 3 patrones estructurales implementados en reglas *SQWRL* para la consulta en un sistema de ontologías dentro de un ambiente académico; (d) lexicones en idioma español que pertenecen a un ambiente académico como lo son, lugares, eventos, nombres de personas y palabras especiales; (e) el proceso de evaluación centrado en reconocimiento de voz y en la validación de respuestas correctas a partir de preguntas realizadas por una comunidad que pertenece al ambiente académico.

Como trabajo a futuro de este trabajo, se plantea lo siguiente: a) comprobar la

6. CONCLUSIONES

funcionalidad de la interfaz de consulta en idioma español de España; b) enriquecer el modelo semántico en tiempo real; c) adaptar la interfaz de consulta para que sea capaz de contestar, en tiempo real, la ubicación de los participantes de un ambiente académico y la difusión de eventos académicos; d) implementación de las técnicas de procesamiento de lenguaje natural en español en una interfaz de consulta en otro dominio, por ejemplo, el dominio de la salud, donde se podría preguntar por consultas medicas de un doctor, eventos de apoyo de una enfermedad o de prevención, operaciones dentro de las instalaciones o el estado salud de un paciente, para este trabajo se debería utilizar un sistema de ontologías adecuado y los lexicones desarrollados, sin embargo, el procesamiento de lenguaje natural y la lógica de los patrones estructurales desarrollados en este trabajo son reutilizables; e) implementación de la interfaz de consulta en otros dispositivos, por ejemplo, bocinas inteligentes como Alexa o Google Home, smartwatch para ampliar la facilidad del sistema de pregunta y respuesta.

Apéndice A

Preguntas de evaluación

A.1. Preguntas de tipo persona

	Pregunta	Evaluación
1	¿Quién es Guzmán Gómez Maricela?	Correcto
2	Dame el número económico de Carrera García Constantino	Correcto
3	¿Cuál es la matrícula de Figueroa Torres Eduardo?	Correcto
4	Dime el nombre del alumno con matrícula 206205888	Correcto
5	¿De quién es el número económico 14721?	Correcto
6	¿Cuál es el correo de Hernández Anaya Octavio?	Correcto
7	¿Quién es Velasco Pérez Maribel?	Correcto
8	¿Cuál es la categoría de Alcántara Nava José Luis?	Correcto
9	¿A quién le pertenece el número económico 6388?	Correcto
10	¿Cuál es el nombre del estudiante con matrícula 207400656?	Correcto
11	Dime la matrícula de Aldama Mejía Genaro	Correcto
12	¿Cuál es la categoría de Aguilar Vázquez Arturo?	Correcto
13	Dime la matrícula del alumno Caro Martínez Víctor Hugo	Correcto
14	¿Quién es Gutiérrez Villegas Marco Antonio?	Correcto
15	Dame el número económico de Polo Velázquez Alex	Correcto
16	¿De quién es el número económico 1363?	Incorrecto
17	Dime la matrícula de Cruz Rodríguez Carlos	Correcto
18	¿Cuál es el correo de Martínez Hernández Guadalupe?	Correcto
19	¿Quién es Ortiz Rivera Alejandro?	Correcto
20	¿Cuál es la matrícula de Diego Bonilla Meza?	Correcto
21	Dame la matrícula Cruz Rodríguez Carlos	Correcto
22	¿A quién le pertenece el número económico 33?	Correcto
23	¿Quién es Juárez Luna Gelacio?	Correcto
24	Dame el número económico de Salazar Peláez Mónica	Incorrecto
25	¿Cuál es la matrícula de Gabriela García Robledo?	Correcto
26	Dime el nombre del alumno con matrícula 210301947	Correcto

A. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

	Pregunta	Evaluación
27	¿De quién es el número económico 1313?	Correcto
28	¿Cuál es el correo de Mercado Reyes Santos?	Correcto
29	¿Quién es Alarcón Martínez Hernán?	Incorrecto
30	¿Cuál es la categoría de Cruz Colín María del Rocío?	Incorrecto
31	¿A quién le pertenece el número económico 1360?	Correcto
32	¿Cuál es el nombre del estudiante con matrícula 206241559?	Correcto
33	Dime la matrícula de Zavala Rojas Sandra	Correcto
34	¿Quién es Portillo Díaz Pedro?	Correcto
35	¿Cuál es la matrícula de Rodrigo Vázquez Ponce?	Correcto
36	¿Quién es Aragón Lezama José Arturo?	Correcto
37	Dame el número económico de Castillo Tapia Guillermo	Correcto
38	¿Cuál es la matrícula de Mario Ángel Ramírez Ríos?	Correcto
39	Dime el nombre del alumno con matrícula 2173037004	Correcto
40	¿De quién es el número económico 1307?	Correcto
41	¿Cuál es el correo de Juárez Nájera Margarita?	Correcto
42	¿Quién es Soto Téllez María de la Luz?	Incorrecto
43	¿Cuál es la categoría de Pérez Ricardez Alejandro Raymundo?	Correcto
44	¿A quién le pertenece el número económico 341?	Correcto
45	¿Cuál es el nombre del estudiante con matrícula 2173039428?	Correcto
46	Dime la matrícula de Díaz Martínez Alan Guillermo	Correcto
47	¿Cuál es la categoría de Trejo Rodríguez Arturo?	Correcto
48	Dime la matrícula del alumno Jiménez Mateo Enrique	Correcto
49	¿Quién es Lira Cortes José Raymundo?	Correcto
50	Dame el número económico de Meléndez Lira Miguel Ángel	Correcto
51	¿De quién es el número económico 2201?	Correcto
52	Dime la matrícula de Evangelista Ramírez Diana	Correcto
53	¿Cuál es el correo de Portilla Pineda Margarita?	Correcto
54	¿Quién es García Galván María Antonieta?	Correcto
55	¿Cuál es la matrícula de Carlos Alberto Rodríguez Albor?	Correcto
56	Dame la matrícula María Fernanda Pineda	Incorrecto
57	¿A quién le pertenece el número económico 1183?	Correcto
58	¿Quién es quintana Díaz María Berenice Guadalupe?	Correcto
59	Dame el número económico de Arellano Peraza Juan Salvador	Incorrecto
60	¿Cuál es la matrícula de Josué Padilla Cuevas?	Correcto
61	Dime el nombre del alumno con matrícula 2173000490	Correcto
62	¿De quién es el número económico 3?	Correcto
63	¿Cuál es el correo de Torres Rodríguez Miguel?	Correcto
64	¿Quién es Alarcón Martínez Hernán?	Correcto
65	¿Cuál es la categoría de Mejía Téllez Juan de la Cruz?	Incorrecto
66	¿A quién le pertenece el número económico 310?	Correcto
67	¿Cuál es el nombre del estudiante con matrícula 2173037184?	Correcto
68	Dime la matrícula de Martínez Gutiérrez Ricardo Arturo	Correcto

	Pregunta	Evaluación
69	¿Quién es Portillo Díaz Pedro?	Correcto
70	¿Cuál es la matrícula de Salvador Iván Briseño Medina?	Incorrecto
71	¿Cuál es el correo de Rodríguez Díaz Jaime?	Correcto
72	¿Quién es Huerta Flores José Luis?	Correcto
73	¿Cuál es la categoría de Benítez Márquez Elia?	Correcto
74	¿A quién le pertenece el número económico 10784?	Correcto
75	¿Cuál es el nombre del estudiante con matrícula 207330482?	Correcto
76	Dime la matrícula de Benítez Gutiérrez Francisco	Correcto
77	¿Quién es Quintana Díaz María Berenice Guadalupe?	Correcto
78	¿Cuál es la matrícula de Hernández Roa Miriam?	Correcto
79	¿Quién es Aragón Robledo Martínez Arturo?	Incorrecto
80	Dame el número económico de Jiménez Flores Armando	Correcto
81	¿Cuál es la matrícula de Calderón Pérez Ángel Adrián?	Correcto
82	Dime el nombre del alumno con matrícula 206302737	Correcto
83	¿De quién es el número económico 11294?	Correcto
84	¿Cuál es el correo de Juárez Nájera Margarita?	Correcto
85	¿Quién es Juárez García Hugo?	Correcto
86	¿Cuál es la categoría de Ávila Jiménez Miguel?	Correcto
87	¿A quién le pertenece el número económico 10906?	Correcto
88	¿Cuál es el nombre del estudiante con matrícula 207200912?	Correcto
89	Dime la matrícula de Ruiz Vargas Juan Eduardo	Correcto
90	¿Cuál es la categoría de Aguilar Pliego Julia?	Correcto
91	Dime la matrícula del alumno Piedra Torres Juan Carlos	Correcto
92	¿Quién es Ramírez Rojas Alejandro?	Correcto
93	Dame el número económico de Meléndez Lira Miguel Ángel	Correcto
94	¿De quién es el número económico 12407?	Correcto
95	Dime la matrícula de Caballero Martínez José Antonio	Correcto
96	¿Cuál es el correo de Martínez Meléndez Ángel?	Correcto
97	¿Quién es Vega Luna José Ignacio?	Correcto
98	¿Cuál es la matrícula de García Lorenzo Mario Alberto?	Correcto
99	Dame la matrícula Lopez Vázquez Aron	Correcto
100	¿A quién le pertenece el número económico 12035?	Correcto
101	¿Quién es quintana Vaca Hernández Miguel Ángel?	Correcto
102	Dame el número económico de Zamorano Flores José Luis	Correcto
103	¿Cuál es la matrícula de Lozano Gutiérrez Israel?	Correcto
104	Dime el nombre del alumno con matrícula 207332696	Correcto
105	¿De quién es el número económico 3641?	Correcto
106	¿Cuál es el correo de Beltrán Carbajal Francisco?	Correcto
107	¿Quién es Vázquez Huerta Gerardo?	Correcto
108	¿Cuál es la categoría de Pantoja Gallegos José Luis?	Correcto
109	¿A quién le pertenece el número económico 3880?	Correcto
110	¿A quién le pertenece la matrícula 2173000687?	Correcto

A. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

	Pregunta	Evaluación
111	Dime el nombre del profesor con número económico 9693	Correcto

A.2. Preguntas de tipo evento

	Pregunta	Evaluación
1	Dime la fecha del curso de procesamiento de lenguaje natural	Correcto
2	¿Cuándo es el curso de seminario 2 de maestría?	Incorrecto
3	¿A qué hora es el curso de fundamentos de estadística y diseño de experimentos?	Correcto
4	¿Cuándo se realiza el curso de termodinámica de procesos?	Correcto
5	¿Cuándo se realiza el curso de fundamentos de termodinámica?	Correcto
6	¿Cuál es el nombre del curso del 16 de octubre?	Correcto
7	¿Cuándo es el seminario de innovación docente?	Correcto
8	Dime la fecha del seminario de jóvenes y empleo	Correcto
9	¿Cuándo se realiza el seminario sobre identidades de género?	Incorrecto
10	Dime la fecha del seminario internacional de ciencia ciudadana	Correcto
11	¿Cuándo es el seminario de inteligencia artificial?	Correcto
12	¿Cuándo se realiza el taller de creación literaria?	Correcto
13	Dime la fecha del taller de diversidad en la sexualidad	Correcto
14	¿Cuál es el nombre del taller del 10 de mayo?	Correcto
15	¿Cuándo es el taller de prevención de violencia contra las mujeres?	Incorrecto
16	¿Cuándo es el taller de universidad y alimentación?	Correcto
17	Dime la fecha del taller de la ciencia de chocolate	Correcto
18	¿Cuál es el nombre del congreso del 18 de junio?	Correcto
19	¿Cuándo es el congreso de la sociología analítica?	Correcto
20	¿Cómo se llama el congreso del 15 de enero?	Incorrecto
21	¿Cuándo es el congreso internacional de docencia e investigación en química?	Correcto
22	Nombre del congreso del 19 de octubre	Correcto
23	¿Cuándo se realizará el congreso de ingeniería en Azuero?	Correcto
24	¿Cuál es el nombre del congreso del 12 de febrero?	Correcto
25	¿Cuál es el nombre del congreso del 24 de junio?	Correcto
26	¿Cuándo se realizará el congreso vive la ciencia?	Correcto
27	Dime el nombre del congreso del 19 de noviembre	Correcto
28	¿Cuándo se realizará el congreso nacional de ingeniería electromecánica y de sistemas?	Correcto
29	¿Cuándo fue la asesoría de investigación de operaciones?	Correcto

	Pregunta	Evaluación
30	¿Cuándo se realizó la asesoría para alumno de posgrado?	Correcto
31	Dime la fecha de la asesoría para alumnos de posgrado	Correcto
32	Dime la hora de la asesoría de fundamentos de programación	Correcto
33	¿Cuándo es la asesoría de matemáticas discretas?	Correcto
34	¿De qué es la asesoría del 16 de agosto?	Correcto
35	¿De qué trata la asesoría de microcontroladores?	Correcto
36	¿De qué trata la asesoría de tutores?	Correcto
37	Dime la fecha de la demostración de numero dicromático como generalización del numero cromático	Correcto
38	Dime la descripción de la presentación de la revista diferencias	Correcto
39	¿De qué trata el taller de modos de leer critica política y literatura?	Correcto
40	¿De qué trata el taller paisajismo 101?	Correcto

A.3. Preguntas de tipo espacio físico

	Pregunta	Evaluación
1	¿Dónde se encuentra la cafetería?	Correcto
2	Dime donde está el gimnasio	Correcto
3	¿Dónde está la biblioteca?	Correcto
4	¿Dónde está el auditorio F001?	Correcto
5	¿Dónde se encuentra el auditorio W002?	Correcto
6	¿Dónde está la plaza roja?	Correcto
7	¿Dónde está el sala G206?	Correcto
8	¿Dónde está el edificio S?	Correcto
9	¿Dónde están las cajas?	Coorrecto
10	¿Dónde se encuentra el edificio B?	Correcto
11	Dime donde está la oficina de posgrado	Incorrecto
12	¿Dónde está sistemas escolares?	Correcto
13	¿Dónde encuentro el auditorio B001?	Correcto
14	¿Dónde está el edificio HP?	Correcto
15	¿Dónde está el edificio G?	Correcto
16	¿Qué auditorios contiene el edificio W?	Correcto
17	¿Dónde está el edificio C?	Correcto
18	Dime la ubicación del auditorio W001	Correcto
19	¿Dónde encuentro el auditorio W003?	Correcto

A.4. Preguntas de tipo persona-evento

A. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

	Pregunta	Evaluación
1	¿Quiénes participan en la asesoría de ingeniería y sociedad?	Correcto
2	¿Quiénes participan en la asesoría de sistemas distribuidos?	Correcto
3	¿Quiénes participan en la asesoría de inteligencia artificial?	Correcto
4	¿Quiénes participan en la asesoría de compiladores?	Correcto
5	¿Quiénes participan en la asesoría de costos?	Correcto
6	¿Quiénes participan en la asesoría de química?	Correcto
7	¿Quiénes participan en la asesoría de diseño lógico?	Correcto
8	¿Quiénes participan en la asesoría de álgebra lineal?	Correcto
9	¿Quiénes participan en la asesoría de cálculo integral?	Correcto
10	¿Quiénes participan en la asesoría de ingeniería ambiental?	Correcto
11	¿Quiénes participan en la asesoría de sistemas digitales?	Correcto
12	¿Quiénes participan en la asesoría de cálculo diferencial?	Correcto
13	¿Quiénes participan en la demostración de bola alegre y bola triste en colisiones?	Correcto
14	¿Quiénes participan en el seminario de inteligencia artificial 2017?	Correcto
15	¿Quiénes participan en el seminario 3R reducir reciclar un enfoque necesario para el desarrollo?	Correcto
16	¿Quiénes participan en el seminario de nanotecnología ciencia y tecnología para la vida?	Correcto
17	¿Quiénes participan en el seminario de semántica del arte perspectivas contemporáneas?	Correcto
18	¿Quiénes participan en el seminario para alumnos de licenciatura?	Correcto
19	¿Quiénes participan en el seminario de física?	Correcto
20	¿Quiénes participan en el seminario de wavelets?	Correcto
21	¿Quiénes participan en el seminario de ondas ópticas no lineales en nanocoloides?	Correcto
22	¿Quiénes participan en el seminario de hacia una teoría política del signo virtual?	Correcto
23	¿Quiénes participan en el seminario de humanidades y teoría social?	Correcto
24	¿Quiénes participan en el seminario de proyecto en ciencias e ingenierías ambientales?	Correcto
25	¿Quiénes participan en el seminario de el proceso penal acusatorio?	Correcto
26	¿Quiénes participan en el seminario de la teoría de las dominancias cerebrales en los procesos de enseñanza aprendizaje?	Correcto
27	¿Quiénes participan en el seminario de recursos digitales educativos para principiantes?	Correcto

A.5 Preguntas de tipo espacio físico-evento

	Pregunta	Evaluación
28	¿Quiénes participan en el congreso de la sociología analítica?	Correcto
29	¿Quiénes participan en el congreso nacional de investigación en cambio climático?	Correcto
30	¿Quiénes participan en el congreso internacional de docencia e investigación en química?	Correcto
31	¿Quiénes participan en el congreso internacional de avances de mujeres en las ciencias?	Correcto
32	¿Quiénes participan en el congreso de ingeniería en Azuero?	Correcto
33	¿Quiénes participan en el congreso internacional e interdisciplinario Alexander Von Humboldt?	Incorrecto
34	¿Quiénes participan en el congreso iberoamericano de tecnología e innovación en la industria AEC?	Incorrecto
35	¿Quiénes participan en el congreso vive la ciencia?	Correcto
36	¿Quiénes participan en el congreso internacional de investigación sobre usuarios de la información?	Correcto
37	¿Quiénes participan en el congreso nacional de ingeniería electromecánica y de sistemas?	Correcto
38	¿Quiénes participan en el congreso nacional de ingenierías?	Correcto
39	¿Quiénes participan en la presentación de la teoría crítica y sociología pragmatista modos de su compatibilidad?	Correcto
40	¿Quiénes participan en la presentación de la revista anfibia?	Correcto

A.5. Preguntas de tipo espacio físico-evento

	Pregunta	Evaluación
1	¿Dónde se realizará el curso de procesamiento de lenguaje natural?	Correcto
2	¿Dónde es el curso de seminario 2 de maestría?	Correcto
3	¿Dónde se realizará es el curso de fundamentos de estadística y diseño de experimentos?	Correcto
4	¿Dónde se realiza la asesoría de compiladores?	Correcto
5	¿Dónde se realiza la asesoría de costos?	Correcto
6	¿Dónde se realiza la asesoría de química?	Incorrecto
7	¿Dónde es el seminario de innovación docente?	Correcto
8	¿Dónde se realizará seminario de jóvenes y empleo?	Correcto
9	¿Dónde es el seminario del 18 de junio?	Correcto

A. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

	Pregunta	Evaluación
10	¿Dónde se realiza el seminario internacional de ciencia ciudadana?	Incorrecto
11	¿Dónde es el seminario de inteligencia artificial?	Incorrecto
12	¿Dónde es el taller de creación literaria?	Correcto
13	¿Dónde es el taller del 18 de abril?	Correcto
14	¿Dónde es el taller de enfoque hacia tu carrera profesional?	Correcto
15	¿Dónde es el taller de prevención de violencia contra las mujeres?	Correcto
16	¿Dónde es el taller de universidad y alimentación?	Correcto
17	¿Dónde se encuentra el taller de la ciencia de chocolate?	Correcto
18	¿Dónde es el congreso del 18 de junio?	Correcto
19	¿Dónde se realiza el congreso de la sociología analítica?	Correcto
20	¿Dónde se realiza el congreso nacional de investigación en cambio climático?	Correcto
21	¿Dónde se realiza el congreso del 25 de enero?	Correcto
22	¿Dónde se realiza el congreso internacional de avances de mujeres en las ciencias?	Correcto
23	¿Dónde se realizará el congreso de ingeniería en Azuero?	Correcto
24	¿Dónde se realiza el congreso internacional e interdisciplinario Alexander Von Humboldt?	Correcto
25	¿Dónde se realiza el congreso del 24 de junio?	Correcto
26	¿Dónde se realizará el congreso vive la ciencia?	Correcto
27	¿Dónde se realiza el congreso internacional de investigación sobre usuarios de la información?	Correcto
28	¿Dónde se realizará el congreso nacional de ingeniería electromecánica y de sistemas?	Correcto
29	¿Dónde se realiza la asesoría de investigación de operaciones?	Correcto
30	¿Dónde se realiza la asesoría para alumno de posgrado de MCC?	Correcto
31	¿Dónde se realiza la asesoría para alumnos de posgrado?	Correcto
32	¿Dónde se realiza la asesoría de fundamentos de programación?	Correcto
33	¿Dónde se realiza la asesoría de matemáticas discretas?	Correcto
34	¿Dónde se realiza la asesoría de análisis y diseño de algoritmos?	Correcto
35	¿Dónde se realiza la asesoría de microcontroladores?	Correcto
36	¿Dónde se realiza la asesoría de tutores?	Correcto
37	¿Dónde se realiza la asesoría de ingeniería y sociedad?	Correcto
38	¿Dónde se realiza la asesoría de sistemas distribuidos?	Correcto
39	¿Dónde se realiza la asesoría de inteligencia artificial?	Correcto
40	¿De qué trata el taller paisajismo 101?	Correcto

A.6. Preguntas de tipo persona-espacio físico

	Pregunta	Evaluación
1	¿Cuál es el cubículo del profesor Rodríguez Díaz Jaime?	Correcto
2	¿A quién le pertenece el cubículo H261?	Correcto
3	¿Cuál es la oficina de Hernández Muñoz Antonio?	Correcto
4	¿Cuál es la oficina del profesor con número económico 14612?	Correcto
5	¿A quién le pertenece el cubículo H262?	Correcto
6	¿Cuál es la oficina del profesor Gutiérrez Villegas Marco Antonio?	Correcto
7	¿Dónde se encuentra la doctora Bravo Contreras Maricela Claudia?	Correcto
8	¿A quién le pertenece el cubículo H254?	Correcto

Apéndice B

Artículos publicados

Extracción de información a partir de preguntas en español
basada en lexicones

García-Robledo, G. A., Reyes-Ortiz, J. A., González-Beltrán, B. A., Priego, A. B.
(2019). “Extracción de información a partir de preguntas en español basada en
lexicones”, *Academia Journals*, vol. 11 (8), pp. 1054-1059.

Extracción de información a partir de preguntas en español basada en lexicones

Gabriela A. García-Robledo¹, José A Reyes-Ortiz², Beatriz A. González-Beltrán³,
Ángeles B. Priego-Sánchez⁴

Resumen— En este artículo se presenta un método para la extracción de información estructurada en español, mediante un modelo de segmentación y construcción de recursos léxicos, así como un análisis de un sistema de ontologías modulares en un ambiente académico. El método es implementado para recibir como entrada preguntas en español del tipo ¿Dónde?, ¿Cuándo? y ¿Quién?, las cuales permiten obtener un patrón capaz de identificar una tupla ontológica que son la consulta al sistema de ontologías y que no utilizan un módulo de traducción como los trabajos reportados en la literatura. El método propuesto permite ahorrar tiempo computacional debido a que el patrón identificado permite realizar la búsqueda más rápidamente en el sistema ontológico. Se realizó una evaluación con un corpus de 300 preguntas extraídas de expertos en el dominio académico obteniendo resultados satisfactorios en la extracción de información y un patrón para la búsqueda ontológica.

Palabras clave— Recuperación de información, Ontologías, Sistema de ontologías, Identificación de entidades.

Introducción

La extracción de información es una estrategia importante en la interacción en lenguaje natural, la mayoría de las interfaces que realizan extracción de información mediante un procesamiento de lenguaje natural están desarrolladas en el idioma inglés y gran parte con ayuda de una base de datos, existiendo una escasez de interfaces en el idioma español debido a la variación de estructuras del lenguaje.

Gran parte de las interfaces de consulta que realizan extracción de información en español se realizan a través de un módulo de traducción del idioma español al inglés, pero esto puede resultar en un tiempo computacional costoso o un aumento en la posibilidad de pérdida de información en la traducción de un idioma origen al inglés y viceversa. Por lo tanto, se diseñó e implementó un método de extracción de información en idioma español sin necesidad de un módulo de traducción; buscando que la pérdida de información en el procesamiento de lenguaje natural sea mínima al no necesitar traducir entre el idioma inglés y español. También, se pretende facilitar la interacción con un ambiente académico haciendo referencia al espacio donde participan administrativos, investigadores, alumnos y profesores que interactúan entre sí en actividades académicas.

El método implementado es capaz de responder a las preguntas de los tipos: ¿Cuándo?, ¿Dónde? y ¿Quién? de temas específicos dentro de un ambiente académico; además se usan ontologías como modelo de representación de la información para facilitar la extracción de datos debido a la semántica que se puede desarrollar en una consulta.

Descripción del Método

Trabajos relacionados

En este trabajo se utiliza una extracción de información en español mediante un modelo de segmentación y construcción de recursos léxicos, así como un análisis de un sistema de ontologías modulares en un ambiente académico. La principal contribución de este trabajo es el método de extracción de información. En esta sección se describen los principales trabajos reportados en la literatura que involucran un tipo de recuperación de la información, la cual tiene por objetivo extraer automáticamente información estructurada o semiestructurada desde documentos legibles por una computadora.

Existen diferentes propuestas para la implementación de métodos de recuperación y extracción de información, en español, las cuales utilizan diferentes técnicas de procesamiento de lenguaje natural y lenguajes

¹ Gabriela Alejandra García Robledo es estudiante de posgrado en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco al2181800075@azc.uam.mx

² El Dr. José Alejandro Reyes Ortiz es Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco jaro@azc.uam.mx

³ La Dra. Beatriz Adriana González Beltrán es Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco bgonzalez@azc.uam.mx

⁴ La Dra. Ángeles Belem Priego Sánchez es Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco abps@azc.uam.mx

formales de consulta. Existen autores (Mariela Grassi et al. 2001) que desarrollaron una aplicación llamada “CORIN” que especifica e implementa un modelo de datos para el tratamiento computacional de un corpus escrito del español actual del Uruguay, los textos son etiquetados según el formato estándar XML. Esta aplicación se realizó para ambiente Windows y esta implementada en lenguaje Java. Jesús Vilares Ferro (2005) explica un preprocesador-segmentador avanzado de base lingüística para la tokenización y segmentación de textos en español, así como también estudió, desarrolló y evaluó herramientas a nivel léxico, derivativo y sintáctico. Adicionalmente, se plantean una propuesta que es una aproximación en la fusión de datos mediante la intersección de conjuntos. Alfredo López Monroy (2013) presenta un modelo de recuperación que ayuda a localizar disposiciones legales a partir de una solicitud de información en modo de una pregunta en lenguaje natural y así proporciona un conjunto de artículos que la satisfagan; el modelo que propone se basa en un grafo ponderado no dirigido. Aramis y Alfredo (2013) presentan un método para la extracción de información estructurada desde textos escritos en español, la información extraída es estructurada en forma de grafo, específicamente mediante un mapa conceptual, su método permite procesar documentos de diferentes formatos, combina el análisis sintáctico superficial y profundo o de dependencias, reconocimiento de entidades, patrones lingüísticos y conocimientos de referencia almacenado. Viviana Erica Cotik (2018) implementa dos algoritmos de detección de entidades en informes médicos en español, uno de sus algoritmos está basado en un diccionario especializado del dominio médico no disponible en español y en el uso de reglas, el otro algoritmo está basado en campos aleatorios condicionales; también se utiliza un algoritmo conocido de detección de negaciones en textos médicos escritos en inglés y desarrolla un método basado en reglas creadas a partir de patrones inferidos del análisis de un árbol de dependencias. Otros de los autores (Alejandro Solís-Sánchez et al. 2018) describen la arquitectura de una interfaz de lenguaje natural a ontologías realizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural como tokenización, lematización y etiquetado gramatical para transformarlo en una consulta SPARQL, que utilizan para extraer de la ontología la información solicitada por los usuarios.

Método propuesto

Para llevar a cabo la extracción de información estructurada en español, se utiliza un modelo de segmentación y construcción de recursos léxicos, así como un análisis de un sistema de ontologías modulares en un ambiente académico; se propone una método compuesto de diferentes pasos, mismos que puede verse en la Figura 1, en la cual el usuario realiza una pregunta dentro del dominio académico de tipo ¿Quién?, ¿Dónde? o ¿Cuándo?, la pregunta pasa a través de una etapa de pre procesamiento que da como resultado una pregunta estandarizada (eliminación de signos de puntuación, modificación de palabras coloquiales, etc.), en seguida se realiza una clasificación de la pregunta mediante un análisis a un sistema de ontologías, después se identifican las entidades mediante un emparejamiento entre lexicones y la pregunta estandarizada, que da como resultado una extracción de información y a partir de esto se obtiene una tupla ontológica.

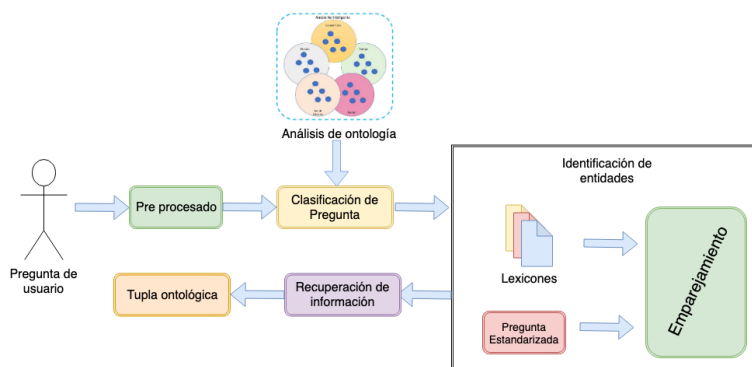


Figura 1. Método propuesto para la recuperación de información en español.

Pre procesado

Al ingresar una pregunta, ésta se debe someter a una limpieza debido a que la presencia de ciertos caracteres puede afectar la extracción de información. El pre procesado que se lleva a cabo en la pregunta se divide en tres etapas.

La primera etapa consiste en la transformación de palabras coloquiales (i.e. conjunto de palabras distintas que se refieren a una misma entidad), por ejemplo, el conjunto conformado por “profe”, “maestro”, “doctor” y “profesor” se refieren a la entidad “profesor”. La segunda etapa trata de la eliminación de signos de puntuación; por

ejemplo, signos de interrogación, puntos o comas, y acentos. Y, por último, se encuentra la etapa de transformación de mayúsculas, donde se convierten todas las letras mayúsculas a minúsculas. Al finalizar estas etapas de pre-procesado se obtiene una pregunta estandarizada.

Modelo semántico

Para poder realizar una consulta al sistema ontológico, se parte de un modelo semántico ya creado y poblado por Josué Padilla Cuevas (2019), mismo que se puede visualizar en la Figura 2. Este modelo está compuesto por diferentes ontologías del dominio académico, que permiten el desarrollo de este trabajo.

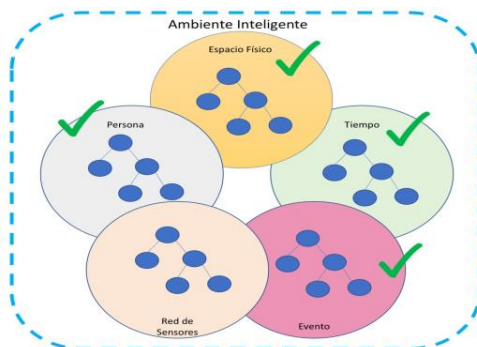


Figura 2. Sistema de ontologías “Ambiente Inteligente”.

El sistema de ontologías “Ambiente Inteligente” contiene información de un ambiente académico y ayuda a realizar de una manera más sencilla la extracción de información. Las ontologías modulares que conforman este sistema son: Persona, Evento, Tiempo, Espacio Físico y Red de Sensores, debido a que en este trabajo únicamente se da respuesta a las preguntas del tipo ¿Quién?, ¿Dónde? y ¿Cuándo? dentro del ambiente académico, solo se consideran las ontologías: Persona, Evento, Tiempo y Espacio Físico. Dado que la ontología Red de Sensores contiene información acerca de los recursos de cada espacio físico, por lo que su contenido no es relevante dentro de este trabajo. Las relaciones en el sistema de ontologías, que permiten responder a las preguntas, se pueden visualizar en la Figura 3.

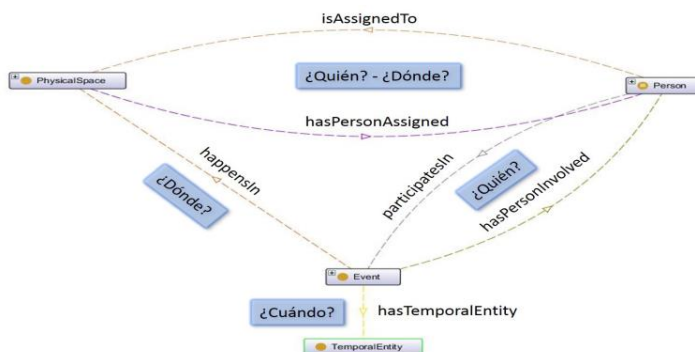


Figura 3. Relaciones en el sistema de ontologías.

Entre las ontologías Persona y Espacio Físico existen dos relaciones que ayudan a contestar las preguntas ¿Quién? y ¿Dónde?: la object property “*isAssignedTo*” nos indica que una persona es asignada a un espacio físico y la object property “*hasPersonAssigned*” nos indica que un espacio físico tiene una persona asignada de la ontología Persona. Las ontologías modulares Espacio Físico y Evento tienen una object property llamada “*happensIn*” que ayuda a ver que un evento sucede en un espacio físico contestando la pregunta ¿Dónde?. Para las ontologías modulares Persona y Evento se tiene una object property llamada “*participatesIn*” donde se entiende que una persona participa en un evento, así como también existe una object property “*hasPersonInvolved*” que nos indica que un evento tiene varias personas involucradas, ambas nos ayudarán a contestar la pregunta ¿Quién?. Por último, las ontologías modulares Tiempo y Evento tienen una object property “*hasTemporalEntity*” que a pesar de la

relación fuerte que existe entre ellas nos ayudara a saber el tiempo en que sucedió un evento, es decir a contestar la pregunta ¿Cuándo?.

Clasificación de preguntas

Las relaciones entre ontologías permiten determinar los tipos de pregunta que se van a obtener, las cuales se clasifican en preguntas simples y preguntas compuestas.

Las preguntas simples son aquellas en las que se pueden identificar las entidades de un solo tipo, tales como: Persona, Evento y Espacio Físico. Por ejemplo, “Dime la fecha y hora del congreso de cálculo diferencial”, el tipo de pregunta que se infiere es del tipo Evento debido a las entidades “fecha”, “hora” y “congreso”.

Las preguntas compuestas son aquellas en las que se pueden identificar entidades de dos tipos, es decir, son la combinación de tipos de preguntas simples, tales como: Espacio Físico-Persona, Evento-Persona y Espacio Físico-Evento. Por ejemplo, “¿Cuál es el cubículo del profesor Alejandro Reyes?”, el tipo de pregunta que se infiere es Espacio Físico-Persona debido a las entidades “cubículo” y “profesor”.

Es importante mencionar que Tiempo es una ontología que se utiliza, pero no se considera dentro de los tipos, debido a que sus relaciones son el instante e intervalo de tiempo en el que se realizó un evento. Esta fuerte unión entre las ontologías Evento y Tiempo permite determinar que con incluir un tipo de pregunta relacionada con la entidad Evento basta para poder incluir Tiempo y Evento a la vez.

Identificación de entidades

Para determinar el tipo de entidades dentro de una pregunta se realizó una identificación como se muestra en la Figura 3.

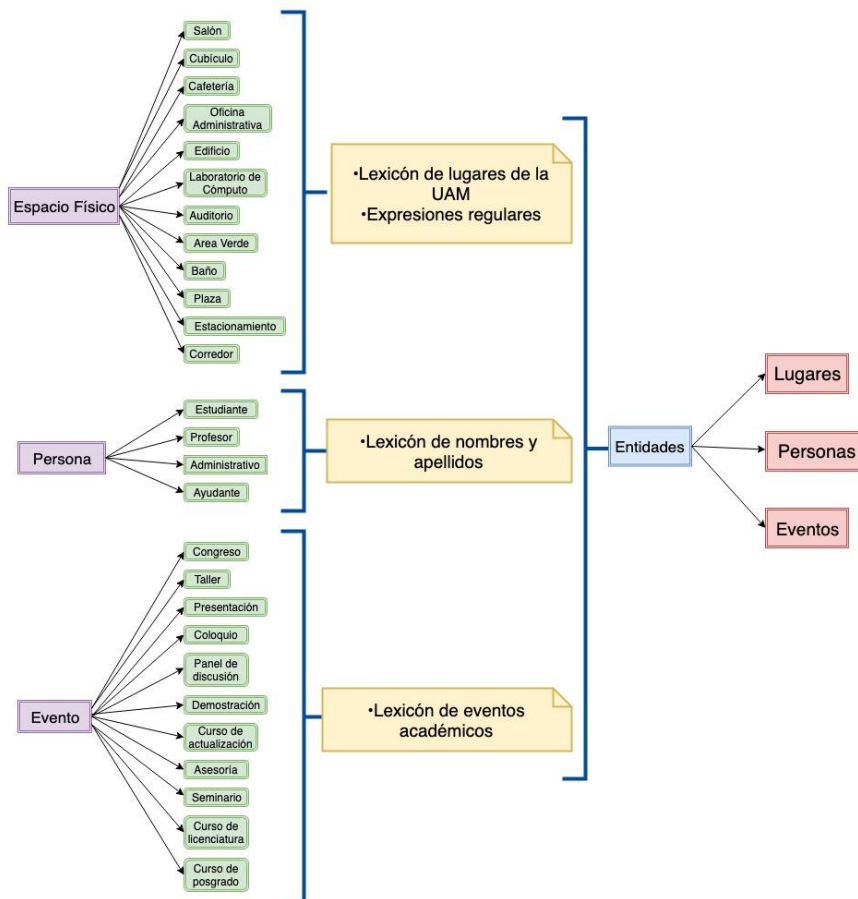


Figura 3. Identificación de entidades.

Como puede verse en la Figura 3, se tienen tres tipos de preguntas simples como lo son: Persona, Espacio Físico y Evento, dejando a un lado las compuestas. Cada tipo de pregunta tiene entidades dentro de un ambiente académico.

A partir de estas entidades se realizó la construcción de lexicones para cada tipo de pregunta. En el caso de Espacio Físico, se desarrolló un lexicon de lugares de la UAM Azcapotzalco, debido a que fue el lugar en el que se evaluaron los resultados. Este lexicon es de los lugares que tienen un nombre específico dentro de las instalaciones; por ejemplo, el laboratorio de computo BABBAGE o el auditorio Incalli Ixcahuicopa. También se manejan expresiones regulares utilizando el patrón de los salones que maneja la institución, donde una letra identifica al edificio donde se encuentra, seguido de un número que indica el nivel, y dos dígitos que ayudan a saber el aula a la que se refiere; por ejemplo, el salón E201, dentro de la institución se reconocería como un salón en el edificio E, segundo piso y número 1.

Para el tipo Persona se construyó un lexicon con 800 nombres y apellidos de personas, para identificar los nombres propios dentro de la pregunta y para el tipo evento se construyó un lexicon de eventos académicos, como congreso, seminario, taller, asesoría, entre otras.

La construcción de estos lexicones y expresiones regulares permite determinar tipos de entidades que serán personas, lugares o eventos.

Emparejamiento

Una vez obtenida una pregunta estandarizada e identificado las entidades, se puede realizar un emparejamiento entre la pregunta estandarizada y cada uno de los lexicones ya construidos para determinar el tipo de pregunta, a partir de la entidad. Se segmenta la pregunta limpia y se realiza un emparejamiento entre la pregunta segmentada y cada léxico construido, haciendo que existan palabras discriminadas, es decir, que no aportan información relevante para obtener una extracción satisfactoria, así como también existen palabras que identifican el tipo de entidad dentro de la pregunta.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Se realizó la evaluación manual, con un corpus de 300 preguntas adquiridas de una investigación dentro del cuerpo estudiantil de la UAM Azcapotzalco, obteniendo un 96% de precisión. (ver el Cuadro 1).

Tipo de pregunta	Preguntas evaluadas	Extracción de información	
		Correcto	Incorrecto
Evento	50	49	1
Persona	50	48	2
Espacio Físico	50	47	3
Espacio Físico – Persona	50	48	2
Evento – Persona	50	49	1
Espacio Físico – Evento	50	48	2
Total	300	289	11

Cuadro 1. Resultados de la recuperación de información.

Al analizar la extracción de cada pregunta del corpus, se buscó obtener un patrón que facilitara la construcción de una tupla ontológica para la consulta en el sistema de ontologías “Ambiente Inteligente”. El patrón encontrado de la recuperación de información se observa en la Figura 5:

[tipoPregunta, sujeto, tipoSujeto, claseSujeto, incógnita*]

Figura 5. Patrón de recuperación de información.

Donde el “tipoPregunta” indica si es de tipo Evento, Persona, Espacio Físico, Espacio Físico-Persona, Evento-Persona o Espacio Físico-Evento; el “sujeto” indica el término al que se refiere la pregunta; el “tipoSujeto” nos indica si el sujeto es un nombre propio, una matrícula, un número económico o un nombre de lugar; la “claseSujeto” es la clase de entidad a la que se refiere el sujeto. Por ejemplo, un auditorio, un profesor o un edificio; la incógnita representa a las entidades que tienen una ocurrencia de 1 o 0, ya que existen preguntas que pueden tener más información que otras. Este patrón nos permite determinar la tupla ontológica como la Figura 6.

[ontología(s), sujeto, tipoSujeto, propiedadSujeto, class, respuesta]

Figura 6. Tupla ontológica

Donde “ontología(s)” indica la ontología que deberemos consultar para obtener la respuesta; “sujeto” es el término que deberemos buscar en el sistema de ontologías; “tipoSujeto” permite saber que propiedad utilizar para la búsqueda; “propiedadSujeto” indica el tipo de propiedad del sujeto, ya sea data property u object property; “class” es la clase a consultar dentro de la ontología; “respuesta” es la propiedad que deberemos extraer dentro de la ontología para obtener la respuesta a la pregunta.

Conclusiones

En este artículo se propuso un método de extracción de información de una pregunta en español dentro del ambiente académico con un nivel precisión de 96% sin necesidad de tener un módulo de traducción al idioma inglés, ahorrando así tiempo computacional. Todo esto gracias a la construcción de lexicones que pueden ser reutilizados en otra instalación académica. Cabe mencionar que el único lexicón que debería de ser actualizado según las instalaciones sería el de lugares debido a que cada institución tiene diferentes nombres de espacios. Como se mostró, se ha obtenido un patrón que ayudó a construir una tupla ontológica y que permite realizar únicamente una consulta al sistema de ontologías para obtener una extracción de información, ahorrando también tiempo computacional. Se recomienda realizar un módulo para la búsqueda y extracción de información al sistema de ontologías a partir de la tupla ontológica y una entrada de datos mediante voz. También se trabajará en la oportunidad de implementarlo en otra institución académica.

Referencias

- Grassi, M., M. Malcouri, J. Couto, J. J. Prada y D. Wonsever. “Corpus Informatizado: textos del español del Uruguay (CORIN),” *SLPLT-2-Second International Workshop on Spanish Language Processing and Language Technologies-Jaén, España*, Universidad de la República Uruguay, Septiembre 2001.
- Vilares Ferro, J. “Aplicaciones del procesamiento del lenguaje natural en la recuperación de información en español,” *Tesis doctoral*, Universidade da Coruña, Mayo 2005.
- López Monroy, A. “Recuperación de información para respuesta a preguntas en documentos legales,” *Tesis doctoral*, Instituto Politécnico Nacional, Enero 2013.
- Rodríguez Blanco, A. y A. J. Simón Cuevas. “Método para la extracción de información estructurada desde textos,” *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, Vol. 7, No. 1, Enero-Marzo 2013.
- Cotik, V. E. “Extracción de información en informes radiológicos escritos en español,” *Tesis doctoral*, Universidad de Buenos Aires, Abril 2018.
- Solís-Sánchez, A., R. Florencia-Juárez, J. C. Acosta Guadarrama y F. López-Orozco. “Interfaz de lenguaje natural para deducción de información almacenada en ontologías,” *Research in Computing Science* 147(6), pp. 189–205, 2018.
- Padilla Cuevas, J.. “Detección y Representación de Eventos en un Ambiente Académico Inteligente,” *Tesis maestría*, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Junio 2019.

Detección y representación de eventos ambientales basada en agentes

Padilla-Cuevas, J., Reyes-Ortiz, J. A., Bravo, M., García-Robledo, G. A. (2019). “Detección y representación de eventos ambientales basada en agentes”, *Revista de Ingeniería Tecnológica*, vol. 3 (12), pp. 16-25.

DetECCIÓN Y REPRESENTACIÓN DE EVENTOS AMBIENTALES BASADA EN AGENTES

DETECTION AND REPRESENTATION OF ENVIRONMENT EVENTS BASED IN INTELLIGENT AGENTS

PADILLA-CUEVAS, Josué †*, REYES-ORTIZ, José A., BRAVO, Maricela y GARCÍA-ROBLEDO, Gabriela A.

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Departamento de Sistemas

ID 1^{er} Autor: *Josué, Padilla-Cuevas* ORC ID: 0000-0002-3156-3231, CVU CONACYT ID: 809289

ID 1^{er} Coautor: *José A., Reyes-Ortiz* / ORC ID: 0000-0003-2111-4982, CVU CONACYT ID: 207359, Researcher ID Thomson: 57188692429, CVU CONACYT ID: 63521

ID 2^{do} Coautor: *Maricela, Bravo* / ORC ID: 0000-0003-3493-9131, CVU CONACYT ID: 97758, Researcher ID Thomson: 14037071900

ID 3^{er} Coautor: *Gabriela A., García-Robledo* / ORC ID: 0000-0002-4559-651X, CVU CONACYT ID: 881294

DOI: 10.35429/JTEN.2019.12.3.16.25

Recibido 20 de Octubre, 2019, Aceptado, 19 de Diciembre, 2019

Resumen

Un Ambiente inteligente puede responder a las necesidades de los usuarios según el contexto, esto para que los individuos tengan las condiciones climáticas ideales para poder llevar a cabo sus actividades, estas condiciones están reguladas por una serie de normas especiales. Los eventos que se describen en este artículo están relacionados con sucesos del medio ambiente (temperatura, humedad, luminosidad y presencia), además envuelven diferentes variables como tiempo, espacio o persona, porque son importantes para modelar lo que está ocurriendo en un determinado lugar. En este trabajo, se propone un diseño ontológico personalizado para el dominio académico. El modelo ontológico es utilizado para la identificación de eventos ambientales a partir de los datos adquiridos del entorno mediante la simulación de agentes inteligentes. Además, el modelo ontológico se usa para razonar con la información obtenida de los eventos identificados. El modelo de ontologías basado en eventos considera cuatro cuestiones contextuales como una perspectiva modular: persona, temporalidad (tiempo), espacialidad (ubicación), red (recursos para adquirir datos del ambiente) y evento (eventos académicos). Y el detector se fundamenta en reglas obtenidas de los estándares de las condiciones climáticas óptimas de un espacio físico.

Ontología, Agentes y Eventos

Abstract

An Intelligent environment can respond to the necessities of the users according to the context, this is so that the individuals can have the ideal climatic conditions in order to go about their activities, these conditions are related through a series of special norms. The events that we describe in this paper are in relation to the events of the environment (temperature, humidity, brightness, and presence), also involved are different variables like time, space, or person, such are important in order to be able to model what is occurring in a determined place. In this project, we propose a personalized ontological design for the academic dominion. The ontological model is utilized for the identification of environmental events according to the data acquired from the environment through the simulation of intellectual agents. Also, our ontological model is used to rationalize with the information obtained from the identified events. The model of ontologies based on events considers four contextual questions like a perspective modular: person, seasonality (weather), spatiality (location), network (resources in order to acquire environmental data) and event (academic events). And the detector is based on rules obtained from the standards of optimum climatic conditions of a physical space.

Ontology, Agents, Events

Citación: PADILLA-CUEVAS, Josué, REYES-ORTIZ, José A., BRAVO, Maricela y GARCÍA-ROBLEDO, Gabriela A. Detección y representación de eventos ambientales basada en agentes. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2019 3-12: 16-25

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: jpc@azc.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En un ambiente académico se realizan diariamente con alta frecuencia actividades de docencia, tales como: impartir asesorías, impartir clases, dirigir prácticas de laboratorio. También existen actividades de investigación: redactar artículos, lectura de artículos, dirigir experimentos científicos. Finalmente, diversas actividades de difusión suceden en un espacio académico, como: seminarios, conferencias, reuniones de proyectos de investigación.

Para poder realizar estas actividades es necesario que los participantes de un ambiente académico cuenten con las condiciones climáticas ideales. Y un ambiente sensible al contexto puede proporcionar esas condiciones de manera automática para los usuarios. Por ejemplo, al tener la luminosidad adecuada dentro de un salón de clases, se maximiza la utilidad de los recursos eléctricos mediante regular las lámparas y encender los proyectores automáticamente solo cuando sea necesario.

Es por ello que la detección de eventos ambientales se vuelve un proceso fundamental dentro de un ambiente académico inteligente. La detección de eventos consiste en que el sistema sea capaz de reaccionar a los eventos y a las condiciones del lugar despreciando su naturaleza, por ejemplo, entradas y salidas de personas, variaciones de temperatura, humedad e iluminación, eventos que son detectados y almacenados para su uso posterior.

Por su parte, la representación de eventos consiste en almacenar información sobre lo que sucede o los hechos acaecidos en el ambiente académico inteligente, mientras que las ontologías son herramientas que sirven para estructurar conceptualmente determinados ámbitos del conocimiento por medio de vocabularios controlados, proporcionando la información para la construcción del sistema todo con el fin de aportar consistencia, fiabilidad. Además, en este artículo se decidió utilizar ontologías para agregar semántica al esquema.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar, implementar y evaluar un sistema para la detección y representación semántica de eventos ambientales en un ambiente académico usando ontologías, con la finalidad de ofrecer servicios a los usuarios de manera inteligente.

Conjuntamente, las ontologías generan un beneficio porque van a permitir representar los conceptos para detectar e inferir sobre eventos simples relacionados con el medio ambiente.

Este documento está dividido en 6 secciones. En la sección 2 expone los trabajos donde se muestran los avances más importantes que se han logrado con respecto al conocimiento en el área de investigación de este trabajo. En la sección 3, se presenta el sistema ontológico adaptado al dominio académico con el fin de respaldar y representar los eventos ambientales detectados, dicho modelo se basa en el uso de ontologías modulares. La sección 4 muestra el proceso de detección de eventos, los módulos creados y la simulación de datos obtenida por agentes inteligentes. La sección 5 discute la evaluación del modelo ontológico obtenido por medio de casos de uso. Además, se utilizan las métricas conocidas de precisión y exhaustividad para la evaluación del sistema de detección de eventos. Por último, se exponen las conclusiones generales de este trabajo y se presentan las propuestas para trabajos a futuro.

Trabajos relacionados

En esta sección se presenta una revisión del estado del arte en el tema de la detección de eventos en distintos ámbitos o dominios, así como las herramientas utilizadas para su representación. Existen diversos trabajos que se fundamentan en ontologías para la detección de eventos en distintos ámbitos, por ejemplo, el automotriz o el de la salud, pero pocos han aplicado éstas herramientas para la detección de eventos ambientales en un contexto académico.

Pavle Skocir, Petar Krivic y Gordan Jezic [1] reportan en un artículo del 2016, un análisis de datos en un ambiente inteligente, que se centra solamente en la detección de entradas y salidas desde una habitación. Georgios Meditskos Ioannis Kompatsiaris [2] crean iKnow.

Es un modelo basado en una ontología para la comprensión del contexto en ambientes con múltiples sensores que son utilizados para el reconocimiento de la actividad humana. iKnow utiliza el uso del conocimiento ontológico OWL para capturar relaciones de dominio entre observaciones y actividades.

La propuesta de Liming Chen, Chris Nugent [3] describe un modelo basado en ontologías para el reconocimiento de actividades. El enfoque propuesto adopta ontologías para el modelado de sensores, objetos y actividades, además explota el razonamiento lógico para los propósitos de la actividad de reconocimiento en una casa inteligente, utilizan algoritmos de reconocimiento de actividad, incluyendo los métodos de aprendizaje supervisados y no supervisados, con un razonamiento probabilístico y estadístico.

Otro trabajo relacionado a la especificación de detección de eventos y representación mediante ontologías es el de Jean-Paul Calbimonte, Jean-Eudes Ranviera, Fabien Dubosson, Karl Aberer [4] que presentan un framework para inferir eventos semánticamente de glucosa obtenidos de pacientes, mediante datos de sensores móviles desplegados en un cinturón deportivo. Este trabajo es parte del proyecto D1namo para monitoreo de la diabetes, se centra en la representación y el procesamiento de consultas de datos producidos por los sensores portátiles, utilizando tecnologías semánticas. Además, utiliza un motor de procesamiento de flujo RDF.

Finalmente, Markus Stocker, Mauno Rönkkö, and Mikko Kolehmainen [5]. Presentan en junio de 2014 un modelo de software que representa una máquina de aprendizaje para el monitoreo de un ambiente, utilizando sensores y representando el conocimiento de los eventos adquiridos, o extraídos, en módulos de aprendizaje.

Su funcionalidad es la evaluación de la situación, es decir. Para ganar conciencia de la situación. Se basa en la representación del conocimiento y el razonamiento, utilizando ontologías, es utilizado para el aprendizaje del movimiento de los vehículos que pasan sobre una carretera y utiliza Weka para el aprendizaje automático.

Modelo de representación de eventos ambientales

Según Barranco [6], los eventos son definidos como la ocurrencia dentro de un sistema o dominio particular. De acuerdo con Miller [7] un evento se define como un suceso que involucra un cambio de estado, donde se involucran aspectos locativos, temporales y causales.

Allen [8], expone que el mundo contiene eventos que son el camino por el cual los agentes clasifican ciertos patrones de cambio y finalmente Sowa [9], afirma que un evento es una entidad que puede involucrarse en la causalidad y que puede ser identificado por su ubicación en una región del espacio-tiempo.

En esta sección se presenta el desarrollo del modelo ontológico que almacena los eventos ambientales que ocurren dentro de un espacio académico, el modelo consta de cinco ontologías modulares, que son: tiempo, espacio, persona, red de sensores y evento.

Tienen el propósito de representar donde ocurrió un evento, el instante cuando ocurrió y finalmente las personas involucradas.

Estas ontologías modulares se unifican en un solo modelo semántico llamado "*Ambiente Inteligente*".

Según Gruber [10] y Guarino [11], "una ontología es una descripción formal de los conceptos y las relaciones entre ellos". Por lo tanto, las ontologías proporcionan el mecanismo para representar conceptos formalmente, además son comprensibles por los humanos y procesables para las computadoras.

Ontología de espacio físico

La ontología de espacio físico representa el lugar donde diariamente ocurren actividades académicas, son lugares donde existen estructuras e instalaciones necesarios para el funcionamiento de una organización en este caso académica, con este modelo se puede saber en dónde están ocurriendo los eventos ambientales dentro de un espacio académico.

La ontología Figura 1 está dividida en espacios cerrados que se encuentran delimitados por divisiones físicas en estos se encuentran los cubículos, laboratorios, aulas, auditorios, oficinas administrativas, auditorios, edificios, salones de clase, comedores y baños.

Los espacios abiertos son aquellos que carecen de una estructura física y que son afectados por el medio ambiente. Están divididos en: corredores o pasillos, áreas verdes, estacionamientos y plazas.

La ontología de espacio físico tiene un total de 13 propiedades de datos: *hasAirConditioner*, *hasArea*, *hasCar-Capacity*, *hasDoorState*, *hasFan*, *hasLampsNumber*, *hasLevel*, *hasNamePhysicalSpace*, *hasPeopleCapacity*, *hasProjectionScreen*, *hasProjector*, *hasService* y *hasWindow*.

Se utilizan para modelar a detalle los servicios que se encuentran dentro de un espacio determinado y al lograr manipularlos obtener un ambiente sensible al contexto.

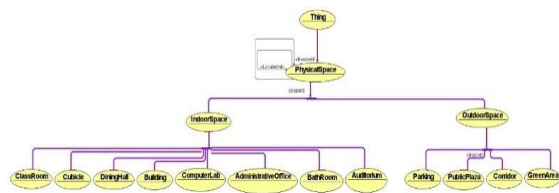


Figura 1 Ontología de espacio físico

Ontología de tiempo

El modelado del tiempo en una ontología es de propósito general, es decir, es una ontología de nivel alto que describe un concepto muy frecuentemente requerido, en este caso el tiempo, permite definir eventos y correlacionarlos con el instante cuando han ocurrido los eventos en el ambiente académico.

La ontología de tiempo Figura 2 está compuesta por dos clases que son, intervalo que a su vez se componen de instantes, uno para indicar cuando inicia el evento, este se representa con la propiedad de objeto *hasBeginning* y el segundo intervalo se utiliza para determinar cuándo termina el evento: *hasEnd*.

Las propiedades de datos sirven para representar las unidades básicas de tiempo como son: horas, minutos, segundos, año, mes y día.

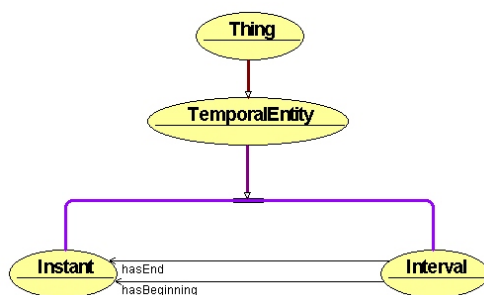


Figura 2 Ontología de tiempo

Ontología de persona y red de sensores

Un elemento fundamental del modelado de eventos es la representación o identificación del actor que participa o al que le sucede un evento. Sin la representación de los actores en el evento no se tendría el conocimiento de quien está involucrado dentro de un acontecimiento. Implementar un modelo completo para la representación de personas puede llegar a ser demasiado extenso, es por eso que en este trabajo se ha acotado a un modelo (Figura 3) donde solamente se representan los actores que participan dentro del dominio académico, como son: estudiantes, empleados tanto administrativos como profesores y visitantes que también tienen un rol importante dentro de este ambiente académico [12].

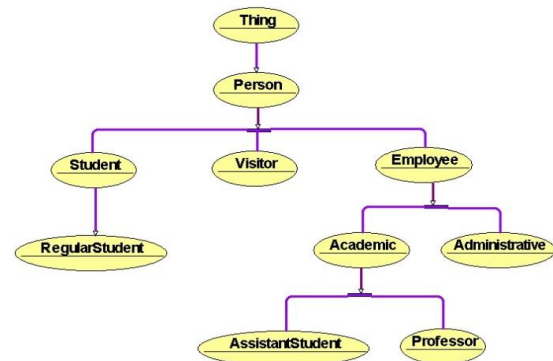


Figura 3 Ontología de persona

Entre la información más relevante dentro de un ambiente inteligente se encuentran los datos ambientales relacionados con el clima. Para obtener esta información es necesario contar con datos provenientes de sensores de temperatura, humedad y luminosidad. Otro tipo de información relevante se refiere a la presencia de personas en el ambiente, para obtener la información de la entrada y salida de las personas se utilizan sensores de presencia. Ambos tipos de información son contemplados en el modelo ontológico que representa la red de sensores Figura 4.

Según Gascón [13], un componente importante dentro de un ambiente inteligente son las redes de sensores. La ontología red de sensores tiene dos objetivos principales:

- a) Representar los conceptos y propiedades de datos que permitan identificar y registrar la presencia de personas (estudiantes, empleados o visitantes) automáticamente, si están entrando o saliendo en un espacio físico específico.

b) Representar los conceptos que permitan detectar e inferir sobre eventos simples relacionados con el medio ambiente.

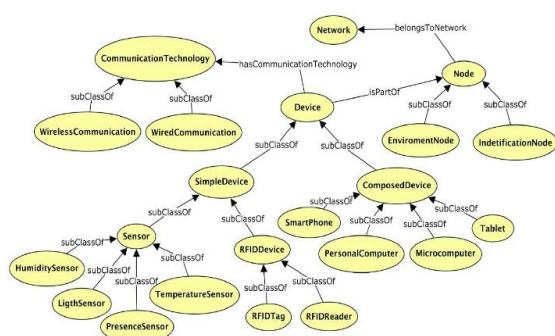


Figura 4 Ontología de red de sensores

Ontología de eventos ambientales

El modelo de eventos ambientales Figura 5, es fundamental dentro del sistema de representación, la ontología está compuesta de cuatro clases, cada una corresponde a una de las variables ambientales que se analizan en este trabajo (temperatura, humedad, luminosidad y presencia).

La primera clase contiene los incrementos o decrementos de la temperatura, la segunda corresponde a los aumentos y decrementos de la humedad, la tercera clase corresponde a las variaciones de la luminosidad y la última es la encargada de representar a los eventos de presencia.

Se compone de las clases que definen la entrada de una persona a un lugar y la salida de esta misma. Las propiedades de dato que constituyen a la ontología de eventos son *hasVariation* que como su nombre lo indica sirve para almacenar los valores numéricos de los cambios detectados en los eventos ambientales.

Las propiedades *hasEventName* y *hasDescription* sirven para complementar la información de los acontecimientos.

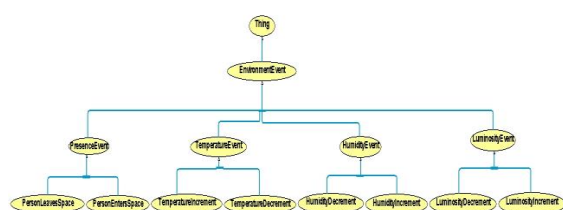


Figura 5 Ontología de eventos ambientales

Sistema de Ontologías

El resultado de la integración de las ontologías modulares presentadas es el sistema “*IntelligentEnvironment*” y tiene como objetivo el modelar un ambiente genérico del ámbito académico, donde participen personas con distintos roles, además de representar los espacios físicos y que cuente con una red de sensores con el fin de obtener mediciones para detectar variaciones ambientales y el momento exacto en el que ocurren.

Detección de eventos ambientales usando agentes

En este trabajo se realiza una simulación de las lecturas de datos climáticos que se generan dentro de un ambiente académico, es decir, se hace una réplica de las mediciones de temperatura, humedad, luminosidad y presencia.

Para la generación de los datos se implementaron agentes inteligentes desarrollados con el Framework Java Agent Development, o *JADE*, que es una plataforma de software para el desarrollo de agentes, implementada en Java.

Según Vargas-Quesada [14] un agente inteligente se define como un software desarrollado que utiliza ciertas técnicas o herramientas de inteligencia artificial, tiene como propósito percibir el entorno y actuar de una manera autónoma es decir con un grado de racionalidad e independencia.

Generación de datos utilizando agentes inteligentes

Para la generación de los datos fue necesario crear dos tipos de agentes especializados y siguen un conjunto de reglas con el fin de generar paquetes que contengan la información precisa de una lectura del medio ambiente. Para el primer conjunto “agentes ambientales”, deben generar un paquete que contenga las mediciones del censado la temperatura, humedad y luminosidad.

En el caso de la temperatura los agentes generan mediciones aleatorias dentro de un rango de entre 13 y 26 °C, porque es la temperatura promedio que se suscita en el mes de junio en la CDMX, fecha en la que se realizó la simulación.

En el caso de la humedad se generaron datos aleatoriamente que van desde el 46% hasta el 71%. Finalmente, para la luminosidad se crearon variaciones con un rango de entre 200 y 600 luxes. Para el segundo tipo de dato “los agentes generadores de presencia” se crearon lecturas que simulan el *RFIDTag* que se encuentra en las tarjetas de identificación de 200 usuarios pertenecientes al modelo del contexto académico. Con estos datos los agentes realizan la simulación del comportamiento de entrada y salida en un espacio físico Figura 6.

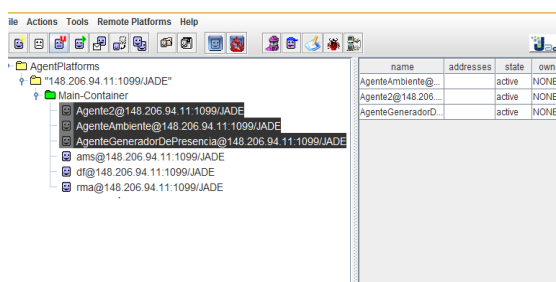


Figura 6 Simulación de datos con agentes

Detección de eventos ambientales

La secretaria del trabajo y previsión social en la NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, “Condiciones de iluminación en los centros de trabajo”, establece los requerimientos mínimos de iluminación en las áreas de labor y centros de estudio, las cuales se pueden observar en la Tabla 1. Además, también se establece en la norma “condiciones térmicas elevadas” la temperatura poder desarrollar actividades en condiciones favorables, dentro de un ambiente académico debe oscilar entre 15° y 30°C y la humedad relativa debería de estar entre el 50% \pm 10%.

Tarea Visual	Tipo de Recinto	Niveles de Iluminación
Atención administrativa.	Oficinas Administrativas.	300
Actividades relacionadas con la docencia.	Salas de clases, educación superior.	300
Distinción clara de detalles: captura y procesamiento de información.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Actividades relacionadas con la investigación.	Salas de Profesores, cubículos.	400
Lectura e investigación.	Bibliotecas.	400

Tabla 1 Niveles mínimos de iluminación en un espacio académico

Con base en las normas y con la finalidad de brindar al usuario las condiciones idóneas para llevar a cabo sus actividades, se implementó un módulo de detección de eventos ambientales, que manifiesta cambios significativos en las variables de temperatura, humedad y luminosidad. Además de la identificación de personas.

El módulo de detección ambiental fue desarrollado en el lenguaje de programación *Java* para garantizar la perfecta comunicación con las ontologías, las cuales son codificadas utilizando el Lenguaje Web Ontológico (OWL 2.0) [15].

Para caracterizar esta parte del proyecto se definió a un evento ambiental como la diferencia entre dos lecturas de las variables ambientales antes mencionadas, y cuyo valor numérico exceda los siguientes umbrales: para la temperatura se tomó como referencia una variación a partir de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Para la humedad el umbral tomado en cuenta es de $\pm 10\%$ y finalmente para luminosidad un evento se detecta a partir de un cambio de 50 luxes. Todos estos acontecimientos detectados por el módulo de detección son registrados en el modelo ontológico acompañados de la información complementaria: tiempo, lugar y el valor numérico de la variación.

El módulo también tiene como objetivo estar realizando periódicamente la comparación de las lecturas climáticas actuales contra los valores ideales descritos por las normas mexicanas. Si el valor actual está fuera del rango se le envía a un componente de la red de sensores “*nodo actuador*” una alerta para que se encargue de realizar las acciones correspondientes para regular el ambiente de manera automática, haciendo uso de sistemas de enfriamiento o calentamiento y mecanismos de iluminación.

Para el caso de la detección de presencia. Funciona con el número de identificación de una tarjeta con tecnología *RFID* y que se encuentra asociada con un individuo registrado dentro del modelo académico.

Con esto el sistema es capaz de identificar a la persona, además de conocer el lugar en donde se encuentra, la hora y si está entrando o saliendo de dicho espacio físico.

Instanciación de eventos ambientales en el modelo

El poblado del modelo ontológico se lleva a cabo a través de un mecanismo de comunicación entre procesos utilizando un protocolo orientado a conexión, entre los agentes inteligentes y un servidor, que contiene al detector de eventos ambientales y el identificador de personas. Cabe mencionar que este procedimiento se realiza en un sistema concurrente donde varios procesos cooperan para poblar la ontología en el menor tiempo de cómputo posible.

En resumen, los agentes inteligentes trabajan en paralelo Figura 7, dividen el trabajo en dos tipos; los primeros se encargan de generar datos de tipo climáticos, para después nuevamente generar una división y crear sub-tareas para que cada uno resuelva por separado la detección de individuos de tipo: evento de temperatura, humedad, luminosidad y su clasificación (si es un evento de incremento o decremento). El segundo tipo de agentes se encargan de generar datos de presencia para crear las sub-tareas de identificación (entrada y salida de personas) que se resuelve por medio de varios ejecutores. Al final de esta etapa se obtiene una representación de conocimiento del dominio académico para ser procesable por otras aplicaciones, por ejemplo, alguna del tipo pregunta-respuesta.

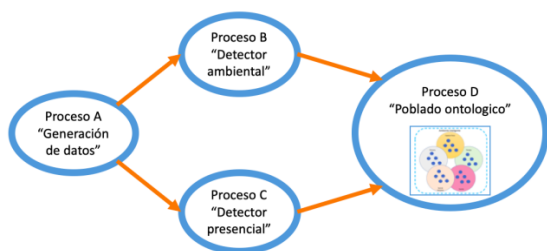


Figura 7 Procesos organizados en paralelo

Resultados

En esta sección se presenta el proceso de experimentación y los resultados al que fue sometido el detector de eventos académicos y el modelo ontológico "IntelligentEnvironment".

Para el primero se utiliza una evaluación basada en precisión, exhaustividad y valor-f. Para el segundo se utilizan escenarios de casos de uso

Evaluación con las métricas: precisión y exhaustividad

A continuación, se presentan los resultados de las métricas empleadas en la medida del rendimiento del módulo de detección de eventos ambientales. La evaluación consistió en dejar al detector evaluando los datos provenientes de los agentes inteligentes durante cinco días, para obtener un total de 9269 eventos ambientales, catalogados en: entrada y salida de personas, decremento e incremento de iluminación, humedad y temperatura.

De estos se evaluaron manualmente 750 para conocer su correctitud con la finalidad de obtener un patrón de referencia de todos los eventos detectados.

Para evaluar la precisión P se utilizó la siguiente ecuación 1.

$$P = \frac{|EventosRelevantes \cap EventosRecuperados|}{|EventosRecuperados|} \quad (1)$$

Para la evaluación de la precisión se dividen los resultados en tres datos fundamentales involucrados: tiempo, persona y espacio físico. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la precisión en el proceso automático para la detección de eventos ambientales en un entorno académico.

Evento	Tiempo	Persona	Espacio Físico	Precisión
Eventos ambientales	0.984	0.986	0.983	0.984

Tabla 2 Resultados de la precisión del detector de eventos

Como se puede observar en la evaluación de la precisión para el detector ha arrojado resultados bastante favorables obteniendo un 98% de efectividad a la hora de detectar cambios significativos en el ambiente dentro del entorno académico.

Para obtener el valor de la exhaustividad E se utiliza la ecuación 2 y, además, se calculó un conjunto de datos de referencia obtenidos del producto entre la cantidad de eventos evaluados y el grado de error de cada uno de los sensores (temperatura, humedad y luminosidad), esto es conocido como el conjunto gold Standard. El grado de error fue extraído de las hojas de datos que proporcionan los fabricantes. El resultado de la exhaustividad se puede observar en la Tabla 3.

$$E = \frac{|{\text{eventosRelevantes}} \cap {\text{eventosDetectados}}|}{|{\text{eventosGoldStandard}}|} \quad (2)$$

Evento	Tiempo	Persona	Espacio Físico	Exhaustividad Total
Eventos ambientales	0.9035	0.9051	0.902021	0.90

Tabla 3 Resultados de la exhaustividad del detector de eventos

Escenarios de detección de eventos ambientales

De acuerdo con Gómez [16], la evaluación de la ontología se refiere a la construcción correcta del contenido de la misma. Para la evaluación del modelo “*ambiente académico inteligente*” se muestran dos escenarios de casos para eventos ambientales, que sirven para valorar la representación del modelo ontológico

Escenario 1. En el salón de clases E313 se ha registrado un incremento de temperatura súbito de 2.0 °C debido a las altas temperaturas de la zona o a la llegada masiva de individuos al lugar. El día 18 de enero de 2019 a las 19: 11:20.

En la Figura 8 se muestra un modelo con la representación de un ambiente académico, las instancias y sus respectivas relaciones descritas del texto anterior.

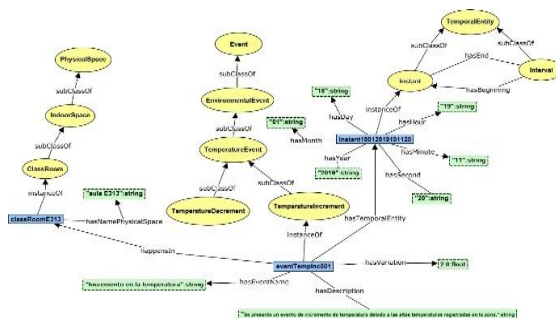


Figura 8 Escenario de casos de uso

Escenario 2. La profesora Maricela Claudia Bravo Contreras ha ingresado al cubículo H289 el día 15 de enero del 2019 a las 10:30:15 a.m.

Este escenario se representa en el modelo ontológico de ambiente inteligente como un evento de entrada, el resultado de dicha representación se muestra en el modelo ontológico, sus individuos y relaciones en la Figura 9 mostrando solamente las clases involucradas.

Agradecimiento

Este artículo fue desarrollado gracias al apoyo parcial de la SEP-PRODEP con el proyecto DSA/103.5/16/9852. Los autores también quieren agradecer a la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

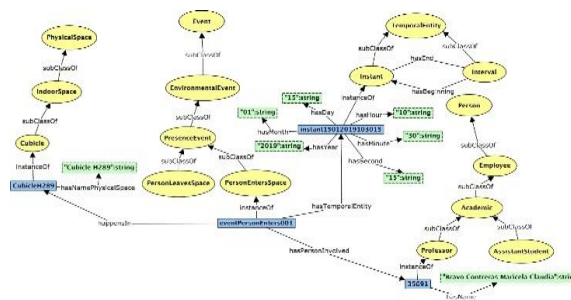


Figura 9 Escenario de casos de uso 2

Conclusiones

En este artículo se ha presentado un módulo de detección de eventos ambientales con ayuda de agentes inteligentes. Además, se describe un enfoque de solución basado en ontologías para la representación de los eventos detectados en el ambiente académico.

Con respecto a la ejecución de las pruebas y la evaluación de la funcionalidad, el rendimiento y la precisión del detector de eventos ambientales, se obtuvieron resultados bastante prometedores. La arquitectura propuesta del detector de eventos y el modelo ontológico para la representación conlleva las siguientes ventajas:

- i) Posibilita conocer el estado actual de las variables ambientales: temperatura, luminosidad y humedad. De esta manera se puede ofrecer información oportuna al usuario en un ambiente sensible al contexto o para prevenir un desastre, por ejemplo, una ocurrencia de fuego no controlada.
- ii) Provee la información necesaria para la identificación de individuos en un ambiente académico, con la finalidad de poder representar los eventos ambientales que suceden dentro en un espacio académico. La identificación de usuarios presentes hace que el espacio sea consciente y sensible al contexto.

- iii) Propicia la interoperabilidad entre herramientas de soporte para la especificación de un dominio académico, como pueden ser herramientas de predicción o aplicaciones de consulta. Apoyándose en el modelo ontológico desarrollado.

Los resultados preliminares obtenidos en el modelo ontológico con ejemplos de escenarios, inferencia y ha permitido concluir que la propuesta de representación de conocimiento es válida y de potencial aplicación en la investigación aplicada en las ciencias computacionales, puntualmente en el área de la inteligencia artificial.

Como trabajo a futuro, se pretende continuar extendiendo el modelo ontológico adaptándolo a las necesidades de los requerimientos de otros dominios como por ejemplo eventos relacionados con la salud.

Por otro lado, sería deseable contar con un sistema de clasificación automática de eventos utilizando las características detectadas en este trabajo.

Referencias

- [1] Skocir, P. Krivic, M. Tomelj, M. Kusek, M. & Jezic, G. (2016). Activity detection in smart home environment. *Procedia Computer Science*, (96), 672-681. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916320609>
- [2] Meditskos, G., Kompatsiaris, I. (2017). iKnow: Ontology-driven situational awareness for the recognition of activities of daily living. *Pervasive and Mobile Computing*, 40, 1-16.
- [3] Chen, L., y Nugent, C. (2009). Ontology-based activity recognition in intelligent pervasive environments. *International Journal of Web Information Systems*, 5(4), 410-430.
- [4] Calbimonte, J. P., Ranvier, J. E., Dubosson, F., y Aberer, K. (2017). Semantic representation and processing of hypoglycemic events derived from wearable sensor data. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(1), 97-109.
- [5] Stocker, M., Rönkkö, M. & Kolehmainen, M. (junio, 2014). Abstractions from Sensor Data with Complex Event Processing and Machine Learning. Trabajo presentado en Conference: *7th International Congress on Environmental Modelling and Software*, San Diego, California.
- [6] Barranco, R. (2011). IBM ISII Complex Event Processing: De la detección de eventos a la acción inmediata. Recuperado de <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/ssa/identity-insight-complex-event-processing/index.html>
- [7] Miller, G. A., Johnson-Laird, P. N. (1976). *Language and perception*. Belknap Press.
- [8] Allen, J. F., & Ferguson, G. (1994). Actions and events in interval temporal logic. *Journal of logic and computation*, 4(5), 531-579. Recuperado de <https://academic.oup.com/logcom/article-abstract/4/5/531/1042845?redirectedFrom=fulltext>
- [9] Sowa, J. F. (2000). *Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations*. Pacific Grove: Brooks/Cole.
- [10] Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International journal of human-computer studies*, 43(5-6), 907-928.
- [11] Guarino, N. (1998). Formal ontology and information systems En Guarino, N. (Ed.), *Formal ontology in Information Systems* (3-15).
- [12] Cruz, I. (2019). *Extracción y enriquecimiento de perfiles de investigación usando ontologías* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, Ciudad de México.
- [13] Gascón, D. (2010). Redes de sensores inalámbricos, la tecnología invisible. *Bit*, (180-181), 53-55. Recuperado de <http://www.libelium.com/libelium-downloads/libelium-bit-coit.pdf>
- [14] Hípola, P. & Vargas-Quesada, B. (1999). Agentes inteligentes: definición y tipología. Los agentes de información. *El profesional de la información*, 8(4), 13-21. Recuperado de <http://eprints.rclis.org/18300/>

[15] OWL Working Group. (2009). OWL Web Ontology Language Overview. [documentación]. Recuperado de <https://www.w3.org/TR/owl-features/>

[16] Gómez-Pérez, A. (1996). Towards a framework to verify knowledge sharing technology. *Expert Systems with Applications*, 11(4), 519-529. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/11995349.pdf>

Bibliografía

- [1] Martínez, P., Vicedo, J., Saquete, E., Tomás, D. *Sistemas de Pregunta-Respuesta*. Universidad de Alicante, Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Grupo de Procesamiento del Lenguaje y sistemas de Información. Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2525/1/Ponencia%20Sistemas%20Pregunta-Respuesta.pdf>. IX, 5, 6
- [2] Padilla, J. (2019). *Detección y representación de eventos en un ambiente académico inteligente*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Maestría en Ciencias de la Computación. IX, 1, 9, 10, 28
- [3] World Wide Web Foundation. Recuperado de: <https://thewebindex.org/>. 2
- [4] CitrusBits. Recuperado de: <https://citrusbits.com/>. 2
- [5] El Financiero. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/en-mexico-solo-de-la-poblacion-habla-ingles-imco>. 3
- [6] Huang, C. C., Liu, A. and Zhou, P. C. (2015). *Using Ontology Reasoning in Building a Simple and Effective Dialog System for a Smart Home System*. In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2015 IEEE International Conference on (pp. 1508-1513). IEEE. 3, 21, 25
- [7] Bianchi, D. and Poggi, A. (2004). *Ontology based automatic speech recognition and generation for human-agent interaction*. In Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 2004. WET ICE 2004. 13th IEEE International Workshops on (pp. 65-66). IEEE. 3, 22, 25
- [8] Morales, J., Maciel, O., Niasandiu, I. and Zaldivar, D. (2017). *Fundamentos de programación con Alexa*. Proyectos para la automatización y aplicaciones. RA-MA Editorial. 7
- [9] Pajares, G. (2017). *Análisis y reconocimiento de voz: fundamentos y técnicas*. México: Alfaomega. 7
- [10] Google Editors, Mozilla Editors and Speech API Community Group. (2019). *Web Speech API*. Recuperado de <https://wicg.github.io/speech-api/>. 8

BIBLIOGRAFÍA

- [11] IBM Cloud. (2018). *Watson IBM software*. Recuperado de <https://console.bluemix.net/docs/services/speech-to-text/index.html>. 8
- [12] Google. (2018). *API Google*. Recuperado de <https://cloud.google.com/speech-to-text/docs/>. 8
- [13] Gruber, T. (1995). *Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing*. International Journal of Human-Computer Studies 43(5-6), pp. 907-928. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581985710816>. 8
- [14] Duran, J., Conesa, J. and Clarisó, R. (s.f.) *Ontologías y web semántica*. Recuperado de <http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/temarios/Ontologias>. 9
- [15] *SPARQL Tutorial*. Apache Jena. Recuperado de <https://jena.apache.org/tutorials/sparql.html>. 10
- [16] Villatoro, C. (2011). *Desarrollo de una Web API para el Tratamiento Automático de Reglas Contextuales Aplicadas a Servicios Basados en Localización*. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Departamento de Ciencias Computacionales. Maestría en Ciencias de la Computación. Recuperado de <http://www.cenidet.edu.mx/subplan/biblio/seleccion/Tesis/MC%20Cesar%20Francisco%20Villatoro%20Hernandez%202011.pdf>. 11
- [17] J. Cardoso, M. D. (2009). *Semantic Web engineering in the knowledge society*. IGI Global, ISBN 978-1-60566-113-1, IRM Press. 11
- [18] Jensen, K. (1993). *Natural language processing: The PLNLP Approach*. Londres: Kluwer Academic Publishers. 12
- [19] Cortez, A., Vega, H. and Pariona, J. (2009). *Procesamiento de lenguaje natural*. Revista Ingeniería de Sistemas e Informática, 6(2), pp. 45-54. 12
- [20] Cabrera, L. (2011). *TF-IDF para la obtención automática de términos y su validación mediante Wikipedia*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/232>. 14
- [21] Perea, J., Montejo, A., Martínez, F. and Ureña, L. (2009). *Geo-NER: un reconocedor de entidades geográficas para inglés basado en GeoNames y Wikipedia*. Sociedad Española para el Procesamiento de Lenguaje Natural. Procesamiento del Lenguaje Natural, Num. 43, pp. 33-40. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/5157/515751743004.pdf>. 14
- [22] Vázquez, A., Pinto, D. and Vilariño, D. (2018). *Identificación de etiquetas semánticas para su uso en diálogos*. Research in Computing Science 147(6), pp. 99-107. Recuperado de

-
- https://www.polibits.cidetec.ipn.mx/2018_147_6/Identificacion%20de%20etiquetas%20semanticas%20para%20su%20uso%20en%20dialogos.pdf. 14
- [23] Longley, D. and Shain M. Mac Milla. (1989). *Dictionary of IT*. London and Basingstoke: The MacMillan Press. 16
- [24] Meadow, C. T. (1993). *Text Information Retrieval Systems*. San Diego: Academic Press. 16
- [25] Cowie, J. and Lehnert, W. *Information extraction*. Communications of the ACM, 39(1):80-91. 16
- [26] Téllez, A. (2005). *Extracción de Información con Algoritmos de Clasificación*. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Especialidad de Ciencias Computacionales. Recuperado de <https://ccc.inaoep.mx/~villasen/tesis/TesisMaestria-AlbertoTellez.pdf>. 16
- [27] Sosunova, I., Zaslavsky, A., Anagnostopoulos, T., Medvedev, A., Khoruzhnikov, S. and Grudin, V. (2015). *Ontology-based voice annotation of data streams in vehicles*. In Conference on Smart Spaces (pp. 152-162). Springer, Cham. 19, 25
- [28] Kopsa, J., Míkovec, Z. and Slavik, P. (2005). *Ontology driven voice-based interaction in mobile environment*. Schloss Dagstuhl International Conference and Research Center for Computer Science. 19, 25
- [29] Paraiso, E. C. and Barthès, J. P. A. (2006). *An intelligent speech interface for personal assistants in R&D projects*. Expert Systems with Applications, 31(4), 673-683. 20, 25
- [30] Rawassizadeh, R., Dobbins, C., Nourizadeh, M., Ghanchili, Z. and Pazzani, M. (2017, March). *A natural language query interface for searching personal information on smartwatches*. In Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2017 IEEE International Conference on (pp. 679-684). IEEE. 20, 25
- [31] Yan, H. and Selker, T. (2000). *Context-aware office assistant*. In Proceedings of the 5th international conference on Intelligent user interfaces (pp. 276-279). ACM. 20, 25
- [32] Tsiao, J. C. S., Chao, D. Y. and Tong, P. P. (2007). U.S. Patent No. 7,216,080. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 21, 25
- [33] Portet, F., Vacher, M., Golanski, C., Roux, C. and Meillon, B. (2013). *Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects*. Personal and Ubiquitous Computing, 17(1), 127-144. 21, 25
- [34] Karthik, N., Ashwini, M. and Anitha, K. (2014). *Voice Enabled Ontology Based Search Engine on Semantic Web For Blind*. International Journal of Computer Science & Engineering Technology, 5(04), 341-344. 21, 25
-

- [35] Bukhari, A. C. and Kim, Y. G. (2012). *Ontology-assisted automatic precise information extractor for visually impaired inhabitants*. Artificial Intelligence Review, 38(1), 9-24. [22](#), [25](#)
- [36] Damjanovic, D., Agatonovic, M. and Cunningham, H. (2010) *Natural Language Interfaces to Ontologies: Combining Syntactic Analysis and Ontology-based Lookup through the User Interaction*. In ESWC 2010, Extended Semantic Web Conference, vol. 6088, p. 106-120. Springer, Heidelberg. [22](#), [25](#)
- [37] Bernstein, A., Kaufmann, E., Kaiser, C. and Kiefer, C. (2006) *Ginseng: A guided input natural language search engine for querying ontologies*. In Jena User Conference, Citeseer. [23](#), [25](#)
- [38] Tablan, V., Damjanovic, D. and Bontcheva, K. (2008) *A Natural Language Query Interface to Structured Information*. In The Semantic Web: Research and Applications, p. 361-375. Springer Berlin Heidelberg. [23](#), [25](#)
- [39] Lopez, V., Pasin, M. and Motta, E. (2005) *Aqualog: An ontology-portable question answering system for the semantic web*. In The Semantic Web: Research and Applications. p. 546-562. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. [23](#), [25](#)
- [40] Solís, A., Florencia, R., Acosta, J. and López, F. (2018) *Interfaz de lenguaje natural para deducción de información almacenada en ontologías*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, Chihuahua, México. In Research in Computing Science 147(6). [23](#), [25](#)